



한국ITS학회
The Korean Society of Intelligent Transport Systems

한국ITS학회 2026년도 춘계학술대회
The 2026 Korean Society of ITS Spring Conference

Bridging Research, Industry and Policy for AI-driven ITS

2026년 4월 23일(목) - 4월 25일(토)
제주한라대학교 한라컨벤션센터

주최  **한국ITS학회**
The Korean Society of Intelligent Transport Systems



후원

 한국교통연구원 KOREA TRANSPORT INSTITUTE	 한국교통안전공단 Korea Transportation Safety Authority	 한국도로공사	 한국도로교통공단 KOROAD	 을포랜드	 A2Z AUTONOMOUS	
 서울특별시버스운송사업조합	 아이엘 I&D(주) I Live I Design Human nature & inferior	 NZERO ^o	 MONIC Maximum Quality-based Electronic	 Weefleet 유희인	 SKT Enterprise	
 NTR 네트렉	 동림TNS	 롯데이노베이트	 SOUL (주)소울인포테크	 싸인텔레콤	 IntelliVIX The Safest World with AI	
 티머니	 HYUNDAI Rotem HEAVY INDUSTRIES	 GRI Research Global Revolutionary Insight	 GS 건설	 대전관광공사	 부산티앤씨	 송암시스콤
 EZENSYS	 TRACOM	 평택당진 도선협회	 현대건설	 HD Corp. 주식회사 에이치디	 KOTCIA (사)한국교통카드산업협회	

문의처 www.kits.or.kr Tel. 02.3413-0041~2 E-mail. info@kits.or.kr

환영사

존경하는 한국ITS학회 회원 여러분,

아름다운 제주에서 열리는 2026년 한국ITS학회 춘계학술대회에 참석해 주신 여러분을 진심으로 환영합니다. 이번 학술대회의 주제는 “AI-Driven ITS를 위한 연구·산업·정책의 연결”입니다. 이 주제는 단순한 학술적 논의를 넘어, 우리가 곧 맞이하게 될 매우 중요한 국제적 무대와 깊이 연결되어 있습니다. 바로, 2026년 강릉 ITS 세계총회입니다. ITS 세계총회는 전 세계 ITS 분야의 최신 기술과 정책, 산업이 집결하는 가장 권위 있는 글로벌 플랫폼입니다. 대한민국에서 이 행사가 개최된다는 것은 우리에게 매우 큰 기회이자 동시에 책임이기도 합니다.

이번 춘계학술대회는 그 세계총회를 준비하는 과정에서 우리의 방향성과 경쟁력을 점검하는 중요한 출발점이라고 생각합니다. AI 기술은 이미 ITS의 모든 영역을 빠르게 변화시키고 있습니다. 자율주행, 교통운영, 안전관리, 물류 최적화 등 각 분야에서 AI 기반 혁신이 현실이 되고 있습니다. 그러나 글로벌 경쟁 속에서 기술 하나만으로는 충분하지 않습니다. 이제는 연구, 산업, 정책이 얼마나 긴밀하게 연결되어 있는지가 국가 경쟁력을 좌우하는 핵심 요소가 되고 있습니다. 우리는 스스로에게 질문해야 합니다. “우리는 세계 무대에서 무엇을 보여줄 준비가 되어 있는가?”

이번 학술대회는 그 답을 함께 만들어가는 자리입니다. 연구 성과를 산업으로 연결하고 산업의 수요를 정책으로 반영하며 정책을 통해 혁신을 가속하는 이러한 연결 구조를 더욱 강화해야 합니다. 특히 우리 학회가 중심이 되어 학계, 산업계, 정부를 잇는 협력 플랫폼으로서의 역할을 더욱 적극적으로 수행해야 할 시점입니다.

존경하는 회원 여러분, 2026년 강릉 ITS 세계총회는 대한민국 ITS의 현재를 보여주는 자리가 아니라, 미래를 제시하는 무대가 되어야 합니다. 그리고 그 출발점이 바로 오늘 이 제주에서의 만남이라고 생각합니다. 이번 학술대회가 대한민국 ITS가 글로벌 리더로 도약하기 위한 실질적인 준비와 협력의 계기가 되기를 기대합니다.

끝으로, 학술대회를 준비해 주신 학술위원회와 관계자 여러분의 노고에 깊이 감사드리며, 참석하신 모든 분들께서 뜻깊은 교류와 함께 제주에서의 소중한 시간도 함께 누리시기를 바랍니다.

감사합니다.

한국ITS학회 회장

박 동 주

2026년 춘계학술대회 위원회 명단

조직위원회

- 위 원 장 : 서동환(국립한국해양대학교)
- 부위원장 : 김동규(서울대학교), 박만복(국립한국교통대학교), 박신형(서울시립대학교), 서영우(한국방송공사), 윤일수(아주대학교), 정구민(국민대학교)
- 위 원 : 김상엽(전북연구원), 김영길(서울시립대학교 차세대통신혁신융합대학사업단), 김인희(KAIST), 김회경(동아대학교), 박호철(명지대학교), 원종훈(인하대학교), 윤경준(배재대학교), 이승현(서울시립대학교), 이향숙(인천대학교), 정연식(영남대학교), 차영일(삼보기술단), 최병호(한국전자기술연구원)

학술위원회

- 위 원 장 : 서정일(동아대학교)
- 부위원장 : 소재현(아주대학교)
- 위 원 : 강창묵(한양대학교), 김원열(조선대학교), 김진희(연세대학교), 도우석(계명대학교), 박영훈(아주대학교), 박준영(한양대학교), 배범준(부산대학교), 심지섭(한남대학교), 여지호(가천대학교), 이은학(경일대학교), 정재훈(군산대학교), 조신형(홍익대학교), 최성택(한양대학교)

2026년 춘계학술대회 프로그램

일시: 2026년 4월 23일(목)

발표장	금호세계교육관 A동401호	금호세계교육관 A동501호	금호세계교육관 A동503호	금호세계교육관 A동505호	금호세계교육관 A동506호	금호세계교육관 A동507호	금호세계교육관 A동603호	금호세계교육관 B동115호	금호세계교육관 B동116호	금호세계교육관 B동309호	금호세계교육관 B동315호	금호세계교육관 B동316호	
12:00-17:00	등록												
13:30-15:00	특별세션 A-1 (인공연구실) 인공지능 교통장벽 의사결정 지원을 위한 빅데이터 활용 연구	특별세션 B-2 (한국교통연구원) 무인 자율주행 서비스 상용화를 위한 안전관리 방안	특별세션 B-3 (한국교통안전공단-1) 차세대 뉴모빌리티 정책과 실증 I	특별세션 B-4 (한국도로공사) 자율주행시대 디지털 도로 인프라 도입 방안	특별세션 B-5 (한국교통안전공단) 주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발	특별세션 B-6 (한국건설기술연구원) 자율주행 리빙랩 운영 방안	특별세션 B-7 (한국교통정책학회) Lv4 자율주행 데이터 상호호환성 확보를 위한 표준데이터 체계	특별세션 B-8 (차세대융합기술연구원) 자율주행시대 고위험 사고 인자 도출 및 위험 상황 예측·교통법규 위반 기준 고도화 세션	특별세션 B-9 (한양대학교) 인간 중심 자율주행기술 기반 미래교통시스템 혁신	특별세션 B-10 (K400)비즈) 데이터 기반 로봡 서비스 실증 및 평가 기술	특별세션 B-11 (KADIF-1) 자율주행 E2E AI 기술개발 동향 및 국내 E2E 데이터 구축 현황		
15:00-15:10	Coffee Break												
15:10-16:40	특별세션 C-1 (한국교통연구원-1) 자율주행차 선별자동차역 기술 고도화 및 핵심 수출입 서비스 개발 방향	특별세션 C-2 (한국전자기술연구원) 자율주행차 전장부품 결합 대응 및 기능 재구성을 통한 안전성 향상 기술 개발	특별세션 C-3 (한국교통안전공단-2) 차세대 뉴모빌리티 정책과 실증 II & 모빌리티 규제샌드박스 설명회	특별세션 C-4 (차세대융합기술연구원-1) 2026 경기도 미래모빌리티센터 입주기업 성과공유회	특별세션 C-5 (한국도로공사-1) AI 기반 교통관리 및 모빌리티 서비스 발전	특별세션 C-6 (한국건설기술연구원-1) 2026년 도로교통분야 4차산업 학술교류 세미나	특별세션 C-7 (한국건설기술연구원-2) 자율주행 모빌리티 수용을 위한 통신표지 기술 개발 방향 모색	특별세션 C-8 (한국도로교통데이터진흥회) 국토교통 데이터 스페이스 구축 및 활성화 방안	특별세션 C-9 (한국도로공사) 데이터 기반 철도서비스 및 철도종사자 안전성 확보 방안 마련	특별세션 C-10 (KADF) 자율주행기술개발 혁신사업 경쟁력 소관 R&D 연구진행 현황 및 계획	특별세션 C-11 (한국도로기술연구원) 하이퍼루브 연구 개발 추진 방안 (Closed Session)	특별세션 C-12 (한국도로교통공단-2) 교통안전연구 (한국도로교통공단 동서학술지) 우수 연구 논문 발표	
15:10-16:40	▶ 지속가능한 ITS 산업생태계 조성 TF 활동보고												
16:40-17:00	Coffee Break												
17:00-17:20	▶ 개회식 • 개회사: 박동주(한국ITS학회장) • 축사: 한국교통연구원장, 경찰청 차안정책연구소장, 한국지능형교통체계협회장, 재규GS방송 총국장												
17:20-17:40	▶ 기업혁신소개 • (주)모빌테크 • (주)타이아랩												
17:40-18:10	▶ 기조강연 안전하고 효율적인 지능형 교통 시스템을 위한 솔루션 Collaborative Driving: 이종만 교수(KAIST)												
18:10	▶ 만찬												

포스터 세션 및 부스 전시

일시: 2026년 4월 24일(금)

발표장	금호세계교육관 A동401호	금호세계교육관 A동501호	금호세계교육관 A동503호	금호세계교육관 A동505호	금호세계교육관 A동506호	금호세계교육관 A동507호	금호세계교육관 A동603호	금호세계교육관 B동115호	금호세계교육관 B동116호	금호세계교육관 B동309호	금호세계교육관 B동315호	금호세계교육관 B동316호	
9:30-16:00	등록												
09:30-11:00	특별세션 D-1 (대구교통공사) 대구형 MaaS와 미래형 모빌리티 혁신성장 전략	특별세션 D-2 (한국도로교통공단-1) Lv4 대응 교통안전 인프라 표준 및 평가기술 개발	특별세션 D-3 (한국도로공사-2) 신기술 도입을 통한 고속도로 안전관리 강화	특별세션 D-4 (한국교통연구원-3) 디지털 트윈 기반 GTX 환승안전 및 혁신기술 개발	특별세션 D-5 (인천테크노파크/교통물류전략연구소) 차세대 비이오 물류: 블록체인 기반 AIoT 콜드체인	연구논문세션 A-1 (자율주행 인지 및 센서융합)	연구논문세션 A-2 (자율주행 경로계획 및 제어)	연구논문세션 A-3 (C-ITS 및 첨단차량인공지능)	연구논문세션 A-4 (첨단교통안전 I (사고분석))	연구논문세션 A-5 (보행, 역사 내 군중흐름 분석)	연구논문세션 A-6 (교통수요 및 통행배정)	연구논문세션 A-7 (철도교통 운영 및 수요)	
11:00-11:10	Coffee Break												
11:10-12:40	특별세션 E-1 (모빌테크) 자율주행 E2E AI 및 Physical 디지털 트윈	특별세션 E-2 (한국건설기술연구원-3) 미래 스마트 도로를 위한 시각EARTH	특별세션 E-3 (한국철도공사-1) AI·데이터 기반 철도 안전 및 인프라 R&D 현황	특별세션 E-4 (한국해양대학교) 무인 고속점 군집 추정 기술 연구	특별세션 E-5 (한국교통연구원-2) ITS 기반 인자도로사업 추진을 위한 디지털 운영체계 전환 및 정책 과제	특별세션 E-6 (한국교통연구원-4) 2026년 여객철도신호체계 및 이동성 데이터 기반 O/D 구축 고도화 방향	연구논문세션 B-1 (자율주행 혼재교통류 안전)	연구논문세션 B-2 (신규 박사학위수여자 세션)	연구논문세션 B-3 (첨단교통안전 II (안전정책·단속))	연구논문세션 B-4 (철도교통 안전 및 인프라)	연구논문세션 B-5 (UAM 및 드론 교통기술)		
12:40-13:30	중식												
13:30-15:00	연구논문세션 C-1 (자율주행 서비스 및 운영)	연구논문세션 C-2 (고령자 교통안전 및 문화)	연구논문세션 C-3 (교통류 이론 및 시뮬레이션)	연구논문세션 C-4 (교통 데이터 분석 및 AI)	연구논문세션 C-5 (대중교통 계획 및 운영)	연구논문세션 C-6 (지속가능 교통 및 환경정책)	연구논문세션 C-7 (수요응답형 교통(DRT))	연구논문세션 C-8 (크라우드스싱 물류 및 마이크로모빌리티)	연구논문세션 C-9 (도로 인프라 관리 및 피스택)	연구논문세션 C-10 (도시 모빌리티 서비스 및 주차)	연구논문세션 C-11 (교통수요 제어 및 최적화)	연구논문세션 C-12 (신진연구자 탐타어 연구발표)	

포스터 세션 및 부스 전시

일시: 2026년 4월 25일(토)

시간	내용
9:30-11:50	워크숍 및 세미나/ 견학
12:20-13:30	중식

PROGRAM

특별 Session

23일 13:30-15:00

특별 Session A-1

인천연구원(23일 11:00-12:30)

발표장 : 금호세계교육관A동401호

주제 : 인천시 교통정책 의사결정 지원을 위한 빅데이터 활용 연구

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	야간 시간대 교통카드 및 택시 데이터를 활용한 MCLP 기반 인천시 가변형 정류장 및 노선 최적화	인천연구원	김지규
2	인천시 스마트 모빌리티 도입 및 운영 전략	인천연구원	이태헌
3	통신데이터 기반 인천광역시 통행패턴 사례 분석	SK텔레콤	최찬영
좌장	김종형(인천연구원)		
토론	신성일(명지대학교), 이향숙(인천대학교), 황창서(스마트도시개발위원회)		

특별 Session B-1

한국도로교통공단

발표장 : 금호세계교육관A동401호

주제 : 교통안전 향상을 위한 단속기술 · 데이터 활용 및 운영 인프라 구축

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	교차로 꼬리물기 무인교통단속장비 개발 연구	한국도로교통공단	인병철
2	무인교통단속용 장비 설치효과와 영향범위에 관한 실증 분석	한국도로교통공단	백건하
3	재난안전 데이터 분석을 통한 도시교통정보센터 재난 영역 확대 방안	한국도로교통공단	권민수
4	신약도로 기반 자율주행차 평가 인프라 구축 현황 및 평가방법	한국도로교통공단	진태희
좌장	윤진수(한국도로교통공단)		
토론	박순용(서울연구원), 박상민(한국교통연구원)		

특별 Session B-2

한국교통연구원, 카카오모빌리티

발표장 : 금호세계교육관A동501호

주제 : 무인 자율주행서비스 상용화를 위한 안전관리 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 기반 여객자동차운수사업 최초대응 현상서비스 요구사항 분석	한국교통연구원	김탁영
2	플랫폼이 만들어가는 자율주행 생태계	카카오모빌리티	김진규
3	고속도로 사고대응 현황 및 이슈	한국도로공사	박지현
4	자율주행 원격운영 기술	라이드플렉스	정하욱
좌장	강경표(한국교통연구원)		
토론	김건우(카카오모빌리티), 이재광(한국도로공사), 정하림(한국교통연구원), 정하욱(라이드플렉스)		

특별 Session B-3

한국교통안전공단-1

발표장 : 금호세계교육관A동503호

주제 : 시시대 뉴모빌리티 정책과 실증 I

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	운행관리시스템 활용방안	한국교통안전공단	노영문
2	드론 상황관리센터 운영 - 식별관리에서 교통관리로	한국교통안전공단	조윤희
3	데이터 · AI 기반 운수회사 및 도로 안전관리 방안	한국교통안전공단	권수민
좌장	장유림(한국교통안전공단)		
토론	손상훈(제주연구원), 권오훈(계명대), 천춘근(TOMMS)		

특별 Session B-4**한국도로공사**

발표장: 금호세계교육관A동505호

주제 : 자율주행시대 디지털 도로 인프라 도입 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행시대 디지털 교통안전표지체계 도입 방안	한국도로공사	강성인
2	L4 자율주행차 지원을 위한 도로 인프라 발전 방향	한국건설기술연구원	윤덕근
3	자율주행 도로교통 인프라 모니터링 기술 개발	한국도로공사	남병길
좌장	김진태 (국립한국교통대학교)		
토론	류승기(한국건설기술연구원), 서원호(한양대학교), 이기영 (한국도로공사), 윤재용(한국도로협회), 허완철(예도시스템)		

특별 Session B-5**한국교통안전공단**

발표장: 금호세계교육관A동506호

주제 : 주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	과제 1분기 연구 추진 현황 점검	에듀이십오	김봉훈
2	한국법제연구원 1분기 연구성과 및 향후 계획	한국법제연구원	조용혁
3	아주대학교 1분기 연구성과 및 향후 계획	아주대학교	윤일수
좌장	김사우(한국교통안전공단)		

특별 Session B-6**한국건설기술연구원**

발표장: 금호세계교육관A동507호

주제 : 자율주행 리빙랩 운영방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행리빙랩 운영방안	한국건설기술연구원	변상철
좌장	변상철(한국건설기술연구원)		
토론	김재석(동강대학교), 박제진(전남대학교), 김경범(제주도청), 정의용(주엔제로)		

특별 Session B-7**한국지능형교통체계협회**

발표장: 금호세계교육관A동603호

주제 : Lv4 자율주행 데이터 상호호환성 확보를 위한 표준데이터 체계

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 데이터 규격화 연구 진행 현황	(주)스페이스인사이트	송재인
2	자율주행 메타데이터 규격화 연구 진행 현황	영남대학교	남상기
3	표준데이터 관리 및 데이터 표준적합성 시험시스템 소개 및 연구 진행 현황	(주)지슨	홍원선
4	표준데이터 체계를 위한 전반적 연구 진행 현황 및 이슈사항 공유	한국지능형교통체계협회	황정운

특별 Session B-8**차세대융합기술연구원**

발표장: 금호세계교육관B동115호

주제 : 자율주행시대 고위험 사고 인자 도출 및 위험 상황 예측 · 교통법규 위반 기준 고도화 세션

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행시대 고위험 사고 인자 · 위험 상황 예측 및 단속기술 개발	차세대융합기술연구원	김형주
2	자율주행차량 혼재 시 고위험 예측 모델 개발	한국교통연구원	이승봉
3	자율주행 시대 주요 교통법규 위반 항목 선정 및 단속기준 고도화 연구	한국도로교통공단	이재명
좌장	박재진(전남대학교)		
토론	김남선(경찰대학교 치안정책연구소), 박신형(서울시립대학교), 장기훈(한국진흥형교통체계협회), 이동주(한국도로공사 도로교통연구원)		

특별 Session B-9**한양대학교**

발표장: 금호세계교육관B동116호

주제 : 인간 중심 자율주행기술 기반 미래교통시스템 혁신

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	물리적 한계를 넘어 마음의 경계로: 교통안전분석의 새로운 접근, 심리적 안전 마진	한양대학교	오철
2	잠들지 않는 도시의 이동권 보장: 서울시 자율주행 서비스 운영 성과와 사회적 가치	서울연구원	이설영
3	자율주행차 교통사고 매커니즘 이해: X시와 확률적 추론 활용	한양대학교	이송하
좌장	김태형(한국교통연구원)		
토론	고지은(하이스트시스템매틱스), 박수빈(한국운수산업연구원), 박지원(한국도로교통공단), 박현진(한국도로공사), 임희섭(청주연구원), 송태진(충북대학교), 조영(한국건설기술연구원), 조현우(SK텔레콤), 조은솔(하이스트시스템매틱스), 주신혜(한국교통안전공단)		

특별 Session B-10**(주)아이비스**

발표장: 금호세계교육관B동309호

주제 : 데이터 기반 로봇 서비스 실증 및 평가 기술

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	디지털 트윈 기반 다목적 로봇 통합 관제시스템 개발	(주)아이비스	이윤희
2	탑승형 모바일 로봇의 디지털 트윈 구현을 위한 다중 로봇 시뮬레이션 환경 구축	(주)아이비스	김상민
3	로봇용 정보모델 개발	강원대학교	박홍성
4	테스트베드 구축을 위한 Unity 기반 가상 시뮬레이션 활용 사전 설계 최적화 연구	한국섬유기계융합연구원	이정환
5	로봇 서비스 디지털 트윈 구현을 위한 가상환경 설계 방안 연구	한국로봇산업진흥원	박문우
좌장	박만복(한국교통대학교)		
토론	황정현((주)아이비스), 이채원(한국로봇산업진흥원), 이재용(한국섬유기계융합연구원)		

특별 Session B-11**KADIF-1**

발표장: 금호세계교육관B동315호

주제 : 자율주행 E2E AI 기술개발 동향 및 국내 E2E 데이터 구축 현황

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	E2E AI 개발 전략	포티투닷	미정
2	글로벌 자율주행 E2E AI 개발 동향과 데이터 활용 방안	KIAP	김봉섭
3	자율주행 E2E 데이터 구축 가이드라인 발표	ETRI	민경욱
좌장	민경욱(ETRI)		
토론	성중훈(SWM), 오광만(테슬라시스템), 정민우(라이드플러스), 한지형(A2Z),		

특별 Session

23일 15:10-16:40

특별 Session C-1 한국교통연구원 발표장: 금호세계교육관A동401호

주제 : 자율주행차 선박자동하역 기술 고도화 및 해상 수출입 서비스 개발 방향

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행차 해상 수출입 서비스 기술개발 방향	한국교통연구원	신승진
2	(가칭) 자율주행차 선적 터미널 운영 체계 구축 방향	엘케이시스(주)	이휘원
3	(가칭) AI 기반 자율주행차 하역계획 최적화 기술개발 방향	현대글로벌비스(주)	전지원
4	(가칭) 자율주행차 하역작업 스마트 모니터링 기술개발 방향	(주)맵퍼스	임건택
좌장	노홍승(한국교통연구원)		
토론	정승호(홍이해운), 조 민(에스유엠), 김용훈(원주대학교)		

특별 Session C-2 한국전자기술연구원 발표장: 금호세계교육관A동501호

주제 : 자율주행차 전장부품 결함 대응 및 기능 재구성을 통한 안전성 향상 기술 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	차량 Zonal TSN 환경에서 사전 캐싱된 CORECONF를 활용한 로컬 TAS 재구성기법	한국전자기술연구원	김형래
2	CBS 기반 비디오 스트리밍 보호 성능의 실험적 검증	한국전자기술연구원	송현수
3	vHIL 프레임워크 확장을 위한 CAN FD 인터페이스 구현	한국전자기술연구원	이하림
4	차량용 TAS 스케줄링을 위한 Greedy 및 ILP 알고리즘의 성능 비교 분석	한국전자기술연구원	황서경
좌장	박부식(한국전자기술연구원)		

특별 Session C-3 한국교통안전공단-2 발표장: 금호세계교육관A동503호

주제 : 시시대 뉴모빌리티 정책과 실증 II & 모빌리티 규제샌드박스 설명회

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행차 및 Edge-rsu 센싱 원시데이터 활용 실증	명지대학교	전진숙
2	도로 포트홀 및 버스 외부 위험요소·내부 위험인자를 AI 전자노선도를 이용하여 위험 사전 알림 시스템구축	플랫폼아이티	이창수
3	원격운전 기술을 활용한 모빌리티 서비스 고도화 실증	KIA	권순우
4	모빌리티 규제샌드박스 설명회	한국교통안전공단	김두겸
좌장	이승택(한국교통안전공단)		
토론	박신형(서울시립대학교), 송태진(충북대학교)		

특별 Session C-4 차세대융합기술연구원-1 발표장: 금호세계교육관A동505호

주제 : 2026 경기도미래모빌리티센터 입주기업 성과공유회

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	ITS와 양자보안기술 동향	(주)모빌위더스	박하나
2	AI 영상분석 기반 도시교통 관제분석 기술개발	시티아이랩(주)	이재현
3	메타(Meta) 자율주행 기반 차세대 모빌리티 기술개발	(주)에스유엠	김종근
좌장	김형주(차세대융합기술연구원)		

특별 Session C-5**한국도로공사-1**

발표장: 금호세계교육관A동506호

주제 : AI 기반 교통관리 및 모빌리티 서비스 발전

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	미래 모빌리티 발전 방향	롯데이노베이트	이재준
2	AI 영상분석 기반 고속도로 이상상황 판단 기술	유원지리정보시스템	최안구
3	K-MaaS 기반, 여행 Total-Service 플랫폼 구축	한국도로공사	송권수

특별 Session C-6**한국건설기술연구원-1**

발표장: 금호세계교육관A동507호

주제 : 2026년 도로교통분야 4대기관 학술교류 세미나

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	도로의 패러다임 변환 SDR(Software Defined Road)	한국건설기술연구원	윤덕근
2	AX 기반의 고속도로 서비스 개선	한국도로공사	이사현
3	민자고속도로 선투자 정책효과 분석과 정책 제언	국토연구원	김승훈
4	도로교통 안전을 위한 국제표준 동향(ISO/TC 241을 중심으로)	한국교통연구원	박상민
좌장	한승연(한국건설기술연구원)		
토론	박범진(한국건설기술연구원), 이승준(한국도로공사), 김혜란(국토연구원), 우승국(한국교통연구원)		

특별 Session C-7**한국건설기술연구원-2**

발표장: 금호세계교육관A동603호

주제 : 자율주행 모빌리티 수용을 위한 통신표지 기술 개발 방향 모색

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 모빌리티 수용을 위한 통신표지 기술 개발 방향 모색	한국건설기술연구원	이준형
좌장	김형수(한국건설기술연구원)		
토론	전영식(경찰청), 강윤원(도로교통공단 교통과학연구원), 오철(한양대학교)		

특별 Session C-8**한국국토교통데이터진흥협회**

발표장: 금호세계교육관B동115호

주제 : 국토교통 데이터 스페이스 구축 및 활성화 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	국토교통 데이터 스페이스 구축 연구기획	한국교통연구원	천승훈
2	글로벌 디지털교역을 위한 데이터 스페이스와 디지털 트리어링 하우스	국제데이터연구협력기구	백종인
3	AI Native를 위한 AI Ready Data	한국국토교통데이터진흥협회	정재현
좌장	김홍철(한국국토교통데이터진흥협회)		
토론	권태규(KAIA), 김용주(한국도로공사), 심재현(한국부동산원), 김정수(LX)		

특별 Session C-9

한국철도공사

발표장: 금호세계교육관B동116호

주제 : 데이터 기반 철도시스템 및 철도종사자 안전성 확보 방안 마련

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	철도종사자의 안전성 향상을 위한 혁신기술 개발	한국철도공사	김정욱
2	CBM 기술 기반의 차세대 고속열차 운영 효율화 및 철도 안전확보 전략	한국철도공사	김승환
좌장	김동규(서울대학교)		
토론	최진석(철도경제연구소), 김경택(한국교통연구원), 최성택(한양대학교), 홍정열(계명대학교), 노준기(한국철도공사)		

특별 Session C-10

KADIF

발표장: 금호세계교육관B동309호

주제 : 자율주행기술개발혁신사업 경찰청 소관 R&D 연구진행 현황 및 계획

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	도로교통 통합관제시스템 시흥통합TB 실증운영 추진현황 및 계획	한국지능형교통체계협회	강원명
2	교통안전 인프라 서비스 플랫폼 연계 자율주행 실증 방안	한국자동차연구원	이용기
3	타지역 적용을 위한 음영구간 정보생성 및 운영관리 플랫폼 고도화 연구 (화성시 리빙랩 연계)	한국전자기술연구원 시응용연구센터	정성환
4	자율주행 순찰 서비스 기술개발 현황 및 실·검증 계획	한국지능형교통체계협회	어효경
좌장	이창훈(자율주행기술개발혁신사업단)		
토론	김중형(인천연구원), 천승훈(한국교통연구원), 김미나(인공지능산업융합사업단), 소재현(아주대학교)		

특별 Session C-11

한국철도기술연구원

발표장: 금호세계교육관B동315호

주제 : 하이퍼튜브 연구개발 추진 방안

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
좌장	민재홍(한국철도기술연구원)		

특별 Session C-12

한국도로교통공단-2

발표장: 금호세계교육관B동316호

주제 : 교통안전연구(한국도로교통공단 등재학술지) 우수 연구 논문 발표

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	보행자와 실외 배송로봇 공존을 위한 보도 운영방안 연구	한국도로교통공단	이재명
2	주·보조 신호 발기 관계 기반 보조장치 회도 기준 개선	한국도로교통공단	고정호
3	고령자 운전면허제도 개선방안 연구 - 정기적성검사를 중심으로 -	한국도로교통공단	백선규
좌장	한상진(서울대학교)		
토론	김수재(성결대학교), 김희경(동아대학교), 육동형(강원대학교)		

특별 Session**24일 09:30-11:00****특별 Session D-1****대구교통공사****발표장: 금호세계교육관A동401호****주제 : 대구형 MaaS와 미래형 모빌리티 혁신성장 전략**

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	대구형 MaaS 플랫폼 - 사용자 서비스를 중심으로-	대구교통공사	이덕상
2	Urban Mobility Transition: 도시 교통 패러다임 전환과 철도 기반 모빌리티	대한교통학회	홍정열
좌장	한근수 (대구교통공사)		
토론	이향숙(인천대학교) 외 3명		

특별 Session D-2**한국도로교통공단-1****발표장: 금호세계교육관A동501호****주제 : Lv.4 대응 교통안전 인프라 표준 및 평가기술 개발**

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	자율주행 대응을 위한 교통안전시설 개선방안	한국도로교통공단	박지원
2	시뮬레이션 활용 자율주행 대응을 위한 교통안전시설 인프라 정보제공 효과 평가	한국과학기술원	김준석
3	자율주행 대응을 위한 교통안전시설 인프라 제어전략 개발 및 가이드라인 구성	한국지능형교통체계협회	한재석
좌장	강운원(한국도로교통공단)		
토론	고지은(주하이스트시스템즈), 박성민(한국교통안전공단), 조영(한국건설기술연구원)		

특별 Session D-3**한국도로공사-2****발표장: 금호세계교육관A동503호****주제 : 신기술 도입을 통한 고속도로 안전관리 강화**

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	이상기후 대비 비탈면 위험예측 강화(IoT계측 고도화)	한국도로공사	박정관
2	지능형 기상현실 재난대응 훈련플랫폼 개발	한국도로공사	최정민
3	도로교통 공공 서비스·인프라의 암호화 사이버위협에 대한 네트워크 행위기반 보안관제 기술 개발	한국도로공사	김영도

특별 Session D-4

한국교통연구원-3

발표장: 금호세계교육관A동505호

주제 : 디지털 트윈 기반 GTX 환승안전 및 혁신기술 개발

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	디지털 트윈 기반 GTX 환승안전 및 혁신기술 추진방안	한국교통연구원	박준식
2	GTX 환승체계 접근편의성 개선 기술 개발 방향	한국교통연구원	윤상원
3	GTX 환승센터 디지털 트윈 구축 및 혼합도 예측 기술 개발 방향	한국철도기술연구원	손승오
4	이용자 환승 최적화 기술 및 스마트 안전 환승 UX/UI 설계 방향	한국건설기술연구원	김영록
5	GTX 환승센터 AX플랫폼 데이터허브 개발 및 통합연동 방향	이에스이(주)	김익석
6	GTX 환승센터 접근편의성 진단·분석 시스템 설계 및 개발 방향	(주)소울인포테크	김억주
좌장	박준식(한국교통연구원)		
토론	이종덕(한국교통연구원), 정은비(한국철도기술연구원), 진만수(한국건설기술연구원), 이휘(이에스이(주)), 한승이((주)소울인포테크)		

특별 Session D-5

인천대학교/교통물류전략연구소

발표장: 금호세계교육관A동506호

주제 : 차세대 바이오 물류: 블록체인 기반 AIoT 콜드체인

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	블록체인 기반 바이오 AIoT 플랫폼 개발 연구	인천대학교	오수영
2	바이오 콜드체인 온실가스 배출량 산정 체계의 AIoT 기반 개선 연구	교통물류전략연구소	이지원
3	바이오 물류 전문인력 양성을 위한 콜드체인 교육과정 개발	교통물류전략연구소 배재대학교	김민수 윤경준
4	바이오 콜드체인 운영수준 평가를 위한 통합 KPI 체계 개발 연구	인천대학교	이인호 이향숙
좌장	추상호(홍익대학교)		
토론	남대식(인하대학교), 허남준(순천대학교), 정재용(서영엔지니어링), 변희복(소프트퍼즐)		

특별 Session

24일 11:10-12:40

특별 Session E-1**모빌테크**

발표장: 금호세계교육관A동401호

주제 : 자율주행 E2E AI 및 Physical 디지털 트윈

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	Physical AI 기반 고정밀 시뮬레이션을 활용한 자율주행 E2E 모델의 가상 학습 체계 구축	(주)모빌테크	김재승
2	E2E AI 데이터 기반 실시간 관제 플랫폼 및 데이터 셋 개발 현황 공유	지능형자동차부품 진흥원	양은주
3	고속 자율주행 레이싱 플랫폼에서의 E2E AI 적용 및 극한 상황 제어 기술	한국과학기술원	심현철
좌장	김재승(주)모빌테크)		
토론	김재승(주)모빌테크), 양은주(지능형자동차부품진흥원), 심현철(한국과학기술원)		

특별 Session E-2**한국건설기술연구원-3**

발표장: 금호세계교육관A동501호

주제 : 미래 스마트 도로를 위한 시작: EARTH

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	재활용 플라스틱 모듈러 기반의 스마트 도로 인프라 기술 개발	한국건설기술연구원	정준화
2	모듈러 포장 인입형 도로교통 환경 감지 센서 기술 개발	한국건설기술연구원	박원일
3	로컬엠티기반 악천후 대응 지능형 속도 적응 시스템(SA) 구현 전략 및 알고리즘	한국건설기술연구원	김용석
좌장	정준화(한국건설기술연구원)		
토론	박재진(전남대학교), 류준범(한국도로교통공단), 박순용(서울연구원)		

특별 Session E-3**한국철도공사-1**

발표장: 금호세계교육관A동503호

주제 : AI · 데이터 기반 철도 안전 및 인프라 R&D 현황

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	AI기반 철도건널목 위험 예측 분석시스템	한국철도공사	김현중
2	승강장안전문 안전사고 예방을 위한 핵심기술	한국철도공사	방현수
3	IoT기반 레일절손 및 궤도변형 모니터링 시스템 고도화	한국철도공사	배병수
4	화차 결함검출 지상설비 실용화 연구	한국철도공사	강창휘
좌장	권세곤(한국철도공사)		
토론	백인철(한국철도공사), 김현중(한국철도공사), 방현수(한국철도공사), 배병수(한국철도공사), 강창휘(한국철도공사)		

특별 Session E-4 한국해양대학교

발표장: 금호세계교육관A동505호

주제 : 무인 고속정 군집 추정 기술 연구

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	경량형 모노콥터의 안정적인 영상획득에 관한 연구	(주)우리웍스	김균동
2	복합 해기상 시나리오 및 기상 시제를 활용한 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축	국립한국해양대학교	박시은
3	해상 감시 강화를 위한 레이더-RGB 영상 정합 기법에 관한 연구	국립한국해양대학교	배주원
4	SeaDronesSee 데이터셋을 이용한 시뮬레이션 보트 탐지에서 최신 객체 탐지 모델의 유효성 분석	국립한국해양대학교	양민석
좌장	성주현(한국해양대학교)		
토론	성주현(한국해양대학교), 이해원(한국해양대학교), 서동환(한국해양대학교), 김균동((주)우리웍스)		

특별 Session E-5 한국교통연구원-2

발표장: 금호세계교육관A동506호

주제 : ITS 기반 민자도로사업 추진을 위한 디지털 운영체계 전환 및 정책 과제

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	관리운영권 만료 후 시설물 인수인계를 위한 민자도로 디지털화 방안	한국교통연구원	조용훈
2	민자고속도로 스마트톨링 도입에 따른 주요 쟁점 검토 및 사회적 수용성 제고 방안	한국교통연구원	이현정
좌장	서종원(한국교통연구원 민간투자SOC관리지원)		
토론	배운경(국토연구원), 정창용(경남연구원 공공투자관리센터), 배범준(부산대학교)		

특별 Session E-6 한국교통연구원-4

발표장: 금호세계교육관A동507호

주제 : 2026년 여객통행실태조사 및 이동성 데이터 기반 O/D 구축 고도화 방향

번호	발 표 제 목	기 관	발표자
1	2026년 여객통행실태조사 방향	한국교통연구원	정승환
2	이동성 데이터 기반 O/D 구축 고도화	한국교통연구원	강국수
좌장	조종석(한국교통연구원)		
토론	김용훈(캐나다 University of Windsor), 양재환(서울연구원), 최성택(한양대학교)		

학술발표 Session I**24일 09:30-11:00****SESSION A-1****자율주행 인지 및 센서융합****발표장 : 금호세계교육관A동507호****좌장: 고우리(아주대학교)**

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	Mahalanobis 거리와 3D IoU를 통한 자율주행용 LiDAR 기반 다중 객체 추적 성능 개선	김동영, 문승재, 원종훈
2	Camera-LiDAR 센서 퓨전 기반 Semantic 동적 ROI 설정을 통한 자율주행 인지 효율 개선	박성준, 최재원, 문승재, 원종훈
3	디퓨전 기반 악천후 데이터 생성 모델 분석 연구	홍택수, 김소희, 권장우
4	End to end 자율주행 모델의 효율적 비전 토큰 압축 방법	한승민, 공승현
5	시계열 학습을 통한 4D 레이더 기반 인간 자세 추정	임찬빈, 공승현

SESSION A-2**자율주행 경로계획 및 제어****발표장 : 금호세계교육관A동603호****좌장: 전용현(명지대학교)**

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	제어권 전환 예측 모델 기반 선제적 자율주행 취약 구간 검지기법 개발	지정훈, 오철
2	차량 횡방향 경로 추종을 위한 안정성 지표 기반 이벤트 트리거형 모델예측제어	서민재, 김건태, 강창목
3	기하학적 도메인 확장 기반 차선 변경 경로 계획 및 LPV-MPC 제어	김태웅, 김건태, 강창목
4	노면 마찰 특성 피드백을 결합한 자율주행용 DWA 알고리즘의 경로 추종 성능 향상	정윤태, 양서준, 김용준, 원종훈
5	Camera-LiDAR Sensor Fusion Costmap 기반 VALOR Lattice Planner를 이용한 자율주행 경로 및 속도 계획	이강태, 김예린, 장원정, 김용준, 문승재, 원종훈
6	차량 대열 안정성 향상을 위한 자율주행차량의 적응형 가가속도 제어 전략	이은탁

SESSION A-3**C-ITS 및 첨단차량안전기술****발표장 : 금호세계교육관B동115호****좌장: 박세현(한국건설기술연구원)**

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	LLM을 활용한 차선변경 목적기반 차량 궤적 예측	김주영, 소재현
2	5G NR 사이드링크 기반 차량통신에서 정밀 거리 측정 및 위치 추정	김영길
3	ADAS 시험평가 엡지케이스 분석을 통한 페달 오조작 방지 장치 시험평가 시나리오 개발 방향 연구	김도연, 장준혁, 유현식, 김기주, 정대훈, 김준년
4	내비게이션 실시간 교통신호 상태정보 제공 서비스의 교통 안전 및 운영 효율성 영향 분석	이태건, 김진태

SESSION A-4

첨단교통안전 I (사고분석)

발표장 : 금호세계교육관B동116호

좌장 : 고은정(한남대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	시계열 거동 분석 기반의 차로 변경 최소 안전거리 산정 연구	정동훈, 미혜선, 박기정
2	3D 맵핑과 PC-Crash를 활용한 자동차 속도 추정에 관한 연구	이기명, 김하윤, 고영철, 유태선
3	사공간적 교통 패턴 유사도 기반 고속도로 2차 사고 식별 방법론 개발	이송하, 박준영, 지민경
4	비정상 개별차량 속도 프로파일 탐지를 통한 사고 취약구간 식별 연구	이강엽, 김호재, 박준영
5	구간 과속 단속 구역 내의 나들목이 자유 교통류의 속도 편차에 미치는 영향 : 과속 차량의 단속 회피 가능성을 중심으로	박범준, 김동규
6	무인단속 카메라 사고감소 효과 분석 및 운영 최적화 전략: 대구광역시를 중심으로	손민찬, 신동엽, 도우석, 이중구

SESSION A-5

보행·역사 내 군중흐름 분석

발표장 : 금호세계교육관B동309호

좌장 : 최성택(한양대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	보행 중 위험상황 경험이 시 보행안전 기술 도입인식에 미치는 영향 분석 연구	손슬기, 빈미영
2	실시간 군중 모니터링 시스템을 위한 다방향 군중 흐름 시뮬레이션 모델 개발	이재영, 원민수
3	물리 제약을 반영한 딥러닝 기반 도시철도 역사 내 보행 혼잡도 예측 모델 연구	정준영, 이재원, 김도경
4	YOLOv8 기반 영상 분석을 활용한 보행자 대기공간 서비스수준 평가 방안	정성훈, 박신형
5	영상 기반 Semantic Segmentation과 원근 보정을 활용한 도시철도 역사 내 군중 밀집도 추정	조한결, 김병규, 김도경

SESSION A-6

교통수요 및 통행배정

발표장 : 금호세계교육관B동315호

좌장 : 문세동(한양대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	EOF를 이용한 장애인 콜택시 이용 행태 분석	최승리, 문기영, 김도경
2	동적 통행배정 환경에서의 강화학습 기반 동적 OD 행렬 추정 방법	민동규, 김동규
3	네트워크 수준 교통 운영을 위한 재귀적 추론 기반 경로 수준 교통 정보 생성	이승현, 김동규
4	유전알고리즘을 활용한 센트로이드 커넥터 배치기준 연구 : 제주권 사례연구	이상규, 김희조, 박동주
5	차로수 축소 정책에 따른 통행행태 변화 분석	김민지, 김세헌

좌장: 양재환(서울연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	스케줄 기반 철도 통행배정을 위한 역-역 O/D 구축 및 시간세분화 방법론	변상진, 박동주
2	수도권 전철 노선 간 의존 구조 분석 노선 제거 시의 통행시간 증분을 중심으로	고건우, 김성아, 서영운, 최성택
3	Metro GATF 기반 대구모 도시철도 OD 수요 예측 및 버스-지하철 통합 네트워크 시뮬레이션	김승하, 정희준, 서동현, 신성일, 권장우
4	삼중차분법을 활용한 신규 경전철 노선의 통행량 변화 효과 분석	김준구, 김성아, 양윤철, 최성택
5	발권데이터를 활용한 용량포화 상태의 철도 예매행태 분석	김희조, 박동주
6	머신러닝 기반 기상 요인에 따른 지하철 수요 예측 분석	정창호

학술발표 Session II **24일 11:10-12:40**

SESSION B-1 **자율주행 혼재교통류 안전** **발표장 : 금호세계교육관A동603호**

좌장: 도우석(계명대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	실도로 자율주행 자료를 이용한 교차로 자율 비자율차량 상호작용 평가	이규, 최원명, 이호윤, 이재원, 오철
2	심리적 안전마진 (Psychological Safety Margin) 모델을 활용한 교차로 혼합교통류 안전성 분석	이재원, 이호윤, 최원명, 오철
3	도심 교통 환경에서 자율주행차 행동 공격성에 따른 안전-효율 트레이드오프 정량 분석	오경택, 이은호, 소재현
4	혼재 교통 환경에서 V2V 통신 신뢰성 기반의 자율주행 안전성 강화 연구	김영환, 최준희, 김동규
5	실시간 수집 불가 변수를 고려한 자율주행 혼재 환경에서의 도로구간 위험도 예측모형 연구	한호림, 이승봉, 박준영, 이승하, 정정호, 김진재
6	다중 위험 기반 딜레마존 의사결정을 위한 LLM 교통물리 프레임워크	조성은, 박하늘, 소재현

SESSION B-2 **신규 박사학위수여자 세션** **발표장 : 금호세계교육관B동115호**

좌장: 조신행(홍익대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	A Reinforcement Learning-Based Ride-Matching Optimization for Demand Responsive Transport Services	박현수
2	도심부 혼재교통 주행을 위한 하이브리드 학습 기반의 자율주행차 파라미터 최적화	최철원
3	수요 불확실성과 순응률을 고려한 실시간 시스템 최적 경로 안내	윤현수
4	Physics-Enhanced Neural Networks for Autonomous Driving: Design Methodologies and Applications	양진호

SESSION B-3 **첨단교통안전 II (안전정책 · 단속)** **발표장 : 금호세계교육관B동116호**

좌장: 임준범(한국교통안전공단)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	상습음주운전 재발방지를 위한 심리상담 프로그램 개발	이지원, 이남수, 유태선
2	비교그룹 방법을 이용한 점멸신호 도입의 사고감소 효과 분석	장진원, 한상진
3	시뮬레이션 분석을 통한 고령 보행자 친화형 횡단보도의 효과 분석	김민지, 김세현, 도명식
4	주행 시뮬레이터를 활용한 고속도로 장대터널 작업장 안전성 평가	민준식, 박현수, 박신행
5	DTG 기반 위험운전행동과 사고의 공간적 분포 및 상관성 분석	정지호, 이정빈, 송유미, 김회경

SESSION B-4

철도교통 안전 및 인프라

발표장 : 금호세계교육관B동309호

좌장 : 김세현(국립한밭대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	철도중사자의 인적오류 사고 예방에 관한 연구 - 시설분야를 중심으로 -	염병수, 김태운
2	퍼지 기반 해외 철도 건설 프로젝트 리스크 평가 모델의 고도화 및 실증 연구 - 몽골 울란바토르 메트로 사례를 중심으로	고창남, 박동주
3	텍스트 마이닝 기반의 도시철도 사고심각도 추정모형 개발	박성경, 박동주
4	철도 초과수요 발생 시 고속버스 수요 전이패턴 분석	심재윤, 김희조, 박동주
5	실시간 운영데이터와 적응형 제어를 반영한 철도역 Platform 장애관리 의사결정 지원 프레임워크 개발	Novia Suryadwanti, 천춘근, 이선하, 서지영
6	안전상능함수 기반 도시철도 역사 에스컬레이터 사고 위험도 분석	강승원

SESSION B-5

UAM 및 드론 교통기술

발표장 : 금호세계교육관B동315호

좌장 : 이지원((주)교통물류전략연구소)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	도심 저고도 공역에서의 다중 UAV 운용을 위한 3D Voxel 기반 Strategic Deconfliction 알고리즘 연구	김태성, 오정현, 윤규근
2	달 궤도 중계 위성 시험을 위한 전파 소스용 큐브 위성체	하경수, 강동희, 홍문기, 김동찬, 문상만, 김인규, 우종명
3	달 환경 PNT 기술 및 Localization 기술	문상만, 김인규, 우종명
4	PSO 관점의 도서 지역 AFC-UAV 배송 라우팅 최적화 연구	서연우, 김태성, 윤규근

학술발표 Session III 24일 13:30-15:00

SESSION C-1 자율주행 서비스 및 운영 발표장 : 금호세계교육관A동401호

좌장: 송재인((주)스페이스인사이트)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	자율주행자동차 보급 단계별 도로 공간 설계 방안 연구	윤유정, 김보성, 윤재용
2	도시 교통망 기반 자율 순찰 시스템을 위한 다목적 경로 최적화 연구	박하늘, 소재현
3	자율주행 도시환경관리 서비스 차량의 운행설계영역 위험구간 실증 분석	이은호, 소재현
4	강화학습 기반 자율주행버스 전용차로 진·출입부 최적 운영전략 도출	이성준, 박준영
5	부산 오시리아 자율주행 셔틀버스 서비스 도입 전·후 효과분석	이영남, 김진태

SESSION C-2 고령자 교통안전 및 면허 발표장 : 금호세계교육관A동501호

좌장: 강민지(서울시립대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	공공데이터 기반 EMME-SUMO 연계 마이크로 교통 시뮬레이션 구축 방법론 연구: 은평구 정비사업 밀집지 사례	최제인, 강민지, 박신형
2	초고령사회 진입에 따른 고령운전자 교통안전을 위한 운전면허제도 개선방안 연구 - 국내외 운전면허제도 사례를 중심으로 -	송영빈, 김남선
3	고령자 이동 형평성 분석을 통한 개선 필요지역 도출 연구	도승일, 박신형
4	고령자의 대중교통 이용 행태 차이 비교 연구	조신형
5	데이터 융합을 통한 포용적 모빌리티 연구: 고령자 복합수단 통행의 환승 장벽 분석	문세동

SESSION C-3 교통류 이론 및 시뮬레이션 발표장 : 금호세계교육관A동503호

좌장: 이은택(고려대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	공공데이터 기반 EMME-SUMO 연계 마이크로 교통 시뮬레이션 구축 방법론 연구: 은평구 정비사업 밀집지 사례	유윤임, 이인성, 김태현, 고준호
2	차종별 이질성을 고려한 1차원 Social Force 기반 차량 추종 모형의 확장 및 안정성 분석	오승민, 장기태
3	생성 모델 기반 차량 궤적 노이즈 제거를 통한 미시 교통류 데이터 품질 향상 연구	유성민, 소재현
4	균일한 거시적 기본도 도출을 위한 O-D 행렬 기반 도시 네트워크 군집화	최세원, 최준희, 김동규
5	GIS 기반 공간 분석을 통한 유령정체 발생의 공간적 분포 특성 규명	홍대현, 박신형
6	Predicting Congestion Shockwave Propagation Using Quantum Stochastic Walks	최준희, 김동규

SESSION C-4

교통 데이터 분석 및 AI

발표장 : 금호세계교육관A동505호

좌장 : 전재원(차세대융합기술연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	데이터 기반 운전행태 평가지표 최적인 선정 방법론 개발	김민경, 오철
2	내비게이션 모빌리티 데이터 기반 방향별 교통량 추정 시 모형 기법 연구	오상태, 김진태
3	화물차량 특성 및 운행정보 분포 재구성을 위한 생성모형 접근	이희창, 김동규
4	통신사 경로데이터와 교통카드의 확률적 융합을 통한 도시 규모 교통수단별 통행 재구축	김태우, 박병규, 여지호
5	트립체인 데이터 기반 LLM을 활용한 자가용 운전자의 내비게이션 의존 행태 분석	박유진, 이경재, 추상호
6	Recursive Neurosymbolic Optimization for the Semantic Repair of Structurally Inconsistent Household Travel Surveys	Lucas Kevin Joshua, 이준욱, 김인희

SESSION C-5

대중교통 계획 및 운영

발표장 : 금호세계교육관A동506호

좌장 : 정동재(인천연구원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	RAPTOR 기반 선택지 집합 생성과 스마트카드 매칭을 활용한 대중교통 경로선택 모델	김민수, 여지호
2	일반화 서열로짓 모형 기반 김포 수상버스 도입 수용요인 분석	이재완, 이재영, 김도경
3	오픈 데이터를 활용한 지하철 승·하차 승객 수 산출 방법론	허창준, 조항훈, 유승민, 유소영, 김정화, 최성택
4	광역BRT 수단선택 행태 모형화 연구: 충청권 사례를 중심으로	정유미, 도명식, 김세현
5	버스운영방식에 따른 버스 정시성 영향 요인 분석, BRT와 Non-BRT 노선을 중심으로	정지호, 이정빈, 송유미, 김회경

SESSION C-6

지속가능 교통 및 환경정책

발표장 : 금호세계교육관A동507호

좌장 : 신대섭(한국과학기술원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	차량번호인식장치 기반 서울 도심부 차량 배출량의 구조적 특성 분석	이인성, 임승빈, 고준호
2	Mobility as a Service는 어떻게 진화하고 있는가? : BERT 분석을 통한 2016년~2025년 궤적 추적	김성아, 이수기, 고준호, 여지호, 조항훈, 최성택
3	통행데이터를 활용한 탄소배출량 기반의 Eco-Score 설계 및 통행자 집단 분석	김동현, 구자현, 추상호
4	한국 승인 국가온실가스 배출계수식의 보정계수 기반 고도화 방법론 개발	김진재, 이재영, 김예원, 이승봉, 오관용, 김대진

SESSION C-7

수요응답형 교통(DRT)

발표장 : 금호세계교육관A동603호

좌장 : 구자현(홍익대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	AHP-WASPAS 기반 경기도 광역 DRT 우선도입지역 선정 연구	오승빈, 김수재
2	농촌 DRT 접근성 개선을 위한 저속 전기 Mobility 활용 방안 연구	김지우, 김수재
3	다도시 DRT 알고리즘 벤치마킹: 도시 맥락 기반 성능 비교 프레임워크	방혜원, 여지호
4	평가지표별 수요응답형 교통서비스 데이터 항목 중요도 분석	권영일, 권우진, 예지현, 오지혜, 권오훈, 도우석, 김동욱, 김성훈

SESSION C-8

클라우드소싱 물류 및 마이크로모빌리티

발표장 : 금호세계교육관B동115호

좌장 : 최철원(한국과학기술원)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	동대문구 여객 통행 기반 Crowdsipping 도입 가능성 평가	이중권, 민석원, 김용훈, 박동주
2	배송주행로봇 운영을 위한 로드뷰 기반 보도환경 구축과 Social Force Model을 활용한 구간별 임계 혼잡도 평가	박지수, Mohammadjavad Ghorbanalivakili, 고준호
3	클라우드소싱 물류에 대한 체계적 문헌 고찰	김지오, 민석원, 박동주
4	서울시의 자전거 기반 클라우드물류 도입 가능성 연구	민석원, 김용훈, 박동주

SESSION C-9

도로 인프라 관리 및 파손탐지

발표장 : 금호세계교육관B동116호

좌장 : 김원열(조선대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	이중 헤드 세그멘테이션 기반 차선 도색 손상도 평가 프레임워크	한준규, 김민석, 박준규, 류승기
2	도로파손 시각정보 기반 AI 탐지 성능을 향상하는 AFNet 전처리 연구	김민석, 한준규, 박준규, 류승기
3	고속도로 리모델링 사업 성과지표 체계 구축 연구	강민욱, 도승일, 박신형
4	머신러닝을 활용한 도로포장 열화 예측: 변수 선택 및 예측력 검증	김민송, 김세현, 도명식

SESSION C-10

도시 모빌리티 서비스 및 주차

발표장 : 금호세계교육관B동309호

좌장 : 김수재(성결대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	서울시 공공자전거의 지역단위 주행거리 영향요인 분석-Spatial GAM을 활용하여	김태우, 박지수, 고준호
2	2035 서울 모빌리티 미래상 연구	김주희, 김희조, 심재윤, 박신형, 박동주
3	모바일 자동결제 주차장 이용량에 미치는 영향: 자연실험에 기반한 이중차분법 분석	구영욱, 김건우
4	자동결제를 통한 주차장 출구 병목 해소: 국내 86만 건 출차 데이터 실증분석	김건우, 구영욱

SESSION C-11

교통신호 제어 및 최적화

발표장 : 금호세계교육관B동315호

좌장: 이재현(시티아이랩(주))

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	도로 유고 상황에서의 실시간 경로 안내 및 적응형 신호 제어의 통합 적용 효과 평가	오동호, 김동규
2	교통 신호 최적화에서 딥러닝 기반 시간 지연 보상 기법의 효과 분석	박근원, 이상현
3	실측 데이터 기반 과포화 상태 지체도 추정 모형 개발	김재웅, 조재호, 김진태
4	AI 기반 신호제어 방식 현시 운영 특성 분석 연구	이재형, 김진태
5	국도 감응신호제어시스템을 위한 대체검지기 성능기준 개선 연구	이만형, 이준엽, 진재엽
6	드론 기반 객체 탐지와 유전 알고리즘을 활용한 적응형 교통신호 제어 프레임워크	추동준, 도명식, 김세현

SESSION C-12

신진연구자 탐티어 연구발표

발표장 : 금호세계교육관B동316호

좌장: 강창묵(한양대학교), 최성택(한양대학교)

번호	발표 주제	발표 및 제출자
1	Party politics in transport policy with a large language model	이은학, 윤현수
2	Miniature Testbed for Validating Multi-Agent Cooperative Autonomous Driving	안희진, 배현철, 이은재, 한재협, 강민희, 김재현, 서정은, 노민혁
3	Driving and Environmental Factors Affecting Lithium-Ion Battery Capacity Degradation in Micro Battery Electric Vehicles	고은정, 김동민, 오승민, 심지섭
4	OASIS-DC: Generalizable Depth Completion via Output-level Alignment of Sparse-Integrated Monocular Pseudo Depth	안종현, 조재현

학술발표 Poster Session

23일 ~ 24일

좌장: 심지섭(한남대학교), 여지호(기천대학교)

분류	발표 주제	발표 및 제출자
ITS 1	C-ITS 통신방식 단일화 정책 이후 도로변 통신 인프라 전환 전략 연구	윤영민
ITS 2	HS-WMM의 축별 계측 오차와 총중량 오차의 분포 특성 비교 분석	안선영, 장경찬
ITS 3	도로교통 공공 서비스 · 인프라의 암호화 사이버위협에 대한 네트워크 행위기반 보안관제 기술 개발	황정운, 양승규, 신영섭, 차태영, 김상현, 김경환, 조용성
ITS 4	교차로 신호운영을 반영한 교통정보 수집 및 가공 방안	안후근, 이민형, 김광수
ITS 5	희소한 프로브 차량 데이터를 활용한 침투율 인지 기반 교통속도 및 불확실성 추정	박하정, 이승현
ITS 6	차량추종모형 보정을 통한 신호교차로 군집주행 전략수립	남혁주, 이승현
ITS 7	신호교차로에서 차종 및 진행방향에 따른 차두간격 분포 특성 분석	장경찬, 김현준, 안선영
ITS 8	자율주행차량 도입에 따른 도로다이어트 분석	문경준, 변지혜
ITS 9	정확도 향상 및 유지를 위한 교보정 절차	박가문날비, 김태상
ITS 10	데이터 희소 OSM 환경에서의 휠체어 통행 경로 생성 방법론	장재홍, 한정우, 심지섭
ITS 11	도심 교차로 자율 이동 로봇을 위한 R2X 기반 내비게이션 시스템	김명현, 김준영, 김인희, 천경훈
ITS 12	영상센서의 오차 특성을 반영한 차량 밀도 추정 방법	이희원, 이지선
ITS 13	교통량과 신호 잔여시간을 고려한 GLOSA 기반 친환경 주행 전략	박건민, 정희진, 심지섭
ITS 14	교통약자를 위한 전동보장구 충전시설 입지선정에 관한 연구: 대전광역시를 중심으로	이승보, 이성재, 정희진, 고은정
ITS 15	차량추종모형 보정을 통한 신호교차로 군집주행 전략수립	남혁주
공유교통 1	지속 가능한 자율주행 모빌리티를 위한 승하차 인프라의 전략적 배치 연구	김재원, 김정화
공유교통 2	중단 시계열 분석을 활용한 통합 교통정책이 서울시 공공자전거 이용에 미치는 영향 분석	이성재, 이승보, 정희진, 고은정
공유교통 3	텍스트-트리체인 융합 기반 환승 이벤트 스트레스 지수 산정 및 네트워크 지도화: 형평 가중 우선순위 분석	양민수, 홍정열
공유교통 4	멀티모달 데이터 기반 트리체인 분석을 통한 공유 모빌리티 기능적 권역 설정 방법론 연구	박기현, 홍정열
공유교통 5	철도역 동적 정보 환경에서의 정보 접근성 분석	백지혜
공유교통 6	공간지각상관을 고려한 음이향 회귀모형 기반 대전광역시 공공자전거 이용 특성 분석	성하윤, 이동섭, 심지섭
교통빅데이터 1	어린이보호구역 무인 속도단속에 따른 운전자 행태 분석: 준수 및 주행 안정성의 유형화	이소연, 이승현
교통빅데이터 2	철도 네트워크 회복탄력성 평가를 위한 머신러닝 기반 시뮬레이션 프레임워크	김동민, 이승현
교통빅데이터 3	협력적 게임 이론 기반 수도권 지하철 네트워크 수입금 기여도 산정 방안	김희천, 신성일, 김종형
교통빅데이터 4	수도권 통합대중교통 요금체계 시뮬레이터 - 선별분석 기반 지하철 네트워크 수입 기여도 추정 모형 -	신성일, 고규희, 김종형
교통빅데이터 5	모바일폰 신호 데이터 기반 엔트로피를 활용한 집-직장 거점 추정	남상기, 정연식
교통빅데이터 6	공공분야 이동지원 실증차량의 운행실태 파악을 위한 빅데이터 분석	박찬영, 백성채, 최세령, 박제진
교통빅데이터 7	공공업무용 초소형 전기차의 실증 성과 및 서비스 만족도 분석	정민준, 백성채, 최세령, 박제진

분류	발표 주제	발표 및 제출자
교통빅데이터 8	강수량이 대중교통 이용에 미치는 영향: 스마트카드 데이터를 활용한 고령자와 일반 이용자 비교	김지규, 김종형, 박민호
교통빅데이터 9	교통량정보제공시스템 개선을 위한 방법론 개발 연구	김동현, 한대철, 정도영, 김형규
교통빅데이터 10	거대 언어 모델을 활용한 개인단위 통행사슬 전수화 방법 개발	노치우, 원민수
교통빅데이터 11	스마트카드 데이터를 활용한 서울시 마을버스 노선의 Hub 기반 OD 구조 분석	오정현, 서연우, 윤규근
교통빅데이터 12	커뮤니티 탐지 기반 서울시 고령인구 생활권의 구조적 변화와 연령별·지역별 비교 분석	김서연, 변지혜
교통빅데이터 13	객체단위 모빌리티 합성 데이터 생성 및 데이터 합성 가이드라인 구축 연구	정다빈, 노치우, 김익진, 원민수
교통계획 1	철도 승객의 차내 활동 및 활동 지속시간에 영향을 미치는 요인 분석	정용진, 김진희
교통계획 2	실시간 수요응답형 교통을 위한 이용자 효용 기반 동적 경로 생성 프레임워크	염주현, 김진희
교통계획 3	Drive-Through 시설의 입지 및 유출입 구조별 교통운영 영향 분석과 관리 전략에 관한 연구	최창훈, 박제진
교통계획 4	수도권 교통카드기반 지하철 역사 접근성 추정 방안	신성일, 김종형
교통계획 5	이용행태와 TOD 특성 기반 환승역 유형화 및 환승센터 투자 우선순위 분석	김태준, 김정화
교통계획 6	대심도 환승환경에서의 수직이동시설 선택행태와 이용자 이질성 분석: 서울역 GTX-A를 중심으로	김이린, 김정화
교통계획 7	실제 주행자료 기반 혼잡 반영 대체경로 생성 및 네트워크 혼잡 완화 효과 분석	한정우, 김가경, 정희진, 심지섭
교통계획 8	빅데이터 수집범위 변화에 따른 화물자동차 통행특성 분석	오연선, 이준혁, 원민수
교통계획 9	인천국제공항 국제선 연결 품질 기반 환승전용 내항기 최적 운항 스케줄 분석	이준욱, 김인희
교통계획 10	검지기 데이터 기반 네트워크 수준 TOD 경계 최적화 기법 연구	서지영, 이선하
교통계획 11	신수단 수요 예측을 위한 페르소나 검색 기반 SP-RP 전이 프레임워크	문찬우, 문선아, 김인희, 김진희
교통계획 12	서울시 장애인콜택시 서비스의 지역 간 배차율 불균형 요인분석	진동준, 정희진, 심지섭
교통계획 13	AHP 기반 중소도시 모빌리티 도입 우선순위 분석	성민준, 도우석, 권오훈
교통계획 14	커뮤니티 탐지 기반 서울시 고령인구 생활권의 구조적 변화와 연령별·지역별 비교 분석	김서연
교통계획 15	고령사회를 대비한 대중교통 환승 편의성 평가	이정혁, 김진혁, 이은학
교통안전 1	깊이카메라를 이용한 이동형 자전거도로 노면상태 자동탐지 시스템 개발	정인택, 장봉주, 박동현
교통안전 2	도로기상 기반 지열식 도로열선 시스템의 결빙 방지 성능 분석	박근형
교통안전 3	교통사고 상해 영향요인의 상대적 심각도 배수 분석: 가해자-피해자 간 비교	박세현
교통안전 4	2024년 도로교통 사고비용 추계	최미선, 심태일
교통안전 5	증분 학습을 활용한 미학습 실내 환경의 세그멘테이션 성능 개선에 관한 연구	정아영, 배주원, 서동환
교통안전 6	자이로스코프 기반 중력 벡터 트래킹 전처리를 적용한 CNN-LSTM 기반 3D Inertial Odometry에 관한 연구	서홍일, 이동진, 서동환
교통안전 7	Sequential 자이로 데이터를 활용한 Transformer 기반 자세변화량 추정 모델에 관한 연구	서홍일, 이동진, 정재훈, 서동환
교통안전 8	고속 해상 객체 탐지 및 조기 포착을 위한 하이브리드 탐지 및 추적 알고리즘에 관한 연구	강현준, 배주원, 서동환
교통안전 9	서울시 고령 운전자 교통사고 다발지역의 사고 심각도 영향 요인 분석 -XGBoost와 SHAP 기반 주·야간 비교 분석을 중심으로-	박지영, 전효원, 정희진, 고은정
교통안전 10	고령운전자 교통환경 개선을 위한 도로표지 시인성 확보 연구	장유미, 최우철, 정규수
교통안전 11	도로표지의 설계목표수명을 고려한 구조 안전점검 주기에 대한 분석	성흥기, 정규수

분류	발표 주제	발표 및 저출자
교통안전 12	NAM의 다중 과업 학습과 VLM 기반 로드뷰 분석을 활용한 교차로 내 취약계층 사고위험요인 해석	연혁주, 장기태
교통안전 13	딥러닝 영상 분석을 통한 도심부 불법 주·정차의 교통류 저해 영향 정량화: 유효 도로 폭 및 위험운전을 중심으로	박동혁, 이유화, 진만수, 문재필, 심승보
교통안전 14	주행 안전 측면에서 보차혼용 도로 내 전기차 회생제동 시스템의 영향	임재혁, 김인희
교통안전 15	복잡한 도심 환경을 위한 상황 인지형 AR-HUD 내비게이션: 운전자 행태에 관한 다차원적 분석	김정윤, 김인희, 오탈호
교통안전 16	어린이보호구역 무인 속도단속에 따른 운전자 행태 분석: 준수 및 주행 안정성의 유형화	이소연
교통안전 17	노면 색깔 유도선이 교통사고에 미치는 영향 분석	최기열, 김진혁, 이은학
교통안전 18	노인보호구역이 교통사고에 미치는 영향 분석	김진혁, 이정혁, 이은학
기타 1	화물차 중량관리 서비스 제도 개선 방안	이치열, 김성현, 김종식
기타 2	고정밀 스마트 지중계 센서 개발 로드맵	이치열, 김성현, 김현석
기타 3	GTX-A 개통에 따른 진화게임이론 기반 전략적 경로 선택 행태 분석	정인웅, 이승현, 변지혜
스마트시티 1	한국에서의 앱 기반 주차 예약 서비스에 대한 운전자 선호 이질성 분석: 파일럿 이산선택실험 연구	Truyen Le-Minh, Inhi Kim
인공지능 1	요약 기반 문맥 구조화를 통한 Multi-hop 질의응답 방법 제안	윤태이, 김태희, 천세진
인공지능 2	강의 비디오로부터 지식 품질을 평가하기 위한 LLM 기반 프레임워크 설계	김채은, 김태희, 천세진
인공지능 3	온다바이스 RAG를 위한 질의 복잡도 기반 적응형 검색 및 근거 보정 파이프라인	이현기, 김아영, 천세진
인공지능 4	MCP 기반 LLM Agent를 활용한 해양 레저 추천 프레임워크	김법기, 박정현, 천세진
인공지능 5	생성형 AI 검색 페이지의 AEO·SEO 간 HTML 구조 차이 분석	박소현, 박정현, 천세진
인공지능 6	경량화 FCTM의 객체 검출 성능 향상을 위한 표준편차 기반 손실 함수	유길경, 서정일
인공지능 7	Random Camera Sampling 기반 3D Human Reconstruction 모델의 일반화 성능 개선	조수빈, 서정일
인공지능 8	열차 중심 그래프 신경망을 활용한 다단계 철도 지연 예측 모델 연구	홍충교, 김인희
인공지능 9	방향 가시성 빈도 기반 중요도 Pruning과 복셀 병합을 통한 2D Gaussian Splatting 경량화	안정우, 김원열
인공지능 10	AI 알고리즘 기반 렌더카 운전자 최적경로 제공을 위한 교통방송 설계	김중호
자율주행 1	자율주행차 수용성에 대한 인지된 신뢰와 경험적 신뢰의 차별적 영향분석	김은영, 육동형, 이성원
자율주행 2	LDA 기반 자율주행차 운영 시나리오 개발에 관한 연구	박재홍, 임기원, 윤덕근, 이호윤
자율주행 3	자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발	황정운, 양승규, 신영섭, 차태영, 김상현, 김경환, 조용성
자율주행 4	도로교통 인프라 모니터링 및 긴급복구 지원 서비스 기술 개발 연구	황정운, 양승규, 신영섭, 차태영, 김상현, 김경환, 조용성
자율주행 5	자율주행 혼합교통환경 고속도로 합류·분류구간 용량 영향분석	백성채, 최세령, 오주석, 박제진
자율주행 6	Alpamayo VLA 모델을 활용한 추론 기반 End-to-End 자율주행	정재철, 박만복
자율주행 7	인프라 LiDAR를 이용한 엣지 피팅 기반 목표차량 속도 추정	홍인준, 박만복
자율주행 8	자율주행 혼재 시 통합교통관제를 위한 표준적합성 검증시스템 개발 및 실증 시험	변민우, 손승녀, 강원평, 한경희
자율주행 9	도로주행 시뮬레이터와 운전자 모니터링 시스템을 연계한 자율주행차 제어권 전환 분석 체계 개발: 고속도로 공사구간 사례 분석	현석규, 박수연, 박상경, 이현석, 김형주, 가동주
자율주행 10	자율주행자동차 시범운행지구의 주요 운영 성과	김거중

분류	발표 주제	발표 및 저출자
자율주행 11	자율주행차 판단 기능의 이기종 이중화 기반 이상 검출	박상빈, 박만복
자율주행 12	스마트 공장 환경에서의 드론 자율 탐사 성능에 대한 3D SLAM 알고리즘의 안정성 분석	태현철, 유영준
자율주행 13	자율주행 차량을 위한 실시간 객체 탐지 기반 차선 변경 계획 연구	안해주, 박만복
자율주행 14	자기차량 계획을 위한 자율주행 월드모델의 인과 모델링	김부건, 장기태
자율주행 15	도심환경의 차량 궤적 예측 영향인자 분석을 위한 이중요인 시나리오 분류	박범진, 송채원, 윤진원, 오시몬
자율주행 16	실외이동로봇 신호 인식 한계 및 실시간 교통신호정보 연계 필요성 연구	우동혁, 권민수, 이승철
자율주행 17	혼합 셀 보정을 포함한 GroundGrid 기반 LiDAR 지면 분할	이종윤, 박만복
자율주행 18	인프라 중심 협력 인지를 위한 의미 기반 특징 강화 방법론	엄세안, 장기태
자율주행 19	자율차량 혼재 시 개별차량 고위험 예측 모델 개발	장정호, 이승봉, 한호림, 김진재, 박준영, 이승하
자율주행 20	LLM 기반 자율주행 혼재 시 고위험 상황 시나리오 분석 프레임워크 개발	나성은, 박수연, 이응주, 임동현, 전재원, 김형주
자율주행 21	자율주행차량 도입에 따른 도로다이어트 분석	문경준
자율주행 22	자율주행 이동식 로봇 충전기를 이용한 동적 전기 자동차 충전 방안	서문정
자율주행 23	도심 교차로 자율 이동 로봇을 위한 R2X 기반 내비게이션 시스템	김명현
자율주행 24	복잡한 도심 환경을 위한 상황 인지형 AR-HUD 내비게이션: 운전자 행태에 관한 다차원적 분석	김정윤
재난 및 방재 1	잡음에 강인한 비접촉식 고정밀 지하차도 침수 감시 기술 연구	장봉주, 박동현, 정인택
재난 및 방재 2	Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) 기반 강우 데이터 증강 및 성능 분석에 관한 연구	박재홍, 윤천주, 김영록, 진민수
재난 및 방재 3	소규모 건설현장의 ICT 기반 안전장비 도입에 따른 안전관리 실효성 및 경제적 효용 분석	최세령, 신우현, 박제진
재난 및 방재 4	도시 재난형 교통위기 대응을 위한 교통네트워크 회복력 평가 연구	김강현, 홍정열
재난 및 방재 5	자율주행 및 모빌리티 지원을 위한 방송·통신 하이브리드형 HP-GNSS 서비스 아키텍처 제안 및 TTA 표준 기반 성능 실증	서영우, 이용준
철도/항공 1	철도 네트워크 회복탄력성 평가를 위한 머신러닝 기반 시뮬레이션 프레임워크	김동민
철도/항공 2	GTX-A 개통에 따른 진화게임이론 기반 전략적 경로 선택 행태 분석	정인용
철도/항공 3	철도종사자의 인적오류 사고 예방에 관한 연구 - 시설분야를 중심으로 -	염병수
탄소중립 1	공공-민간 교통데이터 융합 기반 도로구간 온실가스 배출량 산정 방법론 개발	고민지, 손승녀, 김주애, 강원평
탄소중립 2	자율주행 이동식 로봇 충전기를 이용한 동적 전기 자동차 충전 방안	서문정, 이승현, 변지혜
탄소중립 3	전기차 전환과 도시 미세먼지의 공간적 분포: 감속 및 대기확산을 고려한 링크단위 분석	조형훈, 김성아, 최성택
통신 1	다중 기기와의 실시간 무선 통신을 위한 한국형 DDS(int2DDS) 개발	이정섭, 박가희, 권병현, 이상웅
통신 2	OcuSync 텔레메트리 신호의 복조 및 프레임 해석	오기석, 김정창
통신 3	자기 상관 기반 LoRa 신호 파라미터 후보군 검출	노석현, 오기석, 김정창
5G 응용 1	양자-고전 통합 V2X 네트워크 제어/관리를 위한 환경 적응형 도로 유형 분류 및 링크 품질 분석 연구	김진욱
e-Mobility 1	일반화 비용 기반 소준 단위 도심항공교통 수요추정 방법론 개발	방태원, 도우석, 권오훈

CONTENTS

특별 Session

특별 Session B-10 (주)아이비스

1. 디지털 트윈 기반 다목적 로봇 통합 관제시스템 개발 이윤희, 김현규, 김상민, 황정현	3
2. 탑승형 모바일 로봇의 디지털 트윈 구현을 위한 다중 로봇 시뮬레이션 환경 구축 김상민, 이윤희, 최민지, 이송현	4
3. 로봇용 정보모델 개발 박홍성	5
4. 테스트베드 구축을 위한 Unity 기반 가상 시뮬레이션 활용 사전 설계 최적화 연구 이청환, 이재용, 김세중	6
5. 로봇 서비스 디지털 트윈 구현을 위한 가상환경 설계 방안 연구 박문우, 이재원, 백형택	7

특별 Session E-4 한국해양대학교

1. 경량형 모노콥터의 안정적인 영상획득에 관한 연구 이현준, 허윤정, 허민진, 김균동	11
2. 복합 해기상 시나리오 및 가상 시제를 활용한 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축 박시은, 백원빈, 안홍균, 우주현, 이혜원	12
3. 해상 감시 강화를 위한 레이더-RGB 영상 정합 기법에 관한 연구 배주원, 서홍일, 이진씨, 서동환	13
4. SeaDronesSee 데이터셋을 이용한 시뮬레이션 보트 탐지에서 최신 객체 탐지 모델의 유효성 분석 양민석, Anto Anbarasu Yesudhas, 성주현	14

학술발표 Session I

SESSION A-1 자율주행 인지 및 센서융합

1. Mahalanobis 거리와 3D IoU를 통한 자율주행용 LiDAR 기반 다중 객체 추적 성능 개선 김동영, 문승재, 원종훈	19
2. Camera-LiDAR 센서 퓨전 기반 Semantic 동적 ROI 설정을 통한 자율주행 인지 효율 개선 박성준, 최재원, 문승재, 원종훈	20
3. 디퓨전 기반 약천후 데이터 생성 모델 분석 연구 홍택수, 김소희, 권장우	21
4. End-to-end 자율주행 모델의 효율적 비전 토큰 압축 방법 한승민, 공승현	22
5. 시계열 학습을 통한 4D 레이더 기반 인간 자세 추정 임찬빈, 공승현	23

SESSION A-2

자율주행 경로계획 및 제어

1. 제어권전환 예측 모델 기반 선제적 자율주행 취약 구간 검지기법 개발 27
지정훈, 오철
2. 차량 횡방향 경로 추종을 위한 안정성 지표 기반 이벤트 트리거형 모델예측제어 28
서민재, 김건태, 강창목
3. 기하학적 도메인 확장 기반 차선 변경 경로 계획 및 LPV-MPC 제어 29
김태웅, 김건태, 강창목
4. 노면 마찰 특성 피드백을 결합한 자율주행용 DWA 알고리즘의 경로 추종 성능 향상 30
정윤태, 양서준, 김용준, 원종훈
5. Camera-Lidar Sensor Fusion Costmap 기반 VALOR Lattice Planner를 이용한 자율주행 경로 및 속도 계획 31
이강태, 김예린, 장원정, 김용준, 문승재, 원종훈

SESSION A-3

C-ITS 및 첨단차량안전기술

1. LLM을 활용한 차선변경 목적기반 차량 궤적 예측 35
김주영, 소재현
2. 5G NR 사이드링크 기반 차량통신에서 정밀 거리 측정 및 위치 추정 36
김영길
3. ADAS 시험평가 엡자케이스 분석을 통한 페달 오조작 방지 장치 시험평가 시나리오 개발 방향 연구 37
김도연, 장준혁, 유현식, 김기주, 정대훈, 김준년
4. 내비게이션 실시간 교통정보 제공 서비스의 교통 안전 및 운영 효율성 영향 분석 38
이태건, 김진태

SESSION A-4

첨단교통안전 I (사고분석)

1. 시계열 거동 분석 기반의 차로 변경 최소 안전거리 산정 연구 41
정동훈, 마혜선, 박기정
2. 3D 매핑과 PC-Crash를 활용한 자동차 속도 추정에 관한 연구 42
이기명, 김하윤, 고영철, 유태선
3. 시공간적 교통 패턴 유사도 기반 고속도로 2차 사고 식별 방법론 개발 43
이송하, 박준영, 지민경
4. 비정상 개별차량 속도 프로파일 탐지를 통한 사고 취약구간 식별 연구 44
이강엽, 김호재, 박준영
5. 구간 과속 단속 구역 내의 나들목이 자유 교통류의 속도 편차에 미치는 영향 : 과속 차량의 단속 회피 가능성을 중심으로 45
박범준, 김동규
6. 무인단속 카메라 사고감소 효과 분석 및 운영 최적화 전략: 대구광역시를 중심으로 46
손민찬, 신동엽, 도우석, 이중구

SESSION A-5 보행·역사 내 군중흐름 분석

1. 보행 중 위험상황 경험이 시 보행안전 기술 도입인식에 미치는 영향 분석 연구 손슬기, 빈미영	49
2. 실시간 군중 모니터링 시스템을 위한 다방향 군중 흐름 시뮬레이션 모델 개발 이재영, 원민수	50
3. 물리 제약을 반영한 딥러닝 기반 도시철도 역사 내 보행 혼잡도 예측 모델 연구 정준영, 이재원, 김도경	51
4. YOLOv8 기반 영상 분석을 활용한 보행자 대기공간 서비스수준 평가 방안 정성훈, 박신형	52
5. 영상 기반 Semantic Segmentation과 원근 보정을 활용한 도시철도 역사 내 군중 밀집도 추정 조한결, 김병규, 김도경	53

SESSION A-6 교통수요 및 통행배정

1. EOF를 이용한 장애인 콜택시 이용 행태 분석 최승리, 문기영, 김도경	57
2. 동적 통행배정 환경에서의 강화학습 기반 동적 OD 행렬 추정 방법 민동규, 김동규	58
3. 네트워크 수준 교통 운영을 위한 재귀적 추론 기반 경로 수준 교통 정보 생성 이승현, 김동규	59
4. 유전알고리즘을 활용한 센트로이드 커넥터 배치 기준 연구: 제주권 사례연구 이상규, 김희조, 박동주	60

SESSION A-7 철도교통 운영 및 수요

1. 스케줄 기반 철도 통행배정을 위한 역-역 O/D 구축 및 시간세분화 방법론 변상진, 박동주	63
2. 수도권 전철 노선 간 의존 구조 분석: 노선 제거 시의 통행시간 증분을 중심으로 고건우, 김성아, 서영운, 최성택	64
3. Metro-GATF 기반 대규모 도시철도 OD 수요 예측 및 버스-지하철 통합 네트워크 시뮬레이션 김승하, 정화준, 서동현, 신성일, 권장우	65
4. 삼중치분법을 활용한 신규 경전철 노선의 통행량 변화 효과 분석 김준구, 김성아, 양윤철, 최성택	66
5. 발권데이터를 활용한 용량포화 상태의 철도 예매행태 분석 김희조, 박동주	67

학술발표 Session II

SESSION B-1 자율주행 혼재교통류 안전

- | | |
|---|----|
| 1. 실도로 자율주행 자료를 이용한 교차로 자율-비자율차량 상호작용 평가
이규, 최원명, 이호윤, 이재원, 오철 | 73 |
| 2. 심리적 안전마진 모델을 활용한 교차로 혼합교통류 안전성 분석
이재원, 이호윤, 최원명, 오철 | 74 |
| 3. 도심 교통 환경에서 자율주행차 행동 공격성에 따른 안전-효율 트레이드오프 정량 분석
오경택, 이은호, 소재현 | 75 |
| 4. 혼재 교통 환경에서 V2V 통신 신뢰성 기반의 자율주행 안전성 강화 연구
김영환, 최준희, 김동규 | 76 |
| 5. 실시간 수집 불가 변수를 고려한 자율주행 혼재 환경에서의 도로구간 위험도 예측모형 연구
한효림, 이승봉, 박준영, 이승하, 정정호, 김진재 | 77 |
| 6. 다중 위험 기반 딜레마존 의사결정을 위한 LLM-교통물리 프레임워크
조성은, 박하늘, 소재현 | 78 |

SESSION B-3 첨단교통안전 II (안전정책 · 단속)

- | | |
|---|----|
| 1. 상습음주운전 재발방지를 위한 심리상담 프로그램 개발
이지원, 이남수, 유태선 | 81 |
| 2. 비교그룹 방법을 이용한 점멸신호 도입의 사고감소 효과 분석
장진원, 한상진 | 82 |
| 3. 시뮬레이션 분석을 통한 고령 보행자 친화형 횡단보도의 효과 분석
김민지, 김세현, 도명식 | 83 |
| 4. 주행 시뮬레이터를 활용한 고속도로 장대터널 작업장 안전성 평가
민준식, 박현수, 박신행 | 84 |
| 5. DTG 기반 위험운전행동과 사고의 공간적 분포 및 상관성 분석
정지호, 이정빈, 송유미, 김회경 | 85 |

SESSION B-4 철도교통 안전 및 인프라

- | | |
|--|----|
| 1. 철도종사자의 인적요류 사고 예방에 관한 연구 - 시설분야를 중심으로 -
염병수, 김태윤 | 89 |
| 2. 퍼지 기반 해외 철도 건설 프로젝트 리스크 평가 모델의 고도화 및 실증 연구
- 몽골 울란바토르 메트로 사례를 중심으로
고창남, 박동주 | 90 |
| 3. 텍스트 마이닝 기반의 도시철도 사고심각도 추정모형 개발
박성경, 박동주 | 91 |
| 4. 철도 초과수요 발생 시 고속버스 수요 전이패턴 분석
심재윤, 김희조, 박동주 | 92 |
| 5. 실시간 운영데이터와 적응형 제어를 반영한 철도역 Platform 장애관리 의사결정 지원 프레임워크 개발
Novia Suryadwanti, 천춘근, 이선하, 서지영 | 93 |

SESSION B-5 UAM 및 드론 교통기술

- | | |
|--|-----|
| 1. 도심 저고도 공역에서의 다중 UAV 운용을 위한 3D Voxel 기반 Strategic Deconfliction 알고리즘 연구
김태성, 오정현, 윤규근 | 97 |
| 2. 달 궤도 통신 중계 위성 시험을 위한 전파 소스용 큐브 위성체
하경수, 강동희, 홍문기, 김동찬, 문상만, 김인규, 우종명 | 98 |
| 3. 달 환경 PNT 기술 및 Localization 기술
문상만, 김인규, 우종명 | 99 |
| 4. PSO 관점의 도서 지역 AFC-UAV 배송 라우팅 최적화 연구
서연우, 김태성, 윤규근 | 100 |

학술발표 Session III**SESSION C-1 자율주행 서비스 및 운영**

- | | |
|--|-----|
| 1. 자율주행자동차 보급 단계별 도로 공간 설계 방안 연구
윤유정, 김보성, 윤재용 | 105 |
| 2. 도시 교통망 기반 자율 순찰 시스템을 위한 다목적 경로 최적화 연구
박하늘, 소재현 | 106 |
| 3. 자율주행 도시환경관리 서비스 차량의 운행설계영역 위험구간 실증 분석
이은호, 소재현 | 107 |
| 4. 강화학습 기반 자율주행버스 전용차로 진·출입부 최적 운영전략 도출
이성준, 박준영 | 108 |
| 5. 부산 오시리아 자율주행 셔틀버스 서비스 도입 전·후 효과분석
이영남, 김진태 | 109 |

SESSION C-2 고령자 교통안전 및 면허

- | | |
|--|-----|
| 1. 고령운전자 조건부 면허 도입 필요성 및 정책적 시사점
최제인, 강민지, 박신형 | 113 |
| 2. 초고령사회 진입에 따른 고령운전자 교통안전을 위한 운전면허제도 개선방안 연구
- 국내외 운전면허제도 사례를 중심으로 -
송양빈, 김남선 | 114 |
| 3. 고령자 이동 형평성 분석을 통한 개선 필요지역 도출 연구
도승일, 박신형 | 115 |

SESSION C-3 교통류 이론 및 시뮬레이션

- | | |
|---|-----|
| 1. 공공데이터 기반 EMME-SUMO 연계 마이크로 교통 시뮬레이션 구축 방법론 연구: 은평구 정비사업 밀집지 사례
유윤임, 이인성, 김태현, 고준호 | 119 |
| 2. 차종별 이질성을 고려한 1차원 Social Force 기반 차량 추종 모형의 확장 및 안정성 분석
오승민, 장기태 | 120 |

1. 생성 모델 기반 차량 궤적 노이즈 제거를 통한 미시 교통류 데이터 품질 향상 연구 유성민, 소재현	121
2. 균일한 거시적 기본도 도출을 위한 O-D 행렬기반 도시 네트워크 군집화 최세원, 최준희, 김동규	122
3. GIS 기반 공간 분석을 통한 유령정체 발생의 공간적 분포 특성 규명 홍대현, 박신행	123

SESSION C-4 교통 데이터 분석 및 AI

1. 데이터 기반 운전행태 평가지표 최적안 선정 방법론 개발 김민경, 오철	127
2. 내비게이션 모빌리티 데이터 기반 방향별 교통량 추정 AI 모형 기법 연구 오상태, 김진태	128
3. 화물차량 특성 및 운행정보 분포 재구성을 위한 생성모형 접근 이희창, 김동규	129
4. 통신사 경로데이터와 교통카드의 확률적 융합을 통한 도시 규모 교통수단별 통행 재구축 김태우, 박병규, 여지호	130
5. 트립체인 데이터 기반 LLM을 활용한 자기용 운전자의 내비게이션 의존 행태 분석 박유진, 이경재, 추상호	131
6. Recursive Neurosymbolic Optimization for the Semantic Repair of Structurally Inconsistent Household Travel Surveys Lucas Kevin Joshua, 이준욱, 김인희	132

SESSION C-5 대중교통 계획 및 운영

1. RAPTOR 기반 선택지 집합 생성과 스마트카드 매칭을 활용한 대중교통 경로선택 모델 김민수, 여지호	135
2. 일반화 서열로짓 모형 기반 김포 수상버스 도입 수용요인 분석 이재완, 이채영, 김도경	136
3. 오픈 데이터를 활용한 지하철 승·하차 승객 수 산출 방법론 허창준, 조항훈, 유승민, 유소영, 김정화, 최성택	137
4. 광역BRT 수단선택 행태 모형화 연구: 충청권 사례를 중심으로 정유미, 도명식, 김세헌	138

SESSION C-6 지속가능 교통 및 환경정책

1. 차량번호인식장치 기반 서울 도심부 차량 배출량의 구조적 특성 분석 이인성, 임승빈, 고준호	141
2. Mobility as a Service는 어떻게 진화하고 있는가? : BERT 분석을 통한 2016년~2025년 궤적 추적 김성아, 이수기, 고준호, 여지호, 조항훈, 최성택	142
3. 통행데이터를 활용한 탄소배출량 기반의 Eco-Score 설계 및 통행자 집단 분석 김동현, 구자현, 추상호	143
4. 한국 승인 국가온실가스 배출계수식의 보정계수 기반 고도화 방법론 개발 김진재, 이채영, 김예원, 이승봉, 오관용, 김대진	144

SESSION C-7 수요응답형 교통(DRT)

- | | |
|--|-----|
| 1. AHP-WASPAS 기반 경기도 광역 DRT 우선도입지역 선정 연구
오승빈, 김수재 | 147 |
| 2. 농촌 DRT 접근성 개선을 위한 저속 전기 Mobility 활용 방안 연구
김지유, 김수재 | 148 |
| 3. 다도시 DRT 알고리즘 벤치마킹: 도시 맥락 기반 성능 비교 프레임워크
방혜원, 여지호 | 149 |
| 4. 평가지표별 수요응답형 교통서비스 데이터 항목 중요도 분석
권영일, 권우진, 예지현, 오지혜, 권오훈, 도우석, 김동욱, 김성훈 | 150 |

SESSION C-8 클라우드소싱 물류 및 마이크로모빌리티

- | | |
|--|-----|
| 1. 동대문구 여객 통행 기반 Crowdsipping 도입 가능성 평가
이중권, 민석원, 김용훈, 박동주 | 153 |
| 2. 배송주행로봇 운영을 위한 로드뷰 기반 보도환경 구축과 Social Force Model을 활용한 구간별 임계 혼잡도 평가
박지수, Mohammadjavad Ghorbanalivakili, 고준호 | 154 |
| 3. 클라우드소싱 물류에 대한 체계적 문헌 고찰
김지유, 민석원, 박동주 | 155 |
| 4. 서울시의 자전거 기반 클라우드물류 도입 가능성 연구
민석원, 김용훈, 박동주 | 156 |

SESSION C-9 도로 인프라 관리 및 파손탐지

- | | |
|---|-----|
| 1. 이중 헤드 세그멘테이션 기반 차선 도색 손상도 평가 프레임워크
한준규, 김민석, 박준규, 류승기 | 159 |
| 2. 도로파손 시각정보 기반 AI 탐지 성능을 향상하는 AFNet 전처리 연구
김민석, 한준규, 박준규, 류승기 | 160 |
| 3. 고속도로 리모델링 사업 성과지표 체계 구축 연구
강민욱, 도승일, 박신형 | 161 |
| 4. 머신러닝을 활용한 도로포장 열화 예측: 변수 선택 및 예측력 검증
김민송, 김세현, 도명식 | 162 |

SESSION C-10 도시 모빌리티 서비스 및 주차

- | | |
|--|-----|
| 1. 서울시 공공자전거의 지역단위 주행거리 영향요인 분석 -Spatial GAM을 활용하여-
김태우, 박지수, 고준호 | 165 |
| 2. 2035 서울 모빌리티 미래상 연구
갈주희, 김희조, 심재윤, 박신형, 박동주 | 166 |

SESSION C-11

교통신호 제어 및 최적화

1. 도로 유교 상황에서의 실시간 경로 안내 및 적응형 신호 제어의 통합 적용 효과 평가 오동호, 김동규	169
2. 교통 신호 최적화에서 딥러닝 기반 시간 지연 보상 기법의 효과 분석 박근원, 이상현	170
3. 실측 데이터 기반 과포화 상태 자체도 추정 모형 개발 김재용, 조재호, 김진태	171
4. AI 기반 신호제어 방식 현시 운영 특성 분석 연구 이재형, 김진태	172
5. 국도 김응신호제어시스템을 위한 대체검지기 성능기준 개선 연구 이민형, 이준엽, 진재엽	173

학술발표 Poster Session

ITS

1. C-ITS 통신방식 단일화 정책 이후 도로변 통신 인프라 전환 전략 연구 윤영민	177
2. HS-WMM의 축별 계측 오차와 총중량 오차의 분포 특성 비교 분석 안선영, 장경찬	178
3. 도로교통 공공 서비스·인프라의 암호화 사이버위협에 대한 네트워크 행위기반 보안관제 기술 개발 황정운, 양승규, 신영섭, 차태영, 김상현, 김경환, 조용성	179
4. 교차로 신호운행을 반영한 교통정보 수집 및 가공 방안 안희근, 이민형, 김광수	180
5. 희소한 프로브 차량 데이터를 활용한 침투율 인지 기반 교통속도 및 불확실성 추정 박하정, 이승현	181
6. 차량추종모형 보정을 통한 신호교차로 군집주행 전략수립 남혁주, 이승현	182
7. 신호교차로에서 차종 및 진행방향에 따른 차두간격 분포 특성 분석 장경찬, 김현준, 안선영	183
8. 자율주행차량 도입에 따른 도로다이얼트 분석 문경준, 변지혜	184
9. 정확도 향상 및 유지를 위한 교보정 절차 박가문날비, 김태상	185
10. 데이터 희소 OSM 환경에서의 휠체어 통행 경로 생성 방법론 장재홍, 한정우, 심지섭	186
11. 도심 교차로 자율 이동 로봇을 위한 R2X 기반 내비게이션 시스템 김명현, 김준영, 김인희, 천경훈	187
12. 영상센서의 오차 특성을 반영한 차량 밀도 추정 방법 이희원, 이지선	188
13. 교통량과 신호 잔여시간을 고려한 GLOSA 기반 친환경 주행 전략 박건민, 정희진, 심지섭	189
14. 교통약자를 위한 전동보장구 충전시설 입지선정에 관한 연구: 대전광역시를 중심으로 이승보, 이성재, 정희진, 고은정	190

공유교통

1. 지속 가능한 자율주행 모빌리티를 위한 승하차 인프라의 전략적 배치 연구 김채원, 김정화	191
2. 중단 시계열 분석을 활용한 통합 교통정책이 서울시 공공자전거 이용에 미치는 영향 분석 이상재, 이승보, 정희진, 고은정	192
3. 텍스트-트립체인 융합 기반 환승 이벤트 스트레스 지수 산정 및 네트워크 지도화: 형평 가중 우선순위 분석 양민수, 홍정열	193
4. 멀티모달 데이터 기반 트립체인 분석을 통한 공유 모빌리티 기능적 권역 설정 방법론 연구 박기현, 홍정열	194
5. 철도역 동적 정보 환경에서의 정보 접근성 분석 백지혜	195
6. 공간자기상관을 고려한 음이항 회귀모형 기반 대전광역시 공공자전거 이용 특성 분석 성하윤, 이동섭, 심지섭	196

교통빅데이터

1. 어린이보호구역 무인 속도단속에 따른 운전자 행태 분석: 준수 및 주행 안정성의 유형화 이소연, 이승현	197
2. 철도 네트워크 회복탄력성 평가를 위한 머신러닝 기반 시뮬레이션 프레임워크 김동민, 이승현	198
3. 협력적 게임 이론 기반 수도권 지하철 네트워크 수입금 기여도 산정 방안 김희천, 신성일, 김종형	199
4. 수도권 통합대중교통 요금체계 시뮬레이터 - 선별분석 기반 지하철 네트워크 수입 기여도 추정 모형 - 신성일, 고규희, 김종형	200
5. 모바일폰 신호 데이터 기반 엔트로피를 활용한 집-직장 거점 추정 남상기, 정연식	201
6. 공공분야 이동지원 실증차량의 운행실태 파악을 위한 빅데이터 분석 박찬영, 백성재, 최세령, 박제진	202
7. 공공업무용 초소형 전기차의 실증 성과 및 서비스 만족도 분석 정민준, 백성재, 최세령, 박제진	203
8. 강수량이 대중교통 이용에 미치는 영향: 스마트카드 데이터를 활용한 고령자와 일반 이용자 비교 김지규, 김종형, 박민호	204
9. 교통량정보제공시스템 개선을 위한 방법론 개발 연구 김동협, 한대철, 정도영, 김형규	205
10. 거대 언어 모델을 활용한 개인단위 통행사슬 전수화 방법 개발 노차우, 원민수	206
11. 스마트카드 데이터를 활용한 서울시 마을버스 노선의 Hub 기반 OD 구조 분석 오정현, 서연우, 윤규근	207
12. 커뮤니티 탐지 기반 서울시 고령인구 생활권의 구조적 변화와 연령별·지역별 비교 분석 김서연, 변지혜	208
13. 객체단위 모빌리티 합성 데이터 생성 및 데이터 합성 가이드라인 구축 연구 장다빈, 노차우, 김의진, 원민수	209

교통계획

1. 철도 승객의 차내 활동 및 활동 지속시간에 영향을 미치는 요인 분석 정용진, 김진희	210
2. 실시간 수요응답형 교통을 위한 이용자 효용 기반 동적 경로 생성 프레임워크 염주현, 김진희	211
3. Drive-Through 시설의 입지 및 유출입 구조별 교통운영 영향 분석과 관리 전략에 관한 연구 최창훈, 박제진	212
4. 수도권 교통카드기반 지하철 역사 접근성 추정 방안 신성일, 김종형	213
5. 이용행태와 TOD 특성 기반 환승역 유형화 및 환승센터 투자 우선순위 분석 김태준, 김정화	214
6. 대수도 환승환경에서의 수직이동시설 선택행태와 이용자 이질성 분석: 서울역 GTX-A를 중심으로 김아린, 김정화	215
7. 실제 주행자료 기반 혼잡 반영 대체경로 생성 및 네트워크 혼잡 완화 효과 분석 한정우, 김가경, 정희진, 심지섭	216
8. 빅데이터 수집범위 변화에 따른 화물자동차 통행특성 분석 오연선, 이준혁, 원민수	217
9. 인천국제공항 국제선 연결 품질 기반 환승전용 내항기 최적 운항 스케줄 분석 이준욱, 김인희	218
10. 검지기 데이터 기반 네트워크 수준 TOD 경계 최적화 기법 연구 서지영, 이선하	219
11. 신수단 수요 예측을 위한 페르소나 검색 기반 SP-RP 전이 프레임워크 문찬우, 문선아, 김인희, 김진희	220
12. 서울시 장애인콜택시 서비스의 지역 간 배차율 불균형 요인분석 진동준, 정희진, 심지섭	221
13. AHP 기반 중소도시 모빌리티 도입 우선순위 분석 성민준, 도우석, 권오훈	222

교통안전

1. 깊이카메라를 이용한 이동형 자전거도로 노면상태 자동탐지 시스템 개발 정인택, 장봉주, 박동현	223
2. 도로기상 기반 지열식 도로열선 시스템의 결빙 방지 성능 분석 박근형	224
3. 교통사고 상해 영향요인의 상대적 심각도 배수 분석: 가해자-피해자 간 비교 박세현	225
4. 2024년 도로교통 사고비용 추계 최미선, 심태일	226
5. 증분 학습을 활용한 미학습 실내 환경의 세그멘테이션 성능 개선에 관한 연구 정아영, 배주원, 서동환	227
6. 자이로스코프 기반 중력 벡터 트래킹 전처리를 적용한 CNN-LSTM 기반 3D Inertial Odometry에 관한 연구 서홍일, 이동진, 서동환	228
7. Sequential 자이로 데이터를 활용한 Transformer 기반 자세변화량 추정 모델에 관한 연구 서홍일, 이동진, 정재훈, 서동환	229
8. 고속 해상 객체 탐지 및 조기 포착을 위한 하이브리드 탐지 및 추적 알고리즘에 관한 연구 강현준, 배주원, 서동환	230

9. 서울시 고령 운전자 교통사고 다발지역의 사고 심각도 영향 요인 분석 -XGBoost와 SHAP 기반 주·야간 비교 분석을 중심으로-	231
박지영, 전효원, 정희진, 고은정	
10. 고령운전자 교통환경 개선을 위한 도로표지 시인성 확보 연구	232
장윤미, 최우철, 정규수	
11. 도로표지의 설계목표수명을 고려한 구조 안전점검 주기에 대한 분석	233
성흥기, 정규수	
12. NAM의 다중 과업 학습과 VLM 기반 로드뷰 분석을 활용한 교차로 내 취약계층 사고위험요인 해석	234
연혁주, 장기태	
13. 딥러닝 영상 분석을 통한 도심부 불법 주·정차의 교통류 저해 영향 정량화: 유효 도로 폭 및 위험운전을 중심으로	235
박동혁, 이유화, 진민수, 문재필, 심승보	
14. 주행 안전 측면에서 보차혼용 도로 내 전기차 회생제동 시스템의 영향	236
임재혁, 김인희	
15. 복잡한 도심 환경을 위한 상황 인지형 AR-HUD 내비게이션: 운전자 행태에 관한 다차원적 분석	237
김정윤, 김인희, 오택호	

기타

1. 화물차 중량관리 서비스 제도 개선 방안	238
이치열, 김성현, 김종식	
2. 고정밀 스마트 자중계 센서 개발 로드맵	239
이치열, 김성현, 김현석	
3. GTX-A 개통에 따른 진화게임이론 기반 전략적 경로 선택 행태 분석	240
정인웅, 이승현, 변지혜	

스마트시티

1. 한국에서의 앱 기반 주차 예약 서비스에 대한 운전자 선호 이질성 분석: 파일럿 이산선택실험 연구	241
Truyen Le-Minh, Inhi Kim	

인공지능

1. 요약 기반 문맥 구조화를 통한 Multi-hop 질의응답 방법 제안	242
윤태이, 김태희, 천세진	
2. 강의 비디오로부터 지식 품질을 평가하기 위한 LLM 기반 프레임워크 설계	243
김채은, 김태희, 천세진	
3. 온디바이스 RAG를 위한 질의 복잡도 기반 적응형 검색 및 근거 보정 파이프라인	244
이현기, 김아영, 천세진	
4. MCP 기반 LLM Agent를 활용한 해양 레저 추천 프레임워크	245
김법기, 박정현, 천세진	
5. 생성형 AI 검색 페이지의 AEO·SEO 간 HTML 구조 차이 분석	246
박소현, 박정현, 천세진	
6. 경량화 FCTM의 객체 검출 성능 향상을 위한 표준편차 기반 손실 함수	247
유길경, 서정일	
7. Random Camera Sampling 기반 3D Human Reconstruction 모델의 일반화 성능 개선	248
조수빈, 서정일	

8. 열차 중심 그래프 신경망을 활용한 다단계 철도 지연 예측 모델 연구 홍충교, 김인희	249
9. 방향 가시성 빈도 기반 중요도 Pruning과 복셀 병합을 통한 2D Gaussian Splatting 경량화 안정우, 김원열	250
10. AI 알고리즘 기반 렌더카 운전자 최적경로 제공을 위한 교통방송 설계 김중호	251

자율주행

1. 자율주행차 수용성에 대한 인지된 신뢰와 경험적 신뢰의 차별적 영향분석 김은영, 육동형, 이성원	252
2. LDA 기반 자율주행차 운영 시나리오 개발에 관한 연구 박재홍, 임기원, 윤덕근, 이호윤	253
3. 자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발 황정운, 양승규, 신영섭, 차태영, 김상헌, 김경환, 조용성	254
4. 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급복구 지원 서비스 기술 개발 연구 황정운, 양승규, 신영섭, 차태영, 김상헌, 김경환, 조용성	255
5. 자율주행 혼합교통환경 고속도로 합류·분류구간 용량 영향분석 백성채, 최세령, 오주석, 박제진	256
6. Alpamayo VLA 모델을 활용한 추론 기반 End-to-End 자율주행 정재철, 박만복	257
7. 인프라 LiDAR를 이용한 엣지 피팅 기반 목표차량 속도 추정 홍인준, 박만복	258
8. 자율주행 혼재 시 통합교통관제를 위한 표준적합성 검증시스템 개발 및 실증 시험 변민우, 손승녀, 강원평, 한경희	259
9. 도로주행 시뮬레이터와 운전자 모니터링 시스템을 연계한 자율주행차 제어권 전환 분석 체계 개발: 고속도로 공사구간 사례 분석 현석규, 박수연, 박상경, 이현석, 김형주, 가동주	260
10. 자율주행자동차 시범운행지구의 주요 운영 성과 김가중	261
11. 자율주행차 판단 기능의 이종화 기반 이상 검출 박상빈, 박만복	262
12. 스마트 공장 환경에서의 드론 자율 탐사 성능에 대한 3D SLAM 알고리즘의 안정성 분석 태한철, 유영준	263
13. 자율주행 차량을 위한 실시간 객체 탐지 기반 차선 변경 계획 연구 안해주, 박만복	264
14. 자기차량 계획을 위한 자율주행 월드모델의 인과 모델링 김부건, 장기태	265
15. 도심환경의 차량 궤적 예측 영향인자 분석을 위한 이종요인 시나리오 분류 박범진, 송채원, 윤진원, 오시문	266
16. 실외이동로봇 신호 인식 한계 및 실시간 교통신호정보 연계 필요성 연구 우동혁, 권민수, 이승철	267
17. 혼합 셀 보정을 포함한 GroundGrid 기반 LiDAR 지면 분할 이종윤, 박만복	268
18. 인프라 중심 협력 인지를 위한 의미 기반 특징 강화 방법론 엄새안, 장기태	269

19. 자율차량 혼재 시 개별차량 고위험 예측 모델 개발	270
정정호, 이승봉, 한효림, 김진재, 박준영, 이승하	
20. LLM 기반 자율주행 혼재 시 고위험 상황 시나리오 분석 프레임워크 개발	271
나성은, 박수연, 이은주, 임동현, 전재원, 김형주	

재난 및 방재

1. 잡음에 강인한 비접촉식 고정밀 지하차도 침수 감시 기술 연구	272
장봉주, 박동현, 정인택	
2. Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) 기반 강우 데이터 증강 및 성능 분석에 관한 연구	273
박재홍, 윤천주, 김영록, 진민수,	
3. 소규모 건설현장의 ICT 기반 안전장비 도입에 따른 안전관리 실효성 및 경제적 효용 분석	274
최세령, 신우현, 박제진	
4. 도시 재난형 교통위기 대응을 위한 교통네트워크 회복력 평가 연구	275
김강현, 홍정열	
5. 자율주행 및 모빌리티 지원을 위한 방송·통신 하이브리드형 HP-GNSS 서비스 아키텍처 제안 및 TTA 표준 기반 성능 실증	276
서영우, 이용준	

탄소중립

1. 공공-민간 교통데이터 융합 기반 도로구간 온실가스 배출량 산정 방법론 개발	277
고민지, 손승녀, 김주애, 강원평	
2. 자율주행 이동식 로봇 충전기를 이용한 동적 전기 자동차 충전 방안	278
서문정, 이승현, 변지혜	
3. 전기차 전환과 도시 미세먼지의 공간적 분포: 감가속 및 대기확산을 고려한 링크단위 분석	279
조항훈, 김성아, 최성택	

통신

1. 다중 기기와의 실시간 무선 통신을 위한 한국형 DDS(int2DDS) 개발	280
이정섭, 박기희, 권병현, 이상웅	
2. OcuSync 텔레메트리 신호의 복조 및 프레임 해석	281
오기석, 김정창	
3. 자기 상반 기반 LoRa 신호 파라미터 후보군 검출	282
노석현, 오기석, 김정창	

5G 응용

1. 양자-고전 통합 V2X 네트워크 제어/관리를 위한 환경 적응형 도로 유형 분류 및 링크 품질 분석 연구	283
김진욱	

e-Mobility

1. 일반화 비용 기반 소존 단위 도심항공교통 수요추정 방법론 개발	284
방태원, 도우석, 권오훈	

데이터 기반 로봇 서비스 실증 및 평가 기술

특별
Session
B-10

(주)아이비스

디지털 트윈 기반 다목적 로봇 통합 관제시스템 개발

이윤희, 김현구, 김상민, 황정현

탑승형 모바일 로봇의 디지털 트윈 구현을 위한 다중 로봇 시뮬레이션 환경 구축

김상민, 이윤희, 최민지, 이승현

로봇용 정보모델 개발

박홍성

테스트베드 구축을 위한 Unity 기반 가상 시뮬레이션 활용 사전 설계 최적화 연구

이창환, 이재용, 김세종

로봇 서비스 디지털 트윈 구현을 위한 가상환경 설계 방안 연구

박문우, 이재원, 백형택

디지털 트윈 기반 다목적 로봇 통합 관제시스템 개발

Development of a Digital Twin-based Integrated Fleet Management System for Multi-Purpose Robots

이윤희 ((주)아이비스, 책임연구원)	김현구 ((주)아이비스, 책임연구원)	김상민 ((주)아이비스, 연구원)	황정현 ((주)아이비스, 전무)
-----------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

최근 로봇 산업의 발전으로 서비스, 순찰, 배송 등 다양한 분야에 로봇의 활용이 확대되고 있으며, 단일 기능을 넘어 다양한 서비스를 수행하는 다목적 로봇으로 발전하고 있다. 이러한 다목적 로봇의 효율적인 운영을 위해서는 로봇 상태의 통합 관리와 검증이 가능한 시스템이 요구된다. 디지털 트윈 기술은 실제 시스템과 동일한 가상의 모델을 생성하고, 이를 통해 시뮬레이션 기반 검증 및 운영 효율성 향상을 가능하게 하는 기술로 주목받고 있다.

본 논문에서는 디지털 트윈 기반 다목적 로봇 통합 관제시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 실제 로봇과 가상 로봇이 실환경과 가상 환경에서 동일한 데이터 구조를 기반으로 동작하도록 설계하였다. 다목적 로봇 통합 관제시스템은 클라우드 서버 기반으로 구성되며, 로봇의 상태, 위치, 임무 수행 정보, 로봇 제어 및 모니터링 기능을 통합적으로 제공한다. 통합 관제시스템은 통신 broker, frontend, backend로 구성되며, 통신 broker는 로봇과의 통신을 담당하고, frontend는 사용자 인터페이스와 시각화를 담당하며, backend는 데이터의 저장과 관리, 처리를 담당한다.

또한, 디지털 트윈 가상 환경은 실제 로봇과 실환경을 동일하게 구축하였다. 가상 로봇은 실제 로봇과 동일한 구조와 동역학 특성을 반영하여 모델링하였으며, 가상 환경은 지도 기반으로 구성하여 실환경과 동일한 구조와 크기를 갖도록 구축하였다. 이를 통해 로봇의 이동 경로 및 서비스 시나리오를 재현할 수 있도록 하였다.

제안한 시스템의 구현을 통해 실제 로봇과 가상 로봇의 구분 없이 통합 관제할 수 있음을 확인하였다. 관제시스템 대시보드를 통해 다수의 로봇이 동작을 확인하였으며, 개별 로봇의 위치, 센서 데이터 시각화, 로봇 제어 동작, 통계 데이터 표출과 알람 기능이 정상적으로 동작함을 확인하였다. 이를 통해 다양한 환경에서 다목적 로봇 운영의 효율성을 향상시키고, 검증 기반의 운영 최적화를 지원할 수 있음을 보였다.

사사: 이 논문은 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구(No. RS-2025-14383067, 데이터 기반 로봇 서비스 실증 및 평가 기술)이며, 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임.(No.RS-2025-25459027, 운전자 안전 향상 및 글로벌 규제 대응을 위한 온디바이스AI 기반 지능형 디지털 클러스터 시스템 개발)

탑승형 모바일 로봇의 디지털 트윈 구현을 위한 다중 로봇 시뮬레이션 환경 구축

Construction of Multi-Robot Simulation Environment for
Digital Twin Implementation of Passenger Mobile Robots

김상민
(주)아이비스,
연구원

이윤희
(주)아이비스,
책임연구원

최민지
(주)아이비스,
연구원

이승현
(주)아이비스,
선임연구원

최근 스마트 모빌리티 및 자율주행 기술의 발전과 함께, 사람이 직접 탑승하여 이동할 수 있는 탑승형 모바일 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 다중 로봇 시스템의 개발 및 검증 과정에서 실물 로봇을 직접 활용하는 방식은 높은 비용과 안전상의 위험을 수반한다. 이러한 한계를 극복하기 위한 방안으로 디지털 트윈(Digital Twin) 기술이 주목받고 있다. 디지털 트윈은 물리적 시스템을 가상 환경에 유사하게 구현하여 실시간 모니터링, 시뮬레이션 및 검증을 가능하게 하며, 실제 환경에 적용 전 소프트웨어의 안전성과 신뢰성을 사전에 확보할 수 있다는 장점을 갖는다. 기존 로봇 시뮬레이션 환경 구축에는 Gazebo가 오랫동안 널리 사용되어 왔으나, 물리 엔진의 정확도에서 한계를 드러냈다. 이에 본 연구에서는 PhysX 기반의 고정밀 물리 엔진과 RTX 렌더링을 지원하는 NVIDIA Isaac Sim을 시뮬레이션 플랫폼으로 채택하였다.

그에 따라 본 논문에서는 NVIDIA Isaac Sim과 ROS 2를 연동하여 탑승형 모바일 로봇의 다중 로봇 시뮬레이션 환경을 구축하는 방법론을 제시한다. 로봇 모델은 ROS 2 표준 기술 파일인 URDF를 Isaac Sim에서 사용하는 USD 포맷으로 변환하여 적용하였으며, 시뮬레이션 맵은 실제 로봇의 Lidar 센서를 통해 획득한 SLAM 기반 점구름 데이터(pgm)를 3D 메쉬로 변환하여 구성함으로써 실제 운용 환경과 동일한 시뮬레이션 공간을 실현하였다. 센서 구성에 있어서는 로봇 몸체로 인한 Lidar 오인식 문제를 해결하기 위해 전방 및 후방에 Lidar 센서를 각각 배치하고, IRA Laser Tools 패키지를 활용하여 두 스캔 데이터를 단일 토픽으로 병합하였다. 카메라 센서는 Isaac Sim의 OmniGraph Action Graph를 통해 각 로봇별 RGB 영상이 ROS 2 토픽으로 발행되도록 구성하였다. 다중 로봇 동시 운용을 위해 각 로봇에 독립적인 ROS 2 네임스페이스를 부여하고, Isaac Sim의 ROS 2 Bridge에서 발행되는 Odometry 데이터를 네임스페이스가 적용된 TF 변환으로 재발행하는 노드를 구현하여 다수의 로봇이 단일 도메인에서 충돌 없이 운용될 수 있는 통신 구조를 설계하였다.

구축된 환경은 Isaac Sim과 RViz 2를 동시에 실행하여 로봇의 위치 및 자세 일치를 확인하고, 병합된 LiDAR 스캔 데이터가 정상적으로 발행됨을 검증하였다. 본 연구의 성과는 실물 하드웨어 없이 다중 로봇 소프트웨어를 개발·검증할 수 있는 디지털 트윈 환경을 제공하며, 향후 Sim-to-Real 검증 및 다양한 로봇으로의 확장을 통해 시스템 구조의 범용성을 높일 계획이다.

사사: 이 논문은 정부(중소벤처기업부)의 재원으로 중소기업기술정보진흥원의 지원 (No. RS-2024-00470176, 소프트웨어 정의 자동차(SDV)를 위한 표준 자동차 데이터 모델 기반 디지털 트윈 개발환경 구축)과 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2025-14383067, 데이터 기반 로봇 서비스 실증 및 평가 기술)

로봇용 정보모델 개발

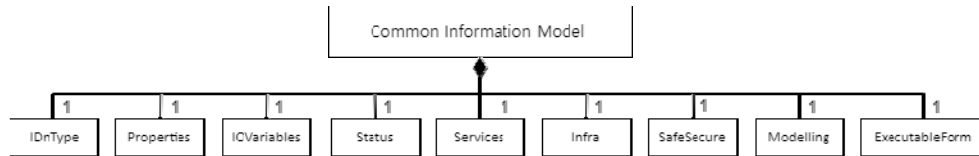
Development of Information Model for Robots

박홍성

(강원대학교 전기전자공학과, 교수)

현재 로봇 영역에서 사용 가능한 정보모델은 ISO TC299에서 표준으로 개발되고 있다. 표준으로 개발된 내용은 로봇 모듈화 관련 일반요구사항, 공통 정보모델, 소프트웨어 모듈용 정보모델로 3종이며, 하드웨어용 정보모델과 지각 모듈 관련 내용을 표준으로 개발하는 중이다. 그러나 이러한 정보모델은 로봇에 활용 가능한 기능 모듈용으로 개발되어, 기능 모듈들의 조합하여 표현하는 로봇용 정보모델로 사용하기에는 세부적인 내용이 부족하다. 본 논문에서는 기능 모듈에서 정의한 정보모델 표준을 기반으로 로봇에서도 사용 가능한 정보모델로 확장한 로봇용 정보모델을 제안한다.

현재 표준으로 제정된 기능 모듈용 정보모델의 구성이 <그림 1>에 표시되어 있다.



<그림 1> 정보모델의 구성

IDnType 클래스에는 모듈 ID와 모듈에 포함된 하드웨어 및 소프트웨어 관련 모듈의 ID를 나열하게 됩니다. Properties 클래스에는 필수 속성과 선택적 속성으로 분류되어 모듈의 수행시 활용되는 속성을 저장합니다. IOVariables 클래스에는 모듈이 사용하는 변수 이름들이 저장되며, 이 내용은 ROS 토픽과 유사합니다. Status 클래스는 작동 중인 모듈의 상태를 저장하고, Services 클래스에는 모듈이 사용하는 서비스(기능)의 인터페이스에 대한 정보를 저장한다. Infrastructure 클래스에는 데이터베이스 유형, 기계적 프레임워크, 전원 유형, ROS, openRTM, OPRoS와 같은 미들웨어 관련 정보가 저장되며, SafeSecure 클래스에는 모듈이 제공하는 안전 관련 성능 수준과 보안 정보를 저장하며, Modelling 클래스에는 시뮬레이션에 사용되는 모델 관련 정보가 저장된다. ExecutableForm 클래스에는 모듈의 수행 혹은 동작에 필요한 정보를 저장합니다. 이러한 정보들은 기능 모듈의 수행과 관련된 정보로, 로봇 관점에서 보면 좀 더 제한적인 정보들이 포함되어야 하지만 이에 대한 내용을 포함하지 못하고 있다.

본 연구에서는 속성 정보에 로봇의 동작에 제약을 주는 정보로 동작 능력(operation capability, OC)과 관련된 제약 조건을 추가하고, 출력 변수 관점에서도 모니터링한 변수 값이 환경에 따라 어느 기준값을 넘어갈 때 경보를 울리거나 그 기준값을 넘지 못하도록 제한을 가하는 신호를 주도록 하여야 한다. 즉, 안전한 동작을 하도록 로봇에 주는 명령들을 항상 모니터링하고 관리해야 한다. 물론 이 내용은 서비스에도 해당된다. 환경에 따라 서비스에 주는 값에도 제한이 존재한다. 예를 들면, 위험 구역에 들어가면 로봇의 속도를 일정 속도 이하로 감속해야 하고 로봇의 행동 반경도 제한이 되도록 해야 한다. 실제 주행 모듈 관점에서는 이러한 내용이 전혀 포함되어 있지 않다. 실제로 로봇의 종류에 따라 수행시 주의해야 하는 기준이 다르다. 현재는 각 로봇업체에서 이러한 내용들을 개별적으로 구현하고 있지만 이러한 로봇이 해당 환경이 아니고 다른 환경에서 사용할 때는 문제가 생길 수 있다. 이러한 관점에서 정보모델로 이러한 OC와 관련된 제약 조건을 제공함으로써 다양한 로봇들이 정보모델 기반으로 쉽게 사용할 수 있도록 도와준다.

본 논문에서는 제안한 내용의 검증을 위하여 2종의 로봇의 실례를 보여준다.

사사: 이 논문은 산업통상자원부 재원으로 산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행하였음(MOTIE/KEITRS-2025-14383067)

테스트베드 구축을 위한 Unity 기반 가상 시뮬레이션 활용 사전 설계 최적화 연구

A Study on Pre-design Optimization and Validity Verification using Unity-based Virtual Simulation for Constructing Autonomous Robot Testbeds

이청환
(한국섬유기계융합연구원,
선임연구원)

이재용
(한국섬유기계융합연구원,
수석연구원)

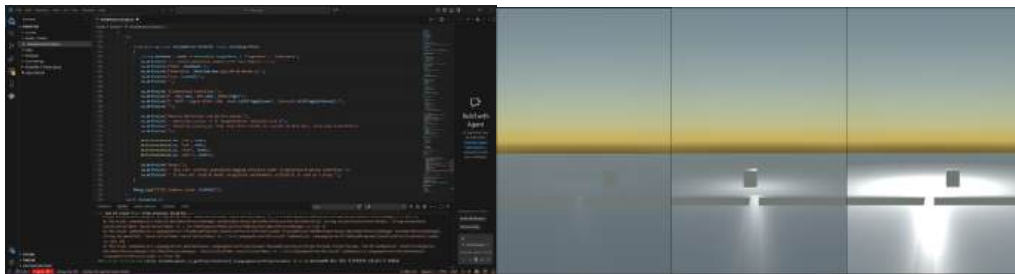
김세중
(한국섬유기계융합연구원,
전임연구원)

본 연구는 자율주행 로봇의 실 물리 테스트베드(Physical Testbed) 구축 단계에서 발생할 수 있는 설계 결함과 하드웨어 리스크를 최소화하기 위해, Unity Engine 기반의 가상화 실증 방법론을 통한 사전 설계 최적화 과정을 제안한다. 최근 산업용 이동 로봇(AMR)의 수요가 급증함에 따라 다양한 환경에서의 주행 안정성 검증이 요구되고 있으나, 실제 물리적 환경을 직접 구축하여 모든 변수를 테스트하는 방식은 막대한 시간과 고비용의 인프라 투자를 수반한다. 따라서 본 연구에서는 실제 구축 예정인 테스트베드의 사양을 디지털 트윈 기반의 가상 모델로 선제 구현하고, 환경 변수에 따른 로봇의 인식 및 주행 성능을 정밀하게 분석하였다.

실험 설계 단계에서는 산업용 실내 조명 표준(ISO 8995) 및 실제 제조 현장의 광원 조건을 반영하여 조도 환경을 저조도(100lx 이하), 중조도(500lx), 고조도(1,000lx 이상)의 세 단계로 구체화하였다. 또한, 로봇과 대상체 간의 거리(2m~6m) 및 카메라의 설치 각도를 변수로 설정하여 로봇의 비전 인식 정합성을 시뮬레이션하였다. 대구기계부품연구원(DMI) 입회하에 수행된 가상 시뮬레이션 구동 시험 결과, 제안된 가상 테스트베드는 실제 환경에서 발생할 수 있는 비전 센서의 물리적 특성을 효과적으로 재현하였다.

특히 분석 결과에 따르면, 저조도(100lx 이하) 및 근거리(2~4m) 구간에서 로봇의 인식 성공률이 62.3%로 하락하는 특정 취약 지점을 발견하였다. 이는 실제 테스트베드 구축 시 단순한 공간 조성을 넘어, 보조 광원의 적절한 배치와 카메라 센서의 노출 파라미터 최적화가 필수적임을 시사하는 정량적 근거가 된다. 반면, 표준 중조도(500lx) 이상의 환경에서는 안정적인 주행 로그 데이터를 확보함으로써 가상 모델을 통한 사전 설계의 타당성을 입증하였다.

결론적으로 본 연구는 가상 시뮬레이션을 단순한 테스트 도구가 아닌, 실제 물리적 인프라 구축을 위한 '데이터 기반의 설계 가이드라인'으로 활용할 수 있음을 보여준다. 이러한 사전 검증 프로세스는 향후 고도화된 로봇 서비스 실증 단지 조성 시 시행착오를 줄이고, 개발 비용 절감 및 시스템 신뢰도 향상에 기여할 것으로 기대된다.



[가상 환경 구축 및 시뮬레이션 구동화면]

사사: 이 논문은 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2025-14383067, 데이터 기반 로봇 서비스 실증 및 평가 기술)

로봇 서비스 디지털 트윈 구현을 위한 가상환경 설계 방안 연구

A Study on Virtual Environment Design for Robot Service Digital Twin Implementation

박문우

(한국로봇산업진흥원,
책임연구원)

이채원

(한국로봇산업진흥원,
선임연구원)

백형택

(한국로봇산업진흥원,
팀장)

본 연구는 로봇 서비스 디지털 트윈 구현을 위한 가상환경 설계 방안을 제시하는 기초 연구이다. 최근 물류, 제조 및 서비스 산업에서 전반에서 로봇의 활용이 급격히 확대됨에 따라, 다양한 환경 조건에서 로봇의 성능과 안정성을 체계적으로 검증하기 위한 기술의 중요성이 증가하고 있다. 특히 로봇이 실제 운영 환경에서 직면하는 복잡한 물리적 상호작용과 예측 불가능한 상황을 고려할 때, 사전 검증 단계에서 정밀한 평가 체계가 요구된다. 그러나 실환경 기반 검증은 비용, 시간, 안전성 측면에서 제약이 존재하며, 반복적인 실험 수행과 다양한 조건 재현에 한계가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 디지털 트윈 기반 시뮬레이션 기술이 주목받고 있으며, 실제 환경과 가상환경 간의 높은 정합성을 확보하는 것이 핵심 요소로 요구된다. 디지털 트윈은 물리 시스템의 상태를 가상 공간에서 반영할 수 있고, 다양한 조건에서의 동작을 사전에 검증할 수 있는 장점을 제공한다. 이에 본 연구에서는 실제 로봇 테스트 환경과 개념적으로 유사한 가상환경을 OpenUSD 기반으로 설계하고, GPU 가속 시뮬레이션 환경을 활용하여 가상환경 구성에 필요한 주요 설계 요소를 도출하였다. 특히 환경 모델링, 물리 파라미터 설정, 센서 구성 및 데이터 표현 방식 등 실제 환경과의 일관성을 확보하기 위한 핵심 요소를 중심으로 분석하였다.

또한 디지털 트윈 시스템 구현을 위한 기본 구조로서 물리 계층, 정보 융합 계층, 디지털 계층으로 구성된 계층적 구조를 제안하고, 실제 로봇 데이터와 가상 모델 간의 연계를 고려한 데이터 흐름과 인터페이스 구성을 검토하였다. 아울러 기하학적, 물리적, 동적 특성뿐 아니라 데이터 동기화 및 상호작용 측면을 포함하는 정합성 평가 항목을 도출하여 디지털 트윈 구현 시 고려해야 할 기본 기준을 제시하였다.

본 연구는 로봇 서비스 디지털 트윈 구현을 위한 가상환경 설계의 주요 고려 요소와 구조적 방향을 제시하며, 향후 실제 환경 적용 및 정밀 검증을 위한 후속 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 정부(산업통상부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2025-14383067, 데이터 기반 로봇 서비스 실증 및 평가 기술)

무인 고속정 군집 추정 기술 연구

특별
Session
E-4

경량형 모노콥터의 안정적인 영상획득에 관한 연구

이현준, 허윤정, 허민진, 김균동

복합 해기상 시나리오 및 가상 시제를 활용한 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축

박시은, 백원빈, 안홍균

해상 감시 강화를 위한 레이더-RGB 영상 정합 기법에 관한 연구

배주원, 서홍일, 이진세, 서동환

SeaDronesSee 데이터셋을 이용한 시뮬레이션 보트 탐지에서 최신 객체 탐지 모델의 유효성 분석

양민석, Anto Anbarasu Yesudhas, 성주현

경량형 모노콥터의 안정적인 영상획득에 관한 연구

A Study A Study on Stable Image Acquisition for Lightweight Monocopter

이현준 (주)우리웍스, 선임연구원	허윤정 (주)우리웍스, 선임연구원	하민진 (주)티에스티이, 대표	김군동 (주)우리웍스, 대표
-----------------------	-----------------------	---------------------	--------------------

최근 군사작전 등 원거리 상황 파악이 필요한 경우, 드론을 이용한 원거리 비행과 원격 영상 전송 방식이 일반화되고 있다. 이때 복잡한 지형과 장애물이 존재하면 명확한 상황 파악을 위해 다수의 드론이 필요해질 수 있으나, 가용 드론의 대수는 발사체의 탑재 가능 중량에 의해 제한될 수밖에 없다.

본 논문에서는 이러한 제약을 극복하기 위해 경량형 모노콥터를 제안하고, 안정적인 영상 획득 방법을 제시한다. 비행체는 프로펠러 개수에 따라 모노콥터, 바이콥터, 트리콥터, 쿼드콥터 등으로 분류되며, 프로펠러와 구동 모터가 1개인 모노콥터가 가장 가벼운 형태이다. 복수의 프로펠러를 갖는 드론과의 가장 큰 차이점은 구동 중 본체가 회전한다는 점으로, 본체 안정성을 일부 희생하는 대신 경량성을 확보한 구조이다. 따라서 지속적으로 회전하는 모노콥터에서 영상을 획득하기 위해서는 특정 방향을 바라보는 순간, 흔들림 없이 이미지를 획득하는 기술이 요구된다.

본 연구에서는 회전 플랫폼에서도 특정 방향(북쪽)에 정렬된 영상을 안정적으로 획득할 수 있는 구조를 제안한다. 자기 센서(magnetometer)를 이용한 전자 나침반과 자이로 센서(gyro sensor) 정보를 통해 모노콥터의 상태를 측정하고, 이미지 센서의 모든 픽셀을 동시에 노출시키는 글로벌 셔터(global shutter) 방식을 적용하여 흔들림 없는 영상을 확보한다. 또한 OS 기반 커널 스케줄링 및 인터럽트에 따른 타이밍 지연 문제를 해결하기 위해 범용 SBC 대신 별도의 마이크로컨트롤러(MCU)를 사용한다. MCU는 영상 획득 타이밍의 트리거 역할을 수행하여 지연 오차를 최소화하며, 지연이 발생하더라도 일정한 값으로 유지되므로 보정이 용이하다.

향후 본 기술은 프로펠러 일부가 손상된 드론 등 비행 안정성이 낮은 환경에서도 안정적인 영상 획득을 가능하게 하는 등 다양한 분야로의 확장이 기대된다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방 기술 연구개발사업임 (No.915141301)

복합 해기상 시나리오 및 가상 시제를 활용한 무인 고속정 군집 추정 검증용 해상 시뮬레이터 구축

Development of a Marine Simulator for Validation of USV Swarm Scenarios
under Complex Marine Environments Using Virtual Sensors

박지은 (한국해양대학교, 석사과정)	백원빈 (한국해양대학교, 석사과정)	안홍균 (한국해양대학교, 박사과정)	우주현 (한국해양대학교, 교수)	이혜원 (한국해양대학교, 교수)
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

무인 고속정 군집의 탐지 및 추정 기술을 검증하기 위해서는 다양한 해상 상태, 기상 조건, 그리고 센서 운용 환경 반영이 필수적이다. 그러나 실제 해상에서의 실험은 비용 및 안전성 측면에서 제약이 크고, 알고리즘 학습을 위한 정제된 센서 데이터를 확보하는 데 한계가 있다. 본 연구의 목표는 파노라마뷰 정합과 저전력 모노콥터 유닛을 이용한 NLOS 탐색 및 3D 이미지 융합 기반의 무인 고속정 군집 추정 기술 개발을 위하여 이를 통합적으로 검토할 수 있는 가상 시제 및 시뮬레이션 기반 검증 환경을 구축하는 것이다. 이를 위하여 게임 엔진과 외부 동역학 엔진을 실시간 통신으로 연동하여 선박의 사실적인 기동과 물리 현상이 반영된 해상 시뮬레이터를 구현하였다. 특히, 본 연구에서는 다양한 운용 시나리오에 부합하도록 복합적인 해기상 상태를 모델링하였다. 현실적인 해상 상태와 센서 운용 환경을 모사하고자 바람에는 Harris spectrum 기반의 가변 풍속 모델을, 파랑에는 Gerstner wave와 Pierson-Moskowitz 스펙트럼을 활용한 이중 파랑장 모델을 적용하였으며, 이를 바탕으로 여러 해기상 상태가 조합된 시뮬레이션 시나리오를 구성하였다. 다음으로, 시뮬레이터 내에 가상 카메라와 Raycast 기반의 가상 레이더를 배치하여, 다양한 기상 및 해상 조건 속에서 알고리즘 검증에 필요한 다중 센서 데이터를 획득할 수 있도록 구현하였다. 그 결과, 다양한 운용 시나리오를 가상공간에서 성공적으로 재현할 수 있음을 확인하였으며, 파노라마뷰 정합과 저전력 모노콥터 유닛을 이용한 NLOS 탐색 및 3D 이미지 융합 기반의 무인 고속정 군집 추정 기술을 효과적으로 검증할 수 있는 시뮬레이션 기반 환경을 마련하였다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방 기술 연구개발사업임 (No.915141301)

해상 감시 강화를 위한 레이더-RGB 영상 정합 기법에 관한 연구

A Study on Radar-RGB Image Matching Techniques for Enhancing Maritime Surveillance

배주원

(한국해양대학교,
박사과정)

서홍일

(한국해양대학교,
박사과정)

이진세

(한국해양대학교,
박사과정)

서동환

(한국해양대학교,
교수)

최근 고속으로 운행하는 군용 무인수상정으로 인한 해상 감시 및 충돌 회피의 중요성이 크게 증가하고 있다. 특히 항만, 연안, 협수로와 같이 복잡한 환경에서는 기존 레이더 기반 감시만으로는 표적의 형태와 종류를 직관적으로 식별하기 어렵고, 반대로 카메라 영상만으로는 악천후, 야간, 원거리 상황에서 안정적인 인지가 제한되는 문제가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 선박에 탑재된 해상 레이더 영상과 RGB 카메라 영상을 정합하여 하나의 화면에서 동시에 제공하는 멀티센서 시각화 기법을 제안한다. 제안 방법은 레이더와 카메라 간의 기하학적 관계를 보정하고, 시간 동기화 및 좌표계 변환을 통해 레이더 표적 정보를 카메라 영상 상에 정합하는 방식으로 구성된다. 이를 통해 운항자는 주변 표적의 거리, 방위와 함께 실제 영상 정보를 직관적으로 확인할 수 있으며, 무인수상정과 같은 고속 이동 표적에 대한 상황 인지 능력을 향상시킬 수 있다. 또한, 방법은 향후 자율운항선박 및 지능형 해상 감시 시스템에서 충돌 위험 경고, 표적 추적, 객체 식별 성능 향상을 위한 기초 기술로 활용될 수 있다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방 기술 연구개발사업임 (No.915141301)

SeaDronesSee 데이터셋을 이용한 시뮬레이션 보트 탐지에서 최신 객체 탐지 모델의 유효성 분석

A Comparative Study of Recent Object Detection Models for Simulated Boat Detection Using the SeaDronesSee Dataset

양민석
(국립한국해양대학교,
석사과정)

Anto Anbarasu Yesudhas
(국립한국해양대학교,
박사후연구원)

성주현
(국립한국해양대학교,
교수)

이 연구는 SeaDronesSee 데이터셋을 이용해 시뮬레이션 기반 보트 탐지 환경에서 최신 객체 탐지 모델들의 실제 유효성을 비교한 논문이다. 해상 드론 영상은 작은 객체, 복잡한 배경, 수면 반사, 원거리 시점 등으로 인해 일반 객체 탐지보다 난도가 높기 때문에, 최신 모델이라고 해서 항상 더 좋은 성능을 낸다고 단정할 수 없다. 이에 따라 본 연구는 동일한 데이터셋과 동일한 학습 조건에서 여러 최신 모델을 직접 비교하여, 해상 보트 탐지에 더 적합한 모델이 무엇인지 정량적으로 확인하고자 했다.

비교 대상은 YOLOv8, YOLO11, YOLO12 계열과 RT-DETR-1이며, 모델 크기에 따라 nano 계열(YOLO8n, YOLO11n, YOLO12n)과 large 계열(YOLO8l, YOLO11l, YOLO12l, RT-DETR-1)로 나누어 함께 해석했다. 실험은 SeaDronesSee의 학습 24,534장, 검증 8,584장, 테스트 2,725장을 사용해 수행되었고, 모든 모델은 100 epoch, 입력 크기 640, 동일한 데이터 증강 및 학습 조건 아래서 공정하게 비교되었다. 증강에는 Blur, MedianBlur, ToGray, CLAHE가 사용되었으며, 실험 환경은 Ubuntu 25.04, RTX 4080 GPU 기반 단일 GPU 시스템이다.

실험 결과, 전반적으로 YOLO 계열이 RT-DETR-1보다 더 높은 정확도와 더 빠른 추론 속도를 보였다. 정확도 측면에서는 YOLO12l가 mAP50-95 0.9541로 가장 높아 전체적으로 가장 우수한 탐지 성능을 나타냈다. 반면 YOLO8n은 recall 0.9739, mAP50 0.9932를 기록하면서 경량 모델임에도 매우 강한 성능을 보였다. 속도 면에서는 YOLO8n이 총 지연 시간 1.107 ms로 가장 빨라 실시간 처리에 가장 적합한 모델로 평가되었다. 즉, 정확도를 최우선으로 보면 YOLO12l, 실시간성과 경량성을 중시하면 YOLO8n이 가장 유리하다는 결론이다.

반대로 RT-DETR-1은 recall 자체는 0.9719로 낮지 않았지만, mAP50-95가 0.7485로 크게 떨어졌고, 추론 속도도 가장 느렸다. 이는 본 실험 조건의 해상 보트 탐지 문제에서는 Transformer 기반 검출기보다 YOLO 계열이 더 적합했음을 보여준다. 또한 이 결과는 최신 모델이 항상 가장 좋다고는, 모델 구조와 크기, 그리고 실제 적용 환경에 따라 성능 차이가 달라진다는 점을 시사한다. 결국 해상 객체 탐지 시스템을 설계할 때는 단순히 최신 모델을 선택하기보다, 정확도와 속도 사이의 균형을 기준으로 목적에 맞는 모델을 선택해야 한다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방기술 연구개발사업임 (No.915141301).



Session A

자율주행 인지 및 센서융합

Session

A-1

Mahalanobis 거리와 3D IoU를 통한 자율주행용 LiDAR 기반 다중 객체 추적 성능 개선
김동영, 문승재, 원종훈

Camera-LiDAR 센서 퓨전 기반 Semantic 동적 ROI 설정을 통한 자율주행 인지 효율 개선
박성준, 최재원, 문승재, 원종훈

다뷰전 기반 약천후 데이터 생성 모델 분석 연구
홍택수, 김소희, 권장우

End to end 자율주행 모델의 효율적 비전 토큰 압축 방법
한승민, 공승현

시계열 학습을 통한 4D 레이더 기반 인간 자세 추정
임찬빈, 공승현

Mahalanobis 거리와 3D IoU를 통한 자율주행용 LiDAR 기반 다중 객체 추적 성능 개선

Performance Improvement of LiDAR-Based Multi-Object Tracking Using Mahalanobis Distance and 3D IoU for Autonomous Driving

김동영

(인하대학교 자율항법연구실,
학부연구생)

문승재

(인하대학교 자율항법연구실,
학부연구생)

원중훈

(인하대학교 전기컴퓨터공학과,
교수)

자율주행 시스템에서 3D LiDAR 센서는 정밀한 거리 정보를 제공함으로써 객체 추적의 핵심적인 역할을 수행한다. 객체 추적 시 Kalman Filter를 통한 상태 예측과 3D Intersection over Union(3D IoU)를 활용한 기법이 주를 이룬다. 이는 관측 박스와 예측 박스의 물리적 중첩도를 계산하여 동일 객체 여부를 판단하는 효율적인 방식이라는 장점이 있다 [1]. 그러나 3D IoU는 두 박스 사이의 물리적 중첩이 존재할 때만 유효한 값을 산출하므로, 예측 모델의 오차로 인해 중첩이 발생하지 않을 경우 동일 객체임에도 객체 추적에 실패할 수 있다 [2]. 더불어 검출기에서 발생하는 노이즈를 제어하지 못할 경우, 존재하지 않는 객체를 유효한 타겟으로 오인하는 False Positive 문제가 발생한다 [3].

본 연구에서는 관측 박스와 예측 박스 사이의 물리적 중첩이 발생하지 않는 상황을 보완하기 위해 3D IoU와 Mahalanobis 거리 [2]의 상보적 결합을 기반으로 다중 객체 추적 알고리즘을 제안한다. 이는 LiDAR 기반 검출기인 PointRCNN [4]을 통해 얻은 3D 바운딩 박스를 입력으로 사용한다. 예측 단계에서 Kalman Filter로 객체의 상태를 추정하고, 3D IoU와 예측값과 관측값 사이 가질 수 있는 불확실성을 의미하는 잔차 공분산을 반영한 Mahalanobis 거리를 결합하여 비용을 산출한다. 검출된 객체 정보는 Kalman Filter와 Hungarian Algorithm [5]을 통해 처리된다. 이를 통해 물리적 중첩도와 통계적 거리를 확보하여 새로운 비용 함수 설계를 통한 객체 추적 성능 개선이 연구의 핵심이다.

제안하는 성능 검증을 위해 KITTI 벤치마크 데이터셋을 통해 검증하며, 베이스라인 모델인 AB3DMOT [1]와 제안하는 알고리즘 간 성능 차이를 동일 환경에서 비교 분석한다. 객체 추적 성능 분석을 위하여 3D MOT의 표준 지표인 Multi-Object Tracking Accuracy(MOTA)와 scaled Average Multi-Object Tracking Accuracy(sAMOTA)를 사용해 제안 방식의 성능을 검증하고 평가한다. 이를 통해 자율주행 객체 추적 성능 향상에 기여할 것으로 기대한다.

Key Words: 3D LiDAR, Object Tracking, Mahalanobis Distance, 3D IoU, AB3DMOT, Kalman Filter

참고문헌

1. X. Weng, J. Wang, D. Held and K. Kitani (2020). "3D Multi-Object Tracking: A Baseline and New Evaluation Metrics" IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 10359-10366
2. H. Chiu, J. Li, R. Ambrus and J. Bohg (2021). "Probabilistic 3D Multi-Modal, Multi-Object Tracking for Autonomous Driving" IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 14227-14233
3. H. Rohling (1983). "Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multiple Target Situations" IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. AES-19, no. 4, pp. 608-621
4. S. Shi, X. Wang, and H. Li (2019). "PointRCNN: 3D Object Proposal Generation and Detection from Point Cloud" IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 770-779
5. H. W. Kuhn (1955). "The Hungarian Method for the Assignment Problem" Naval Research Logistics Quarterly, vol. 2, no. 1-2, pp. 83-97

사사 : 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 인천시의 재원으로 인천 RISE 센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신 중심 대학지원체계(RISE) COSS의 결과입니다.(2026-RISE-04-009)

Camera-LiDAR 센서 퓨전 기반 Semantic 동적 ROI 설정을 통한 자율주행 인지 효율 개선

Camera-LiDAR Sensor Fusion-Based Semantic Dynamic ROI Configuration for Efficient Perception of Autonomous Driving

박성준 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	최재원 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	문승재 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	원중훈 (인하대학교 전기컴퓨터공학과, 교수)
--	--	--	--

딥러닝 기반 인지 기술과 다양한 센서를 결합한 센서 퓨전 기술은 복잡한 도로 환경에서 객체를 정확하게 인식하기 위한 핵심 기술로 활용되고 있다. 그 중 LiDAR 센서는 높은 거리 정확도와 3차원 기하학적 정보를 제공하여 자율주행 환경 인지에 중요한 역할을 수행한다. 그러나 LiDAR는 한 프레임에서 많은 point cloud 데이터를 생성하므로 모든 포인트를 대상으로 인지 알고리즘을 수행할 경우 계산량이 증가하고 처리 시간이 길어지는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Region of Interest(ROI)를 설정하여 불필요한 포인트를 제거하고 연산 효율을 향상시킬 수 있다. 기존 연구에서는 주행 경로나 차량의 위치 정보를 기반으로 기하학적 규칙을 이용하여 ROI를 설정하는 방법이 주로 사용되었다. 이러한 방식은 실제 도로 환경의 의미적 정보를 충분히 반영하지 못하여 불필요한 영역의 포인트가 포함되거나 주행과 관련된 중요한 영역이 제외될 가능성이 존재한다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 camera-LiDAR 센서 퓨전을 활용한 semantic 기반 동적 ROI 구성 방법을 제안한다. 먼저 camera 영상에서 딥러닝 기반 주행 가능 영역 segmentation과 객체 segmentation을 수행하여 주행 환경의 의미 정보를 추출한다 [1]. 이후 LiDAR point cloud를 camera 영상 평면으로 투영하고, segmentation된 도로 영역과 객체 영역에 대응되는 포인트만을 선택하여 semantic 기반 ROI를 구성한다 [2]. 이를 통해 비도로 영역이나 불필요한 배경 포인트를 효과적으로 제거하면서도 도로 영역 및 주변 객체에 해당하는 포인트를 유지할 수 있다.

제안한 방법의 성능을 검증하기 위해 MORAI Simulator 환경에서 다양한 주행 시나리오를 구성하여 실험을 수행한다. 기존 waypoint 기반 ROI와 geometric ROI 방법을 비교하여 ROI 적용 후 포인트 수 감소율, 안정적인 객체 인지 및 처리 시간 측면에서 성능을 분석하였다 [3]. 제안한 semantic 기반 동적 ROI 방법은 기존 방식 대비 불필요한 point cloud 처리를 효과적으로 감소시키고 주요 인지 정보를 유지하여 자율주행 환경 인지 성능을 개선한다.

참고문헌

1. D. Wu et al. (2022) "YOLOP: You Only Look Once for Panoptic Driving Perception," Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 2705~2714
2. S. Vora, A. H. Lang, B. Helou, O. Beijbom. (2020) "PointPainting: Sequential Fusion for 3D Object Detection", IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 4604~4612
3. 사공성표, 김종호, 이경수. (2025) "라이다 처리 효율 향상을 위한 주행상황 및 경로 기반 동적 라이다 관심영역 설정 알고리즘", 자동차안전학회지, 제17권, 제2호, pp. 6~13

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 인천시의 재원으로 인천RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE) COSS의 결과입니다.(2026-RISE-04-009)

디퓨전 기반 악천후 데이터 생성 모델 분석 연구

Analysis of Diffusion-Based Adverse Weather Data Generation Models

홍택수

(인하대학교 전기컴퓨터공학과)

김소희

(인하대학교 전기컴퓨터공학과)

권장우

(인하대학교 컴퓨터공학과, 교수)

본 연구는 자율주행 환경에서 악천후로 인해 저하되는 객체 탐지 성능 문제를 완화하기 위한 합성 데이터 생성 가능성을 분석하는 데 목적이 있다. 실제 도로 환경에서 비, 눈, 안개, 야간과 같은 악천후 데이터를 충분히 수집하고 정밀하게 라벨링하는 작업은 많은 시간과 비용을 필요로 하므로, 맑은 날씨의 참조 이미지를 다양한 악천후 조건으로 변환하는 생성 기반 데이터 증강 기법이 대안으로 주목받고 있다. 이에 본 연구에서는 디퓨전 기반 이미지 생성 모델을 활용하여 악천후 데이터를 생성하고, 각 모델의 구조 보존 성능과 프롬프트 반영 성능을 비교 분석하였다.

실험에는 ACDC 기반으로 정리한 참조 주행 이미지를 사용하였으며, 각 이미지에 대해 비, 눈, 안개, 야간의 네 가지 악천후 프롬프트를 동일하게 적용하였다. 비교 대상 모델은 Stable Diffusion, SDXL Img2Img, InstructPix2Pix, FLUX 2 4B로 구성하였다. 정량 평가는 PSNR, SSIM, CLIP image similarity, CLIP text similarity를 통해 수행하였고, 정성 평가는 모델별 생성 이미지를 직접 비교하는 방식으로 진행하였다.

실험 결과, SDXL Img2Img는 평균 PSNR 24.5289, SSIM 0.9723으로 가장 높은 구조 보존 성능을 보였으며, Stable Diffusion도 유사한 수준의 안정적인 성능을 나타냈다. InstructPix2Pix는 악천후 속성을 보다 직접적으로 반영하였으나 일부 장면에서 구조적 선명도가 감소하는 경향을 보였다. FLUX 2 4B는 CLIP text similarity 31.8468로 가장 높은 프롬프트 반영 성능을 기록하였으나, 구조 보존 측면에서는 가장 낮은 결과를 보였다. 이를 통해 악천후 데이터 생성 모델은 구조 보존과 날씨 표현 강도 사이에서 서로 다른 특성을 보이며, ITS 환경에서는 활용 목적에 따라 적절한 모델을 선택해야 함을 확인하였다.

사사: 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2022-KP002841, 회전설비 인공지능형 진동 감시 시스템 개발)

End-to-end 자율주행 모델의 효율적 비전 토큰 압축 방법

Efficient Visual Token Compression for End-to-End Autonomous Driving

한승민

(건국대학교 전기전자공학부, 학사과정)

공승현

(한국과학기술원 조천식모빌리티 대학원, 교수)

최근 자율주행 연구는 기존의 모듈러(modular) 기반 접근 방식에서 벗어나, 입력부터 제어까지를 하나의 모델로 학습하는 end-to-end 접근 방식으로 빠르게 전환되고 있다. 이러한 흐름 속에서 다양한 센서 조합 중에서도 카메라만을 사용하는 vision-only 접근은 비용 효율성과 풍부한 시각 정보 활용 측면에서 주목받으며, end-to-end 자율주행 모델에서 널리 채택되고 있다. 특히 멀티뷰 카메라를 활용한 구조는 차량 주변 환경을 보다 정밀하게 인지할 수 있도록 하지만, 다수의 카메라 입력과 temporal 정보를 함께 사용할 경우 비전 토큰 수가 급격히 증가하여 트랜스포머 기반 정책 모델의 연산량이 크게 증가하는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 멀티뷰 및 temporal 입력 환경에서의 비전 토큰 증가 문제를 해결하기 위해 BEV(Bird's Eye View) 기반의 토큰 압축 구조를 제안한다. 제안하는 방법은 다수의 카메라 입력을 BEV 공간에서 통합하고, 이전 시점의 맥락까지 반영한 BEV 특징을 생성한 뒤, 이를 고정된 개수의 compact 토큰으로 변환한다. 또한 object detection 및 semantic segmentation을 보조 학습으로 함께 수행하고, 언어 레이블 기반 contrastive learning을 통해 BEV 표현의 의미적 정보를 강화하였다.

MORAI 시뮬레이션 환경에서 수행한 실험 결과, 제안한 방법은 기존 baseline 대비 waypoint 예측 오차를 감소시키고 제어 신호의 안정성을 향상시켰다. Open-loop 평가에서 WPADE가 0.52 m에서 0.49 m로, WPFDE가 1.29 m에서 1.12 m로 감소하였으며, Closed-loop 평가에서는 Driving Score가 39.9%에서 65.3%로 크게 향상되어, 충돌 및 주행 위반을 효과적으로 줄이면서 보다 안정적인 주행을 달성하였다. 또한 멀티뷰 및 temporal 정보를 활용함에도 불구하고, 약 90 ms 수준의 낮은 추론 지연(latency)을 유지하였다. 본 연구는 멀티뷰 및 temporal 입력에서 발생하는 비전 토큰 증가 문제를 효과적으로 해결함과 동시에, 주행 성능 향상과 실시간 추론 효율을 모두 달성할 수 있음을 실험적으로 입증한다.

사사: 이 논문은 산업통상자원부의 지원을 받아 시행된 연구임 (No. N02250174).

시계열 학습을 통한 4D 레이더 기반 인간 자세 추정

4D Radar-Based Human Pose Estimation via Temporal Learning

임찬빈

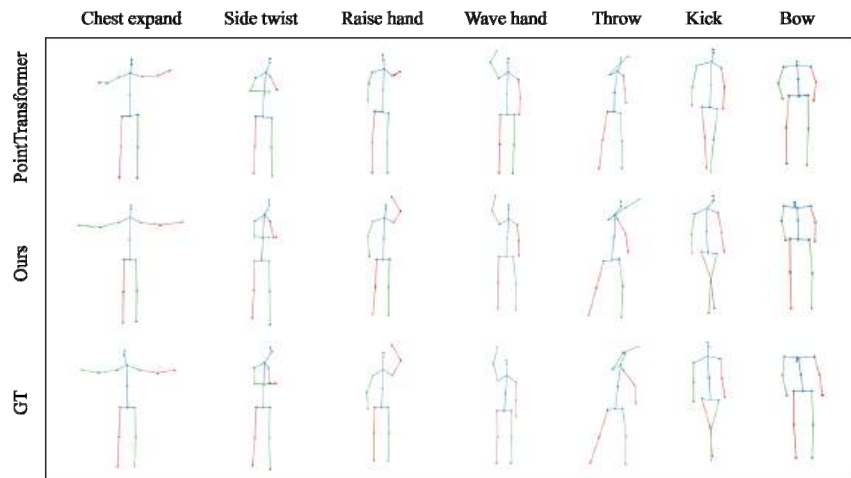
(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 연구원)

공승현

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원 교수)

4D 레이더 기반 인간 자세 추정(Human Pose Estimation, HPE)은 지능형 교통 시스템 및 스마트 모빌리티 환경에서 보행자와 탑승자의 행동을 이해하기 위한 핵심 기술로 주목받고 있다. 기존의 RGB(D) 카메라 기반 방법은 높은 해상도의 시각 정보를 활용할 수 있으나, 조명 변화, 저조도, 가림 현상 등에 취약하며 프라이버시 침해 우려가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 4D 레이더 기반 접근이 대안으로 제시되고 있으나, 레이더 포인트 클라우드는 희소성, 노이즈, 낮은 공간 해상도, 다중 경로로 인한 고스트 포인트 등으로 인해 인체 구조를 명확히 표현하기 어렵다는 근본적인 문제가 존재한다. 또한 기존의 단일 프레임 기반 HPE 방법은 인간 움직임의 시간적 연속성을 충분히 반영하지 못해 자세 추정의 불안정성과 오차 증가를 초래한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 시계열 학습을 기반으로 한 4D 레이더 인간 자세 추정 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 포인트 클라우드의 공간적 특징과 인체 구조적 제약, 그리고 시간적 연속성을 통합적으로 반영하는 프레임워크로 구성된다.



<그림 1> 공개 데이터셋에 대한 정성적 평가

실험 결과, 제안한 방법은 공개 데이터셋에서 Random, Cross-Subject, Cross-Environment의 다양한 평가 프로토콜 전반에 걸쳐 기존 단일 프레임 기반 방법 대비 일관된 성능 향상을 달성하였다. 구체적으로 Random 프로토콜에서는 MPJPE와 PA-MPJPE 기준 각각 8.46% 및 10.05%, Cross-Subject 프로토콜에서는 각각 3.29% 및 6.32%, Cross-Environment 프로토콜에서는 각각 7.22% 및 10.01%의 성능 개선을 보였다. 특히 환경 변화 조건에서의 성능 개선이 두드러지게 나타나, 시계열 정보 활용이 레이더 기반 자세 추정의 강건성 향상에 기여함을 확인하였다. <그림 1>과 같은 정성적 평가에서도 제안 방법은 관절 위치를 보다 정확하고 안정적으로 추정하며, 인체 골격 구조가 왜곡되지 않는 결과를 보였다. 결과적으로, 본 연구에서 제안한 시계열 기반 4D 레이더 자세 추정 방법은 레이더 데이터의 근본적인 한계를 완화하면서 정확도와 강건성을 동시에 향상시키는 효과적인 접근법임을 입증하였다.

사사: 이 논문은 2026년도 중소벤처기업부의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2420024776).

자율주행 경로계획 및 제어

Session

A-2

제어권 전환 예측 모델 기반 선제적 자율주행 취약 구간 검지기법 개발

지정훈, 오철

차량 횡방향 경로 추종을 위한 안정성 지표 기반 이벤트 트리거형 모델예측제어

서민재, 김건태, 강창묵

기하학적 도메인 확장 기반 차선 변경 경로 계획 및 LPV-MPC 제어

김태웅, 김건태, 강창묵

노면 마찰 특성 피드백을 결합한 자율주행용 DWA 알고리즘의 경로 추종 성능 향상

정윤태, 양서준, 김용준, 원종훈

Camera-LiDAR Sensor Fusion Costmap 기반 VALOR Lattice Planner를 이용한 자율주행 경로 및 속도 계획

이강태, 김예린, 장원정, 김용준, 문승재, 원종훈

제어권전환 예측 모델 기반 선제적 자율주행 취약 구간 검지기법 개발

A Method for Identifying Automated Driving Vulnerability Zones Using a Takeover Prediction Model

지정훈

(한양대학교 교통물류공학, 박사과정)

오철

(한양대학교 교통물류공학, 교수)

자율주행 기술의 실도로 적용이 확대됨에 따라 안정적인 자율차 운영을 위해서는 선제적 교통안전관리의 중요성이 강조되고 있다. 제어권 전환 이벤트는 자율주행 시스템의 기술적 한계 또는 외부 환경의 복잡성으로 인해 자율주행을 지속하기 어려운 상황에서 차량 제어를 운전자에게 인계하는 과정으로 정의된다. 제어권 전환 이벤트는 자율차의 취약성을 식별하고 선제적 교통안전관리 필요구간을 분석하는 핵심 지표로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 실도로 자율차 주행 데이터를 기반으로 제어권 전환 이벤트 예측 로직을 개발하고, 이를 시뮬레이션에 적용하여 자율주행 취약구간을 선제적으로 분석하는 방법론을 개발하였다. 실도로에서 수집된 자율차 주행 데이터를 활용하여 제어권 전환 발생 케이스와 일반 자율주행 케이스를 추출하였다. 추출된 주행 궤적을 기반으로 7가지 주행행태지표를 산출하여 분석 데이터셋을 구축하였다. 입력변수를 주행행태지표로, 목표변수는 제어권 전환 발생 여부로 설정하여 72.9%의 정확도를 보이는 제어권 전환 예측 모델을 학습하였다. 학습된 모델의 의사결정 트리 구조를 바탕으로 제어권 전환 예측 로직을 개발하고 이를 자율주행 리빙랩 실증구간을 대상으로 구현된 시뮬레이션에 적용하였다. 생성된 제어권 전환 이벤트를 바탕으로 커널밀도추정 기법을 활용하여 자율주행 취약구간을 검지하고, 선정된 구간의 도로조건, 교통환경, 주변 토지이용특성을 바탕으로 취약요인을 분석하였다. 본 연구의 방법론은 자율주행 리빙랩 실증구간의 선제적인 안전관리와 자율협력주행을 위한 의사결정을 지원하는 기초자료로 활용될 수 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(RS-2022-00143579)

차량 횡방향 경로 추종을 위한 안정성 지표 기반 이벤트 트리거형 모델예측제어

Stability index based Event - Triggered Model Predictive Control for
Vehicle Lateral Tracking

서민재

김건태

강창묵

(한양대학교 전기공학과, 석사) (한양대학교 전기공학과, 석박통합) (한양대학교 전기공학과, 교수)

본 연구는 자율주행 차량의 횡방향 경로 추종 제어 문제를 다루었다. 자율주행 차량의 횡방향 경로 추종 제어에서는 추종 성능뿐 아니라 차량 자세 안정성과 조향 입력의 연속성도 함께 고려한다. 일반적인 MPC는 이러한 요구를 만족시키는데 유리하지만, 매 샘플링마다 최적화 문제를 풀어야 하므로 계산 부담이 크다. 이를 줄이기 위해 이벤트 트리거 기반 MPC가 연구되어 왔으나, 기존 방식은 주로 횡오차나 자세 오차의 임계치만을 기준으로 트리거를 구성하여 차량의 실제 안정 상태를 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다.

본 연구에서는 차량 횡방향 경로 추종을 위한 안정성 지표 기반 이벤트 트리거 MPC를 제안하였다. 제안한 방법은 횡방향 위치 오차와 각도 오차에 더해, 차체 슬립각, 자세오차 변화율, 횡가속도를 기반으로 구성된 안정성 지표를 함께 사용하여 재최적화 시점을 결정하도록 하였다. 또한 hysteresis, 상승 에지 판단, 최소, 최대 이벤트 간격 조건을 적용하여 불필요한 재최적화를 줄이도록 설계하였다.

MATLAB/Simulink 환경에서 기존 MPC, 임계치 기반 이벤트 트리거 MPC, 제안한 안정성 지표 기반 이벤트 트리거 MPC를 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 제안한 방법의 최대 횡오차와 RMSE는 각각 0.256363, 0/044823으로 기존 MPC의 0.2546, 0.043214 대비 소폭 증가하였지만, 전체적인 추종 성능은 유사한 수준으로 유지되었다. 반면 트리거 횟수 및 연산시간에 대한 측면에서는 기존 MPC의 1001회에서 1670회로 감소하였고, 평균 연산 시간도 29.26645초에서 11.28336초로 약 18초 가량 줄어 계산 효율이 크게 향상되었다.

따라서 제안한 안정성 지표 기반 이벤트 트리거 MPC는 경로 추종 성능을 유지하면서, 불필요한 최적화 계산을 효과적으로 줄일 수 있는 차량 횡방향 제어구조이다.

사사: 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원 및 한국연구재단의 지원(No. RS-2020-II201373, RS-2025-24534433)과 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00443216)

기하학적 도메인 확장 기반 차선 변경 경로 계획 및 LPV-MPC 제어

Geometric Domain Extension-Based Lane Change Path Planning and LPV-MPC Control

김태웅

(한양대학교 전기공학과, 석사)

김건태

(한양대학교 전기공학과, 석박통합)

강창목

(한양대학교 전기공학과, 교수)

본 논문에서는 자율주행 차량의 차선 변경 제어를 위해 확장된 도메인 기반의 LPV-MPC 제어를 제안한다. 확장된 도메인에서는 횡방향 위치 오차를 연속적인 \sin/\cos 좌표계로 변환함으로써, 기존 plane domain에서 차선 변경 시 발생하는 상태 불연속 문제를 효과적으로 제거할 수 있다. 기존 연구에서는 이러한 확장된 도메인 기반 모델을 이용하여 LPV-LQR 제어를 설계하였으나, 상태 피드백 기반 구조의 특성상 미래 참조 궤적을 직접적으로 반영하기 어려운 한계가 존재한다.

이를 보완하기 위해, 본 연구에서는 동일한 확장된 도메인 기반 LPV 모델을 유지하면서 제어를 LPV-MPC로 확장하였다. 제안된 제어기는 예측 구간 동안의 상태 및 참조 궤적을 고려하여 비용 함수를 최소화하는 방식으로 설계되었으며, 제약조건을 포함하지 않는 MPC 구조를 적용하였다.

제안된 방법의 성능 검증을 위해 MATLAB/Simulink와 CarSim을 연동한 시뮬레이션을 수행하였다. 차선 변경 시나리오에서의 궤적 추종 성능을 기존 LPV-LQR 제어기와 비교하였으며, 확장된 도메인의 상태 변수인 ξ_1 과 ξ_2 에 대한 RMSE를 기반으로 정량적 평가를 수행하였다. 그 결과, 제안된 LPV-MPC 제어기는 기존 방법 대비 향상된 궤적 추종 성능을 보였으며, 제어 입력의 변화율 측면에서 보다 안정적인 특성을 보였다.

사사: 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원 및 한국연구재단의 지원(No.RS-2020-II201373, RS-2025-24534433)과 2024년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00443216)

노면 마찰 특성 피드백을 결합한 자율주행용 DWA 알고리즘의 경로 추종 성능 향상

Path Tracking Performance Improvement of DWA Algorithm Integrated with
Road Friction Feedback for Autonomous Driving

정운태	양서준	김용준	원종훈
(인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	(인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	(인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	(인하대학교 전기컴퓨터공학과, 교수)

자율주행 자동차가 다양한 기후 조건에서 안정적으로 주행하기 위해서는 차량의 동역학적 특성과 노면 사이의 상호 작용을 고려한 경로 추종 성능 확보가 필수적이다 [1]. 기존의 경로 추종 알고리즘은 대체로 이상적인 노면을 가정하지만, 실제 환경에서는 강우, 결빙 등에 의해 노면 마찰계수(μ)가 실시간으로 변하며, 이는 타이어 슬립(Slip)을 유발해 제어 성능 저하의 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 실시간 노면 마찰계수를 경로 주행에 반영한 마찰계수 피드백 Dynamic Window Approach(DWA) 알고리즘을 제안하여 다양한 노면 조건에서도 안정적인 경로 추종 성능을 확보하고자 한다 [2].

노면의 마찰계수를 실시간으로 추정하기 위해, 차량의 동적 데이터(가속도, Yaw Rate) 기반 방식과 베이저안 트래킹(Bayesian Tracking) 방식을 결합한 통합 마찰계수 추정기를 사용한다 [3, 4]. 이후 추정된 마찰계수는 DWA 알고리즘에 적용되어 최대 가감속 범위를 동적으로 제한하며, 저마찰 노면에서의 급격한 제어 명령을 선제적으로 억제한다 [5]. 또한, 평가 함수 내에 마찰계수 기반의 목표 속도 보정 항을 도입하여 주행 환경을 고려한 속도 제어를 수행하도록 알고리즘을 재설계하였다.

제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해 MORAI 시뮬레이터 환경에서 아이오닉 5(IONIQ 5) 차량 모델을 활용하여, 한국건설기술연구원(KICT) 실측 데이터 기반의 고 마찰($\mu=0.765$)과 저마찰($\mu=0.463$) 시나리오에서 실험을 수행하였다 [6]. 실험 결과, 제안하는 알고리즘은 기존 방식 대비 횡 방향 경로 추종 오차(RMSE)를 고 마찰 노면에서 약 36.2%, 타이어 슬립 위험이 큰 저마찰 노면에서 약 86.4% 수준으로 크게 개선하였다. 이러한 성능 향상은 마찰계수 피드백 DWA 노면의 물리적 마찰계수를 선제적으로 인지하고, 타이어가 접지력을 상실하기 전에 주행 환경을 고려하여 허용 속도 영역을 제한한 결과이다. 또한, 두 노면 시나리오 간 RMSE 편차가 0.056m 수준으로 유지되며 급격한 노면 변화에도 일관된 주행 성능을 확인하였다.

참고문헌

1. R. Rajamani (2011), "Vehicle Dynamics and Control", 2nd ed, New York, NY, USA: Springer Science & Business Media.
2. D. Fox, W. Burgard, S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance.", in IEEE Robotics & Automation Magazine. vol. 4, no. 1, pp 23-33, March 1997.
3. R. Rajesh, et al(2010). "Tire-Road Friction-Coefficient Estimation". IEEE Control System Magazine, pp. 54 - 69.
4. W. Cho, S. Yoo, S. You (2023). "A Study on Estimation of Tire-Road Friction Coefficient for Lateral Stability Control of Vehicles", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, vol. 31, no. 12, pp. 1011 - 1020.
5. Zhuang. J, et al(2023), "Adaptive Stanley Control Method Based on Dynamic Window Approach", IEEE Access, vol. 10, pp. 110940 - 110948.
6. Jo et al(2025), "Empirical Study on Longitudinal Friction Coefficients under Various Road Surface Conditions", International Journal of Highway Engineering. vol. 27, no. 4, pp. 61-69.

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 인천시의 재원으로 인천RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE) COSS의 결과입니다.(2026-RISE-04-009)

Camera-Lidar Sensor Fusion Costmap 기반 VALOR Lattice Planner를 이용한 자율주행 경로 및 속도 계획

Path and Velocity Planning of Autonomous Driving Using Camera-LiDAR Sensor Fusion Costmap-Based VALOR Lattice Planner

이강태 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	김예린 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	장원정 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	김용준 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	문승재 (인하대학교 자율항법연구실, 학부연구생)	원종훈 (인하대학교 전기컴퓨터공학과, 교수)
--	--	--	--	--	--

복잡한 도심 환경에서 자율주행 차량의 경로 생성 정밀 [도와 주행 안정성은 필수적이다. 기존 LiDAR 기반 장애물 인식은 도로 및 주행 가능 영역 반영에 한계가 있으며, 기존 Lattice Planner는 고정된 전방 주시 거리(L_d)와 샘플링 해상도를 사용하여 경로 생성 시 속도 변화 적응성이 낮다[1]. 이를 해결하고자 거리에 따라 샘플링 해상도를 조절하는 기법이 제안되었으나, 차량의 실시간 속도를 반영하지 못함에 따라 경로 탐색의 정밀성이 떨어지는 한계가 존재한다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Camera-LiDAR Sensor Fusion 기반 Costmap과 Velocity-Adaptive Lookahead and Optimized Resolution (VALOR) Lattice Planner를 결합한 통합 경로 및 속도 계획 알고리즘을 제안한다.

LiDAR Point Cloud에 L-Shape Fitting 기반 Oriented Bounding Box(OBB)를 적용하여 장애물을 정밀하게 Fitting하고[3], 전방 Camera 영상을 Inverse Perspective Mapping(IPM) 기반 Bird's Eye View(BEV)로 변환 후 YOLO11m-seg 모델로 주행 가능 영역을 추출하여 통합 Costmap을 생성한다[4]. 제안하는 VALOR Lattice Planner는 차량의 종방향 속도에 따라 L_d 와 샘플링 해상도를 동적으로 조절한다. 저속에서는 샘플링 밀도를 높여 정밀한 회피 경로를, 고속에서는 L_d 를 확장하여 조향 안정성을 확보한다. 또한 도로 마찰계수와 경로 곡률을 반영한 동적 속도 임계값 설정 및 곡률 변화 구간 및 장애물 존재 여부를 기반으로 한 선제적 감속을 통해 인지(Costmap) - 제어(Speed) - 계획(Planning) 간 페루프 상호작용을 구현한다.

MORAI Simulator 기반 실험 결과, Camera Costmap 적용 시 주행 가능 영역 침범률과 Root Mean Square Offset을 유의미하게 개선하였다. 또한 VALOR Lattice Planner는 저속 협소 구간, 고속 회피 구간, 속도 가변 구간의 세 가지 시나리오에 대해 30회씩 반복 실험을 수행한 결과, 모든 시나리오에서 96.7%의 주행 성공률을 달성하고, 기존 모델 대비 낮은 Steering Rate를 유지하며 주행 안정성을 개선하였다. 본 연구는 Camera-LiDAR Sensor Fusion 기반 정밀 인지와 VALOR Lattice Planner의 통합을 통해, 다양한 속도 영역에서 경로 생성 안정성과 장애물 회피 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다.

참고문헌

- McNaughton, M., Urmson, C., Dolan, J. M., & Lee, J.-W. (2011). Motion planning for autonomous driving with a conformal spatiotemporal lattice. 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 4889-4895). IEEE.
- Sun, Y., & Li, B. (2026). Economical motion planning for on-road autonomous driving with distance-sensitive spatio-temporal resolutions. *Machines*, 14(2), Article 200.
- Zhao, C., Fu, C., Dolan, J. M., & Wang, J. (2021). L-shape fitting-based vehicle pose estimation and tracking using 3D-LiDAR. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 6(4), 787-798.
- Ahmad, M. A., & Muad, A. M. (2021). Calibration of inverse perspective mapping from different road surface images. 2021 IEEE 11th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET) (pp. 1 - 6). IEEE.

사사: 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 인천시의 재원으로 인천RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE) COSS의 결과입니다.(2026-RISE-04-009)

C-ITS 및 첨단차량안전기술

Session

A-3

LLM을 활용한 차선변경 목적기반 차량 궤적 예측

김주영, 소재현

5G NR 사이드링크 기반 차량통신에서 정밀 거리 측정 및 위치 추정

김영길

ADAS 시험평가 엡자케이스 분석을 통한 페달 오조작 방지 장치 시험평가 시나리오 개발 방향 연구

김도연, 장준혁, 유현식, 김기주, 정대훈, 김준년

내비게이션 실시간 교통신호 상태정보 제공 서비스의 교통 안전 및 운영 효율성 영향 분석

이태건, 김진태

LLM을 활용한 차선변경 목적기반 차량 궤적 예측

Context-Aware Lane Change Trajectory Prediction Distinguishing
Mandatory and Discretionary Maneuvers Using Large Language Model

김주영

(아주대학교, 학석박사통합과정)

소재현

(아주대학교, 교수)

차량 궤적 예측(Vehicle trajectory prediction)은 자율주행차가 복잡한 교통환경에서 안전하게 주행하기 위한 필수적인 기술임. 최근 딥러닝 기반의 궤적 예측 연구는 RNN, LSTM 등 시계열 모델을 활용하여 차량의 주행 궤적을 예측하는 데 큰 성과를 거두었음. 특히, Social-LSTM 계열 연구는 보행자 및 차량의 상호작용을 고려하여 궤적을 보다 정밀하게 예측할 수 있음을 보여주었음. 교통 시나리오의 복잡성이 증가함에 따라, 공간적 제약조건을 반영하는 그래프 신경망(GNN) 기반 연구와 Transformer 기반의 장기 의존성 모델링 기법이 주목받고 있음. 대부분의 기존 연구는 차선 변경을 예측하는 것은 아직 어려움이 존재하며, 이를 해결하고자 차선 변경에 초점을 맞추어 차량 궤적 예측하는 연구가 활발히 이루어지고 있음. 그러나, 현재 활발하게 이루어지고 있는 연구는 차선 변경 여부 자체만을 다룰 뿐, 차량 변경의 의도를 명확하게 구분하지 못하고 있음. 기존 연구에서 Lane Change를 예측하는 시도는 존재하나, 대다수는 단순히 “차선 변경 발생 여부”를 확률적으로 추정하는 수준에 머무르고 있음. 실제 운전 상황에서 차선 변경은 Mandatory Lane Change(MLC)와 Discretionary Lane Change(DLC)로 구분되며, 그 동기와 행동 패턴이 상이함. 기존 저널 대부분은 이러한 의도를 구분하지 않고 단일 모델에서 학습하여, 실제 운전자 행태와 불일치하는 예측을 내릴 가능성이 존재함. 따라서, Lane Change Intention을 고려하지 않은 기존 연구는 자율주행 차량의 안전성을 보장하는 데 한계가 있음.

본 연구의 목적은 MLC와 DLC를 구분하여 궤적을 예측하는 모델을 제안하는 데 있음. 이를 통해 자율주행 시스템이 보다 정교하게 주행 의도를 반영할 수 있으며, 안전성과 효율성을 동시에 고려한 의사결정이 가능하도록 함. 나아가, MLC와 DLC의 구분 학습을 통해 실제 도로 데이터와의 적합성을 높이고, 자율주행차 안전성 평가 및 지능형 교통시스템 구현에 기여하는 것을 목표로 함. 기존 연구의 한계였던 차선 변경 의도 구분 부재 문제를 보완하여, Lane Change 상황을 보다 정밀하게 반영한 궤적 예측 모델 제시하고 자율주행차의 안전성과 효율성을 동시에 향상시킬 수 있는 새로운 예측 프레임워크 구축하고자 함. 궁극적으로, 본 연구는 Lane Change 상황에서 발생하는 불확실성을 줄이고, 자율주행차의 신뢰성 높은 의사결정을 지원하는 기반을 제공함

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2023-00236825, 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발).

5G NR 사이드링크 기반 차량통신에서 정밀 거리 측정 및 위치 추정

Enhanced Ranging and Positioning for V2X Communications Using 5G NR Sidelink

김영길

(서울시립대학교, 교수)

자율주행 및 커넥티드 카 기술의 급속한 발전으로 인해 차량 간, 차량과 인프라 간의 정밀한 거리 측정과 위치 결정 기술의 중요성이 그 어느 때보다 높아지고 있다. 기존의 Global Positioning System (GPS) 기반 측위 시스템은 터널, 도심 고층 빌딩 밀집 지역, 지하 주차장 등의 Global Navigation Satellite System (GNSS) 음영 지역에서 심각한 정확도 저하 문제를 나타내며, 이는 자율주행에서 치명적인 위험 요소로 작용한다. 이러한 배경에서 본 논문은 5G New Radio (NR) 사이드링크 (Sidelink) 기반의 차량 통신(Vehicle-to-Everything: V2X) 환경에서 새로운 거리 측정 및 위치 추정 기법을 제안한다.

본 논문의 핵심 기술은 기지국 또는 Road Side Unit (RSU)을 Master Access Point (MAP), 주변 차량 또는 다른 RSU를 Slave Access Point (SAP)로 구성하는 것이다. 이것을 이용해 태그 차량의 위치를 파악하는 것으로 가정한다. 기존의 Round Trip Time of Arrival (RT-ToA) 방식, Time Difference of Arrival (TDoA) 방식은 MAP, SAP 가 따로 있는 것이 아니라 단지 Access Point (AP)만 존재한다는 면에서 제안된 시스템과 차이가 있다. RT-ToA 방식은 송신과 수신 사이의 왕복 시간을 측정하므로 AP 간 동기화가 필요 없다는 장점이 있다. 그러나 차량 군집 내의 N 대의 차량이 서로의 거리를 측정하기 위해서는 N^2 번의 메시지 교환이 필요하게 되어, 한정된 무선 자원 환경에서 심각한 통신 병목 현상을 초래할 수 있다. TDoA 방식은 여러 AP가 동일한 신호를 수신한 시각 차이를 이용해 위치를 계산한다. 이 방식은 타겟 단말이 신호를 한 번만 송신하면 되므로 효율이 높지만, 모든 AP 간에 완벽한 시간 동기화가 이루어져야 한다는 전제 조건이 필요하다. 차량 간 통신망(V2V)에서 GPS 없이 이러한 정밀 동기화를 유지하는 것은 기술적으로 매우 어렵고 비용이 많이 든다. 즉, 음영지역이 존재할 때 TDoA 는 사용이 매우 어렵다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 차량 군집 주행 환경에서 다음과 같다. 시스템은 크게 세 가지 역할을 수행하는 노드로 구성된다. MAP는 군집 주행을 이끄는 리더 차량 또는 인프라 RSU로 정의한다. MAP는 측위 절차를 시작하는 제1신호를 생성하고 전송하는 주체이다. 태그 차량은 위치를 측정하고자 하는 군집 내 멤버 차량이다. 태그 차량은 MAP의 신호를 수신한 후, 미리 정의된 하드웨어 처리 지연 시간 T_{gap} 을 거쳐 응답 신호인 제2신호를 전송한다. SAP는 태그 차량의 위치를 함께 측정하는 주변 협력 차량들이다. SAP는 MAP가 보낸 제1신호와 태그 차량이 보낸 제2신호를 모두 청취하여 두 신호의 도달 시간차를 측정한다.

사사: 이 연구는 교육부 및 한국연구재단이 지원하는 '첨단분야 혁신융합대학(COSS) 지원사업'의 일환으로 차세대 통신 혁신융합대학사업단의 지원을 받아 수행되었음.

ADAS 시험평가 엣지케이스 분석을 통한 페달 오조작 방지 장치 시험평가 시나리오 개발 방향 연구

A Study on Test and Evaluation Scenario Development for
Pedal Misapplication Prevention Systems Based on Edge Case Analysis of ADAS

김도연 (한국교통안전공단, 연구원)	장준혁 (지능형자동차 부품진흥원, 주임연구원)	유현식 (한국교통안전공단, 연구원)	김기주 (지능형자동차 부품진흥원, 실장)	정대훈 (지능형자동차 부품진흥원, 주임연구원)	김준년 (한국교통안전공단, 처장)
---------------------------	------------------------------------	---------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------

최근 첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assistance System, 이하 ADAS)의 보급 확대와 함께 관련 기능에 대한 시험평가 기준이 지속적으로 마련되고 있으나, 실제 도로 환경에서 발생하는 다양한 상황을 충분히 반영하지 못하는 한계가 지적되고 있다. 특히 시험평가 기준의 범위 내 포함되더라도 특정 조건 조합에서 시스템이 의도하지 않게 작동하거나 오작동하는 ‘엣지케이스(Edge case)’가 발견·보고되고 있으며, 이는 평가 기준의 실효성을 저하시킬 수 있는 주요 요인으로 작용한다.

본 연구는 ADAS 시험평가 과정에서 발생하는 엣지케이스를 조사·분석하여, 현행 시험평가 시나리오 범위 내외에서 발생하는 오작동 사례를 기반으로 시험평가 기준의 한계를 도출하는 데 목적이 있다. 이를 위해 시험평가 시나리오 수행 중 발생한 오작동 사례를 수집하고, 발생 조건 및 유형을 체계적으로 분석하였다.

나아가 분석 결과를 바탕으로, 페달 오조작 방지 장치 시험평가 기준 마련 시 고려되어야 할 시나리오를 도출하고, 실제 운행 환경을 반영한 평가 시나리오 개발 방향을 제시하고자 한다. 특히 페달 오조작 상황은 운전자 행태, 차량 거동, 주변 환경 요인 등이 복합적으로 작용하는 특성을 가지므로, 단일 조건 기반의 시험평가 방식으로는 다양한 오작동 가능성을 충분히 검증하기 어렵다.

이에 본 연구에는 ADAS 엣지케이스 분석을 통해 도출된 한계를 기반으로, 복합 조건 및 예외 상황을 포함하는 시나리오 설계 필요성을 제안한다. 이러한 접근은 향후 페달 오조작 방지 장치 시험평가 기준의 현실 적합성을 제고하고, 제도적·정책적 활용 가능성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

내비게이션 실시간 교통신호정보 제공 서비스의 교통 안전 및 운영 효율성 영향 분석

Impact Analysis of Real-Time Traffic Signal Status Information Services
in Navigation Systems on Traffic Safety and Operational Efficiency

이태진

(국립한국교통대학교 교통시스템공학과, 석사과정)

김진태

(국립한국교통대학교 교통시스템공학과, 교수)

경찰은 2017부터 신호교차로를 이용하는 운전자에게 교통신호 정보를 개방하는 노력(공공-민간 데이터 연계 순환 구조를 마련 등)을 추진하였다. 민간 내비게이션 플랫폼(티맵, 카카오, 네이버, 현대자동차 등)에서 실시간 교통신호 정보를 제공하는 서비스를 2022년부터 시행하였다. 현재 교통신호 정보개방과 관련된 기술 표준이 마련되며 전국으로 해당 서비스가 확산되고 있다. 최근 조사는 강릉시(354개소), 인천광역시(830개소) 등 전국 19개 지자체 2,600개 신호제어기가 해당 서비스를 제공하는 것으로 보고한다. 이러한 노력과 함께 교통신호 정보개방 서비스가 안전 및 효율성 측면에서 차량 운전자에게 미치는 영향을 파악하고자 노력하는 연구는 제한적으로 수행되었다.

실시간 교통신호정보 개방 서비스 유형은 (1) 녹색 잔여시간, (2) 적색 잔여시간, (3) 우회전 보행신호 잔여시간 등 다양한 형태로 제공되며, 각 형태에 따라 교차로 안전성과 운영 효율성에 미치는 효과가 상이하게 나타날 것으로 예상된다. 이에 본 연구는 서비스 제공 형태별 '안전성'과 '운영 효율성' 효율성 증진 효과를 검토하는 것을 목적으로 한다. 총 3 종의 자료(민간 내비게이션사 제공 교통신호상태정보 서비스 이용 개별차량 이력자료(Traffic Signal Information Service User Data: TSISUD) 개별차량 이력 정보, 강원도 강릉시 스마트교차로 이력자료, 강릉시 도로 네트워크 구현 가상환경 피실험자 주행 실험 자료(log data))를 활용하여 분석을 수행하였다.

녹색 잔여시간 제공의 경우 분석 지표는 ① 급감속 차량 수, ② 적신호 위반 차량 수, ③ 꼬리물기 차량 수로 설정하였다. ①, ②, ③ 분석지표는 TSISUD 개별차량 이력자료를 기반으로 분석하였다. 적색 잔여시간 제공의 경우 분석 지표는 ④ 출발손실시간 길이, ⑤ 차폐 시 출발손실시간, ⑥ 유효녹색시간 길이로 설정하였다. ④, ⑤ 분석 지표는 가상환경 모의주행 실험자료를 활용하였고 ⑥ 분석 지표는 강릉시 스마트교차로 이력자료를 기반으로 분석하였다. 우회전 보행 녹색 잔여시간 제공의 경우 분석 지표는 ⑦ 우회전 전 보행녹색 공간속도, ⑧ 우회전 전후 공간속도로 설정하였다. 우회전 보행 녹색 잔여시간 제공의 경우 가상환경 모의 주행 실험자료를 활용하였다. 분석 기준으로 한국교통안전공단 위험운전 행동기준을 적용하며 통계적 검정(95% 신뢰수준)을 포함하였다. 이에 추가하여 정성적 분석으로 자료 분석은 서비스 유형(녹색 잔여시간, 적색 잔여시간, 우회전 보행신호 잔여시간)별 30명 피실험자 운전자 행태에 대한 9점 리커트 척도(Likert Scale)자료를 수집 및 분석하였다.

분석 결과 실시간 신호정보 제공 서비스 제공 시 긍정적인 운전자 행태 개선 효과가 8가지(① 급감속 차량 수 감소, ② 신호위반 차량 수 감소, ③ 꼬리물기 차량 수 감소, ④ 출발손실시간 감소, ⑤ 신호등 차폐 현상 보완, ⑥ 유효녹색시간 증가, ⑦, ⑧)상황에서 확인되었다. 이들 결과를 짧게 설명하면 '급감속 차량 수'를 95% 신뢰수준으로 약 10% (43.72%→34.19%) 떨어뜨리는 효과가 있으며, '신호위반 억제 효과'의 경우 운전자 대부분(60%) 이를 만족하는 것으로 분석(9점 만점 만족도 점수 30명 중 18명 부여)되었다. 이는 교통신호 정보개방 서비스 체감 효과가 전반적으로 높으며, 이용자들의 수용성과 만족도가 높은 것으로 해석된다. 해당 결과는 실시간 신호정보 개방 서비스가 교통안전 증진과 교차로 운영 효율화에 실질적으로 기여함을 실증적으로 뒷받침하며, 향후 전국 확산을 위한 정책적 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

첨단교통안전 | (사고분석)

Session

A-4

시계열 가동 분석 기반의 차로 변경 최소 안전거리 산정 연구

정동훈, 미혜선, 박기정

3D 매핑과 PC-Crash를 활용한 자동차 속도 추정에 관한 연구

이기명, 김하윤, 고영철, 유태선

사공간적 교통 패턴 유사도 기반 고속도로 2차 사고 식별 방법론 개발

이송하, 박준영, 지민경

비정상 개별차량 속도 프로파일 탐지를 통한 사고 취약구간 식별 연구

이강연, 김호재, 박준영

구간 과속 단속 구역 내의 니들목이 자유 교통류의 속도 편차에 미치는 영향 : 과속 차량의 단속 회피 가능성을 중심으로

박범준, 김동규

무인단속 카메라 사고감소 효과 분석 및 운영 최적화 전략: 대구광역시를 중심으로

손민찬, 신동엽, 도우석, 이종구

시계열 거동 분석 기반의 차로 변경 최소 안전거리 산정 연구

A Study on the Calculation of Minimum Safe Distance for Lane Change
Using Time-Series Behavioral Analysis

정동훈

(한국도로교통공단,
사고조사연구원)

마혜선

(한국도로교통공단,
사고조사연구원)

박기정

(한국도로교통공단,
사고조사연구원)

본 논문은 차로 변경 상황에서 후행 직진 차량과 선행 차로 변경 차량 간의 종방향 상대 운동을 시계열적으로 분석하여 물리적 최소 안전거리(Minimum Safety Distance, MSS)를 산정하는 방법을 제안한다. 차로 변경 구간은 운전자의 인지·판단 과정과 차량의 동적 거동이 동시에 작용하는 대표적인 위험 상황으로, 상대 속도 차가 큰 상태에서 차로에 진입할 경우 후행 차량의 급제동을 유발하여 추돌 또는 측면 충돌 사고로 이어질 가능성이 높다. 기존 연구에서는 이러한 위험을 평가하기 위해 주로 정지거리 기반의 정적 모델을 이용하여 안전거리를 산정하는 방법이 사용되어 왔다.

그러나 정지거리 기반 접근은 차량이 최종적으로 정지할 수 있는지 여부를 기준으로 안전성을 판단하는 방식으로, 차량 간 상대 거리의 시간적 변화를 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다. 특히 고속 주행 조건에서는 제동 과정 중 형성되는 최소 이격거리가 고려되지 않아 물리적으로 타당하지 않은 결과가 나타날 수 있다. 실제 충돌 위험은 차량의 최종 정지 여부가 아니라 제동 과정 중 형성되는 최소 이격거리에서 결정되므로, 이러한 동적 특성을 반영한 분석이 필요하다.

이에 본 연구에서는 두 차량의 종방향 위치를 시간 함수로 정의하고, 상대 거리 함수 Gap(t)를 통해 분석 시간 전 구간에서 형성되는 최소 이격거리를 기준으로 충돌 가능성을 평가하는 시계열 기반 운동학 모형을 제안하였다. 모형에서는 후행 직진 차량이 인지·반응시간 동안 등속 주행을 유지한 후 최대 제동을 수행한다고 가정하고, 선행 차로 변경 차량은 일정 속도를 유지하는 조건을 적용하였다. 또한 인지·반응시간 1.0 s와 마른 노면 조건에 해당하는 마찰계수 0.8을 적용하여 현실적인 긴급 제동 상황을 반영하였다. 이러한 조건을 바탕으로 상대 거리 함수의 최소값이 0 이상이 되도록 하는 최소 초기 간격을 MSS로 정의하였다.

MSS는 해석적 해를 구하는 대신 반복 탐색 기반 수치 알고리즘을 통해 산정하였으며, 다양한 속도 및 상대속도 조건에 대해 최소 안전거리의 변화를 분석하였다. 분석 결과 MSS는 절대 속도 자체보다는 두 차량 간 상대속도 차에 의해 크게 영향을 받으며, 상대속도가 증가할수록 MSS가 비선형적으로 증가하는 경향이 나타났다. 또한 최소 이격은 차량이 완전히 정지하는 시점이 아니라 제동 과정 중 형성되는 것으로 확인되었다.

기존 정지거리 기반 정적 모델과 비교한 결과, 정적 모델은 제동 과정에서 발생하는 최소 이격 조건을 반영하지 못하여 고속 조건에서 음(-)의 안전거리를 산출하는 구조적 한계를 보였다. 반면 본 연구에서 제안한 시계열 기반 모형은 저속부터 고속 영역까지 일관된 최소 안전거리 값을 산정할 수 있었으며, 차로 변경 상황에서의 충돌 회피 가능성을 보다 물리적으로 타당하게 평가할 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 연구는 차로 변경 상황에서의 안전거리 판단 기준을 정지 가능 여부가 아닌 제동 과정에서 형성되는 최소 이격 조건으로 재정의하고, 충돌 회피 가능성을 판단할 수 있는 물리적 기준을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구에서 제시한 MSS는 충돌과 비충돌을 구분하는 동적 임계 초기 간격으로 해석될 수 있으며, 향후 자율주행 시스템 및 AEB와 같은 첨단 운전자 보조 시스템의 충돌 판단 기준 설정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3D 매핑과 PC-Crash를 활용한 자동차 속도 추정에 관한 연구

A Study on Vehicle Speed Estimation Using 3D Mapping and PC-Crash

이기명	김하운	고영철	유태선
(한국도로교통공단 제주특별자치도지부, 사고조사연구원)	(한국도로교통공단 제주특별자치도지부, 사고조사연구원)	(한국도로교통공단 제주특별자치도지부, 사고조사연구원)	(한국도로교통공단 제주특별자치도지부, 사고조사연구원)

본 연구에서는 교통사고 분석 시 활용되는 영상자료의 구조적 한계를 보완하고, 차량의 속도 및 이동 궤적을 보다 정밀하게 산출하기 위해 3차원 공간 재구성 기반의 분석 기법을 적용하였다. 일반적으로 블랙박스 및 CCTV 영상은 2차원 평면 정보에 기반하고 있어 영상 내 객체의 실제 공간상 위치를 직접적으로 파악하는 데 어려움이 있으며, 특히 단일 시점 영상만 확보되는 경우 거리 추정 및 궤적 분석 과정에서 공간적 왜곡과 불확실성이 발생하는 문제가 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 드론 및 지상 촬영을 병행하여 사고 현장을 다양한 시점에서 촬영하고, 동일 지점이 반복적으로 포함되도록 충분한 중첩도를 확보하여 다수의 이미지를 수집하였다. 이후 사진측량(Photogrammetry) 기법을 적용하여 3차원 점군 및 메쉬 기반의 공간 모델을 구축하였으며, 실제 거리 정보를 활용한 스케일링을 통해 현실 공간과 유사한 모델을 구현하였다.

다음으로 영상자료와 3차원 모델 간 정합을 수행하기 위해 영상 프레임을 추출하고 렌즈 왜곡을 보정한 후, 차량 위치 및 차선 등 특징점을 기준으로 양자 간 대응 관계를 설정하였다. 이를 통해 특정 시점에서 차량의 3차원 공간 좌표를 산출하였으며, 연속 프레임 간 이동거리와 영상의 프레임 속도를 이용하여 차량의 속도를 정량적으로 계산하였다. 이는 단순 시각적 추정이 아닌 실제 공간 좌표 기반 분석이라는 점에서 기존 방법 대비 높은 신뢰성을 확보할 수 있다.

마지막으로, 분석 결과의 타당성을 검증하기 위해 산출된 차량 속도를 사고 차량의 EDR 데이터와 비교하였다. 그 결과 두 데이터 간 유의미한 수준의 일치가 확인되었으며, 이를 통해 제안된 3차원 기반 분석 기법이 실제 사고 분석에 적용 가능한 정확도를 갖는 것으로 판단된다.

결론적으로, 본 사례는 3차원 공간 재구성 및 영상 정합을 결합한 분석 방법이 기존 2차원 영상 기반 사고 분석의 한계를 효과적으로 보완할 수 있음을 보여주며, 단일 영상자료 환경에서도 차량의 위치 및 속도를 정량적으로 산출할 수 있다는 점에서 실무적 활용 가치가 높다. 향후 다양한 사고 사례에 대한 추가 적용 및 검증을 통해 활용 범위가 더욱 확대될 것으로 기대된다.

시공간적 교통 패턴 유사도 기반 고속도로 2차 사고 식별 방법론 개발

Identification of Secondary Traffic Crash
Using Spatiotemporal Traffic Pattern Similarity

이승하

(한양대학교 스마트시티공학과,
박사과정)

박준영

(한양대학교 교통물류공학과,
스마트시티공학과, 교수)

지민경

(한국교통안전공단 제주본부
안전관리처, 연구원)

고속도로 2차 사고는 1차 사고로 발생한 교통 혼잡이 확산되는 과정에서 일어나며, 일반 사고보다 사고 심각도가 높고 교통체계에 큰 부정적 영향을 미친다. 이러한 부정적 영향을 최소화하기 위해서는 사고 처리 시간 데이터를 활용한 체계적인 교통사고 관리전략(TIM) 수립이 필요하다. 그러나 현재 2차 사고는 식별 기준이 불명확하고 체계적인 데이터 관리가 미흡하여 관련 안전대책 수립에 한계가 있다. 기존의 정적(Static) 식별 방법은 고정된 시간과 공간 임계값을 사용하여 적용은 쉽지만, 실제 교통 상황을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 동적(Dynamic) 방법론은 실제 교통 상황을 정밀하게 반영할 수 있으나, 고해상도 데이터에 대한 의존도가 높고 분석 과정이 복잡하다는 한계가 있다. 본 연구는 이러한 기존 방법론들의 한계를 보완하고자 정적 및 동적 접근법을 통합한 새로운 2차 사고 식별 방법론을 개발하였다.

사사: 본 연구는 2025년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [RS-2025-25434609]

비정상 개별차량 속도 프로파일 탐지를 통한 사고 취약구간 식별 연구

Anomaly Detection of Vehicle Speed Profiles for Identifying Crash-Prone Areas

이강엽

(한양대학교 스마트시티공학과,
석사과정)

김호재

(한양대학교 교통물류공학과,
박사수료)

박준영

(한양대학교 교통물류공학과/
스마트시티공학과, 부교수)

교통 안전 분야에서 사고 데이터는 희귀 사건이라는 특성상 표본이 작고 공간적으로 집중되어 있어, 위험을 사전에 정량화하기 위한 대리안전지표(Surrogate Safety Measure, SSM)의 중요성이 지속적으로 강조되어 왔다. SSM은 근접 충돌(TTC, PET), 감속 요구율(DRAC), 급제동 이벤트 등을 통해 사고 발생 이전 단계에서 도로 위험 수준을 평가할 수 있다는 장점이 있다. 최근 스마트폰 GPS와 택시 DTG(Digital Tachograph) 등 대규모 차량 궤적 데이터 활용이 가능해지면서 영상이나 고정 검지기 없이도 도로 네트워크 전반에 걸쳐 SSM을 산출하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기존 GPS 기반 SSM 연구는 속도 프로파일을 급제동·급가속 이벤트 카운트나 속도 표준편차 등 단일 수치로 요약하는 방식에 의존하여, 시간에 따른 속도 변화의 형태 정보가 소실되고 시간대 효과가 충분히 통제되지 않는 한계가 있다.

이에 본 연구는 택시 DTG 데이터를 활용하여 링크 단위 속도 프로파일을 추출하고, 동일 시간대 동일 구간 통과 차량 간 형태 비교를 통해 이상 프로파일 비율을 산출하는 새로운 SSM 개발 방법론을 제안한다. 청주시 54억 행 규모의 DTG 궤적 데이터와 TAAS 교통사고 자료를 활용하여 기존 이벤트 기반 및 요약 통계량 기반 방법과의 성능을 동일 조건에서 비교 검증하고, 극단값 이론(Extreme Value Theory, EVT)의 Peak Over Threshold(POT) 방법을 적용하여 링크별 이상 임계값을 추정한다. 마지막으로 산출된 SSM과 실제 교통사고 건수 간의 관계를 분석하여 제안 지표의 타당성을 검증하고자 한다.

구간 과속 단속 구역 내의 나들목이 자유 교통류의 속도 편차에 미치는 영향 : 과속 차량의 단속 회피 가능성을 중심으로

Impact of Interchange on Speed Variability in Section Speed Enforcement Zones under Free-Flow
Conditions : Focusing on the Potential Enforcement Evasion of Speeding Vehicles

박범준

(서울대학교 건설환경도시공학부, 석박사통합과정)

김동규

(서울대학교 건설환경도시공학부, 교수)

고속도로에서 과속을 억제하기 위해 쓰여온 지점 단속 시스템은 단속 카메라 앞에서만 속도를 줄이는 차량을 적발하지 못한다는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 도입된 구간 단속 시스템은 구간의 시점과 종점을 통과하는 차량의 평균 속도를 측정하여 구간 내에서 제한 속도 이하로 주행하도록 유도하는 효과가 있다. 하지만 이 시스템은 시점과 종점을 모두 통과하는 차량만을 단속 대상으로 하기 때문에 구간 내에 나들목(IC)이나 휴게소 등의 출입 시설이 있다면 단속을 회피할 수 있는 구조적 사각지대에 대한 우려가 발생한다. 2025년 4월 기준 국내 고속도로의 구간 과속 단속 구역 148곳 중 약 70%인 103곳이 이러한 출입 시설을 포함하고 있지만, 구간 과속 단속과 관련된 기존 연구는 주로 사고율과 같은 교통 안전 측면에 집중되어 출입 시설이 교통류에 미치는 영향에 대한 분석은 미흡한 실정이다. 따라서 우리나라 고속도로의 구간 과속 단속 구역 내 나들목의 존재가 본선 교통류의 속도 편차에 미치는 영향을 분석하여 출입 시설이 포함된 구간에서의 우려를 직접 확인하고, 단속 실효성 제고를 위한 정책적 판단 근거를 마련하고자 한다.

본 연구는 한국도로공사에서 제공하는 VDS 속도 및 교통량 자료를 활용하여 통계적 분석을 수행한다. 분석 기간은 2025년 4월 한 달이고, 대상지는 한국도로공사가 운영하는 왕복 4차로 고속도로 중 51개 구간으로 선정했다. 오르막차로나 가변차로 등이 설치된 구간은 제외했으며 도로용량편람에서 규정하는 자유 교통류 상태의 데이터만을 활용했다. 위 조건에 해당하는 자료에 대해 나들목 유무에 따른 속도 편차의 차이를 확인하기 위해 이분산 가정 t-검정과 다중 선형 회귀분석을 실시했다. 다중 선형 회귀분석에서 독립 변수는 나들목 유무, 구간 길이, 제한 속도, 평균 속도, 교통량이고, 종속 변수는 속도 편차이다.

t-검정 결과 나들목 유무에 따른 두 집단 간의 속도 편차 평균 차이가 통계적으로 유의미하지 않게 나타났다. 그러나 다중 선형 회귀분석 결과에서는 나들목 유무가 유의수준 0.05 하에서 통계적으로 유의미한 독립 변수로 확인되었는데, 다른 조건이 일정할 때 단속 구간 내에 나들목이 존재하면 본선의 속도 편차는 약 0.64km/h 감소하는 것으로 나타났다. 나머지 독립 변수 중 구간 길이와 제한 속도는 속도 편차에 양(+)의 영향을 미쳤으며 평균 속도는 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 교통량은 통계적으로 유의미하지 않았다. 나들목의 속도 편차에 대한 음의 영향을 확인해보기 위해 제한 속도가 100km/h인 표본에 대해 속도 분포를 살펴본 결과, 나들목이 있는 구간에서는 평균 속도와 과속 차량의 비율이 모두 낮게 나타났다.

본 연구는 VDS 집계 데이터를 활용해 거시적인 관점에서 구간 과속 단속 구역 내 나들목의 영향을 증명했다는 점에서 의의가 있다. 뿐만 아니라 나들목이 속도 편차에 미치는 영향과 표본의 속도 분포는 나들목을 통해 이탈하는 과속 차량이 실제로 유의미하게 존재함을 시사한다. 일반적으로 나들목은 차량의 유출입을 일으켜 본선의 속도 편차를 증가시킨다는 특징을 고려할 때, 과속 차량이 단속 종점을 통과하기 전에 나들목으로 빠져나감으로써 나들목과 단속 구간 종점 사이에 설치된 VDS에 검지되지 않아 이와 같은 분포가 나타났다고 해석할 수 있다. 향후에는 미시적인 관점에서 개별 차량의 주행 궤적 데이터를 활용하여 과속 차량의 실제 이탈 비율을 정량적으로 검증하고, 이를 함께 근거로 하여 정밀한 보완책을 마련하는 후속 연구가 이루어져야 할 것이다.

사사: 본 연구는 국토교통부 스마트시티 혁신인재교육사업과 경찰청 재원으로 수행된 과학치안진흥센터 연구사업(No.092021C28S02000)의 지원을 받아 진행되었습니다.

무인단속 카메라 사고감소 효과 분석 및 운영 최적화 전략: 대구광역시를 중심으로

Effectiveness Analysis and Operational Optimization of Automated Traffic Enforcement Cameras:
A Case Study of Daegu Metropolitan City

손민찬 (계명대학교, 학사과정)	신동엽 (계명대학교, 석사과정)	도우석 (계명대학교, 조교수)	이중구 (대구광역시 자치경찰위원회, 위원장)
----------------------	----------------------	---------------------	--------------------------------

우리나라의 교통사고 발생 건수는 자동차 1만 대당 65건, 인구 10만 명당 379건이다. 대구광역시는 자동차 1만 대당 72건, 인구 10만 명당 434건으로 전국 평균보다 높은 수준으로 교통사고 위험도가 상대적으로 높다. 대구광역시는 교통사고를 선제적으로 예방하기 위해 무인단속 카메라를 909개를 운영하고 있다. 그러나 무인단속 카메라의 운영 규모에 비해 실제 교통사고 감소 효과에 대한 명확한 검증은 수행되지 않았다. 본 연구는 무인단속 카메라 설치 지점과 교통사고 다발 지점, 어린이보호구역 등 공간적 위치를 종합적으로 활용해 무인단속 카메라 설치 전·후 교통사고 발생 건수의 변화를 분석하고, 이설 및 추가 설치 우선순위를 판단하는 데 목적이 있다.

기존 무인단속 카메라 효과 분석은 신호 교차로, 어린이보호구역과 같은 특정 구간에 개별적으로 초점을 두어 사고 변화를 검토해왔다. 본 연구는 대구광역시 전역을 대상으로 무인단속 카메라의 설치 지점, 사고 다발 지점, 어린이보호구역의 공간적 관련성을 고려하여 설치 전·후 교통사고 발생 건수 및 위험도를 종합적으로 분석한다. 이를 위해 대구광역시의 무인단속 카메라 인근 20m 및 30m 반경에서 발생한 10년(2015~2024년)간의 교통사고 데이터와 15년(2011년~2025년) 동안 설치한 무인단속 카메라 위치 데이터, 3년(2022년~2024년)간의 사고 다발 지점과 어린이보호구역 데이터를 활용한다. 사고 다발 지점은 사고 발생 지점 인근 50m 반경 내 3건 이상 사고가 발생한 지점으로 정의하며, 어린이보호구역은 대구광역시 전역의 648개 지점을 대상으로 분석에 반영한다.

분석 방법은 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS) 기반 공간 분석을 활용하여 무인단속 카메라 설치 지점과 사고 다발 지점, 어린이보호구역을 파악하고, 사고건수법과 Equivalent Property Damage Only(EPDO) 법, Accident Risk Index(ARI) 법을 적용하여 각 무인단속 카메라 지점의 사고 위험도를 정량적으로 산정한다. 사고건수법은 무인단속 카메라 반경 20m 및 30m 내에 발생한 총 사고 수를 개별 사고 데이터의 범위로 나누고 연평균 사고 수를 산출하는 방식이다. EPDO법은 연평균 사고의 심각도(사망, 중상, 경상)에 가중치를 부여하여 사고의 질적 위험도를 반영하며, ARI법은 사고 발생 빈도를 기반으로 심각도와 함께 지점별 상대적 위험 수준을 정량화한다. 또한 무인단속 카메라 설치 전·후 3년간의 사고 데이터를 구분하여 동일 반경(20m, 30m) 내 사고 발생 건수의 변화를 사고건수법과 EPDO법, ARI법을 비교하고, 각 지점을 사고 수 감소지점, 사고 수 증가지점, 사고 수 변화 없는 지점, 무사고 지점으로 구분하여 무인단속 카메라 설치 효과를 분석한다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 사고 위험도가 낮은 지점은 이설 대상 후보로 선정하고, 사고 다발 지점 중 무인단속 카메라가 설치되지 않은 구간 또는 설치 이후에도 높은 위험도를 보이는 구간은 신규 또는 추가 설치 필요지점으로 선정한다. 그리고 이설 및 신규 설치 방안의 타당성을 평가하기 위해 경제성 분석을 수행한다. 비용은 장비 이설 단가(2,000만 원)와 이설 대상 카메라 대수를 곱하여 산출하고, 편익은 사고 감소율(40%)을 반영해 유형별 사고 수와 사고 건당 비용을 활용하여 경제적 효과를 정량적으로 평가한다.

분석 결과, 무인단속 카메라 설치 이후 사고가 감소한 지점은 무인단속 카메라 반경 30m 기준 416개, 20m 기준 342개이며, 반대로 사고가 증가한 지점은 반경 30m 기준 200개, 20m 기준 188개로 나타났다. 또한 사고 수 변화가 없는 지점은 반경 30m 기준 287개, 20m 기준 373개이며, 설치 전·후 무사고 지점은 118개로 나타났다. 그리고 10년간(2015~2024년) 경상 사고가 4건 이하 발생한 지점 217개를 대상으로 보호구역, 터널, 간선도로 등 주요 시설을 제외하는 조건을 적용해 13개 지점을 이설 대상 후보로 선정했다. 사고다발지점 중에서 EPDO가 높은 고위험 지점을 우선 검토하고, 이 중 무인단속 카메라가 없는 구간은 단속 공백이 존재하는 지점으로 판단하여 신규 설치 필요지점으로 선정했다. 마지막으로 무인단속 카메라가 설치되어 있음에도 EPDO 값이 높은 지점은 추가 설치가 필요한 구간으로 분류했다. 이를 바탕으로 이설 및 신규 설치에 따른 경제성 분석을 수행한 결과, 이설 대상 장비 13개에 대한 총 이설 비용은 약 2.6억 원이며, 이에 따른 사고 감소 편익은 연평균 약 8.2억 원으로 나타났다. 이는 사고 감소 효과가 낮은 기존 장비의 효율적인 재배치를 통해 이설 비용 대비 높은 사고 감소 효과를 보인다.

본 연구는 대구광역시를 대상으로 무인단속 카메라 설치 지점, 사고다발지점, 어린이보호구역의 공간적 관계와 설치 전·후 사고 효과를 종합적으로 분석함으로써 무인단속 카메라 이설 및 신규 설치 우선순위 판단을 위한 기초 자료로 활용할 수 있다. 그러나 최종 의사결정 시 현장 도로 여건에 대한 정성적 검토를 병행할 필요가 있으며, 전체 장비 대수를 유지하고 효율적으로 재배치하기 위한 운영 전략을 반영해야 한다. 향후에는 무인단속 카메라의 단속 유형별 기능을 고려한 정책 설계와 사고 증가 지점에 대한 교통량 및 기하구조를 반영한 분석, 교차로 구조 및 교차로 내 사고 위치를 검토한 체계적인 연구가 필요하다.

본 연구성과물은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 과제번호 : RS-2025-24913021)

보행 · 역사 내 군중흐름 분석

Session

A-5

보행 중 위험상황 경험이 AI 보행안전 기술 도입인식에 미치는 영향 분석 연구
손슬기, 빈미영

실시간 군중 모니터링 시스템을 위한 다방향 군중 흐름 시뮬레이션 모델 개발
이재영, 원민수

물리 제약을 반영한 딥러닝 기반 도시철도 역사 내 보행 혼잡도 예측 모델 연구
정준영, 이재원, 김도경

YOLOv8 기반 영상 분석을 활용한 보행자 대기공간 서비스수준 평가 방안
정성훈, 박신형

영상 기반 Semantic Segmentation과 원근 보정을 활용한 도시철도 역사 내 군중 밀집도 추정
조한결, 김병규, 김도경

보행 중 위험상황 경험이 AI 보행안전 기술 도입인식에 미치는 영향 분석 연구

Impact of Pedestrian Hazard Experiences on Acceptance of
AI-Based Pedestrian Safety Technologies

손슬기

(경기연구원, 연구원)

빈미영

(경기연구원, 선임연구위원)

본 연구는 보행자가 보행 중 경험한 위험 상황의 유무가 AI 보행안전 기술 도입에 대한 인식에 미치는 영향을 분석하였다. 2025년 경기도 거주 만 18세 이상 성인 1,000명을 대상으로 실시한 설문조사 자료를 활용하였으며, 위험 경험 집단과 비경험 집단으로 구분하여 비교 분석하였다. 분석 결과, 두 집단 모두 AI 기술 도입의 시급성에 대해 5점 척도 평균 3.94점으로 응답하여, 그룹과 무관하게 AI 보행안전 기술 도입이 시급하다고 인식하는 것으로 나타났다. 그러나 각 그룹에서 도입 시급성에 영향을 미치는 요인은 상이하게 나타났다. 두 집단 모두 AI 보행안전 기술이 보행안전에 도움을 줄 것이라는 기대감을 강하게 인식하고 있음을 확인하였다. 이는 AI 기반 보행안전 기술 도입의 필요성이 기술의 효용성 평가에 기반함을 시사한다. 보행 환경 관련 변수는 비경험 집단에서 보다 광범위하게 유의미한 영향을 미쳤다. 반면 위험 경험 집단에서는 보행 편의성 요소만이 유의하게 나타났다. 정책 활용을 위한 시나리오 기반 탄력성 분석 결과, 두 집단 모두에서 기술 효용 인식 강화가 가장 높은 단일 효과를 보였으며(+7.0~7.6%), 기술·환경 요인을 결합한 통합 전략이 최대 효과(+12.9~13.4%)를 나타냈다. 결과적으로 위험 경험 여부는 기술이 필요하다고 느끼는 정도보다는, 그 필요성을 어떻게 판단하는가에 차이를 만들었다. 경험 집단은 기술이 실제로 도움이 되는지에 주목한 반면, 비경험 집단은 환경적 위험과 예방 가능성에 주목하였다. 따라서 정책적으로는 두 집단의 기술 수용성을 높이기 위해 기술 실증 전략과 환경 인식 전략을 병행하여 통합적으로 추진할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 2025년 경기연구원 정책연구 “경기도 보행안전을 위한 AI 기술활용 정책연구”의 데이터를 활용하였습니다.

실시간 군중 모니터링 시스템을 위한 다방향 군중 흐름 시뮬레이션 모델 개발

The Development of a Multi-Directional Crowd Flow Simulation Model
for Real-Time Crowd Monitoring System

이재영

(한국교통연구원, 연구원)

원민수

(한국교통연구원, 연구위원)

도시 공간에서 발생하는 대규모 군중 집합은 단순한 사회적 이벤트를 넘어, 군중 난류(crowd turbulence)와 물리적 압력으로 인해 대규모 인명 피해를 초래할 수 있는 잠재적 사회 재난이다. 2022년 이태원 참사는 고밀도 군중이 매우 짧은 시간 내에 위험 상태로 전이될 수 있음을 보여주었으며, 이에 따라 신속한 위험 인지와 예측을 통한 '골든타임' 확보의 중요성이 강조되었다. 그러나 기존 방법론은 이러한 현상을 효과적으로 모델링하는 데 있어 근본적인 한계를 가진다. CCTV 기반 영상 분석은 고정된 관측 지점에 의존하기 때문에 자발적으로 발생하는 축제나 넓은 야외 공간에서 발생하는 사각지대의 위험을 포괄적으로 포착하기 어렵다. 또한, 에이전트 기반 모델은 개별 보행자의 상호작용을 미시적으로 정밀하게 재현할 수 있으나, 대규모 군중에 적용할 경우 계산량이 기하급수적으로 증가하여 실시간 대응이 어렵다. 이로 인해 개별 단위 분석만으로는 전체 군중 흐름을 설명하기 어렵고, 반대로 집단 수준의 흐름만을 고려할 경우 위험을 유발하는 국지적 밀도 집중을 포착하지 못하는 모델링 상의 한계가 발생한다. 따라서 개별 흐름과 전체 흐름 간의 관계를 동시에 설명할 수 있는 적절한 분석 단위가 요구된다.

이에 본 연구는 현장에서 효과적으로 활용 가능한 준실시간 군중 모니터링 및 위험 예측을 위해 중간 규모(mesosopic) 접근법을 기반으로 한 보행 시뮬레이션 프레임워크를 제안한다. 이를 위해 Cell Transmission Model(CTM)을 기반으로 모델을 구축하였으며, 기존 차량 중심의 단방향 CTM을 확장하여 다방향 보행 흐름을 반영할 수 있도록 설계하였다. 특히 보행자의 체류 행동을 고려한 구조를 도입하여 군중 밀도의 공간적·시간적 변화를 보다 현실적으로 재현하고자 하였다. 또한 모바일 통신 데이터와 GIS 데이터를 활용하여 셀 단위의 밀도, 유입·유출 흐름, 경로 선택 비율 등 주요 파라미터를 추정함으로써 데이터 기반의 모델링 체계를 구축하였다.

이태원역 일대를 대상으로 수행한 사례 분석 결과, 제안된 모델은 평균 절대 오차(MAE) 12.24를 나타냈으며, 이는 평균 관측 밀도의 약 4.9% 수준으로 높은 재현성을 보였다. 이러한 결과는 제안된 모델이 실제 군중 흐름을 안정적으로 반영할 수 있음을 의미한다. 본 연구에서 제안한 중간 규모 접근법은 미시적 정밀성과 거시적 효율성 간의 간극을 효과적으로 연결하며, 고밀도 도시 환경에서의 실시간 군중 모니터링과 위험 탐지를 위한 실용적이고 확장 가능한 프레임워크로 활용될 수 있다.

사사: 이 논문은 2026년도 경찰청과 과학기술정보통신부의 재원으로 『이동통신 기반 다중운집 혼잡도 측정 기술 개발 (2단계)』의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00282509).

물리 제약을 반영한 딥러닝 기반 도시철도 역사 내 보행 혼잡도 예측 모델 연구

Physics-Informed Deep Learning for Pedestrian Congestion Prediction in Urban Rail Transit Stations.

정준영
(서울시립대학교
교통공학과, 석사과정)

이재원
(서울시립대학교
교통공학과, 석사과정)

김도경
(서울시립대학교 교통공학과·
도시빅데이터융합학과, 겸용교수)

도시철도 역사 내 보행 혼잡은 안전사고로 이어질 수 있는 중요한 문제로, 사전 예측 기반의 관리가 요구된다. 그러나 기존 혼잡도 예측 연구는 주로 데이터 기반 접근에 의존하고 있어, 보행 흐름의 물리적 관계를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 보행 교통류는 density - speed - flow 간의 관계를 가지며, 이를 고려하지 않은 모델은 고밀도 구간에서 비현실적인 예측을 생성할 가능성이 있다.

본 연구에서는 물리 제약을 반영한 딥러닝 기반 보행 혼잡도 예측 모델을 제안한다. LSTM 기반 시계열 모델을 활용하여 과거 시점의 보행 밀도, 속도, 이동시간을 입력으로 미래 시점의 밀도를 예측하였다. 특히 기존 Physics-Informed Neural Network(PINN)의 개념을 확장하여 미분방정식이 아닌 보행 흐름의 대수적 관계식을 loss 함수에 반영하였으며, 현재 상태 재구성 항을 추가하여 모델이 현재 상태를 내재적으로 학습하도록 설계하였다. 이를 통해 물리 제약 계산의 안정성과 모델의 표현력을 동시에 확보하였다.

서울시 도시철도 역사 내 13개 공간, 52개 시계열 데이터를 활용하여 데이터 기반 모델, 물리 제약 적용 모델, 공간 변수 포함 모델을 비교 분석하였다. 분석 결과, 물리 제약을 적용한 모델은 MAE 및 RMSE 기준에서 기존 모델 대비 성능이 개선되었으며, 특히 LOS 기반 혼잡도 분류에서 중·고혼잡 구간(D, E)에 대한 예측 성능이 크게 향상되었다. 또한 시계열 예측에서 비현실적인 변동이 감소하여 보다 안정적인 패턴을 보였다.

본 연구는 보행 시계열 예측 문제에 물리 제약을 결합한 모델을 제시하고, 예측 정확도와 물리적 일관성을 동시에 향상시킬 수 있음을 실증적으로 확인하였다. 향후에는 고혼잡 구간 데이터 확충과 불균형 데이터 처리 기법을 적용하고, 다중 시점 예측(multi-step forecasting)을 통한 장기 혼잡 예측으로 확장할 필요가 있다. 또한 Transformer 기반 구조 및 시공간 통합 모델을 적용하여 예측 성능과 일반화 성능을 동시에 개선할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: RS-2025-00553027).

YOLOv8 기반 영상 분석을 활용한 보행자 대기공간 서비스수준 평가 방안

A Study on LOS Evaluation Methodology for Pedestrian Waiting Spaces
Using YOLOv8-Based Video Analysis

정성훈

(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

박신형

(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

보행자 안전과 편의 증진은 보행교통의 핵심 요소로 주목받고 있으며, 이에 따라 보행자 공간에 대한 정량적 평가와 실시간 관리의 필요성이 증가하고 있다. 특히 버스정류장, 대합실 등 보행자 대기공간은 이용자 밀집이 빈번하게 발생하는 도시 내 핵심 공간으로, 효과적인 서비스수준(Level of Service, LOS) 평가가 요구된다.

그러나 기존 도로용량편람(2013)의 보행자 대기공간 평가 기준은 과거 도로용량편람(2001)의 데이터를 기반으로 설정되어 있어, 현대인의 신체 특성과 실제 이용 환경을 충분히 반영하지 못하는 한계를 지닌다. 이에 본 연구는 실제 환경에서 활용할 수 있는 데이터 기반 보행자 대기공간 평가 방안을 제안하는 것을 목적으로 한다.

본 연구에서는 4,917명의 인체치수 데이터와 현장 조사에서 촬영한 영상을 활용하여 YOLOv8 기반 분석을 수행하였다. 기존 도로용량편람(2013)에서 제시된 ‘가슴폭’과 ‘어깨폭’ 대신, ‘팔꿈치사이너비’와 ‘벽면배돌출두께’의 95분위 값을 각각 ‘신체 너비’와 ‘신체 두께’의 신규 지표로 채택하였다. 이를 통해 보행자 대기공간의 효과적 공간과 서비스수준을 개선하였다. 또한, 현장 조사에서 수집된 영상 데이터에 YOLOv8 객체 탐지 기법을 적용하여 보행자 수 및 밀도를 산출하였다. 이를 바탕으로 기존 기준과 개선된 기준을 비교·분석하고, 실제 도시 환경에서의 적용 가능성을 검증하였다.

분석 결과, 제안된 보행점유공간 기준은 ‘0.4m²/인’으로 나타났으며, 이에 따라 서비스수준 기준도 강화됨을 확인되었다. 또한 보행자 수와 밀도를 도출한 분석 사례에서는, 기존 도로용량편람(2013)에 따라 서비스수준 A로 평가되었던 동일 시점이 개선된 기준에서는 서비스수준이 3단계 저하되는 결과가 나타났다. 이는 실제 현장의 혼잡도를 더 정확하게 반영하며, 기존 평가 기준이 현실을 과소평가하고 있음을 시사한다.

본 연구의 결론은 다음과 같다. 첫째, 기존 도로용량편람(2013)의 보행자 대기공간 서비스수준 기준은 현대 보행 환경을 충분히 반영하지 못하고 있음을 확인하였다. 둘째, 최신 인체치수 데이터를 반영하여 보행점유공간을 재산정함으로써 보다 현실적인 서비스수준 기준 마련의 가능성을 제시하였다. 셋째, YOLOv8을 활용하여 보행자 수와 밀도를 산출함으로써 기존 서비스수준 평가 방식의 한계를 보완하였다. 이는 도시 관제 시스템과의 연계를 통해 보행자 안전 관리 및 혼잡 예측·대응이 가능할 것으로 기대된다.

그러나 본 연구는 물리적 밀도 중심의 정량적 분석에 초점을 두어 대기시간이나 쾌적성과 같은 보행자의 정성적 요소를 충분히 반영하지 못한 한계가 있다. 향후 연구에서는 이러한 한계를 보완하기 위해 기상 조건, 시간대, 공간 유형 등 다양한 환경 변수를 반영한 분석을 통해 모델의 적용성과 강건성을 검증할 필요가 있다. 또한, 실제 CCTV 및 관측 데이터를 활용하여 실시간 운영 시스템으로 확장하는 연구가 요구된다. 더 나아가 보행자 만족도, 쾌적성 등을 포함한 설문조사 진행으로 정량·정성 통합형 서비스수준 평가 모델의 개발이 필요할 것으로 요구된다.

영상 기반 Semantic Segmentation과 원근 보정을 활용한 도시철도 역사 내 군중 밀집도 추정

Video-based crowd density estimation in subway platforms using semantic segmentation with perspective correction

조한결

(서울시립대학교
교통공학과, 석사과정)

김병규

(서울시립대학교
교통공학과, 석사과정)

김도경

(서울시립대학교 교통공학과
· 도시빅데이터융합학과, 겸임교수)

도시철도 역사 내 승강장 등 대기공간은 이동 방향이 제한된 폐쇄적인 구조를 가지며, 특정 시간대에 이용객이 집중될 경우 인파 밀집으로 인한 안전사고 위험이 증가한다. 실제로 김포골드라인 사례에서는 출퇴근 시간대 극심한 혼잡으로 일부 승객이 실신하는 등 안전 문제가 사회적 이슈로 대두된 바 있다. 이러한 배경에서 인파 밀집에 대한 실시간 모니터링 및 관리의 필요성이 강조되고 있다. 현재 CCTV 영상을 기반으로 YOLO 등 객체 검지 알고리즘을 활용한 관리가 이루어지고 있으나, 객체 간 중첩 및 가림 현상으로 인해 밀집 환경에서 정확도가 저하되는 한계를 가진다. 또한 고정형 카메라 영상에서는 원근 왜곡(perspective distortion)에 의해 동일한 밀집도라도 위치에 따라 다르게 인식되는 문제가 발생하여, 공간 전반에 걸친 일관된 혼잡도 추정이 어려운 한계가 존재한다.

본 연구에서는 기존 방법론의 한계점을 극복하기 위해 Semantic Segmentation 기반의 인파 밀집도 추정 방법에 원근 보정 기법을 결합한 영상 기반 분석 프레임워크를 제안한다. 제안된 방법은 개별 객체를 검지하는 대신 픽셀 단위의 분류를 통해 인파 영역과 비인파 영역을 구분하고, 관심영역(ROI) 내에서 전체 공간 대비 인파가 차지하는 비율을 산출함으로써 점유율 기반의 혼잡도를 추정한다. 이를 통해 객체 간 중첩이 빈번한 고밀도 환경에서도 안정적인 밀집도 산정이 가능하도록 하였다. 또한 이미지 내 원근 및 인파의 밀집도 차이에 따른 공간적 편향을 보정하기 위해 셀 단위 이미지 분할 보정 기법을 적용하여, 카메라와의 거리 및 공간 위치에 따른 객체 크기 차이를 완화하고자 하였다. 이를 위해 제안된 방법의 성능을 비교하기 위하여 U-ASD Net과 PACNN과 같은 기존 perspective-aware 모델을 대조군으로 설정하고, 원근 왜곡 보정 효과를 분석하였다.

데이터의 경우, 서울교통공사 관할 도시철도 역사들 중 서비스수준 E 이상의 혼잡단계가 10% 이상 나타나는 역사인 2호선 교대역, 신도림역 및 4호선 동대문역사문화공원역을 선정하였으며 오전 및 오후 첨두시간대에 해당 역사 내 대기공간을 촬영한 CCTV 영상을 활용하여 데이터셋을 구축하였다. 이후 지도학습 기반의 semantic segmentation 모델을 학습하여 전체 이미지에 대한 픽셀 단위 분류를 수행하였다. 최종적으로 각 이미지에 대해 산출된 점유율을 기반으로 인파 혼잡도를 정량적으로 표현할 수 있는 지표를 도출하고, 이를 서비스수준(Level of Service, LOS)으로 구분하여 혼잡도를 단계별로 평가할 수 있도록 하였다.

분석 결과, semantic segmentation 기반 방법은 객체 검지 기반 방법 대비 전반적인 혼잡도 분류 성능이 향상된 것으로 나타났으며, 특히 객체 간 중첩 및 가림 현상이 빈번한 고밀도 환경에서 보다 안정적인 성능을 보였다. 또한 원근 보정 기법을 적용한 모델들은 전체적인 분류 정확도는 다소 감소하는 경향을 보였으나, 혼잡도가 높은 구간에서 보다 안정적인 예측 결과를 나타내어 공간적 왜곡이 큰 환경에서의 적용 가능성을 확인하였다. 특히 본 연구에서 제안한 셀 단위 보정 기법은 오차 기반 평가 지표에서 가장 우수한 성능을 나타내어, 원근 왜곡 보정 측면에서 효과적인 방법론임을 확인하였다. 이러한 결과는 객체 기반 검지 방식의 한계를 보완하면서도, 원근 왜곡이 존재하는 실제 도시철도 환경에서 보다 신뢰성 있는 혼잡도 분석이 가능함을 시사한다.

사사: 이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: RS-2025-00553027)

교통수요 및 통행배정

Session

A-6

EOF를 이용한 장애인 콜택시 이용 행태 분석

최승리, 문가영, 김도경

동적 통행배정 환경에서의 강화학습 기반 동적 OD 행렬 추정 방법

만동규, 김동규

네트워크 수준 교통 운영을 위한 재귀적 추론 기반 경로 수준 교통 정보 생성

이승현, 김동규

유전알고리즘을 활용한 센트로이드 커넥터 배치기준 연구 : 제주권 사례연구

이상규, 김희조, 박동주

EOF를 이용한 장애인 콜택시 이용 행태 분석

Analysis of Mobility Patterns of Disabled Call-Taxi Users Using EOF

최승리

(서울시립대학교 교통공학과,
석사과정)

문가영

(서울시립대학교 교통공학과,
석사과정)

김도경

(서울시립대학교 교통공학과·
도시빅데이터 융합학과, 교수)

본 연구는 EOF(Empirical Orthogonal Function) 분석을 활용하여 도시 이동 데이터에 내재된 지배적인 시·공간적 이동 패턴을 추출하고, 도시 구조와 이용자 집단 특성에 따른 이동 행태 차이를 비교·해석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 뉴욕시 일반 시민의 택시 이용 데이터와 서울시 휠체어 이용 장애인의 콜택시 데이터를 분석 대상으로 설정하였다. 각 도시는 공간 구조와 인구 특성이 상이하며, 특히 교통약자를 대상으로 한 이동 행태는 기존 일반 교통 연구 결과를 그대로 적용하기 어렵다는 문제의식에서 연구가 출발하였다.

EOF 분석은 시간×공간 형태의 시공간 데이터에서 복잡한 변동성을 소수의 직교한 모드(mode)로 분해하여 주요 패턴을 효율적으로 요약하는 통계 기법으로, 기후·환경 분야에서 주로 활용되어 왔다. 본 연구에서는 해당 기법을 도시 이동 빅데이터에 확장 적용함으로써, 반복적이고 구조적인 생활 이동 패턴을 정밀하게 추출하고자 하였다. EOF로 분해된 각 모드는 서로 중복되지 않는 공간 패턴과 이에 대응되는 시간 변화(PC: Principal Component)로 구성되며, 이는 수학적 결과에 그치지 않고 실제 이용자의 이동 행태를 반영하는 해석 가능한 패턴으로 분해될 가능성을 내재하고 있다.

분석 결과, 뉴욕 택시 데이터의 경우 평일과 주말 모두에서 상위 1~2개 모드가 전체 분산의 약 70% 이상을 설명하며, 뚜렷한 피크아워(출·퇴근 시간대)와 심야 시간대의 야간 활동 수요가 명확히 나타났다. 이는 맨해튼을 중심으로 한 단핵 도시 구조와 업무·유흥 중심의 공간 집중적 이동 특성이 강하게 반영된 결과로 해석된다. 반면, 서울 장애인 콜택시 데이터에서는 상위 모드의 설명력이 상대적으로 낮아 이동 수요가 비정형적으로 분산되어 나타났으며, 출·퇴근 중심의 전형적인 피크 패턴이나 심야 유흥 수요는 거의 관찰되지 않았다. 특히 평일에는 오전 이동과 낮 시간대 활동성 수요가 두드러지고, 주말에는 이중 피크 형태의 수요 구조가 나타나 일반 시민과는 상이한 생활 이동 특성이 확인되었다.

이러한 차이는 단핵·다핵 도시 구조의 차이뿐만 아니라, 이동 목적과 제약 조건이 상이한 이용자 집단 특성의 영향이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 본 연구는 EOF 분석이 특정 정책 타겟 집단의 시·공간적 이동 구조를 정량적으로 파악하는 데 효과적인 방법론임을 실증적으로 보여주며, 향후 맞춤형 교통 서비스 설계 및 도시·교통 계획 수립에 활용될 수 있는 기초 자료를 제공한다는 점에서 의의를 가진다. 다만 비교 대상이 도시 특성과 인구 특성 모두에서 상이하여, 관측된 차이가 어느 요인에 기인한 것인지를 명확히 분리하기 어렵다는 한계가 있으며, 이는 향후 동일 도시 내 집단 비교 연구를 통해 보완될 필요가 있다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. RS-2022-NR068754)

동적 통행배정 환경에서의 강화학습 기반 동적 OD 행렬 추정 방법

Deep Reinforcement Learning-Based Method for Estimating Dynamic Origin-Destination Matrices in Dynamic Traffic Assignment Environments

민동규

(서울대학교 건설환경공학부, 석박사통합과정)

김동규

(서울대학교 건설환경공학부, 교수)

동적 통행배정(Dynamic Traffic Assignment, DTA) 환경에서의 동적 OD 행렬 추정은 시뮬레이션 정산(calibration)의 한 형태로서, 네트워크의 OD 수요를 조정하여 시뮬레이션에서 생성된 링크 유량(link flow)이 실제 관측값에 최대한 부합하도록 만드는 문제이다. 본 연구는 이러한 동적 OD 추정 문제를 강화학습 기반의 순차적 의사결정 문제로 재해석하고, 시간에 따라 변하는 OD 수요를 보다 효과적으로 추정할 수 있는 방법론을 제시한다.

동적 OD 추정 문제가 어려운 이유는 stochastic한 DTA 환경에서 입력 OD matrix와 출력 link flow 사이의 관계가 단순하지 않기 때문이다. 특정 시점의 link flow는 해당 시점의 OD 수요만이 아니라, 이전 시점에서 누적된 혼잡의 전파와 소산, spillback, 경로 간 상호작용, 확률적 차량 거동의 영향을 함께 받는다. 따라서 현재 관측된 link flow 오차만으로 어느 시점의 어떤 OD 입력이 원인이었는지를 직접 역산하기 어렵다. 이러한 특성을 고려하면, 문제를 정적 탐색이나 단순 최적화로 다루기보다는 현재 상태를 바탕으로 미래의 누적 성과를 고려하는 sequential decision-making 문제로 보는 것이 더 자연스럽다.

방법론적으로는 하위의 동적 교통망 부하(DNL) 모형으로 LTM(Link Transmission Model)을 사용하였으며, 통행배정은 multinomial logit 기반의 path-based stochastic DUO로 구성하였다. 강화학습 프레임워크에서 에이전트는 각 시점마다 네트워크 상태를 관측하고 OD pair별 수요값을 행동으로 선택하며, 시뮬레이션을 통해 생성된 link flow와 ground-truth link flow 간의 오차를 바탕으로 보상을 받는다. 상태는 시간 정보, target link flow, simulated link flow, occupancy, speed index 등으로 구성되며, 행동은 OD 쌍별 수요 결정값으로 정의된다. 보상은 시뮬레이션 출력과 목표 데이터 간 제곱오차의 음수값으로 설정하였고, 정책 학습에는 PPO(Proximal Policy Optimization)를 적용하였다. 이는 전통적인 정산 문제를 기대 누적보상 최대화 문제로 변환하여, OD 행렬 추정을 단순한 입력 탐색이 아니라 장기 보상을 고려하는 정책 최적화 문제로 다룬 것이다.

실험 결과, 제안 방법은 약 1,500 episode 동안 reward가 점진적으로 향상되는 경향을 보였으며, Bayesian Optimization 기반 비교 방법보다 target 혼잡 trajectory와 link congestion heatmap을 더 유사하게 재현하였다. 특히 혼잡 peak의 형상과 시공간적 분포를 보다 정확히 포착함으로써 동적 혼잡 패턴 학습과 정산 성능 측면에서 우수한 결과를 나타냈다. 종합하면, 이 연구는 동적 OD 행렬 추정 문제를 시간적으로 연결된 의사결정 문제로 재정의하고, 강화학습이 기존 정산 접근의 한계를 보완할 수 있는 유망한 대안임을 보였다는 데 의의가 있다.

사사: 이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었으며, 2025년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터(No. 092021C28S02000), 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단(No. RS-2024-00409860)의 지원을 받아 수행된 연구임.

네트워크 수준 교통 운영을 위한 재귀적 추론 기반 경로 수준 교통 정보 생성

Generation of Path-Level Traffic Information via Recursive Inference for Network-Level Traffic Operations

이승현

(서울대학교, 박사과정)

김동규

(서울대학교, 교수)

도시 교통 환경에서 차량의 이동은 연속 좌표 궤적으로 관측되지만, 교통 운영과 계획의 의사결정 단위는 링크, 경로, 전이 패턴과 같은 이산화된 네트워크 표현으로 해석된다. 기존 궤적 예측 연구는 연속 좌표의 미래 위치 추정에 초점을 맞추어 왔으나, 이를 네트워크 기반 운영에 활용하기 위해서는 추가적인 맵 매칭 또는 경로 복원 절차가 필요하며 불확실성이 재유입될 수 있다(Vlahogianni et al., 2014). 또한 기존 심층학습 기반 교통 상태 예측 방법은 개별 링크나 센서 지점에서 독립적으로 예측을 수행하므로(Lv et al., 2015; Li et al., 2018), 경로 수준에서의 시간적 공간적 일관성을 보장하지 못하며 교차로에서의 흐름 보존 원칙을 위반할 수 있다.

일반적으로 이산 시퀀스 예측 문제는 분류 문제로 정식화할 수 있지만 장기 예측에서 오차 누적 문제가 빈번하게 발생한다. 이를 완화하기 위해 반복 정제 및 재귀 구조(Jolicoeur-Martineau, 2025)가 제시되었다. 기존 연구는 좌표 기반 예측 또는 제한된 형태의 이산 예측에 집중하는 경향이 있으며(Bahari et al., 2021; Sang et al., 2025; Rao et al., 2025), 실측 드론 데이터에서 링크 시퀀스를 구축하고 예측과 생성을 결합한 재귀 추론을 수행하는 연구는 제한적이다. 이에 본 연구는 pNEUMA(Barmounakis & Geroliminis, 2020) 데이터를 활용하여 경로 수준 교통 정보를 생성하는 재귀적 추론 프레임워크를 제안한다.

도로 네트워크는 방향 그래프로 표현되며, 본 연구는 기존 링크 기반 표현을 교차로의 회전 이동(좌회전, 직진, 우회전) 단위로 분해한 이동류 수준의 네트워크로 세분화한다. 모델은 시공간 블록을 공유하는 재귀 추론 구조로 설계된다. 핵심적으로, 빠르게 갱신되는 잠재 상태 z 와 느리게 누적되는 잠재 상태 y 의 이중 구조를 통해 국소적 보정과 전역적 안정성을 분리한다. 손실 함수는 관측 지속 차량에 cross-entropy loss, 신규 진입 차량에 Hungarian 최적 매칭 후 cross-entropy loss를 적용하며, deep supervision 전략과 품질 기반 halting 기준을 통해 학습 효율을 극대화한다.

본 연구에서 제안한 모델의 훈련 결과, 모델은 네트워크 전반의 이동류 수준 교통량 분포를 재현하였으며, 네트워크에서 각 링크의 교통량을 평가하였을 때 관측값 대비 30% 이내의 오차 비율을 보였다. 연속 이동류 토큰 예측을 평가하였을 때, 연속하는 3개의 토큰 시퀀스 평가(bilingual evaluation understudy, BLEU-3)에서 0.523을 보여 연속하는 시퀀스를 효과적으로 예측하는 것으로 확인되었다.

본 연구는 기존 링크 수준 예측의 한계를 극복하고 완전한 경로를 따라 교통 역학을 모델링하는 경로 수준 교통 정보 생성 프레임워크를 제시하였다. 이동류 수준의 네트워크 세분화, 이중 잠재 상태 기반 재귀 추론, Hungarian 최적 매칭 기반 생성 차량 평가를 통해 효과적으로 경로 수준 교통 정보 생성을 수행할 수 있음을 확인하였다. 단, 셀프 어텐션 연산의 순열 불변 특성으로 인해 물리적 연결성 제약이 명시적으로 강제되지 않아 실현 불가능한 경로 전이가 발생할 수 있다는 한계가 확인되었다. 향후 연구에서는 네트워크 연결성 기반 물리 법칙 활용 제약 통합, 부분 관측 환경으로의 일반화, 신호 시간 정보 통합 등을 통해 실환경 적용 가능성을 검증할 예정이다.

사사: 본 연구는 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행되었으며 (No.092021C28S02000), 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-25433225).

유전알고리즘을 활용한 센트로이드 커넥터 배치 기준 연구: 제주권 사례연구

Advancing Centroid Connector Construction Standards in Traffic Analysis Networks Using a Genetic Algorithm: Jeju island Case Study

이상규

(서울시립대학교 교통공학과,
석·박사통합과정)

김희조

(서울시립대학교 교통공학과,
박사과정수료)

박동주

(서울시립대학교 교통공학과·
도시빅데이터융합학과, 교수)

존 기반 교통수요모형에서 센트로이드 커넥터는 수요가 도로망으로 유입·유출되는 경로를 결정하는 핵심 요소로 작용하며, 그 배치 방식에 따라 통행배정 결과와 혼잡 분포가 크게 달라질 수 있다. 그러나 기존 실무에서는 커넥터의 위치, 개수, 길이 등에 대한 명확한 기준이 부족하여 전문가의 경험에 의존한 관행적 설계가 이루어지고 있으며, 이로 인해 관측 교통량과 배정 교통량 간의 오차 및 비정상적인 혼잡 분포가 발생하는 한계가 존재한다.

이에 본 연구는 센트로이드 커넥터 배치 문제를 다수의 변수와 제약조건이 결합된 조합최적화 문제로 정의하고, 이를 해결하기 위한 방법으로 메타휴리스틱 기법인 유전알고리즘을 적용하였다. 연구에서는 제주권 도로 네트워크와 관측 교통량 자료를 활용하여, 관측값과 배정값 간의 오차를 최소화하는 것을 목적 함수로 설정하고, 커넥터 개수, 연결 위치, 길이 등의 요소를 동시에 고려하였다. 또한 실무에서 요구되는 제약조건을 반영하여 현실성을 확보하고자 하였다.

유전알고리즘을 통해 다양한 커넥터 배치 시나리오를 구축하고 성능을 비교한 결과, 커넥터 개수가 증가함에 따라 적합도가 점진적으로 개선되다가 특정 수준 이후에는 효율이 감소하는 경향이 나타났다. 특히 커넥터 5개를 적용한 시나리오에서 MAPE, RMSE, GEH 지표가 전반적으로 가장 우수한 성능을 보이며 기존 기준 대비 관측 교통량 재현성이 크게 향상된 것으로 분석되었다.

또한 최적화 결과의 일반화 가능성을 검토하기 위해 세대별 최적해뿐만 아니라 전체 해집합을 대상으로 특성 분석을 수행하였다. 그 결과, 적합도가 높은 해는 2차로 이상의 도로, 3지 이상 교차로, 주요도로와의 근접성 등 특정 공간적·물리적 특성을 갖는 노드에 커넥터가 연결되는 경향이 확인되었다. 이는 단일 최적해 분석의 한계를 보완하고 통계적 신뢰성을 확보하는 데 기여하였다.

본 연구는 유전알고리즘을 활용하여 센트로이드 커넥터 배치 문제에 대한 체계적인 최적화 방법을 제시하고, 커넥터 설계 시 고려해야 할 정량적 기준을 도출하였다는 점에서 의의가 있다. 향후에는 존 특성의 세분화 및 일반화 결과에 대한 검증은 통해 보다 정교한 설계 지침을 마련할 필요가 있다.

철도교통 운영 및 수요

Session

A-7

스케줄 기반 철도 통행배정을 위한 역-역 O/D 구축 및 시간세분화 방법론
변상진, 박동주

수도권 전철 노선 간 의존 구조 분석: 노선 제거 시의 통행시간 증분을 중심으로
고건우, 김성아, 서영운, 최성택

Metro GATF 기반 대규모 도시철도 OD 수요 예측 및 버스-지하철 통합 네트워크 시뮬레이션
김승하, 정희준, 서동현, 신성일, 권장우

삼중차분법을 활용한 신규 경전철 노선의 통행량 변화 효과 분석
김준구, 김성아, 양윤철, 최성택

발권데이터를 활용한 용량포화 상태의 철도 예매행태 분석
김희조, 박동주

스케줄 기반 철도 통행배정을 위한 역-역 O/D 구축 및 시간세분화 방법론

Methodology for Station-to-Station O/D Construction and Time Segmentation in Schedule-Based Railway Transit Assignment

변상진

(서울시립대학교 교통공학과, 박사수료)

박동주

(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

최근 철도 수요분석 및 통행배정 분야에서는 기존의 최적전략 통행배정모형(Optimal Strategy Transit Assignment)의 한계가 지속적으로 제기되고 있다. 해당 모형은 운행횟수에 비례하여 통행량을 배정하고, 먼저 도착하는 열차에 탑승하는 것을 전제로 하기 때문에, 실제 통행자가 사전에 열차 운행시간표를 확인하고 특정 열차를 선택하거나 목표 도착시간에 맞추어 출발시간을 조정하는 현실적인 의사결정 과정을 충분히 반영하지 못한다.

이러한 한계를 보완하기 위한 대안으로, 열차 운행시간과 통행자의 목표 출발·도착시간을 반영하는 스케줄 기반 철도 통행배정모형(Schedule-Based Transit Assignment)이 제시되었다. 해당 모형은 개별 열차 단위의 선택과 시간의존적 경로 선택을 동시에 반영할 수 있어 최적전략 모형에 비해 행태적 타당성이 높고, 시간에 따른 수요 분포와 열차 이용 패턴을 보다 정밀하게 재현할 수 있으며, 정책적 활용 가능성이 높다. 기존 연구에서도 스케줄 기반 모형이 최적 전략 모형에 비해 보다 현실적인 통행배정 결과를 제공할 수 있음이 확인된 바 있다.

그러나 기존 연구는 주로 모형 간 성능 비교에 초점을 두고 있어, 전국 단위의 철도 수요분석 체계에서 스케줄 기반 모형을 적용하기 위한 기초자료 구축 및 적용 프레임워크는 충분히 제시되지 못하였다. 특히 스케줄 기반 모형은 시간의존적 수요를 전제로 하지만, 국가교통DB(KTDB)의 존 단위 O/D(Origin/Destination)는 시간 정보가 포함되어 있지 않으며 접근역 선택 행태 또한 반영되지 않아 모형 적용에 구조적 제약이 존재한다. 따라서 스케줄 기반 모형의 실질적 적용을 위해서는 존 단위 O/D를 역 단위 및 시간의존적 O/D로 전환하는 기초자료 구축 절차가 요구된다.

이에 본 연구는 스케줄 기반 통행배정모형 적용을 위한 역-역 O/D 구축 및 시간세분화 방법론을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 먼저 존-존 간 통행이 가능한 열차 계열을 구분하고, 존과 역 간 거리 및 노선별 운행횟수를 고려한 중력모형을 활용하여 각 존별 접근 가능성이 높은 후보역과 역 선택확률을 산정하였다. 이 과정에서 확률의 과도한 분산과 비현실적인 역 선택 문제를 완화하기 위해 후보역 수를 상위 2개로 제한하였으며, 지역 유형 및 선택확률 분포 특성을 반영한 후보역 선정 기준을 함께 제시하였다.

역 선택확률을 기반으로 존-존 O/D를 역-역 O/D로 변환하는 정합화 절차를 구축하고, 비현실적인 출발역과 도착역이 동일한 경우는 제외한 뒤 유효한 역 조합에 대해 확률을 재정규화함으로써 총량 보존을 고려한 모형의 일관적 변환 절차를 마련하고자 한다. 구축된 역-역 O/D는 철도통계연보의 역별 승하차 실적과 비교하고, 다양한 정합성 지표를 활용하여 적합성을 검토하고자 한다.

아울러 RP 기반 철도통행실태조사 자료를 활용하여 통행자의 목적별 목표시간에 따른 역 도착시간 분포를 반영한 시간의존적 O/D 세분화 방법을 제시한다. 일평균 O/D를 침투 및 비침투 시간대로 구분하고, 분 단위 역 도착시간 분포를 반영할 수 있도록 확장 가능한 구조로 구성함으로써 스케줄 기반 모형에 필요한 시간의존적 기초자료 구축 체계를 마련한다.

본 연구는 기존 존 단위 철도 O/D를 역 단위 및 시간의존적 O/D로 전환하는 절차를 체계적으로 정리하고, 이를 스케줄 기반 통행배정모형에 직접 적용 가능한 형태로 구성하는 데 목적이 있다. 특히 역 선택확률 기반 접근과 시간의존적 수요 구조를 통합적으로 고려함으로써 보다 현실적인 역 선택 및 시간대별 수요 반영 체계를 제시한다는 점에서 의의가 있다. 또한 후보역을 2개로 제한한 단순화된 구조를 적용함으로써 계산 효율성 제고와 확률 분산 완화에 기여할 수 있는 방법론을 제시하였다는 점에서도 의미가 있다.

본 연구는 시간의존적 역-역 수요 구축과 스케줄 기반 통행배정을 위한 기초자료 구축 절차를 제시함으로써, 향후 열차 운행계획, 배차간격 조정, 환승체계 개선 등 운영 전략 수립과 고속철도 투자 및 서비스 수준 평가를 위한 분석 기반 마련에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

수도권 전철 노선 간 의존 구조 분석: 노선 제거 시의 통행시간 증분을 중심으로

Inter-Line Dependency Structures in the Seoul Metropolitan Railway Network:
Evidence from Leave-One-Out Line Removal Simulations

고건우 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)	김성아 (한양대학교 도시공학과, 박사후연구원)	서영운 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)	최성택 (한양대학교 도시공학과, 부교수)
-------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	------------------------------

수도권 전철은 24개 노선, 600개를 넘는 역사가 복잡하게 교차하는 대규모 도시철도 네트워크로, 특정 노선의 운행 장애가 수도권 교통망 전반에 미치는 영향이 매우 크다고 할 수 있다. 그러나 단일 전철 노선의 운행 중단이 다른 노선에 미치는 과급 구조를 정량적으로 파악하려는 시도는 상대적으로 드문 편이다. 기존 연구는 주로 네트워크 위상 지표나 단순 접근성 변화에 초점을 두어, 실제 시간표 기반의 운행 조건에서 노선 간 의존성이 어떻게 발현되는지를 체계적으로 다루지 못하였다. 본 연구는 이러한 공백을 메우기 위해, 실제 운행 시간표를 반영한 GTFS 데이터 기반 R5Py 시뮬레이션을 활용하여 24개 노선 각각을 순차적으로 제거하는 Leave-One-Out 방식의 25개 시나리오를 구성하였다. 이를 기반으로 본 연구에서는 각 시나리오에서 648개 역 전체의 OD 통행시간 행렬을 도출하고, 기존 시나리오 대비 통행시간 증분 행렬(T)을 산출하였다.

통행은 출발역이 제거 노선에 속하는 직접 통행과 그렇지 않은 간접 통행으로 구분하였다. 직접 통행의 손실은 해당 노선 자체의 운행 중단에 따른 자체 의존도를, 간접 통행의 손실은 타 노선 이용자가 제거된 노선을 경유하고 있었음을 의미하는 과급 의존도를 각각 반영한다. 이를 바탕으로 의존의 폭, 의존의 깊이, 승하차 가중 의존도의 세 가지의 의존도 지표를 정의하였다. 의존의 폭(Coverage)은 제거 노선으로 인해 통행시간이 증가한 역의 비율을, 의존의 깊이(Intensity)는 실제 영향을 받은 역의 평균 통행시간 증가량을, 가중 의존도(D^*)는 역별 이용자 수를 가중치로 적용한 이용자 기준 상대적 통행시간 증가율을 각각 나타낸다. 가중 의존도를 자체 의존도와 과급 의존도로 분리하여 노선별 의존도 쌍을 구성하고, 이를 24×24 노선 간 의존도 행렬로 집약하였다.

마지막으로, 의존도 쌍의 값을 기반으로 중앙값을 임계값으로 삼아 수도권 전철 24개 노선을 4가지 유형으로 분류하였다. 분석 결과, 수인분당선·서울1호선·공항철도는 상대적으로 높은 과급력을 가진 노선으로 분류되었으며, 경강선·경춘선 등 수도권 외곽의 단선형 노선은 자체 의존도가 높으면서도 과급력은 제한적인 유형으로 분류되어, 노선 자체의 대체 경로가 희소하면서도 네트워크 전반에 대한 구조적 영향은 상대적으로 작음이 확인되었다. 본 연구의 결과는 노선 중요도를 단일 지표로 순위화하는 기존 접근을 넘어, 자체 취약성과 네트워크 과급력이라는 두 축으로 노선의 구조적 역할을 입체적으로 해석하는 분석 틀을 제시한다는 점에서 의의를 가진다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25492164).

Metro-GATF 기반 대규모 도시철도 OD 수요 예측 및 버스-지하철 통합 네트워크 시뮬레이션

Metro-GATF for Large-Scale Metro OD Forecasting and Bus-Subway Integrated Network Simulation

김승하 (인하대학교 전기컴퓨터공학과, 석사)	정희준 (인하대학교 전기컴퓨터공학과, 박사)	서동현 (인하대학교 전기컴퓨터공학과, 석사)	신성일 (아이티에스모빌리티 랩, 대표이사)	권장우 (인하대학교 컴퓨터공학과, 정교수)
--	--	--	--------------------------------------	---

I. 연구 개요

본 연구는 수도권 대규모 도시철도 네트워크에서 과거 OD 행렬 시퀀스를 기반으로 미래 다중 시점의 전체 OD 행렬을 직접 예측하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 실제 철도 토폴로지와 시점별 승객 이동 상호작용을 함께 반영하는 시공간 예측 프레임워크 Metro-GATF를 제안하였으며, 예측 결과를 버스-지하철 통합 네트워크 시뮬레이션에도 활용하였다.

II. 관련 연구

기존 OD 예측 연구는 LSTM, 그래프 신경망, Transformer 기반으로 발전해 왔으나, 대부분 역 단위 수요 예측이나 일부 OD pair 예측에 초점을 두거나 복잡한 multi-view, hypergraph 구조에 의존하였다. 본 연구는 정적 철도 토폴로지와 sparse OD 상호작용을 단순한 end-to-end 구조 안에서 함께 다룬다는 점에서 차별성을 가진다.

III. 방법론

제안 모델은 정적 공간 인코딩, 동적 공간 인코딩, 시간 모듈, OD 복원 예측기로 구성된다. 정적 공간 인코더는 철도 인접행렬 기반 GATv2를 사용해 구조적 관계를 학습하고, 동적 공간 인코더는 시점별 sparse OD graph를 통해 실제 승객 이동 상호작용을 반영한다. 이후 non-autoregressive Transformer decoder로 미래 노드 표현을 병렬 예측하고, origin-destination factorization과 sparsity-aware gating으로 전체 OD 행렬을 복원한다.

IV. 실험 결과

실험 결과, Metro-GATF는 strongest baseline인 MPGCN과 비교해 MAE는 유사한 수준을 유지하면서도 RMSE와 sMAPE에서 더 우수한 성능을 보였다. 또한 버스-지하철 통합 네트워크 시뮬레이션에서는 금정역, 고속터미널역 이벤트 시나리오를 통해 지연 상황에서는 이동시간 절감, 폐쇄 상황에서는 연결 복구가 가능함을 확인하였다.

V. 결론

본 연구는 Metro-GATF를 통해 대규모 도시철도 OD 행렬 예측 문제에 효과적으로 대응할 수 있음을 보였으며, 더 나아가 예측 결과를 버스-지하철 통합 네트워크 시뮬레이션과 연결하여 철도와 버스를 통합적으로 운용할 수 있는 가능성을 제시하였다. 향후에는 더 많은 버스 노선과 실제 운영 제약을 반영한 확장 연구가 필요하다.

사사: 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2022-KP002841, 회전설비 인공지능형 진동 감시 시스템 개발)

삼중차분법을 활용한 신규 경전철 노선의 통행량 변화 효과 분석

Analysis of the Effects of Traffic Volume Changes on a New Light Rail Line Using the Triple Differences Method

김준구 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)	김성아 (한양대학교 도시공학과, 박사후연구원)	양윤철 (한양대학교 도시공학과, 석사과정)	최성택 (한양대학교 도시공학과, 교수)
-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------

2010년대 후반 이후 김포골드선, 신림선, 우이신설선 등의 신규 경전철 노선이 수도권에서 연이어 개통되며 통근통행 패턴의 구조적 변화가 나타나고 있다. 이러한 신규 철도 노선은 통근자의 통행시간과 경로뿐만 아니라 버스·철도·승용차 간 통근 수단 분담 구조에도 영향을 미칠 수 있어, 교통체계 성과 평가와 향후 노선 계획 측면에서 중요한 의미를 가진다. 기존 연구는 대체로 개별 노선 단위, 개통 직전·직후의 단기 비교, 일회성 효과 확인에 머물러 신규 노선 개통의 장기적인 효과 파악이 어렵다. 특히 김포골드선, 신림선, 우이신설선과 같이 개통시점이 서로 가까운 수도권 경전철의 경우 실질적인 노선 개통효과를 파악하는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구는 2016년부터 2023년까지의 기간 동안 세 개의 노선을 동시에 비교함으로써, 단기적인 신규노선 개통 효과가 아닌 누적/계층적인 효과를 분석하고자 한다. 추가로 신규 노선의 영향권과 비영향권을 구분하여 공간적인 영향력 차이도 함께 포착하고자 한다.

본 연구는 세 개의 서로 다른 구조를 가진 경전철 노선을 동일한 삼중차분 분석틀 안에 위치시키고, 영향권/비영향권, 광역축/도심축을 교차 비교함으로써, 신규 경전철 개통이 서울시 통근 중심지로 향하는 통근 통행량에 미치는 효과를 정량적으로 식별한다는 점에서 차별성을 갖는다.

분석에서는 경전철 개통 전후의 시점, 노선의 영향권 여부, 광역 통근축 여부를 결합한 삼중차분법(Difference-in-Difference, DDD; Triple Differences, TD) 모형을 중심으로 설계했다. 이는 시간적 추세 증가량이 혼합된 단순 전후 비교가 갖는 문제를 보완하고, 기존의 이중차분법만으로는 분리하기 어려운 노선 유형 간 효과 차이를 동시에 추정할 수 있게 해준다.

분석의 주요 결과는 첫째, 경전철 영향권 행정동에서 서울 통근중심지로 향하는 통근 OD의 철도 분담률은 장기간에 걸쳐 유의하게 증가하고, 버스·승용차 분담률은 감소하는 방향의 통근 통행량의 변화가 누적되는 결과가 나타날 것이다. 둘째, 비영향권 행정동에서는 동일 기간 수단별 통근 통행량 변화가 작거나 유의하지 않아, 신규 경전철 개통 효과가 주로 영향권 내에 공간적으로 국한되는 형태로 나타날 것이다. 셋째, 세 노선 중 광역 통근축인 김포골드선에서는 타 수단 대비 철도 통근량 변화 효과가 가장 크게 나타났고, 도심 내부 통근축인 신림선·우이신설선에서는 상대적으로 통근 통행량 변화가 적은 것으로 나타날 것이다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다. 학술적으로는 장기 기간 자료와 삼중차분 설계를 통해, 신규 경전철 개통이 통근 통행량 수준에서 미치는 장기·누적 효과를 식별함으로써 도시철도 효과 연구의 시간적 범위를 단기에서 장기적 기간으로 확장했다. 또한, 영향권/비영향권, 광역축/도심축을 교차한 삼중차분 분석을 통해 노선 유형과 공간적 위치에 따른 이질적 효과를 동시에 보여줌으로써, 다중 노선·이질적 분석을 포함하는 고도화된 평가 프레임워크를 제시한다. 정책적 시사점으로는 영향권에서 신규 노선으로 인해 통근 통행량 변화가 유의하게 나타났다는 결과는 경전철 투자 효과가 역세권 중심으로 집중됨을 보여주며 향후 경전철 노선 계획 시 역세권 개발의 공간 범위의 대한 실증적 기준으로 활용될 수 있다. 또한, 광역 통근축이 도심 내부 통근축보다 더 큰 통근량 효과를 보였다는 점에서 광역축-도심축 간 투자 우선순위 설정과 역할 분담에 정량적 근거를 제공할 수 있다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25492164).

발권데이터를 활용한 용량포화 상태의 철도 예매행태 분석

Railway Booking Behavior under Capacity Saturation Using Ticketing Data

김희조

(서울시립대학교, 석박사통합수료)

박동주

(서울시립대학교, 교수)

한국의 고속철도(KTX, SRT)는 경부선을 중심으로 주요 노선에서 상시적인 용량포화가 발생하고 있다. 좌석 예매제 철도에서 열차가 매진되면 이후 도착하는 잠재 수요는 예약 시스템에 기록되지 않으며, 수요가 공급을 초과하는 열차일수록 관측된 수요와 실제 수요 간의 괴리가 커지는 구조적 한계가 존재한다. 이로 인해 수요가 가장 큰 구간에서 수요가 가장 크게 과소추정되는 역설이 발생하며, 이는 수요 예측과 투자 평가의 정확성을 저해하는 근본적 요인이 된다. 이러한 문제에 접근하기 위해서는 용량 제약 하에서 이용자의 예매행태가 어떤 양상을 보이는지에 대한 기초적 이해가 선행되어야 하나, 대규모 발권데이터를 활용하여 고속철도 예매행태의 시간적·공간적 특성을 체계적으로 분석한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구는 2024년 1월부터 2025년 10월까지 22개월간의 철도 발권데이터 약 2억 9,700만 건을 활용하여, 경부선·호남선 등 전 노선을 대상으로 열차-일 단위의 평균 예약시기(운행일과 예약일의 차이)를 산출하고, 이를 노선별, 요일별, 시간대별로 분석하였다. 각 차원에서 평균 예약시기의 분포와 체계적인 차이를 기술통계적으로 확인하는 것이 본 연구의 목적이다.

분석 결과, 노선별로는 고속철도(SRT 8.1일, KTX 6.0일)가 일반철도(3.2일) 대비 2~5일 긴 예약시기를 보이며, 동일 열차층 내에서도 노선간 최대 2~3일의 차이가 관찰되었다. 공급부족이 만성화된 고속철도를 위주로 살펴보면, 요일별로는 공휴일이 9.02일로 가장 길고, 주말(금요일~일요일, 7.50일), 주중(월요일~목요일, 5.05일) 순으로, 주중 대비 공휴일이 약 4일의 예약시기 차이가 관찰되었다. 시간대별로는 오전 첨두시(08~09시, 7.9일)가 심야시간(00~01시, 2.6일) 대비 약 5일 긴 예약시기를 보이는 것으로 관찰되었다. 이러한 예매행태의 이질성은 이용 목적의 구성(업무/여가), 대안 열차의 가용성, 노선별 수요 강도 등 복합적 요인에 기인하는 것으로 해석된다.

이상의 결과를 바탕으로 다음과 같은 정책제언을 도출할 수 있다. 첫째, 요일 및 시간대에 따른 예매행태의 체계적 차이는 열차 편성 및 운행 편수의 탄력적 조정이 필요함을 시사한다. 둘째, 현행 수요 예측 모형은 관측된 탑승 실적에 기반하므로, 예매행태의 이질성을 반영한 수요 예측 방법론의 개선이 요구된다. 셋째, 매진으로 인해 관측되지 않는 수요를 체계적으로 파악하기 위한 데이터 인프라의 구축이 필요하다.

본 연구는 대규모 발권데이터를 활용하여 고속철도 예매행태의 시간적·공간적 이질성을 체계적으로 보고한 기초 연구로서 의의가 있다. 다만, 기술통계 수준의 분석에 한정되어 있어 교란변수의 통제가 이루어지지 않았으며, 수요/용량 비율(V/C)과 예약시기 간의 함수적 관계 규명, 인과적 분석, 그리고 이를 활용한 수요 추정 방법론의 개선과 철도 투자 평가에의 적용은 향후 연구과제로 남긴다.



Session B

자율주행 혼재교통류 안전

Session

B-1

실도로 자율주행 자료를 이용한 교차로 자율 비자율차량 상호작용 평가

이규, 최원명, 이호윤, 이재원, 오철

심리적 안전마진 (Psychological Safety Margin) 모델을 활용한 교차로 혼합교통류 안전성 분석

이재원, 이호윤, 최원명, 오철

도심 교통 환경에서 자율주행차 행동 공격성에 따른 안전-효율 트레이드오프 정량 분석

오경택, 이은호, 소재현

혼재 교통 환경에서 V2V 통신 신뢰성 기반의 자율주행 안전성 강화 연구

김영환, 최준희, 김동규

실시간 수집 불가 변수를 고려한 자율주행 혼재 환경에서의 도로구간 위험도 예측모형 연구

한호림, 이승봉, 박준영, 이승하, 정정호, 김진재

다중 위험 기반 딜레마존 의사결정을 위한 LLM 교통물리 프레임워크

조성은, 박하늘, 소재현

실도로 자율주행 자료를 이용한 교차로 자율-비자율차량 상호작용 평가

Evaluation of Interactions between Autonomous Vehicle and Manual Vehicle at Intersections
Using Real-World Data

이규	최원명	이호윤	이채원	오철
(한양대학교 교통물류공학과, 학부과정)	(한양대학교 스마트시티공학과, 석사과정)	9한양대학교 교통물류공학과, 석사후연구원)	(한양대학교 교통물류공학과, 석사과정)	(한양대학교 교통물류공학과, 교수)

불완전한 자율주행 시스템은 회피행동 및 인식에 어려움이 있으며, 이는 교통안전 측면과 교통정체 측면의 문제를 유발할 수 있다. 자율주행 차체의 안전성 인증은 국토교통부가 담당하나 자율주행시스템 탑재 인공지능의 평가담당 기관은 없는 실정이다. 따라서 혼재교통상황을 고려한 자율차의 운전능력을 평가하는 기술이 요구되며 자율주행 주행안전성과 운전능력 평가에 관한 연구가 진행되어 자율차의 안전성 향상에 기여하고 있으나, 주행 시뮬레이션의 경우 현실의 복잡한 상황의 완벽한 재현에는 한계가 존재한다. 실도로 데이터를 활용한 분석은 시뮬레이션 기반 분석 대비 실증적 결과 도출 및 현실 반영의 측면에서 강점을 가질 수 있어 본 연구는 기존 연구를 통해 정립된 운전능력 평가방법론을 Waymo open dataset에 적용하여 실도로 환경에서의 자율주행 운전능력을 평가하고 도출된 시사점을 통해 기존 운전능력 평가방법론을 보완하는 것을 목적으로 한다.

Waymo open dataset은 10Hz로 수집된 20초 단위 1000개 segment의 자율주행 차량 및 주변 차량의 주행궤적 데이터를 제공한다. 자율주행 운전능력 평가는 주체차량 주행안정성, 상호작용 안정성, 추상적 도로교통법 준수유무 3가지 분야의 평가지표를 설정하고, 각각 10점 만점의 평가척도를 설정하여 분석을 진행하였다. 주체차량 주행안정성의 평가 지표로 P2Pjerk를 채택하였다. 각 segment별 최대 jerk와 최소 jerk의 차이로 산출하였으며, 값이 클수록 주행안정성이 낮다고 평가할 수 있다. P2Pjerk 값의 전구간에 하나의 sigmoid 함수를 적용할 경우 0점과 10점이 존재하지 않는 한계점이 존재한다. 이를 보완하여 위험 상황과 급감속 상황을 판단할 수 있는 적정 임계값인 9.8m/s³와 14.7m/s³를 기준으로 한 후 부분적으로 sigmoid 함수를 적용하여 주체차량 주행안정성 점수 평가척도를 설정하였다. 상호작용 안전성의 평가지표로는 Observed PET를 채택하였다. 두 차량의 주행궤적에 상충 예상지점이 존재할 때 해당 지점을 통과한 실제 시간 간격으로 산출하였으며, PET 값이 낮을수록 위험한 상황으로 평가할 수 있다. Psychological Safety Margin 기반 PET 임계값인 2.7초를 기준으로 sigmoid 함수를 적용하여 점수 평가척도를 설정하였다. 추상적 도로교통법 준수유무의 평가지표로는 Expected PET 기반 임계속도를 채택하였다. Expected PET 계산식을 이용하여 자율차가 예상 상충지점을 선행통과하는 경우와 양보하는 두 가지 주행상황에 대한 각각의 자율차 주행임계속도를 산출하였으며 자율차량의 주행속도가 두 임계속도 사이에 위치할 경우 추상적 도로교통법을 준수하지 못하는 상황으로 판단할 수 있다. 두 임계속도 사이에 위치하여 추상적 도로교통법을 준수하는 데이터의 비율을 10점 만점의 평가척도로 설정하였다.

각 segment를 ODD별로 구분하여 기술통계량과 ANOVA 분석을 진행하였다. 주체차량 주행안정성 평가의 경우 3지 비신호 교차로의 주행안정성의 평균점수가 7.75점으로 ODD중 가장 낮고, 점수 표준편차가 3.88로 가장 높게 나타났다. 평가차량 상호작용 안전성 평가의 경우 4지 신호 교차로의 교차로의 평균점수가 8.38점으로 가장 낮고, 표준편차가 2.51로 가장 높게 나타났다. 추상적 도로교통법 준수유무 평가의 경우 3지 비신호 교차로의 평균점수가 7.70점으로 가장 낮으며, 4지 신호 교차로의 표준편차가 3.31로 가장 높게 나타났다. 3지 신호 교차로의 경우 교차로의 비정형성과 비신호 교차로의 특성이 운전능력에 영향을 준 것으로 판단된다. 일부 교차로의 경우 segment 수가 적어 운전능력을 평가하기엔 한계가 존재한다. ANOVA 분석결과, 상호작용 안전성 평가에서는 ODD간 평가점수의 통계적으로 유의미한 차이가 있음이 확인되었으나, 주행안전성과 추상적 도로교통법 준수 여부 평가에서는 ODD간 평가점수의 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 본 연구는 P/F의 이분법적인 방식으로 평가가 이루어지던 지표를 연속형 점수체계로 변환할 때 본 연구의 변환 방식을 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 2023년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제명: 실도로 기반 Lv.4 자율주행차량 운전능력 평가기술 개발 / 과제번호: RS-2023-00238253)

심리적 안전마진 모델을 활용한 교차로 혼합교통류 안전성 분석

Safety Evaluation Framework for Mixed Traffic at Intersections
Using a Psychological Safety Margin Model

이체원	이호윤	최원명	오철
(한양대학교 스마트시티공학과, 석사과정)	(한양대학교 교통물류공학과, 연구원)	(한양대학교 스마트시티공학과, 석박사통합과정)	(한양대학교 교통물류공학과, 교수)

자율주행 기술의 상용화가 진행됨에 따라, 자율주행차(Autonomous Vehicle, AV)와 비자율주행차(Manual Vehicle, MV)가 혼재하는 혼합교통류(Mixed Traffic Flow) 상황이 지속될 것으로 전망된다. 이 과정에서 MV 운전자는 AV의 예측 불가능한 감·가속, 주행 패턴 등으로 인해 판단 및 반응에 어려움을 겪을 수 있다. 또한 AV 자율주행 모드 사고의 74.7%가 교차로에서 발생하는 것으로 보고되며(Kim et al., 2024), 특히 비신호교차로는 통행 우선순위 규칙의 부재로 인해 AV-MV 상호작용에 따른 위험이 집중된다.

기존의 안전성 평가 체계는 물리적 안전 중심의 평가지표에 의존하고 있어, MV 운전자의 심리적 불안을 정량적으로 반영하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구는 물리적 안전과 심리적 안전을 동시에 고려하는 평가 지표인 심리적 안전마진(Psychological Safety Margin, PSM)을 제안하고, VISSIM을 통해 AV 혼입률(Market Penetration Rate, MPR)에 따른 교차로 안전성 변화를 평가한다.

Kim et al.(2025)은 뇌파 분석 실험을 통해 불안·긴장 지수(Anxiety and Nervousness Index, ANI)와 PET 간에 역의 관계가 있음을 확인하였으며, PET 2.7초 이상이 확보될 경우 AV 거동 변화에 따른 MV 운전자의 심리적 불안 변화가 최소화됨을 밝혔다. 본 연구는 이 임계값을 심리적 안전 기준으로 설정하고, 연속적 추정 지표인 Expected PET(ePET)를 도입하였다. 이를 기반으로 심리적 안전 임계 속도를 산출하고, AV 선행(preempt) 및 AV 양보(yield) 유형별로 PSM 영역을 정의하였다. PSM Score는 교차로를 통과하는 AV의 전체 주행 시간 중 PSM 조건을 만족하는 구간의 비율을 0~10점 척도로 점수화한 지표로, 값이 높을수록 심리적 안전이 확보된 주행을 의미한다.

VISSIM 분석 대상은 강원도 횡성군의 PG를 기반으로 구축한 4지 비신호교차로이며, AV에는 CoExist 모델의 Aggressive 파라미터를 적용하였다. LOS C 기준으로 교통량을 설정하고, MPR 25%, 50%, 75%의 세 가지 시나리오를 구성하였다. 차량 데이터(차량 ID, 차종, 좌표, 속도, 가속도 등)를 기반으로 차량 pair별 상충 지점 좌표를 특정하고 ePET 기반 PSM을 산출하였다.

분석 결과, PSM Score는 MPR 25%에서 6.82, MPR 50%에서 7.33, MPR 75%에서 7.43으로 산출되어, AV의 MPR이 증가할수록 MV 운전자의 심리적 안전이 증가하는 경향이 확인되었다. 본 연구에서 제안하는 PSM은 기존 물리적 안전 지표의 한계를 보완하는 심리적 안전 평가 기법으로서, 혼합교통류 환경에서의 AV-MV 상호작용 분석 및 자율주행 사회적 수용성 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 논문은 2023년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학안전진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(과제명: 실도로 기반 Lv.4 자율주행차량 운전능력 평가기술 개발 / 과제번호: RS-2023-00238253)

도심 교통 환경에서 자율주행차 행동 공격성에 따른 안전-효율 트레이드오프 정량 분석

Quantifying Behavioral Aggressiveness Effects on Safety - Efficiency Trade-offs of
Automated Vehicles in Urban Traffic

오경택
(아주대학교, 박사과정)

이은호
(아주대학교, 석사과정)

소재현
(아주대학교, 부교수)

자율주행차(Automated Vehicle)는 인간 운전자와 달리 명시적으로 정의된 제어 파라미터를 기반으로 주행 거동이 결정되기 때문에, 이러한 파라미터 설정에 따라 교통 효율성과 안전성 간의 균형이 달라질 수 있다. 특히 신호 교차로가 포함된 도심 교통 환경에서는 차량 간 상호작용과 정지·출발(stop-and-go) 현상이 빈번하게 발생하며, 종방향 및 횡방향 제어 민감도에 따라 교통 흐름의 안정성과 충돌 위험이 동시에 영향을 받을 수 있다. 그러나 기존 연구들은 교통 안정성이나 충돌 위험과 같은 지표를 개별적으로 평가하는 경우가 많으며, 자율주행차 제어 파라미터 변화가 안전성과 효율성 간의 다목적 성능 구조에 미치는 영향을 체계적으로 분석한 연구는 제한적인 실정이다.

이에 본 연구에서는 자율주행차의 행동 공격성(behavioral aggressiveness)이 도심 교통 환경에서 안전성과 효율성 간의 트레이드오프에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해 미시교통 시뮬레이션 기반의 다목적 분석 프레임워크를 구축하였다. 종방향 제어는 Enhanced Intelligent Driver Model(EIDM)을 기반으로 구현하였으며, 차선 변경 거동은 확률 기반의 임계값 기반 차선 변경 로직을 적용하였다. 종방향 제어 파라미터(목표 시간 간격, 최대 가속도, 희망 감속도)와 횡방향 차선 변경 임계값을 체계적으로 변화시켜 총 432개의 자율주행차 제어 시나리오를 구성하였다. 각 시나리오는 동일한 교통 수요와 신호 제어 조건을 갖는 도심 교통 네트워크에서 반복 시뮬레이션을 수행하였다. 교통 효율성 지표로는 평균 통행시간(Travel Time)을, 안전성 지표로는 차량 간 잠재 충돌 위험을 나타내는 Time-To-Collision (TTC)을 사용하였다. 이후 Pareto-front 분석을 통해 두 성능 지표 간의 비지배 해를 도출하고, 파라미터 변화에 따른 안전-효율 성능 공간의 구조적 특성을 분석하였다.

분석 결과 전체 432개 파라미터 조합 중 약 2.8%만이 Pareto 최적해로 나타났으며, 안전성과 효율성을 동시에 만족하는 파라미터 조합은 제한적으로 존재하는 것으로 확인되었다. 특히 종방향 제어 파라미터 중 목표 시간 간격과 최대 가속도는 Pareto 최적해 포함 여부에 통계적으로 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 차량 간 간격 유지와 가속 반응 특성이 교통 효율성과 안전성 간 균형을 결정하는 주요 요인임을 시사한다. 반면 차선 변경 관련 횡방향 임계값 변수는 신호 교차로 환경에서 상대적으로 제한적인 영향을 보이는 것으로 나타났다. 이는 도심 교차로 환경에서는 신호 제어와 차량 정체에 의해 종방향 거동이 교통 성능에 더 큰 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

본 연구는 자율주행차 제어 파라미터 변화가 안전성과 효율성 간의 다목적 성능 구조에 미치는 영향을 체계적으로 분석하고, Pareto 기반 접근을 통해 자율주행차 제어 전략 설계 시 고려해야 할 파라미터의 중요도를 정량적으로 제시하였다. 또한 본 연구에서 제안한 분석 프레임워크는 향후 다양한 교통 네트워크 및 혼합 교통 환경에서 자율주행차 제어 파라미터 보정 및 다목적 교통 성능 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: This work was supported by a grant from the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) funded by the Korean government (MOLIT) [grant no RS-2022-00156089].

혼재 교통 환경에서 V2V 통신 신뢰성 기반의 자율주행 안전성 강화 연구

Enhancing Autonomous Driving Safety Based on V2V Communication Reliability
in Mixed Traffic Environments

김영환

(서울대학교 건설환경도시공학부,
석박사통합과정)

최준희

(서울대학교 건설환경공학부,
석박사통합과정)

김동규

(서울대학교
건설환경도시공학부, 교수)

자율주행 기술의 발전과 함께 CAV(Connected and Automated Vehicle)의 점유율도 증가하더라도, 완전 자율주행 이전 혼재 교통 환경에서의 안전성 확보는 주요 과제 중 하나이다. 이러한 과도기적 상황에서 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신 기반 정보 공유는 CAV들이 충돌을 회피하고 주행 안전성을 확보하는 핵심 기술이다. 그러나 실제 도로 환경에서는 전파 간섭, 장애물, 고용량의 정보 통신 등으로 인해 통신 불안정이 빈번하게 발생한다. 본 연구는 이러한 통신 불안정 상황을 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 기술로 어떻게 극복할 수 있는지 방법론을 제시하며 시뮬레이션 테스트베드에서 실험 및 분석하고, 특히 예측이 어려운 HDV가 혼재된 상황에서 HDV의 주행행태에 따라 통신 품질 저하가 전체 교통류의 안전성에 미치는 영향을 파악하고 규명하는 것을 목적으로 한다.

본 연구는 실제와 유사한 통신 및 교통 환경을 구현하기 위해 네트워크 시뮬레이터 OMNeT++와 교통 시뮬레이터 SUMO가 양방향으로 연동되는 Veins 프레임워크를 활용하였다. 시뮬레이션 대상지는 3km 길이의 고속도로 직선 구간으로 설정하였으며, 연구의 핵심 변수로는 CAV 혼재율과 패킷 드롭률을 설정하여 통신 환경과 차량 구성의 변화를 포괄적으로 다룸과 동시에, 예측 불가능한 요소를 반영하기 위해 HDV의 운전 성향을 주요 변수로 적용하였다. HDV의 운전 성향은 공격적인 성향을 띠는 aggressive 운전자와, 그렇지 아닌 normal 운전자로 구분하였다. CAV의 경우 협력주행에 참여하고 있는 경우와, 통신 불안정 상황에서 독립 주행을 수행할 때의 파라미터를 달리하였다.

이러한 환경에서 진행한 시뮬레이션에서는 통신 불안정을 발생시키고, 그에 대해 차량들이 대응하도록 한다. 우선 통신 불안정은 V2V 통신 비콘이 0.3초 이상 수신되지 않을 경우, 해당 CAV는 이를 통신 불안정 상황으로 인식한다. 이 경우 V2V 통신 기반 fallback 로직이 작동하여 CAV가 기존의 협력 주행에서 벗어나 즉시 독립 주행 모드로 전환하고, 통신 불안정 상태가 해소될 경우 다시 협력주행에 합류하도록 한다. 이 과정에서 TTC(Time-to-Collision), jerk, headway error, hard brake(급제동) count의 변수들을 통해 안전성과 안정성을 평가하였다.

분석 결과, 두 시나리오 모두 CAV 비율이 증가할수록 급제동 비율이 감소하여 안전성이 향상되었다. 특히 CAV rate가 낮은 구간에서는 높은 급제동 비율이 관찰되었으나, 보급률이 증가할수록 주행 안전성이 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 반면 승차감과 관련된 평균 jerk와 jerk 표준편차 지표에서는 상반된 결과가 확인되었다. 이는 완전한 군집주행 환경에서 대열 유지를 위해 수행하는 미세하고 빈번한 가감속 제어가 물리적인 충돌 안전성은 높여주지만, 승차감 측면에서는 오히려 불리하게 작용했기 때문이다.

본 연구는 CAV와 HDV의 혼재 교통 환경에서 발생할 수 있는 V2V 통신 불안정 상황이 전체 교통류의 안전성과 주행 안정성에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구는 통신 불안정 상황에서 V2V 기술이 교통 안전성을 확보하는 핵심 기제임을 입증하며, 동시에 안전성뿐만 아니라 승차감을 고려한 자율협력주행 제어 알고리즘의 고도화가 필수적임을 시사한다. 향후 연구에서는 높은 CAV 비율 상황에서 발생한 jerk 증가 문제를 해결하기 위해 통신 품질에 따라 차량간 간격 유지 로직을 유동적으로 조절하는 등 최적 제어 기법에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

사사: 이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업의 지원, 2026년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원, 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (Innovative Talent Education Program for Smart City) (No. 0583-20260010, 실시간 교통안전시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리 기술 개발) (RS-2024-0041153, V2X 환경 내 주행 궤적 정보 복원을 위한 인프라 지원 전략 개발)

실시간 수집 불가 변수를 고려한 자율주행 혼재 환경에서의 도로구간 위험도 예측모형 연구

Road Segment Crash Risk Prediction in Mixed Autonomous Vehicle Environments: A Comparative Analysis of Strategies for Compensating Real-time Uncollectable Variables

한효립	이승봉	박준영	이송하	정정호	김진재
(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 연구원)	(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 부연구위원)	(한양대학교 교통물류공학과· 스마트시티공학 과, 교수)	(한양대학교 스마트시티공학과, 박사과정)	(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 연구원)	(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 연구원)

자율주행 테스트베드 환경에서는 실시간으로 수집할 수 있는 데이터가 매우 제한적이므로, 도로 위 차량의 주행 행태를 기반으로 하는 기존 사고예측모형의 실용적인 적용에는 한계가 있다. 본 연구는 시흥시 자율주행 테스트를 대상으로, 실시간 수집 가능한 변수만을 활용하는 사고예측모형의 예측 성능을 유지하기 위한 보완 전략을 비교·분석하였다. 도로 기하구조, ITS 교통소통정보, 일반 승용차량 궤적 기반의 미시적인 안전지표, TAAS 사고 데이터를 활용하여 기준모형(C0)과 PSI, 유의변수 통계량, 결합모형, 이력 위험도 대리변수를 각각 적용한 보완 전략 모형을 구축하였다. 로지스틱 회귀를 통해 유의변수를 선별한 후 랜덤 포레스트, XGBoost, LightGBM으로 모형 성능을 평가하였다. 분석 결과, 모든 보완 전략 모형이 기준모형(F1-score = 0.275)을 상회하는 성능을 보였으며, 특히 PSI 기반 모형(V6, 0.900)과 유의변수 통계량 기반 모형(V9, 0.896)이 가장 높은 성능을 달성하였다. 이는 변수 수집 제약 환경에서도 적절한 보완 전략을 통해 높은 예측 성능을 확보할 수 있음을 시사한다.

사사: 본 연구는 과학치안진흥센터의 지원(과제번호: RS-2024-00405603)에 의해 수행되었습니다.

다중 위험 기반 딜레마존 의사결정을 위한 LLM-교통물리 프레임워크

An LLM - Traffic Physics Framework for Multi-Risk-Based Decision Making in the Dilemma Zone

조성은 (아주대학교 D.N.A.플러스융합학과, 석사과정)	박하늘 (D.N.A.플러스융합학과, 박사과정)	소재현 (아주대학교 교통시스템공학과, 부교수)
--	--	--

기존의 교차로 황색 신호 대응 의사결정 모델은 주로 차량의 속도와 정지선까지의 거리 기반의 전방 정지 가능성만을 고려하여, 후방 추돌 위험이나 교차로 측면 충돌 위험을 통합적으로 반영하지 못하는 한계가 있다. 특히 동일한 속도-거리 조건에서도 후속 차량의 추종 상태나 교차로 상층 교통의 방출 시점에 따라 안전성이 달라질 수 있음에도 불구하고, 기존 규칙 기반 모델은 이러한 이질적인 위험 요소를 동시에 고려하지 못한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 후방 추돌 위험과 교차로 상층 위험을 동시에 고려하는 다중 위험 기반 의사결정 프레임워크를 제안하고, 대규모 언어모델(LLM)과 교통 물리 기반 안전 계층을 결합한 계층형 접근법을 구축하였다.

먼저, 차량이 황색 신호에 진입하는 시점을 기준으로 속도, 정지선까지 거리, 신호 잔여 시간, 감속 요구도(DRAC), 전·후방 차량과의 Time-to-Collision(TTC), 그리고 교차로 상층 위험을 나타내는 PET 기반 지표(PET_proxy)를 입력 변수로 구성하였다. LLM은 이러한 이질적인 안전 지표를 단일 추론 단계에서 비교하여 Stop 또는 Go 결정을 생성하며, 고정 임계값 없이 맥락 기반 판단을 수행하도록 설계하였다.

이후, LLM의 의사결정이 물리적 제약을 위반할 가능성을 고려하여 교통 물리 기반의 안전 계층(Traffic Physics)을 추가로 구성하였다. 해당 계층은 최대 가감속 한계, 정지 및 통과 가능성, 최소 충돌 시간 여유 등을 검증하며, 필요 시 LLM의 결정을 수정하는 방식으로 작동한다. 이를 통해 고수준의 맥락 기반 판단과 저수준의 물리적 타당성을 동시에 확보하였다.

제안된 프레임워크는 SUMO 기반 교차로 시뮬레이션 환경에서 검증되었으며, 속도 수준, 후방 압박(차두 간격), 측면 압박(상층 교통 방출 지연)을 조합한 8개 시나리오를 구성하여 정책 간 성능을 비교하였다. 분석 결과, LLM 기반 정책은 후방 및 측면 압박 조건 변화에 따라 Go 선택 비율을 유연하게 조정하며, 기존 전방 기준 모델 대비 상황 적응적인 의사결정을 수행하는 것으로 나타났다. 또한 물리 기반 안전 계층을 결합한 경우, 고위험 또는 비현실적인 행동이 효과적으로 제거되며 의사결정의 안정성이 향상되는 것을 확인하였다.

결과적으로, 본 연구는 황색 신호 구간에서의 의사결정을 단일 기준 문제가 아닌 다중 위험 간의 구조적 trade-off 문제로 재정의하고, LLM 기반 맥락 추론과 교통 물리 기반 검증을 통합한 새로운 의사결정 프레임워크를 제시하였다. 이는 자율주행 환경에서의 신호 대응 전략을 보다 현실적이고 해석 가능하게 설계하는 데 기여할 수 있다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2025-00519894).

첨단교통안전 II (안전정책 · 단속)

Session B-3

상습음주운전 재발방지를 위한 심리상담 프로그램 개발

이지원, 이남수, 유태선

비교그룹 방법을 이용한 점멸신호 도입의 사고감소 효과 분석

장진원, 한상진

시뮬레이션 분석을 통한 고령 보행자 친화형 횡단보도의 효과 분석

김만지, 김세현, 도명식

주행 시뮬레이터를 활용한 고속도로 장대터널 작업장 안전성 평가

민준식, 박현수, 박신형

DTG 기반 위험운전행동과 사고의 공간적 분포 및 상관성 분석

정지호, 이정빈, 송유미, 김회경

상습음주운전 재발방지를 위한 심리상담 프로그램 개발

Development of a Psychological Counseling Program to Prevent Habitual Drunk Driving Recidivism

이지원

(한국도로교통공단,
심리상담교수)

이남수

(한국도로교통공단 제주지부,
안전교육부장)

유태선

(한국도로교통공단 제주지부,
지역본부장)

본 연구는 Cloninger의 심리생물학적 인성모형을 이론적 배경으로 하여, 상습음주운전자의 재범 방지를 위한 연대감 향상 심리상담 프로그램을 개발하는 데 목적이 있다. 최근 강화된 법적 제재에도 불구하고 음주운전 재범률이 40% 이상을 유지함에 따라, 운전자의 심리적 특성을 반영한 근본적인 개입의 필요성이 제기되었다.

이에 본 연구는 음주운전자의 성격적 특성인 낮은 '연대감(Cooperativeness)'에 주목하였다. 낮은 연대감은 공동체에 대한 책임 결여로 법적 규범을 경시하게 만든다. 이러한 문제 해결을 위해 본 프로그램은 '자각적 의식(Self-aware consciousness)'을 발달시켜 성격을 성숙시키는 과정을 핵심 기제로 설정하였다.

연구 과정에서는 전문가 자문을 통해 내용 타당도를 검증받았으며, 상습음주운전자를 대상으로 한 파일럿 테스트를 거쳐 최종 프로그램을 확정하였다. 연대감 향상 심리상담은 성격 발달 지연에 대한 애도와 고통스러운 감정 조절 훈련을 포함하여, 자신에 대한 수용과 타인 및 공동체와의 유대감을 강화함으로써 음주운전 근절을 위한 내적 동기를 형성하도록 설계하였다.

연구 결과, 본 프로그램은 참여자들이 자신의 성격을 관리하고 공동체 구성원으로서 건강한 선택을 할 수 있도록 돕는 유효한 도구임을 확인하였다. 다만, 본 연구는 제주 지역의 소수 인원을 대상으로 파일럿 테스트를 진행했다는 한계가 있어 결과의 일반화에는 주의가 필요하다. 향후 연구에서는 대상 범위를 확대하여 프로그램의 효과성을 검증하고 표준화하는 과정이 요구된다. 본 연구는 상습음주운전 문제 해결을 위한 실무적 방안을 제시함으로써 보다 안전한 사회를 구축하는 데 기여하고자 한다.

주제어: 상습음주운전, 재발방지, Cloninger 인성모형, 연대감, 심리상담 프로그램 개발

사사: 본 논문은 한국도로교통공단 교수역량강화 프로그램 중 교수연구논문 제출을 목적으로 수행하였습니다. 공동 연구 과정에서 함께 고민하며 협력해 준 양하루 교수님께 고마운 마음을 전하며, 본고는 그중 저의 연구 범위를 발췌하여 정리한 것입니다. 특히, 바쁘신 일정 중에도 연구 방향과 세부 내용을 세심하게 검토해주시고 지도해주신 지부장님과 부장님께 깊은 존경과 감사를 드립니다. 두 분의 통찰력 있는 조언 덕분에 본 연구가 실무적인 가치를 더할 수 있었습니다.

비교그룹 방법을 이용한 점멸신호 도입의 사고감소 효과 분석

Analysis of Road Safety Effects of Flashing Signal Implementation
Using the Comparison Group Method

장진원

(서울대학교 환경대학원 도시계획학과, 석사과정)

한상진

(서울대학교 환경대학원 도시계획학과, 부교수)

점멸신호는 심야시간대 불필요한 신호대기를 줄이고 교통 흐름을 원활하게 하기 위해 도입된 교통운영체제로, 2018년 기준 전국 야간 점멸신호는 약 2만 700여 개로 전체 신호기의 약 41%에 달한다. 그러나 심야시간대 점멸신호 교차로 통행방법 준수율은 10% 미만에 불과하며 진입 차량의 약 70%가 과속 운행하는 것으로 나타나, 점멸신호 도입이 오히려 교통사고 위험을 높일 수 있다는 우려가 지속적으로 제기되어 왔다. 이에 점멸신호의 도입 효과에 관한 연구가 꾸준히 이루어져 왔으나, 기존 연구들은 도입 유형과 교차로 형태에 따른 세분화된 분석이 충분하지 않은 실정이다.

이에 본 연구는 경기도 수원시를 대상으로 2014년부터 2020년까지 다양한 시점에 점멸신호가 도입된 교차로를 실험군으로 설정하고, 점멸신호가 도입되지 않은 유사한 특성의 교차로를 대조군으로 활용하는 비교그룹 방법을 적용하였다. 도입 연도를 제외한 전후 각 3년의 교통사고 데이터를 수집하였으며, Sample odds ratio 분석을 통해 실험군과 대조군의 최적 조합을 선정하였다. 최종적으로 일반신호에서 야간점멸신호로 전환된 3지 교차로(실험군 9개소, 대조군 16개소)와 4지 교차로(실험군 9개소, 대조군 22개소)를 대상으로 분석을 수행하였다.

분석 결과, 3지 교차로에서는 점멸신호 도입 후 기대 사고건수 대비 실제 사고건수가 약 21.6% 감소한 것으로 나타났다. 반면 4지 교차로에서는 오히려 약 7.6%의 사고 증가가 나타났으며, 두 결과 모두 95% 신뢰구간이 0을 포함하지 않아 통계적으로 유의한 것으로 확인되었다. 또한 3지 교차로의 일반신호에서 야간점멸신호로 전환하는 것이 4지 교차로보다 더 효과적일 수 있음을 보였다. 이러한 결과는 점멸신호 도입의 교통안전 효과가 교차로 형태에 따라 상이하게 나타남을 보여주며, 향후 점멸신호 설치 시 교차로 형태를 고려한 차별화된 운영 기준의 필요성을 시사한다. 이를 위해 분석 대상을 확대해 신호기 없는 교차로에서 전일점멸신호로의 전환 등 다양한 점멸신호 유형과 차로 수를 구분하여 분석하는 후속 연구가 필요하다.

사사: 이 논문은 2026년도 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (RS-2023-0024 3873, 한국형 도로안전도 등급 평가 기술 개발)

시뮬레이션 분석을 통한 고령 보행자 친화형 횡단보도의 효과 분석

Simulation-Based Effectiveness Analysis of Elderly-Friendly Crosswalks

김민지

(국립한밭대학교 도시공학과,
석사과정)

김세현

(국립한밭대학교 도시공학과,
조교수)

도명식

(국립한밭대학교 도시공학과,
교수)

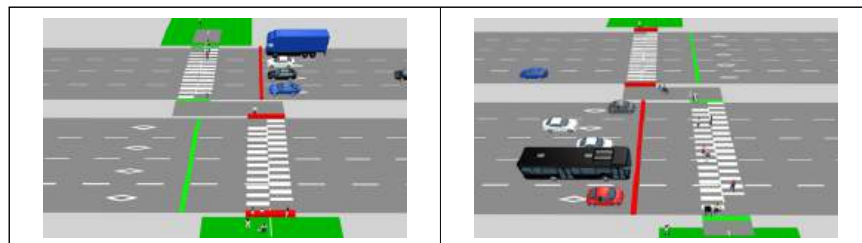
현재 사회는 급속한 고령화로 인해 보행자의 평균 보행속도가 지속적으로 감소하는 추세이다. 그러나 현재 보행자 신호는 일반적으로 보행속도 1.0m/s를 기준으로 설계되어 있고, 고령 보행자의 횡단에는 어려움이 발생하고 있다. 일부 노인보호구역 및 어린이보호구역에서는 보행속도 0.7m/s 기준 적용이 권고되고 있으나, 이러한 기준에도 불구하고 2024년 기준 횡단보도 보행 중 사망자는 920명이며, 이 중 65세 이상 고령자가 616명으로 약 67%를 차지하는 것으로 나타났다. 특히 왕복 8차로 및 10차로 이상의 다차로 도로에서는 고령 보행자가 제한된 신호 시간 내 횡단을 완료하기 더욱 어려운 실정이다.

이에 따라 보행속도 기준을 1.0m/s에서 하향 적용하거나, 횡단보도 중간에 보행섬을 설치하는 등 다양한 개선 방안이 제시되고 있다. 본 연구는 이러한 배경하에, 보행속도 기준 하향과 2단계 굴절형 횡단보도와 같은 횡단보도 설계 및 신호 운영 계획이 보행의 안전성과 차량 운영에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 고령 보행자 친화적 신호체계의 대안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

본 연구에서는 VISSIM 시뮬레이션을 활용하여 횡단보도 신호체계 및 운영 효과를 분석하였다. 도로 조건은 차로폭 3.5m, 보행섬 폭 3m, 보행섬 길이 15m로 설정하였으며, 교통량은 양방향 200대/시간으로 가정하였다. 차량의 구성은 승용차, 화물차, 버스로 설정하였다. 동일한 도로 환경하에서 왕복 8차로 및 10차로 조건을 적용하고, 보행자는 일반보행자와 고령 보행자 중심 시나리오로 구분하였다. 보행자의 보행속도는 고령자는 0.8m/s, 어린이 동반자는 1.0m/s, 휠체어 이용자는 0.58m/s로 설정하였으며, 보행신호 설계 기준 속도는 1.2m/s, 1.0m/s, 0.7m/s로 구분하여 시나리오를 구성하였다.

분석 결과, 보행속도를 낮게 설정할수록 보행섬 내 체류 인원이 감소하고 보행 흐름이 분산되어 혼잡이 완화되는 경향이 나타났다. 특히 고령 보행자의 경우 보행섬에서 일시적으로 대기 및 휴식 후 다음 횡단을 수행하는 형태이며, 일반 보행자는 연속적인 2단계 횡단이 가능한 것으로 분석되었다. 이는 2단계 굴절형 횡단보도가 보행자의 이동 능력의 차이를 수용하고, 단계적으로 횡단을 유도하는 구조적 특성을 가지는 것으로 해석된다. 또한, 보행속도를 낮게 설정할 경우, 보행자 간 간섭이 감소하고 보행 환경의 안전성이 향상되는 효과가 확인되었다. 반면, 보행신호 시간이 증가함에 따라 차량 지체가 일부 증가하는 경향이 나타나, 보행자 안전성과 차량 운영 효율 간 상충관계가 존재하는 것으로 분석되었다. 이는 동일 신호주기를 기준으로 한 결과로, 실제 운영 시에는 신호주기 조정 및 최적화를 통해 차량 지체를 완화할 필요가 있다.

즉, 2단계 굴절형 횡단보도는 다차로 도로에서 보행자의 횡단을 분산시켜 특히 고령 보행자가 보행섬을 활용하여 안전하게 횡단할 수 있도록 지원하는 효과적인 대안으로 나타났다. 또한 보행속도 0.7m/s 기준으로 보행신호 설계 시 통행시간 측면 일부 비효율이 존재하나, 보행 혼잡 완화 및 안정적인 횡단 환경 조성 측면에서 보다 적절한 설계 기준으로 판단된다. 따라서 향후 신호체계 설계 시 보행 안전성과 차량 운영 효율을 동시에 고려한 균형 있는 접근이 필요하다.



<왕복 8차로>

<왕복 10차로>

주행 시뮬레이터를 활용한 고속도로 장대터널 작업장 안전성 평가

Driving Simulator-Based Safety Assessment of Work Zones in Long Highway Tunnels

민준식

(서울시립대학교, 석사과정)

박현수

(서울시립대학교, 연구교수)

박신형

(서울시립대학교, 교수)

고속도로는 국가 물류 및 교통의 핵심 인프라로, 지속적인 유지·보수 수요에 따라 작업 차단이 빈번하게 발생하고 있다. 월평균 7,500건에 달하는 작업 차단은 교통량이 집중되는 시기에 10,700건 이상으로 급증하며, 최근 5년간('20~'24년) 고속도로 작업장 교통사고는 연평균 44건, 사망자는 연평균 11명에 달한다. 작업장 구간의 사고 치사율은 28.6%로 일반 교통사고(9.6%) 대비 약 2.9배 높아, 작업장 구간에서의 사고가 현저히 치명적임을 보여준다. 이처럼 높은 위험성의 배경에는 차로 폭 축소, 임시 교통안전시설 설치, 작업자와 차량의 근접 혼재 등 작업 환경이 갖는 구조적 취약성이 자리하고 있다.

그중에서도 터널 구간 작업장은 일반 개방 구간과 본질적으로 다른 위험 요인을 내포하고 있다. 터널 내부는 폐쇄적이고 어두운 주행 환경으로 운전자의 시인성이 저하되고, 심리적 불안감 및 긴장감이 증대되어 집중력이 감소한다. 또한 진입·출구부에서의 급격한 조도 변화로 인해 순간적인 시각 기능 저하가 발생하며, 갓길이 협소하거나 부재해 사고 발생 시 2차 사고로 이어질 가능성이 높다. 특히 장대터널은 구간 길이가 길어 터널 내 차단이 길어질 경우 작업 및 차단 효율 저하가 발생하며, 이러한 복합적인 위험 요인으로 인해 터널 환경의 특수성을 고려한 안전성 평가 연구가 필요하다. 그러나 기존 연구의 대부분은 고속도로 일반 구간 작업장에 집중되어 있어 터널 작업장에 특화된 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 한국도로공사 주행 시뮬레이터(6자유도 모션플랫폼 + 360° 원형스크린)를 활용하여, 터널 차단 위치(외부·내부)에 따른 운전자 주행 행태 및 안전성을 평가하였다. 27명의 실험 참가자를 대상으로 장대터널 4개·연속터널 4개 등 총 8개 시나리오를 구성하고, 정지시거(SSD), 안전거리(Safe FD), 충돌여유시간(TTC)을 주요 분석 지표로 사용하였다. 사전·사후 설문조사를 병행하여 차로 변경 결정에 영향을 미치는 교통안전시설물에 대한 운전자 반응도 함께 분석하였다.

분석 결과, 터널 내부 차단 시에도 참가자의 96%가 터널 입구 이전에 차로 변경을 완료하였으며, 평균 TTC는 79.66초로 외부 차단(82.52초)과 유사한 수준의 안전성이 확보되었다. 안전거리 측면에서도 내부 차단 시나리오(1,782m)가 외부 차단(1,590m)보다 더 넓은 여유 거리를 확보하는 것으로 나타났다. 교통안전시설물 효과 분석에서는 작업장 인식에 VMS(84.6%), 차로 변경 결정에 LCS(46.2%)가 가장 효과적인 시설물로 확인되었다.

본 연구는 터널 내부 부분 차단 방식이 교통 효율을 유지하면서도 충분한 안전 수준을 확보할 수 있음을 실증적으로 입증하였다. 이러한 결과는 고속도로 터널 작업장 운영기준 수립에 직접적으로 활용될 수 있으며, 최근 도심지 도로 지하화 사업 확대로 터널 인프라가 급증하는 상황에서 지하화 터널의 유지보수 작업장 설계 및 교통통제기준 마련에 실질적인 지침이 될 것으로 기대된다.

DTG 기반 위험운전행동과 사고의 공간적 분포 및 상관성 분석

An Analysis of the Spatial Distribution and Correlation between
DTG-Based Risky Driving Behaviors and Traffic Accidents

정지효	이정빈	송유미	김희경
(동아대학교 도시공학과, 박사과정)	(동아대학교 도시공학과, 학사과정)	(동아대학교 도시공학과, 학사과정)	(동아대학교 도시공학과, 교수)

본 연구는 부산광역시 버스 DTG(Digital Tachograph) 데이터를 활용하여 교통안전공단(TS)에서 정의한 11대 위험운전행동과 교통사고 간의 공간적 관계를 분석하고자 한다. 최근 교통안전 분야에서는 운전자의 주행 행태 데이터를 기반으로 사고 위험을 사전에 예측하고 관리하려는 연구가 증가하고 있으며, 특히 기존 사고 데이터 기반 분석은 사고 발생 이후의 사후적 대응에 한계가 있어, 위험운전행동과 같은 선행 지표를 활용한 예방적 접근의 필요성이 강조되고 있다. DTG 데이터는 차량의 속도, 가속도, 위치 정보 등을 포함하고 있어 위험운전행동을 정량적으로 분석하는 데 유용하다. 이에 본 연구에서는 DTG 기반 위험운전행동 데이터를 활용하여 공간적 분포 특성을 도출하고, 교통사고 데이터와의 상관성을 분석하였다.

연구 방법으로는 먼저 TXT 형태의 DTG 데이터를 공간 데이터로 변환한 후, 위험운전행동을 식별했다. 그 후, Kernel Density Estimation(KDE)을 적용하여 위험운전행동의 공간 밀도 분포를 생성하였다. 이는 특정 지역에서의 위험운전행동 집중도를 연속적인 공간 분포 형태로 파악하기 위함이다. 이후 TAAS 데이터를 기반으로 구축된 노선버스 사고 데이터의 공간 밀도와 비교하기 위해 Band Collection Statistics를 활용하여 두 변수 간의 상관계수를 0.869로 산출하였다. 또한 개별 데이터 단위 분석과 통합 데이터 분석을 병행하여 데이터 집계 수준에 따른 공간 패턴 및 상관성의 변화를 비교하였다.

분석 결과, 위험운전행동과 사고는 유사한 공간적 분포 패턴을 보였으며, 특히 데이터가 통합될수록 Kernel Density 기반 공간 패턴이 안정화되면서 상관계수가 증가하는 경향이 확인되었다. 이는 데이터 수 증가에 따른 공간적 노이즈 감소와 밀도 추정 과정에서의 공간적 평활화 효과에 기인한 것으로 해석된다. 이는 위험운전행동이 단순한 개별 사건이 아니라 특정 공간에서 반복적으로 발생하는 구조적 특성을 가질 가능성을 시사한다.

본 연구는 DTG 기반 11대 위험운전행동과 노선버스사고 간의 공간적 연관성을 정량적으로 규명하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 위험운전행동 데이터가 사고 발생 가능성이 높은 지역을 사전에 탐지할 수 있는 지표로 활용될 수 있음을 확인하였으며, 이는 향후 교통사고 위험지역 식별 및 예방 정책 수립에 기초 자료로 활용될 수 있다.

또한 본 연구는 기존 선행연구에서 부족했던 위험운전행동과 교통사고 간의 공간적·정량적 관계 분석을 보완하기 위해, GIS 기반 공간분석과 실제 사고 데이터를 통합적으로 활용하였다. 이를 통해 위험운전행동과 사고 간의 공간적 연관성을 실증적으로 분석하였으며, 데이터 기반 교통안전 분석의 방법론적 확장 가능성을 제시하였다.

사사: 본 연구는 동아대학교 교내 연구비로 수행되었습니다.

철도교통 안전 및 인프라

Session

B-4

철도중사지의 인적오류 사고 예방에 관한 연구 - 시설분야를 중심으로 -

염병수, 김태운

퍼지 기반 해외 철도 건설 프로젝트 리스크 평가 모델의 고도화 및 실증 연구 - 몽골 울란바토르 메트로 사례를 중심으로

고창남, 박동주

텍스트 마이닝 기반의 도시철도 사고심각도 추정모형 개발

박성경, 박동주

철도 초과수요 발생 시 고속버스 수요 전이패턴 분석

심재윤, 김희조, 박동주

실시간 운영데이터와 적응형 제어를 반영한 철도역 Platform 장애관리 의사결정 지원 프레임워크 개발

Novia Suryadwanti, 천춘근, 이선하, 서지영

철도종사자의 인적오류 사고 예방에 관한 연구 - 시설분야를 중심으로 -

A Study on the Prevention of Human Error Accidents in Railway Workers
- with a focus on the facility sector -

염병수
(연세대학교, 교수)

김태운
(서울과학기술대학교 안전공학과, 박사과정)

1. 연구배경 및 목적

최근 발생한 경부선 남성현-청도역 직원사상사고와 구로역 구내 직무사상사고 등 인적오류로 인한 철도 산업재해가 발생하고 있으며, 특히 시설분야는 철도의 구조상 열차운행선 작업이 대부분으로 산업재해에 굉장히 취약하다. 철도사고에 대한 관련 연구들이 많이 진행되고 있지만, 직원들의 산업재해와 관련된 연구는 많이 없고 특히 선로작업자의 휴먼에러분석과 개선방안등이 최근에는 연구된 사항이 없어 이 논문에서 그 사안들을 연구해보고자 한다.

2. 연구방법

연구범위는 2012년에서 2021년간 발생한 인적오류사고에서 시설분야에서 발생된 139건을 분석하였다.

연구방법은 철도시설분야의 사고분석과 시설분야의 직무분석을 통하여 인적오류 사고를 HEAR(Human Error Analysis and Reduction)기법을 사용하여 분석하였다.

3. 분석결과

시설분야에서 발생한 인적오류사고의 대부분은 작업원과 관리자의 의사결정 오류가 79건으로 57%를 차지하고 있으며, 상황판단오류는 38건으로 27%, 실행오류는 17건 12%, 정보인식오류는 5건으로 4%로 분석되었다

주로 시설분야는 작업관련하여 작업방법이나 작업순서가 대부분 선임자의 작업요령이 작업 방법화 되어 작업을 하면서 순간순간 결정되는 작업으로 잘못된 의사결정이 인적오류 사고를 유발하는 것으로 나타나고 있다.

4. 결론 및 향후 대책

시설분야의 인적오류 사고예방을 위해서는 작업장의 환경 및 시설장비, 절차등을 분석하여 체계적인 안전관리 시스템을 구축하고 인적오류사고 예방을 위한 작업에 적합한 안전교육과 훈련으로 작업자의 안전역량 강화와 안전 조직문화 향상이 필요하다.

향후 인적오류사고 사고예방을 위한 예측 및 평가, 검증 프로그램 구축이 필요하다.

사사: This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant RS-0023-00239464).

퍼지 기반 해외 철도 건설 프로젝트 리스크 평가 모델의 고도화 및 실증 연구 - 몽골 울란바토르 메트로 사례를 중심으로

Analysis of Key Risks and Prioritization for International Railway Megaprojects Using Fuzzy Set Theory: Focusing on the Ulaanbaatar Metro Project in Mongolia

고창남

(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

박동주

(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

1. 연구 배경 및 목적

해외 메가 프로젝트, 특히 몽골 울란바토르 메트로 사업은 국가적 상징성과 막대한 예산이 투입되는 복합 인프라 사업이다. 해당 프로젝트는 시공사가 건설뿐만 아니라 금융 조달 책임까지 병행하는 EPC+F 방식으로 추진됨에 따라, 일반적인 국내 재정 사업과는 비교할 수 없을 정도로 높은 재무적·정치적 불확실성을 내포하고 있다.

기존 철도학회 선행연구에서 수행된 리스크 분석은 단순 퍼지 가중치 산출 방식에 의존하였다. 그러나 이 방식은 리스크 항목 간의 점수 편차가 소수점 셋째 자리 수준(0.01~0.02)에 머물러, 실제 현장에서 어떤 리스크를 최우선으로 관리해야 하는지에 대한 변별력(Discrimination Power)을 제공하는 데 한계가 있었다.

따라서 본 연구의 목적은 다기준 의사결정 기법인 Fuzzy-TOPSIS 고도화 모델과 몬테카를로 시뮬레이션(MCS)을 결합하여, 리스크 간의 '상대적 거리'를 정밀하게 측정하는 데 있다. 이를 통해 리스크 우선순위를 과학적으로 재정렬하고, 불확실성이 극대화된 해외 건설 환경에 최적화된 통합 리스크 평가 프레임워크를 제안함으로써 실무적인 의사결정 지원 도구로서의 효용성을 높이고자 한다.

2. 연구 방법론

본 연구는 전문가의 주관적 모호성을 극복하고 통계적 변동성을 반영하기 위해 다음과 같은 고도화된 알고리즘을 제안한다.

- 리스크 식별: 문헌 분석 및 전문가 인터뷰를 통해 7개 범주, 최종 26개의 리스크 요인을 확정하였다.
- Fuzzy-TOPSIS: 전문가의 언어적 평가를 삼각퍼지수로 변환한 후, 이상적인 안전 상태와 최악의 위험 상태 사이의 거리를 계산하여 근접도 계수(CC_i)를 산출함으로써 리스크 간 우선순위의 변별력을 높였다.
- Monte Carlo Simulation: 환율 및 공기 지연 등 주요 변수에 대해 10,000회 이상의 반복 시뮬레이션을 수행하여 리스크 발생 시 영향력의 범위를 확률 밀도 함수로 도출하였다.

3. 연구 결과 및 실증 분석

몽골 울란바토르 지하철 프로젝트(약 17.7km, 17억 USD 규모)에 적용한 결과는 다음과 같다.

- 우선순위 재정립: 기존의 단순 퍼지 가중치 산출 방식보다 변별력이 획기적으로 향상되었으며, '환율 및 통화 가치 변동($CC_i=0.842$)'이 최우선 관리 리스크로 도출되었다. 또한 '외국근로자와의 근무'의 중요도가 기존 대비 4단계 상승하여 실무적 경각심을 뒷받침하였다.
- 확률적 예측: 시뮬레이션 결과, 환율 변동에 따른 사업비 증가액은 비관적 시나리오 하에서 최대 15.4%까지 상승할 확률이 95% 신뢰 구간 내에서 확인되었다.

4. 결론 및 시사점

본 연구는 단일 방법론 중심의 리스크 연구를 하이브리드 정량 모델로 격상시켰으며, 특히 개발도상국 진출 시 기술적 리스크 못지않게 거시 경제 및 파트너십 리스크 관리가 필수적임을 정량적으로 규명하였다. 이는 향후 해외 철도 사업의 예비비 산정 및 의사결정에 있어 과학적 근거를 제공하는 핵심 도구로 활용될 수 있다.

텍스트 마이닝 기반의 도시철도 사고심각도 추정모형 개발

A Study on the Development of Urban Railway Accident Severity Estimation Models
Based on Text Mining

박성경

(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

박동주

(서울시립대학교 교통공학과, 교수)

서울시 도시철도 사고 발생건수는 연평균 539건으로 매년 20.5%씩 증가하고 있으나, 기존 사고기록은 정형 항목의 작성 기준이 일관되지 않아 분석 활용에 한계가 있다. 본 연구는 서울교통공사의 2014~2023년 도시철도 운행장에 및 사고기록 4,996건 중 운행 관련 2,493건을 대상으로, 서술형 사고 텍스트에서 텍스트 마이닝을 통해 사고 원인 정보를 자동 추출하고, 이를 활용하여 사고 심각도를 3단계로 분류하는 추정모형을 개발하는 것을 목적으로 한다.

연구 방법으로는 먼저 사고 텍스트에서 결과/조치, 위치, 시간, 기능어 등 불용어를 제거하는 전처리를 수행한 뒤, 토픽 모델링과 워드 임베딩의 두 가지 접근법으로 독립변수를 생성하였다. 심각도의 순서형 특성을 반영하기 위해 순서형 로짓(Ordered Logit)과 순서형 프로빗(Ordered Probit) 모형을 구축하여 성능을 비교하였으며, 각 사고 유형의 회귀계수와 단어 가중치 비중을 결합하여 개별 키워드의 심각도 영향력 지표(TCI)를 산출하였다.

예상 결과에 따르면 토픽 모델링 기반 순서형 로짓 모형이 McFadden R^2 0.238, 정밀도 0.720, F1 점수 0.700으로 가장 우수한 성능을 보였으며, 두 접근법 모두에서 비상제동, 동력운전, 안전문 등 유사한 상위 키워드가 도출되어 결과의 일관성이 확인되었다.

향후 본 프레임워크를 사고기록 시스템에 탑재하여 실시간 심각도 자동분류에 활용하고, 대응 가능한 위험요인 중심의 정비·점검 우선순위 수립 및 타 철도운영기관으로의 확장 적용이 기대된다.

철도 초과수요 발생 시 고속버스 수요 전이패턴 분석

Analysis of Express Bus Demand Transition Pattern in the Case of Access Demand on Railways

심재운

(서울시립대학교, 석사과정)

김희조

(서울시립대학교, 박사수료)

박동주

(서울시립대학교, 교수)

우리나라에서 운영하는 일반철도는 모든 열차가 예약제로 운행하고 있다. 그에 따라, 지역 간을 이동하는 승객의 경우 철도의 모든 표가 매진되면, 철도교통을 이용할 수 없게 되어 어쩔 수 없이 다른 교통수단을 이용하여야 한다. 또한, 국가교통DB에서 제공하고 있는 지역간 O/D는 각 교통수단별 실제 이용객 수를 기반으로 제작되었기 때문에 철도를 이용하지 못하여 어쩔 수 없이 다른 교통수단을 이용한 수요를 걸러내기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 철도를 이용하고 싶었으나 어쩔 수 없이 버스를 이용하게 된 수요의 양을 추정하여, 승객의 원래 니즈를 반영하는 O/D를 복원하는 연구를 진행하고자 하였다. 철도교통과 버스교통에 매진이 존재하지 않고 좌석이 무한이라고 가정할 때 각 수단별 이용하는 O/D는 어떻게 되는지 연구한다. 버스와 철도의 예약 데이터를 활용하여 연구 범위 내를 오가는 수요는 얼마인지, 어느 시간대의 열차를 이용했는지, 언제 매진되었는지를 알 수 있으며 이중차분법(DID) 회귀분석을 통해 철도에서 고속버스로 전이된 수요를 계산하는 방식으로 진행된다.

실시간 운영데이터와 적응형 제어를 반영한 철도역 Platform 장애관리 의사결정 지원 프레임워크 개발

A Decision Support Framework for Managing Platform Disruptions at Railway Stations with Integrated Operational Data and Rule-Based Control

Novia Suryadwanti
(국립공주대학교
도시·교통공학과)

천춘근
(국립공주대학교
도시·교통공학과)

이선하
(국립공주대학교
도시·교통공학과)

서지영
(주)토크스)

철도역은 인프라 제약과 열차 간 상호작용으로 인해 운영 장애가 집중적으로 발생하는 핵심 운영 노드이다. 기존 철도 장애 관리 연구는 주로 네트워크 수준의 전략에 초점을 두고 있으며, 역 단위 운영을 위한 의사결정 지원 프레임워크는 상대적으로 부족하다. 본 연구는 미시적 철도 시뮬레이션과 규칙 기반 운영 제어 로직을 통합한 시뮬레이션 기반 의사결정 지원 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 PTV VISSIM을 활용하여 열차 이동, 신호 제어 및 승강장 점유를 모델링하고, VisVAP을 통해 동적 승강장 배정 및 우선순위 기반 디스패칭 전략을 구현한다. 서울역을 대상으로 정상 운영, 제어 없는 장애 상황, 그리고 VISVAP 기반 제어가 적용된 장애 상황의 세 가지 시나리오를 비교 분석하였다. 기존 조건에서는 평균 지연이 37.5초, 상류 대기열 길이가 10 m, 그리고 평균 주행시간이 393초로 나타났다. 장애 상황에서는 평균 지연이 870초로 증가하고, 대기열은 최대 700 m까지 확대되며, 주행시간은 1200초로 증가하는 등 시스템 성능이 크게 저하되었다. 반면, VISVAP 기반 제어를 적용할 경우 평균 지연이 624초로 감소하여 약 28% 개선되었고, 대기열 길이 또한 23% 감소하여 교통 흐름의 안정성이 향상되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 제안된 프레임워크가 다양한 장애 시나리오를 체계적으로 평가할 수 있는 실용적인 도구이며, 고밀도 철도역에서의 운영 회복력 향상과 의사결정 지원에 효과적으로 활용될 수 있음을 보여준다.

UAM 및 드론 교통기술

Session

B-5

도심 저고도 공역에서의 다중 UAV 운용을 위한 3D Voxel 기반 Strategic Deconfliction 알고리즘 연구

김태성, 오정현, 윤규근

달 궤도 중계 위성 시험을 위한 전파 소스용 큐브 위성체

하경수, 강동희, 홍문기, 김동찬, 문상만, 김인규, 우종명

달 환경 PNT 기술 및 Localization 기술

문상만, 김인규, 우종명

PSO 관점의 도서 지역 AFC-UAV 배송 라우팅 최적화 연구

서연우, 김태성, 윤규근

도심 저고도 공역에서의 다중 UAV 운용을 위한 3D Voxel 기반 Strategic Deconfliction 알고리즘 연구

3D Voxel-Based Strategic Deconfliction Algorithm for Multi-UAV Operations
in Urban Low-Altitude Airspace

김태성

(서울대학교, 석박사통합과정)

오정현

(서울대학교, 석사과정)

윤규근

(서울대학교, 조교수)

전 세계적으로 도심 저고도 공역에서 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 활용 확대가 예상됨에 따라 UAV의 안전하고 효율적인 운용을 지원할 수 있는 드론교통관리(UTM; Unmanned Aircraft System Traffic Management) 시스템 도입의 중요성이 대두되고 있다. 특히, 해당 시스템 안에서의 Strategic Deconfliction(SD)은 비행 전 단계에서 잠재적 충돌을 사전에 해소하는 핵심 기능을 수행할 것으로 기대되고 있다. 그러나 기존 연구는 주로 시간창 조정, 승인 정책, 공역 할당 등 시간 기반 접근에 집중되어 있어, UAV의 3차원 동적 충돌과 도시 장애물 환경을 함께 반영한 연구는 아직 부족한 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 시간 기반 SD 중심의 기존 연구를 확장하여 도심 저고도 공역에서의 다중 UAV 운용을 대상으로 향후 SD 시스템 설계에 활용될 수 있는 3D Voxel 기반의 시공간 통합 알고리즘을 제안하는 것을 목적으로 한다.

사사: 이 연구는 서울대학교 신입교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음.

달 궤도 통신 중계 위성 시험을 위한 전파 소스용 큐브 위성체

Radio Source CubeSat for Testing Relay Lunar Orbiter

하경수	강동희	홍문기	김동찬	문상만	김인규	우종명
(충남대학교)	(충남대학교)	(충남대학교)	(충남대학교)	(한국항공 우주연구원)	(한국항공 우주연구원)	(충남대학교)

한국항공우주연구원의 2032년도 한국 달 착륙선 발사 계획과 더불어 우주항공청은 2029년도 달 착륙선과의 통신망 구축을 위한 달 궤도 통신 중계 위성을 발사할 계획이다. 그러나 2029년도에는 현실적으로 달 통신 중계 시험을 위한 사용자(달 표면 로버 또는 착륙선 등 End-User)가 배치되어 있지 않기 때문에, 통신 중계 시험을 위한 전파 소스가 필요한 실정이다.

따라서, 본 논문은 달 통신 중계 위성의 통신 중계 시험을 위한 전파 소스로써 달 통신 중계 위성체 전파 소스용 큐브 위성을 함께 탑재하여 달 궤도에 안착하여 통신 중계 시험을 제안하고자 한다. 여기서 전파 소스용 큐브 위성 중 하나를 저전력 사용 가능한 UHF-band의 중심주파수 442.5MHz로 설정하고, 큐브 위성 몸체 자체가 등방성 방사 패턴을 갖는 안테나로 구현하여, 큐브 위성 자세 제어용 연료가 불필요한 새로운 개념의 안테나 자체 큐브 위성체를 제안, 설계하여 제 특성을 소개하고자 한다. 이 개념은 장차 미국 NASA의 아르테미스 계획을 위한 달 PNT용 궤도 위성들 뿐만 아니라 GNSS용 궤도 위성을 복수 등방성 큐브 위성체들로 저렴한 활용 가능성을 제시한다.

달 환경 PNT 기술 및 Localization 기술

Technology of PNT and Localization on Lunar Environment

문상만

(한국항공우주연구원)

김인규

(한국항공우주연구원)

우종명

(충남대학교)

2022년 8월 5일, 한국 최초 달 탐사를 위한 달 궤도선인 KPLO(Korea Lunar Pathfinder Orbiter) 다누리는 한국의 달 탐사의 시작을 위해 우주로 발사되었다. 이 다누리 달 궤도선은 2022년 12월 30일에 달의 원 궤도 100km 고도에 무사히 안착하여, 6개의 임무 장비를 활용한 달 궤도상에서 다양한 과학 및 통신 임무를 현재 2026년도 3월까지도 성공적으로 수행하고 있다. 또한, 우주항공청의 2025년도 11월 “제4차 우주개발진흥 기본계획 수정계획”에 따르면, 2032년도에는 한국 최초의 달 착륙선을 달에 착륙시키고, 달 착륙선과 로버를 이용한 달 표면 탐사를 수행할 계획을 수립하고 있다. 달 착륙선 및 로버의 달 표면 탐사를 위해서는 지구의 GPS와 같은 정밀위치에 대한 항법 정보는 필요할 것이다. 미국, 유럽 및 일본은 이러한 우주 임무를 위해 LunaNet 시스템을 구축하여, 달 PNT(Positioning, Navigation and Timing) 서비스를 제공할 계획이 있다. 이에 따라, 한국항공우주연구원은 2032년도 한국 달 착륙선의 후보 탑재체의 하나로써, 달 표면에서의 PNT 서비스 및 로버 위치 확인을 위한 Localization 임무 장비 KLN(Korea Lunar Node Payload)를 제안하고 있다.

본 논문에서 제안하는 KLN은 두 가지 목표를 갖고, 달 착륙선에 탑재하고자 한다. 우선, 달 착륙 후, G1 목표로써, LunaNet PNT의 보정신호를 전송함으로써, 기존 미국, 유럽 및 일본의 LunaNet PNT 서비스의 성능을 보조적으로 개선하고자 하는 목표를 갖고 있다. 이는 지구의 GBAS 시스템과 비슷한 기능이다. 미국, 유럽 및 일본은 공동 협약에 따라 LunaNet을 공동 구축하고 있지만, 시간과 비용적인 측면에서 지구의 GPS와 같은 달 궤도상에 완전한 PNT 시스템을 구축하기에는 어려운 것이 현실이다. 하지만, KLN을 보조적으로 활용하면, 달 환경에서의 열악한 PNT 시스템보다 경제적으로 착륙선 근처의 사용자에게는 정밀한 절대적 위치 정보를 제공해 줄 수 있다. 또한, G2 목표로써, KLN은 착륙선에 배열안테나를 포함한 장착 장비이다. 이 배열안테나의 안테나 소자는 착륙선 주변의 로버와 같은 사용자, 즉, 달 표면 통신 사용자의 송신신호를 Time Domain에서 동시에 수신함으로써, 송신소의 방향과 거리는 동시에 확인할 수 있다. 착륙선 주변 사용자에게는 착륙선과의 상대적 위치 정보를 제공한다. 이는 G2 기능은 PNT 서비스를 사용할 수 없거나, 착륙선 주변 사용자가 PNT 수신 장비가 없을 때, 이 기능을 활용할 수 있다. KLN의 G1 및 G2 기능은 2026년 2월에 발간된 LunaNet Interoperability Specification Document V.5에 따라 개발하고자 하며, 이는 미국, 유럽 및 일본의 장비와의 상호 호환성을 유지할 수 있도록 설계할 것이다. 따라서, 이 장비의 개발과 상호 호환 가능한 성능 입증은 통해, 미래 달 탐사 및 LunaNet 상호 호환 달 탐사 및 심우주 탐사의 기본 인프라 장비로써 제안하고자 한다.

PSO 관점의 도서 지역 AFC-UAV 배송 라우팅 최적화 연구

AFC-UAV Delivery Routing Optimization for Public Service Obligations (PSO) in Island Regions

서연우

(서울대학교, 석박사통합과정)

김태성

(서울대학교, 석박사통합과정)

윤규근

(서울대학교, 조교수)

본 연구에서는 공공서비스 의무(PSO; Public Service Obligations) 관점에서 도서 지역의 물류 사각지대를 해소하기 위해 AFC(Airship Fulfillment Center)와 드론UAV(Unmanned Aerial Vehicle)을 기반으로 한 통합 배송 시스템의 최적화 모형을 제안했다. 기존 연구가 주로 도심 환경에서 입지 선정 혹은 스케줄링 등의 개별 문제를 다룬 것과 달리, 본 연구에서는 AFC 라우팅과 UAV 배정을 통합적으로 고려하였다. 이를 위해 전체 운영비용 최소화를 목표로 하는 MILP(Mixed-Integer Linear Programming) 기반 수리모형을 구축하였다. 목적함수는 AFC 이동 비용, UAV 왕복 배송 비용, AFC 대기 비용으로 구성되며, 각 서비스 대상지를 최소 1회씩 서비스하도록 제약을 설정하여 PSO 관점을 반영하였다. 연륙교로 연결된 섬과 그렇지 않은 섬이 혼재하는 전라남도 신안군의 유인도 70개를 대상으로 사례연구를 수행하였다. 분석 결과, 전체 시스템 비용은 UAV 비용보다 AFC의 대기 비용에 더 크게 영향을 받으며, UAV 서비스 거리가 증가할수록 대기 비용이 증가하는 경향이 나타났다. 또한 AFC 정차 후보지의 수를 줄이면 계산 효율은 향상되지만, 해의 품질은 저하될 수 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 기상 및 실제 물동량 반영, 서비스 우선순위 설정, UAV 기체 수 및 제원 고려 등으로의 확장이 필요하다.

사사: 이 연구는 서울대학교 신입교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음.



Session C

자율주행 서비스 및 운영

Session

C-1

자율주행자동차 보급 단계별 도로 공간 설계 방안 연구

윤유정, 김보성, 윤재용

도시 교통망 기반 자율 순찰 시스템을 위한 다목적 경로 최적화 연구

박하늘, 소재현

자율주행 도시환경관리 서비스 차량의 운행설계영역 위험구간 실증 분석

이은호, 소재현

강화학습 기반 자율주행버스 전용차로 진·출입부 최적 운영전략 도출

이성준, 박준영

부산 오시리아 자율주행 셔틀버스 서비스 도입 전·후 효과분석

이영남, 김진태

자율주행자동차 보급 단계별 도로 공간 설계 방안 연구

A Study on Phased Road Space Design Strategies for the Adoption of Autonomous Vehicles

윤유정

(한국도로협회, 전임연구원)

김보성

(한국도로협회, 책임연구원)

윤재용

(한국도로협회, 연구위원)

자율주행차는 미래 모빌리티의 핵심 기술로 기대를 모으고 있으나, 일반 차량과 자율주행차가 혼재하는 도입 초기에는 자율주행차의 보수적인 주행 알고리즘으로 인해 오히려 도로 용량이 저하되고 혼란을 초래할 수 있다는 우려가 제기되고 있다. 기존 선행연구들에 따르면, 기술 성숙도와 통신 연결성이 높은 환경에서는 교통 효율이 향상되지만, 실제 도입 초기의 혼재 교통 환경에서는 긴 차두시간과 안전거리 등 보수적 주행 특성 탓에 교차로나 고속도로의 처리 용량이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 일반차량과 자율주행차가 혼재하는 도입 초기에는 일반 차량과의 상충이 늘어나 안전성이 저하될 위험도 존재한다.

이러한 부정적 영향을 해소하기 위해 본 연구는 자율주행차 보급률에 맞춘 점진적이고 현실적인 도로 공간 설계 방안을 제시하였다. 먼저, 자율주행차의 혼입률이 낮은 과도기에는 기존 본선 교통류에 미치는 영향을 최소화하는 접근이 필요하다. 일반 차량과의 상충을 줄일 수 있도록 가로변에 노면표시와 물리적 분리 시설을 갖춘 '자율주행 우선차로'를 운영하고, 본선 차로 점유를 피하기 위해 연석 공간의 노상 폭을 조정된 Bay 형태의 다목적 '자율주행 서비스 공간'을 조성하는 것이 효과적이다.

반면, 자율주행 기술이 대중화되는 미래 정착기에는 인간 운전자의 인적 요소를 배제하고 기계적 제어 능력에 최적화된 자율주행 전용도로 설계가 가능해진다. 차로 폭 축소, 정지시거 및 곡선 길이 단축 등을 통해 도로의 기하구조를 재설계함으로써 토공사 비용을 절감하고, 확보된 잉여 공간을 새로운 서비스 공간으로 전환하여 공간적·경제적 효율성을 극대화할 수 있다.

결론적으로 자율주행 시대의 편익을 극대화하기 위해서는 과도기와 미래 정착기를 구분한 유연한 공간 설계 패러다임이 요구된다. 이러한 도로 설계의 변화가 현장에 혼란 없이 적용되기 위해서는 향후 국가건설기준(KDS) 등 관련 도로설계 지침의 제·개정을 위한 제도적 검토가 반드시 수반되어야 할 것이다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(No. 23AMDP-C160888-03, 자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발)

도시 교통망 기반 자율 순찰 시스템을 위한 다목적 경로 최적화 연구

Multi-Objective Route Optimization for Patrolling in a Network
Using a Police Vehicle Patrol Case Study

박하늘

(아주대학교 D.N.A.플러스융합학과, 박사과정)

소재현

(아주대학교 교통시스템공학과, 부교수)

본 연구는 자율주행 청소 차량, 경찰 순찰차 등 도로 네트워크 내 반복 방문이 필요한 자율 이동 시스템을 위해 위험도에 따른 우선순위 기반 순찰 경로 최적화 문제를 정의하고, 이를 해결하기 위한 최적의 메타휴리스틱 알고리즘을 제안한다. 기존 연구들이 장애물 회피나 단순 경로 탐색에 집중한 것과 달리, 본 연구는 구역별 범죄 위험도에 따른 차별화된 방문 빈도와 실제 교통 상황을 경로 계획에 통합하였다. 일본 나고야시의 실제 도로망과 범죄 데이터를 기반으로 유전 알고리즘(GA), 개선된 유전 알고리즘(I-GA), 개미 군집 최적화(ACO), 입자 군집 최적화(PSO)의 성능을 체계적으로 비교 분석하였다. 특히, 알고리즘의 매 세대 평가 과정에 SUMO(Simulation of Urban Mobility) 미시 시뮬레이션을 직접 통합하여 신호 제어 및 실시간 교통흐름이 반영된 현실적인 경로 평가를 수행하였다. 연구 결과, ACO 알고리즘이 총 비용 측면에서 가장 저조한 성능을 보인 I-GA 대비 46.1% 우수한 성능을 기록하며 최적의 해를 도출하였다. ACO는 차량 1대만으로 고위험 구역 방문 요건을 초과 달성하면서도 가장 짧은 주행 거리와 높은 평균 속도를 유지하여 운영 효율성과 순찰 효과성 사이의 최적 균형을 입증하였다. 반면, PSO는 빠른 초기 수렴을 보였으나 지역 최적해에 머물렀고, I-GA는 적응형 연산자의 정체로 인해 복잡한 순찰 제약 조건에서 효율이 저하됨을 확인하였다. 본 연구는 실세계 데이터를 결합한 동적 환경 기반의 프레임워크를 제시함으로써, 향후 경찰 순찰뿐만 아니라 공항 로봇, 자율 청소 시스템 등 다양한 네트워크 기반 자율 서비스의 경로 최적화에 기여할 수 있다.

사사: 본 연구는 2024년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00403630 능동적 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스 개발)

자율주행 도시환경관리 서비스 차량의 운행설계영역 위험구간 실증 분석

Real-World Mapping of Operational Design Domain Risk Zones
for Urban Autonomous Environmental Service Vehicle

이은호

(아주대학교, 석사과정)

소재현

(아주대학교, 부교수)

본 연구는 스마트시티 운영의 효율성을 높이기 위해 도입되고 있는 자율주행 노면청소차(AESV)의 안전한 운용을 목적으로, 실제 주행 데이터를 활용한 운행 설계 영역(ODD) 리스크 매핑 프레임워크를 제안한다. 이를 위해 2025년 10월부터 12월까지 대한민국 제주도 내 특정 도심 구간을 반복 주행한 자율주행 청소차의 실증 로그를 수집하였다. 분석 데이터는 차량의 거동 특성, 청소 모듈의 활성화 상태, 이상 주행 행태(속도 불안정성, 급격한 Jerk 변화 등) 및 시스템 오류와 인적 개입 이력을 포함한다.

분석 결과, 자율주행 리스크는 도로 네트워크상에 균일하게 분포하지 않고 좁은 차로, 곡선 구간, 도로변 식재, 보행자 간섭 구역 등 특정 기하구조 및 환경적 요인이 존재하는 지점에 집중되는 경향을 보였다. 특히 특정 구간에서 반복적으로 발생하는 수동 개입은 해당 지점이 구조적인 ODD 한계 구역임을 시사하며, 청소 작업 수행 상태가 차량의 주행 불안정성을 증폭시키는 주요 요인임을 확인하였다. 본 연구는 단일 차량의 데이터를 활용하였음에도 장기간의 반복 주행을 통해 신뢰도 높은 장소 특이적 리스크 패턴을 도출하였다는 데 의의가 있다. 본 프레임워크는 향후 자율주행 서비스 로봇의 노선 설계, 운영 계획 수립 및 리스크 기반의 스케줄링을 위한 실무적인 의사결정 지원 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 RS-2023-00236825 자율주행 Lv.4/4+ 기반 도시환경관리 서비스 기술 개발)

강화학습 기반 자율주행버스 전용차로 진·출입부 최적 운영전략 도출

Reinforcement Learning-Based Optimal Operational Strategy for Autonomous Bus Lanes
at Highway Entrance and Exit Areas

이성준

(한양대학교 교통물류공학과, 박사과정)

박준영

(한양대학교 교통물류공학과/스마트시티공학과, 교수)

자율주행 기술 도입 초기에는 자율주행차와 비자율주행차가 혼재하는 교통환경이 지속될 것으로 예상되며, 특히 자율주행버스와 같은 대중교통 수단은 전용차로 형태로 운영될 가능성이 높다. 그러나 고속도로 진·출입부와 같은 영향권 구간에서는 차로변경, 합류, 분류가 집중적으로 발생하므로 자율주행버스 전용차로의 진입 및 진출 과정에서 상충과 사고위험이 증가할 수 있다. 따라서 이러한 구간에서는 교통조건 변화에 따라 적절한 운영전략을 유연하게 선택할 수 있는 분석이 필요하다.

본 연구에서는 자율주행버스 전용차로 진·출입부를 대상으로, 강화학습 기반 운영전략 도출 가능성을 검토하고자 한다. 기존 연구에서는 자율주행버스 전용차로의 영향권 길이, 차로 운영방식, 또는 개별 전략의 효과를 비교하여 결과를 평가하였으나, 실제 교통상황에 따라 어떤 전략이 더 적절한지를 적응적으로 선택하는 문제는 충분히 다루지 못하였다. 이에 본 연구는 교통량, 자율주행버스 보급률(MPR), 화물차 비율, 진입 영향권 길이, 전략 적용 수준 등을 고려한 다양한 시나리오를 구성하고, 미시 교통 시뮬레이션 기반 환경에서 강화학습을 통해 최적 운영전략을 도출하는 방향으로 연구를 수행한다.

TTC(Time to Collision)와 같은 안전성 지표, 평균 통행속도 및 지체와 같은 운영성 지표, 연료소모량 및 배출량과 같은 환경성 지표를 종합하여 설계한다. 이를 통해 교통조건 변화에 따라 적응적으로 전략을 선택할 수 있는 정책 구조를 제안하고자 한다.

본 연구는 강화학습을 결합하여 고속도로 진·출입 영향권에서의 운영전략을 보다 능동적으로 도출하는 분석틀을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 교통조건에 따라 적응적으로 대응 가능한 정책 지원체계로 발전시키는 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

부산 오시리아 자율주행 셔틀버스 서비스 도입 전·후 효과분석

Before-and-After Evaluation of the Autonomous Shuttle Bus Service in Osiria, Busan

이영남

(국립한국교통대학교 교통시스템공학과, 석사과정)

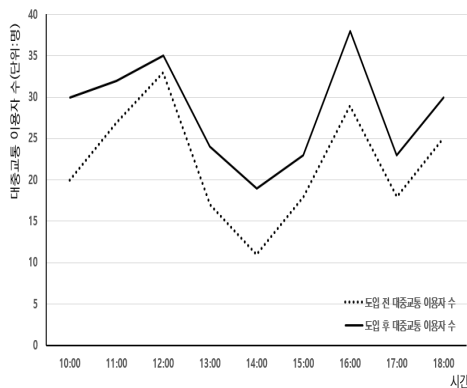
김진태

(국립한국교통대학교 교통시스템공학과, 교수)

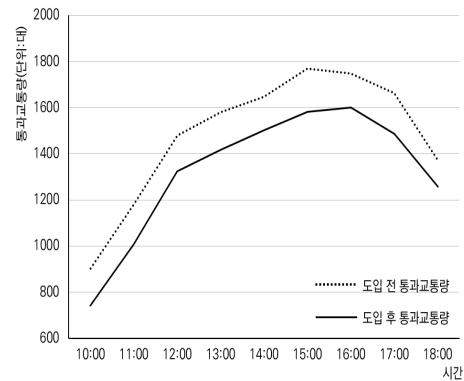
우리나라 정부는 자율주행 기술 고도화 추진 방안으로 지방자치단체 단위 자율주행 기술 시범운영지구를 조성 및 운영하고 있다. 시범운영지구에서는 자율주행 기술 개발의 완성도에 주목하고 있지만, 자율주행 서비스 도입 효과에 관한 관심은 상대적으로 미비하였다. 특히 자율주행 서비스가 대중교통 수단으로 시민들에 도입되는 경우, 해당 서비스가 이들에게 긍정적인 효과를 제공하는지에 대한 여부를 먼저 점검해 볼 필요가 있다. 본 연구는 부산광역시 오시리아 관광단지 내에서 운영 중인 자율주행 셔틀버스 서비스 도입 효과에 대하여 분석한 내용을 제시한다.

연구 방법은 자율주행 셔틀버스 도입에 따른 효과로 교통혼잡 완화 수준과 대중교통 이용 수준을 정량·정성으로 구분하여 분석하였다. 정량적 분석의 경우 대중교통 이용자 수와 통과교통량으로 구분하였다. 대중교통 이용자 수는 현장 관측 조사를 통해 사전조사는 일반버스 승객 이용자 수, 사후조사는 일반버스와 자율주행 셔틀버스 승객 이용자 수를 오전시간과 오후시간대로 나누어 분석하였으며, 통과교통량은 시범 운영을 본격적으로 도입한 2025년 9월을 기준으로 사전조사를 진행한 2025년 6월 스마트교차로 데이터와 사후 조사를 진행한 2025년 11월 데이터를 통해 분석하였다. 정성적 분석의 경우 자율주행 셔틀버스 서비스를 이용하는 이용자를 대상으로 대면 설문조사를 진행하여 분석을 수행하였다.

정량 분석의 결과, 대중교통 이용자 수의 경우 평균 승객 이용률이 6명이 증가하고 증가 비율을 23.3%를 기록하였다. 통과교통량의 경우 평균 통과교통량이 158대 감소하고, 감소 비율은 11.1%를 기록하였으며, 두 지표 모두 출·퇴근 시간 전후로 큰 감소 비율을 기록하였다. 이는 자율주행 셔틀버스 서비스 도입 이후 자가용 이용자가 감소하였음을 의미한다.



<그림 1> 서비스 도입 전·후 대중교통 이용자 수



<그림 2> 서비스 도입 전·후 통과교통량

본 연구는 시범운영지구에 도입된 자율주행 기반 대중교통 서비스의 실증사례에 대한 효과분석을 바탕으로 수행되었으며, 이러한 결과는 자율주행 셔틀버스 서비스가 관광지 내 교통 혼잡 완화와 대중교통 이용 활성화에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 이는 오시리아의 자율주행 셔틀버스가 이동 수단을 넘어 관광지 내 적합한 모빌리티로 자리를 잡을 수 있음을 의미한다. 향후 오시리아 관광단지 개발 진척에 따라 자율주행 셔틀버스 이용 수요는 점차 증가할 것으로 예상된다.

고령자 교통안전 및 면허

Session

C-2

고령운전자 조건부 면허 도입 필요성 및 정책적 시사점

최제인, 강민지, 박신형

초고령사회 진입에 따른 고령운전자 교통안전을 위한 운전면허제도 개선방안 연구 - 국내외 운전면허제도 사례를 중심으로 -

송양빈, 김남선

고령자 이동 형평성 분석을 통한 개선 필요지역 도출 연구

도승일, 박신형

고령운전자 조건부 면허 도입 필요성 및 정책적 시사점

A Study on the Need to Introduce a Conditional Driver's License System for Older Drivers and Its Policy Implications

최제인

(서울시립대학교, 석사과정)

강민지

(서울시립대학교, 연구교수)

박신형

(서울시립대학교, 교수)

우리나라는 고령화의 심화와 함께 고령운전자 수가 지속적으로 증가하고 있으며, 이에 따라 고령운전자 안전관리의 중요성도 점차 확대되고 있다. 특히 초고령사회 진입이 현실화되면서 고령운전자 문제는 특정 연령층에 한정된 이슈를 넘어, 향후 교통안전정책 전반에서 다루어야 할 핵심 과제로 부상하고 있다. 현재 국내에서는 고령운전자를 대상으로 교통안전교육, 적성검사, 면허 자진반납 제도 등이 운영되고 있으나, 이들 제도는 주로 연령 기준 또는 자발적 참여에 기반하고 있어 개인별 운전능력 차이를 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다. 또한 면허 유지와 반납의 이분법적 접근만으로는 위험을 정교하게 관리하기 어렵고, 반납 이후 이동권 보장 문제 역시 충분히 해소되지 못하고 있다.

이러한 배경에서 본 연구는 고령운전자 조건부 면허 도입의 필요성을 검토하고, 해외 운영사례 분석을 통해 국내 적용 가능성과 정책적 시사점을 도출하는 것을 목적으로 한다. 조건부 면허는 운전능력 평가 결과를 바탕으로 야간운전 제한, 고속도로 운전 제한, 특정 구간 또는 조건에서의 운전 허용 등 일정한 제한조건을 부여한 상태에서 운전을 허용하는 제도이다. 이는 고령운전자의 운전을 일률적으로 제한하거나 전면 반납을 유도하는 방식과 달리, 개인별 운전능력과 위험 수준을 반영할 수 있는 보다 정교한 관리수단이라는 점에서 의의가 있다. 특히 안전 확보와 이동권 보장을 함께 고려할 수 있는 중간적 제도라는 점에서 검토 가치가 크다.

본 연구에서는 고령인구와 면허보유자 증가, 고령운전자 사고에 대한 사회적 우려, 현행 제도의 운영상 한계를 중심으로 국내 현황을 검토하였다. 분석 결과, 국내 고령운전자 관리정책은 여전히 연령 중심 관리와 자진반납 중심 정책에 크게 의존하고 있으며, 고령운전자 집단 내부의 이질성과 개인별 운전능력 차이를 충분히 반영하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 또한 고령운전자 사고는 단순히 연령만으로 설명되기보다 건강상태, 인지기능, 시야 특성, 주행환경 적응능력 등과 복합적으로 연관될 수 있어, 보다 세분화된 평가와 관리체계의 필요성이 확인되었다.

아울러 일본, 미국, 호주 뉴사우스웨일스(NSW) 등 해외 사례를 검토한 결과, 해외에서는 교육, 적성평가, 의학적 평가, 제한조건 부여 등을 연계한 단계적 관리방식을 운영하거나 검토하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국내 정책이 연령 중심 관리에 머물러 있는 것과 대비되며, 개인별 운전능력에 기반한 맞춤형 관리체계 도입의 필요성을 시사한다.

다만 국내 도입을 위해서는 몇 가지 전제가 필요하다. 첫째, 운전능력 평가기준의 객관성과 공정성을 확보할 수 있는 제도 설계가 필요하다. 둘째, 제한조건의 유형과 부여 기준, 운용방식에 대한 합리적 기준이 마련되어야 한다. 셋째, 조건부 면허 부여 이후 정기 재평가, 사후관리, 위반 시 조치 등 후속 관리체계가 함께 설계되어야 한다. 넷째, 도시와 비도시 지역 간 대체교통 여건 차이를 고려하여 획일적 도입보다는 시범운영과 단계적 적용을 통해 현실성을 높일 필요가 있다. 즉, 조건부 면허제는 단순한 규제수단이 아니라 평가-제한-재평가가 연계되는 통합적 관리체계로 설계되어야 한다.

종합하면, 고령운전자 조건부 면허제는 면허 유지와 반납의 이분법을 보완할 수 있는 중간적 관리수단으로서 검토 가치가 있으며, 향후 국내 고령운전자 안전관리정책의 정교화에 기여할 가능성이 있다. 본 연구는 국내 현황과 해외 사례를 바탕으로 고령운전자 조건부 면허의 국내 적용 가능성과 정책적 시사점을 제시함으로써, 고령운전자 안전 확보와 이동권 보장의 균형을 모색하는 데 기초자료를 제공하고자 한다.

**초고령사회 진입에 따른 고령운전자 교통안전을 위한
운전면허제도 개선방안 연구
- 국내외 운전면허제도 사례를 중심으로 -**

Research on Improving the Driver's License System for Elderly Traffic Safety in an Ultra-Aged Society
Focusing on Domestic and International Case Studies -

송양빈
(경찰대학 치안정책연구소)

김남선
(경찰대학 치안정책연구소)

우리나라의 고령인구 증가는 고령운전자 수의 증가로 이어지고 있으며 고령운전자 교통사고는 사회적으로 문제가 되고 있는 실정이다. 우리나라 고령운전자 대상으로 한 운전면허 조건은 부재하며 고령운전자 교통안전을 위해 정기적 성검사 단축과 운전면허 자진반납제도를 시행하고 있으나 적성검사는 시력검사 위주의 신체검사와 연령을 구분하지 않는 교통안전교육으로 시행되고 있고, 실차주행시험 규정이 없어 고령운전자의 운전능력을 평가에 한계가 발생하고 있다.

본 연구는 초고령시대를 맞이한 현 시점에서 고령운전자 교통안전을 위해 국내외 운전면허제도에 대해 고찰하여 시사점과 함께 운전면허제도 개선방안에 대해 제시하고자 한다.

미국은 각 주마다 독자적인 방식으로 고령운전자에 대한 관리가 이루어지는데 대부분 운전면허 갱신주기 단축, 방문 갱신, 의료 보고, 도로주행시험, 조건부 운전면허제도를 운용한다. 호주는 운전보조기기 장착 또는 차량 개조 조건 이외에도 의학적 사유, 법규위반 또는 법적 요구사항에 대해 운전면허 조건을 부과하고 있는데 차량 특성 뿐 아니라 운전자의 자격을 한정한다. 일본은 충돌 피해경감 브레이크, 페달을 잘못 밟았을 때의 가속제어장치 등의 선진 안전 기술로 운전자의 안전운전을 지원할 수 있도록 개발한 차량인 서포트카 한정면허를 추진하고 있다. 네덜란드, 영국, 뉴질랜드 또한 고령 운전자의 의료 진단을 통해 신체적, 인지적 능력을 주기적으로 평가하여 조건부 면허를 부여하는 제도를 도입하고 있다.

해외 국가에서는 단순히 나이가 많다는 이유로 면허를 일괄적으로 제한하지 않고 의료진의 정밀한 소견서와 실제주행시험을 거쳐 고령자의 운전적합성에 대해 평가하여 다양한 조건부 운전면허를 시행하고 있다. 특정 연령층을 기점으로 갱신 주기를 한 번에 줄이는 우리나라와는 달리, 고령화가 진행될수록 갱신 주기를 점진적으로 단축하여 행정적 거부감을 줄이고 모니터링의 빈도를 촘촘하게 가져가는 유연성 또한 갖추고 있다. 또한 제3자가 운전자의 위험 징후를 발견했을 때 당국에 주행능력재평가를 요청하는 채널이 마련되어 공공의 안전을 선제적으로 확보하며, 각종 사회단체를 활용하여 사회적 관심을 유도하고 고령자 스스로 운전면허를 반납하도록 유도하는 사회적 프로그램 및 인프라 구축에 나서고 있다. 우리나라도 고령안전자 교통안전과 자율성 및 이동성을 확보할 수 있는 해외사례의 제도 도입이 필요하다. 또한 우리나라의 선진 ITS 기술과 결합하여 무조건적인 운전제한이나 반납 유도가 아닌 '안전한 운전의 연장'을 도모하며 다양한 조건의 운전면허 제도 도입을 위한 정책적 대안을 모색하여 고령운전자의 교통안전에 대한 기반을 형성해야 한다.

사사 : 본 연구는 과기정통부의 재원으로 'SW컴퓨팅산업원천기술개발사업' 지원에 의하여 이루어진 것임(과제고유번호 : RS-2024-00337498)

고령자 이동 형평성 분석을 통한 개선 필요지역 도출 연구

A Study on Identifying Areas in Need of Improvement through the Analysis of Elderly Mobility Equity

도승일

(서울시립대학교, 석박사통합과정)

박신형

(서울시립대학교, 교수)

급속한 고령화로 인해 교통약자, 특히 고령자의 이동권 보장이 중요한 교통정책 과제로 부상하고 있다. 고령자는 보행능력 저하, 환승 과정에서의 신체적·인지적 부담, 교통정보 활용의 어려움 등으로 인해 동일한 교통서비스가 제공되더라도 실제 이용 가능성과 체감 편의성에서 불리한 조건에 놓이기 쉽다. 특히 도시 외곽이나 저밀도 지역에서는 물리적 교통 인프라가 존재하더라도 서비스 접근성과 이용 편의 측면에서 실질적인 교통소외가 발생할 가능성이 크다. 그럼에도 불구하고 기존의 교통 형평성 연구는 평균적인 접근성이나 공급 수준 분석에 집중하는 경향이 있어, 고령자가 실제로 경험하는 이동 불편과 환승 부담을 충분히 반영하지 못한 한계가 있다. 이에 따라 고령자의 이동 특성을 반영한 정밀한 형평성 진단 체계를 구축하고, 지역별 취약성을 식별할 수 있는 분석이 필요하다. 본 연구의 목적은 서울특별시를 대상으로 고령자의 대중교통 이용 여건을 정량적으로 평가하고, 이동 형평성 취약지역을 도출하는 데 있다. 이를 위해 본 연구는 수직적 형평성 관점에서 고령자의 이동 여건을 진단하고, 이동성·접근성·환승 부담을 함께 반영한 형평성 평가체계를 제안하였다. 공간적 범위는 서울특별시 전역이며, 분석 단위는 500m 수준의 hexa곤 격자를 적용하였다. 시간적 범위는 2021년 10월 21일로 설정하였으며, 스마트카드 이용자료를 활용하여 고령자 통행을 추출하였다. 전체 자료는 서울을 중심으로 경기도 인근 지역까지 포함하고 있으며, 총 14,560,613건의 통행이 관측되었다. 이 중 사용자 구분코드를 활용하여 고령자 통행을 선별하였고, 서울 외 지역 출발 통행과 통행시간 또는 통행거리가 0인 이상치는 제외하였다. 또한 서울시 hexa곤 격자 자료를 결합하여 공간 단위별 분석과 시각화를 수행하였다. 형평성 평가지표는 세 가지로 구성하였다. 첫째, 이동성 지표는 대중교통을 이용한 통행의 이동 용이성을 의미하며, 총 통행거리를 총 통행시간으로 나눈 값으로 산정하였다. 이는 단위 시간당 실제 이동 가능한 거리의 개념을 반영하여 고령자의 이동 효율을 나타낸다. 둘째, 접근성 지표는 보행을 통해 대중교통 정류장에 도달할 수 있는 공간적 범위를 의미하며, hexa곤 격자 내 접근 가능 면적 비율을 기반으로 산출하였다. 이를 통해 생활권 단위에서 대중교통 서비스에 대한 물리적 접근 여건을 정량화하였다. 셋째, 환승 지표는 고령자가 일반 이용자에 비해 더 크게 체감할 수 있는 환승 부담을 반영하기 위해 환승 횟수를 활용하였다. 이후 각 지표를 Min-Max 방식으로 표준화하고, 데이터 기반의 엔트로피 가중치 산정 기법을 적용하여 지표별 중요도를 도출하였다. 최종적으로 가중치를 반영한 형평성 종합점수를 산출하고, Jenks Natural Breaks 기법을 활용하여 형평성 수준을 등급화함으로써 취약지역을 구조적으로 구분하였다. 분석 결과, 서울시 전체 4,747개 hexa곤 중 유효 표본이 존재하는 310개 격자를 기준으로 형평성 지표를 산출하였다. 기초통계 분석 결과, 이동성 지표는 격자 간 편차가 비교적 크게 나타났으며, 접근성 지표는 전반적으로 높은 값을 보였으나 일부 지역에서는 상대적으로 낮은 수준이 확인되었다. 환승 지표는 평균 0.142로 나타나 전체적으로 환승이 많지 않은 통행이 주를 이루었으나, 특정 지역에서는 환승 부담이 형평성 저하 요인으로 작용할 가능성이 확인되었다. 형평성 종합점수는 최소 0.246, 최대 1.000, 평균 0.656으로 나타났으며, 이는 서울시 내 고령자 이동 형평성 수준이 공간적으로 균질하지 않고 지역별 차이가 존재함을 보여준다. 또한 종합점수를 4단계로 구분하여 하위 2단계 지역을 중심으로 시각화한 결과, 형평성 취약지역은 서울시 전역에 산발적으로 분포하는 것으로 나타났다. 특히 은평구와 금천구 일대에서는 고령자 비중이 높은 지역과 형평성 취약지역이 공간적으로 중첩되는 양상이 확인되었다. 이는 고령 인구가 상대적으로 많이 거주하는 지역일수록 이동 여건의 취약성이 동시에 나타날 가능성이 있음을 시사한다. 본 연구는 고령자의 이동 형평성을 단순한 평균 접근성 평가가 아닌 이동성, 접근성, 환승 부담을 함께 고려한 복합 지표로 진단하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 서울시를 대상으로 형평성 취약지역을 공간적으로 식별함으로써, 향후 교통복지 정책이나 지역 맞춤형 모빌리티 서비스 도입 시 우선 검토가 필요한 지역을 선별할 수 있는 기초자료를 제시하였다. 나아가 본 연구의 결과는 고령자의 실제 이동 불편을 반영하는 형평성 기반 진단이 필요함을 보여주며, 향후에는 취약지역의 영향 요인을 보다 구체적으로 분석하고, 지역 특성에 따른 맞춤형 개선 전략을 마련하는 방향으로 확장될 수 있을 것으로 기대된다.

교통류 이론 및 시뮬레이션

Session

C-3

공공데이터 기반 EMME-SUMO 연계 마이크로 교통 시뮬레이션 구축 방법론 연구: 은평구 정비사업 밀집지 사례
유윤임, 이인성, 김태현, 고준호

차종별 이질성을 고려한 1차원 Social Force 기반 차량 추종 모형의 확장 및 안정성 분석
오승민, 장기태

생성 모델 기반 차량 궤적 노이즈 제거를 통한 미시 교통류 데이터 품질 향상 연구
유성민, 소재현

균일한 거시적 기본도 도출을 위한 O-D 행렬 기반 도시 네트워크 군집화
최세원, 최준희, 김동규

GIS 기반 공간 분석을 통한 유령정체 발생의 공간적 분포 특성 규명
홍대현, 박신형

공공데이터 기반 EMME-SUMO 연계 마이크로 교통 시뮬레이션 구축 방법론 연구: 은평구 정비사업 밀집지 사례

A Methodology for Building a Macro-Micro Traffic Simulation Pipeline Using Public Data: A Case Study of Redevelopment Zones in Eunpyeong-gu

유운임	이인성	김태현	고준호
(한양대학교 도시대학원 도시개발경영전공, 석사과정)	(한양대학교 도시대학원 도시개발경영전공, 석사과정)	(서울연구원 미래공간연구실, 선임연구위원)	(한양대학교 도시대학원 도시개발경영전공, 교수)

1. 연구 배경 및 목적

도시 정비사업 밀집지의 교통 영향 분석에는 이면도로를 포함한 미시적 수준의 교통 시뮬레이션이 필요하나, 기존 교통영향평가는 간선도로 위주의 매크로 분석에 한정되어 국지적 도로 체계 변화를 반영하기 어렵다. 또한 이면도로 및 집산도로에 대한 관측 교통량 데이터가 부재하여 마이크로 시뮬레이션 구축에 필요한 입력 데이터 확보가 어렵다. 본 연구는 공공데이터만을 활용하여 KTDB-EMME-SUMO 연계 파이프라인을 구축하고, 이를 서울시 은평구 정비사업 밀집지에 적용하여 정비사업 전후 도로 운영 영향을 정량적으로 분석하는 방법론을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구 방법

본 연구의 시뮬레이션 구축 절차는 다음과 같다. 먼저 KTDB 수도권 여객·화물 OD 및 도로철도통합 네트워크를 기반으로 EMME 매크로 시뮬레이션을 수행하여 링크별 교통량을 산출하였다. 산출된 교통량은 TOPIS 서울 179개 관측 지점 데이터와 비교·정산하였으며($R^2=0.72$, $MAPE=38.4\%$), 침투시간 집중률 5.65%를 적용하여 시간대별 교통량으로 변환하였다. 이후 국토부 표준 노드링크, 수치지형도, 위성영상 등을 활용하여 QGIS에서 직접 도로 디지털라이징을 수행하고 SUMO 네트워크를 구축하였으며, EMME-SUMO 링크 매핑을 통해 교통량을 마이크로 네트워크에 할당하였다. 베이스 모델 검증은 ITS 교통소통정보 침투시간 구간속도와 비교하였다. 산술평균 속도 기준으로 대상 네트워크에서 ITS 교통소통정보는 18.66km/h, SUMO 17.69km/h로 베이스 모델이 적합하게 구축되었다. 행정동 차량등록대수와 가구유형별 차량보유계수를 결합한 차량보유대수 기반으로 재개발시 증가하는 차량의 수를 산정하여 미래 시나리오를 작성했다.

3. 분석 결과

대상지인 은평구 불광로 일대 정비사업 밀집지(모아타운, 불광1·5구역, 독바위역세권, 계획 5,861세대)에 대해 시나리오 모델을 적용한 결과, 기존 교통영향평가 기반 방법은 오전 침투 출발 통행량이 240통행 감소하는 것으로 나타난 반면, 차량보유대수 기반 방법은 1,016통행 증가하는 것으로 분석되었다. 1,016대 증가 시 SUMO 시뮬레이션 결과 네트워크 교통량 가중평균 속도는 21.12km/h에서 7.98km/h로 62.23% 감소하였으며, 네트워크 총 대기시간은 약 4,692,028초(1,133시간) 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 관측 교통량 데이터가 부재한 이면도로 중심 지역에서도 공공데이터만으로 EMME-SUMO 연계 마이크로 시뮬레이션 파이프라인을 구축할 수 있음을 실증하였다. 특히 기존 교통영향평가 방식과 차량보유대수 기반 방식의 결과가 상반되게 나타남으로써, 정비사업 교통 영향 평가 시 주택 유형 변화에 따른 차량 보유 구조를 반영하는 방법론의 필요성을 제시하였다. 본 파이프라인은 향후 도로 체계 최적안 도출을 위한 다양한 시나리오 분석에 활용 가능하다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00415360).

차종별 이질성을 고려한 1차원 Social Force 기반 차량 추종 모형의 확장 및 안정성 분석

Extension and Stability Analysis of 1D Force-Based Car-Following Model
Considering Vehicle Type Heterogeneity

오승민

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 박사과정)

장기태

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 교수)

자율주행차와 일반차량, 승용차(PC)와 중차량(HV)이 혼재된 혼합 교통류에서는 차량의 물리적 제원과 운전자의 주행 행태 차이로 인해 복잡한 상호작용이 발생한다. 기존의 Social Force 기반 차량 추종 모형(Delpiano et al., 2015)은 이러한 미시적 상호작용을 물리적 힘의 관계로 성공적으로 규명하였으나, 차량을 질점(Point mass)으로 가정하여 차종 간 길이 차이와 이질적인 추종 특성을 반영하는 데 한계가 있었다.

이에 본 연구는 기존 1차원 Social-Force 기반 차량 추종 모형을 확장하여, 차량의 실제 길이와 선·후행 차량의 차종 조합(PC-PC, HV-PC, PC-HV, HV-HV)에 따른 쌍별 종속 파라미터(Pair-dependent parameters)를 도입한 새로운 모형을 제안한다. 제안된 모형은 차종별 가감속 성능 및 반응 시간의 차이를 반영하여 가속력과 반발력을 도출하고, 이를 통해 혼합 교통류 내 평형 상태(Equilibrium state)와 거시적 교통류 변수(용량, 임계 밀도, 충격파 속도 등)를 수학적으로 새롭게 도출하였다.

모형의 타당성을 검증하기 위해 다양한 차량 군집 시나리오 및 거시적 교통류 시뮬레이션을 수행하였다. 미시적 분석 결과, 이기종 차량 교대 군집에서 선·후행 차종에 따른 극단적인 비대칭적 군집 안정성(Asymmetric string stability)이 관찰되었다. 특히, 중차량이 승용차를 추종할 때(PC-HV)는 섭동이 과도하게 증폭되어 공간적 압축과 과도한 속도 저하가 발생하는 반면, 승용차가 중차량을 추종할 때(HV-PC)는 섭동을 안정적으로 흡수하는 과감쇠(Over-damped)와 안정성 특성을 보였다. 거시적 측면에서는 시뮬레이션 결과를 시공도(Time-Space Diagram)로 분석하여 차종 간 이질성에 의해 유발되는 이동 병목(Moving bottleneck)과 정체파(Stop-and-go wave) 형성 과정을 성공적으로 재현하였다.

본 연구는 미시적 차량 추종 행태의 이질성이 거시적 교통류의 불안정성과 용량 저하(Capacity drop)로 이어지는 메커니즘을 규명하였다는 데 학술적 의의가 있다. 본 모형은 향후 고속도로 혼합 교통류 관리 및 커넥티드 자율주행차(Connected and Autonomous Vehicle, CAV) 군집 주행 제어 전략 수립을 위한 핵심 기초 연구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00356589)

생성 모델 기반 차량 궤적 노이즈 제거를 통한 미시 교통류 데이터 품질 향상 연구

A Study on Improving Microscopic Traffic Data Quality Through Deep Generative Model-Based
Vehicle Trajectory Denoising

유성민

(아주대학교 D.N.A. 플러스융합학과, 석사과정)

소재현

(아주대학교 교통시스템공학과, 부교수)

도시 도로에서 카메라나 GPS로 차량 궤적 데이터를 수집할 때 노이즈는 피할 수 없다. 카메라 픽셀 해상도의 한계로 인한 무작위 측정 오차(Gaussian), 차량 간 occlusion으로 인한 순간적 좌표 이탈(Spike), 그리고 소규모 오차가 시간축을 따라 누적되는 편향(Drift)이 대표적이다. 이러한 노이즈가 포함된 궤적 데이터를 그대로 사용하면 차량 추종 모델의 파라미터 추정이 왜곡되고, 이를 기반으로 구축된 교통 시뮬레이션은 현실과 동떨어진 결과를 산출한다. 기존의 전통적 신호 처리 기법은 노이즈의 통계적 특성이 사전에 알려져 있다는 가정에 의존하며, 노이즈 유형이나 강도가 달라질 경우 성능이 급격히 저하되는 한계를 가진다. 본 연구는 딥 생성 모델(DGM)을 활용하여 세 가지 노이즈 유형에 대한 차량 궤적 복원 성능을 체계적으로 비교한다. 데이터는 NGSIM US-101을 사용하였다. 미국 로스앤젤레스 고속도로에서 항공카메라로 수집된 이 데이터로부터 2,488개의 차량 궤적을 추출하였으며, 훈련(1,741개), 검증(249개), 테스트(498개)로 분할하였다. 노이즈는 Gaussian, Spike, Drift 세 유형에 각각 Low, Mid, High 세 단계 강도를 부여하여 총 9가지 시나리오를 구성하였다. 비교 대상 모델은 잠재 공간 압축을 통해 노이즈를 제거하는 VAE, 데이터 분포의 가역 변환을 학습하는 Normalizing Flow(RealNVP), 그리고 노이즈 궤적에서 출발하여 단계적으로 원본을 복원하는 Cold Diffusion의 세 가지 DGM이다. 성능 평가 지표로는 테스트 셋 498개 궤적에 대한 RMSE를 사용하였다. 전체 9개 시나리오 중 6개에서 Normalizing Flow가 최우수 성능을 기록하였으며, 평균 RMSE 0.04522로 세 모델 중 가장 낮은 오차를 달성하였다. 특히 무작위적 특성을 가진 Gaussian 및 Spike 노이즈에서 VAE 대비 약 40~65%의 RMSE 감소를 보였다. 반면 시간에 따라 오차가 누적되는 Drift 노이즈에서는 VAE가 일관되게 우수한 성능을 나타냈으며, Cold Diffusion은 노이즈 강도가 극단적으로 높은 Gaussian_High 시나리오에서만 1위를 기록하였다. 본 연구의 핵심 발견은 노이즈 유형에 따라 최적 DGM이 달라진다는 점으로, 실제 현장 적용 시 노이즈 특성에 대한 사전 분석이 중요함을 시사한다. 본 연구는 단일 도로 구간 및 지도 학습 방식에 한정된 한계를 가진다. 향후 연구로는 Waymo Open Motion Dataset을 활용한 다양한 도로 환경에서의 일반화 검증을 통해 본 프레임워크의 범용성을 확보하고, 복원 궤적 기반 IDM 파라미터 추정을 통해 좌표 복원 정확도가 실제 운전 행동 재현으로 이어지는지를 행동 수준에서 입증할 수 있다. 또한 SUMO 시뮬레이션을 통한 교통 성능 비교를 통해 DGM 기반 노이즈 제거가 교통 시뮬레이션의 현실 재현성 향상에 실질적으로 기여함을 정량적으로 검증할 수 있으며, Ground Truth 없이도 학습 가능한 자기지도 학습 프레임워크 적용을 통해 실제 현장 데이터에 대한 실용적 적용 가능성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

사사: This work was supported by the Korea Institute of Police Technology (KIPoT) grant funded by the Korea government (KNPA) (No. RS-2024-00403630, Development of autonomous driving patrol service for active prevention and response to traffic accidents).

균일한 거시적 기본도 도출을 위한 O-D 행렬기반 도시 네트워크 군집화

O-D Matrix-Based Urban Network Clustering for Homogeneous Macroscopic Fundamental Diagram

최세원

(서울대학교 건설환경공학부,
석박사통합과정)

최준희

(서울대학교 건설환경공학부,
석박사통합과정)

김동규

(서울대학교 건설환경공학부,
교수)

본 연구에서는 이론에 부합하는 안정적인 거시적 기본도(Macroscopic Fundamental Diagram, MFD)를 도출하기 위해 도시 교통 네트워크를 클러스터링하는 새로운 접근 방법을 제안했다. 기존의 연구들은 네트워크의 균질성을 보장하기 위해 머신러닝이나 딥러닝 기반의 클러스터링을 수행해왔으나, 군집을 분할하는 기준이 불명확하고 결과에 대한 설명력이 부족하다는 한계가 있었다. 특히, 교통 혼잡의 근본 원인인 실제 통행 수요와 물리적인 이동 경로를 제대로 반영하지 못해 실효성이 떨어졌다. 이에 본 연구는 O-D 행렬이 유사한 구간을 기준으로 클러스터링하여 공간적 균질성을 확보하는 방법론을 개발했다. 이는 신호나 비반복적 정체, O-D 편차로 인해 발생하던 도로 간 비균질성 문제를 해결할 수 있음을 시사한다.

그래프 신경망 모델을 사용해 교통 네트워크의 구조적 토폴로지와 동적 이동 패턴을 동시에 학습했다. 이후 공간적 연결성과 교통 연결성을 결합한 듀얼 임베딩(Dual-Embedding) 메커니즘을 통해 데이터의 내재된 패턴을 추출하게 했다. 이 과정을 통해 네트워크 위상 구조를 고려한 이웃 노드의 임베딩 벡터를 산출하고, O-D 행렬의 출발지(Origin)와 도착지(Destination) 일치 여부 및 거리를 반영한 O-D 유사도를 계산하여 하이브리드 군집화를 수행했다. 최적의 군집 개수 결정 문제를 해결하기 위해 실루엣 스코어(Silhouette Score)를 도입하여, 네트워크 데이터의 내재 구조에 맞춰 자동으로 클러스터 수를 도출할 수 있음을 보였다.

센서 데이터와 O-D 행렬을 동시에 수집하기 위해 미시교통 시뮬레이션인 SUMO (Simulation of Urban Mobility)를 활용하였다. 룩셈부르크 지역을 대상으로 정밀하게 보정되어 있는 Luxembourg SUMO Traffic (LuST) 시나리오를 사용해 진행했다. 분석 환경은 총 72,000대의 차량이 무작위 O-D 분포를 가지며 6종의 운전자 유형으로 통행하도록 설정되었다. 수집 기간은 총 30시간이며, 5분 단위로 데이터를 집계했다. 이 환경에서 평균 교통량은 분당 62.59대, 평균 속도는 40.23km/h로 나타났다.

시나리오 기반의 룩셈부르크 도심 시뮬레이션 네트워크를 대상으로 제안한 클러스터링 프레임워크를 적용한 결과, 최적 군집 수는 6개로 결정되었다. 군집 수 결정을 위해 $k=2$ 부터 $k=9$ 까지 탐색한 결과, $k=6$ 일 때 실루엣 스코어가 0.305로 가장 높게 나타났으며, 이는 해당 군집 구성이 feature 공간에서 군집 내 응집도와 군집 간 분리도의 균형이 가장 잘 맞음을 의미한다. 실루엣 스코어는 -1에서 1 사이의 값을 가지며, 양수일수록 각 데이터 포인트가 자신이 속한 군집에 적합하게 배정되어 있음을 나타낸다.

결론적으로, 본 연구는 도로 네트워크의 그래프 구조와 교통 수요 패턴을 융합한 비지도 클러스터링 프레임워크를 제시했다. 단순한 데이터 기반 군집화가 아닌 도메인 지식(Domain knowledge)인 O-D matrix 유사도와 AI 기반 임베딩을 결합하여 교통류 특성과 공간적 위상 구조를 동시에 반영할 수 있었고, 그 결과 네트워크를 균질하게 효과적으로 구분할 수 있음을 입증했다. 이는 향후 교차로 단위의 미시적 관리를 넘어 대규모 도시 교통 네트워크를 전반적으로 관리할 수 있는 수단으로서 적용 가능성이 크며, 보다 정밀하고 안정적인 MFD 형성과 교통 운영 의사결정 지원에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 국토교통부의 스마트시티 혁신인재사업 육성사업의 지원 및 정부(경찰청, 교육부)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원(No. 092021C26S0300, 실시간 교통안전시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리기술 개발)을 받아 수행하였음.

GIS 기반 공간 분석을 통한 유령정체 발생의 공간적 분포 특성 규명

Spatial Distribution Characteristics of Phantom Traffic Congestion: A GIS-Based Analysis

홍대현

(서울시립대학교, 학석사연계과정)

박신형

(서울시립대학교, 정교수)

교통 정체는 일반적으로 교통 수요가 도로 용량을 초과하거나 사고, 공사, 차로 감소와 같은 외생적 요인에 의해 발생한다. 그러나 유령정체는 이러한 명확한 원인 없이도 교통류의 불안정성과 운전자의 감가속, 반응시간 지연 등으로 인해 발생하는 정체 현상으로, 일반 정체와는 발생 메커니즘과 위치적 특성에서 차이가 있다. 기존 연구에서는 원형트랙 실험, 수학적 모델링, 차량 궤적 분석 등을 통해 유령정체의 형성 원리와 완화 가능성을 규명하는 데 주로 초점을 두어 왔으나, 실제 도로 공간에서 유령정체가 반복적으로 발생하는 위치와 그 공간적 특성이 어떠한지에 대한 실증적 논의는 상대적으로 부족하였다. 이에 본 연구는 유령정체를 단발적·우발적 현상이 아닌, 특정 공간에서 반복적으로 나타날 수 있는 교통현상으로 보고, GIS 기반 공간 분석을 통해 유령정체 발생의 공간적 분포 특성과 패턴을 규명하고자 하였다.

본 연구에서는 먼저 유령정체를 사고, 공사, 차로 수 감소 등 외생적 원인이 없는 상태에서 발생하는 stop-and-go 파동형 정체로 정의하고, 선행연구를 바탕으로 속도 데이터 기반 판별 기준을 설정하였다. 이후 고속도로나 도시부 간선도로 중 명확한 병목 원인이 없는 구간을 분석 대상으로 선정하고, 구간별 시간 단위 평균 속도 데이터를 구축하여 단시간 내 급격한 속도 감소와 회복이 반복적으로 나타나는 패턴을 유령정체 발생으로 판단하고자 하였다. 또한 유령정체 발생 구간을 GIS상에 매핑하고, 히트맵 및 공간 분포 분석을 통해 특정 지역에서의 집중 발생 여부를 검토하며, 교차로 밀도, 도로 기하구조, 네트워크 연결성과 같은 공간 요소와의 관계를 비교·분석하고자 하였다. 이를 통해 유령정체 발생 지점이 일반 교통정체 구간과는 다른 공간적 특성을 가지는지 실증적으로 확인하고, 객관적 식별 및 시각화 가능성을 검토하는 데 연구의 초점을 두었다.

본 연구는 유령정체를 교통류 이론이나 시뮬레이션의 영역에만 머무르지 않고 실제 공간 맥락에서 해석하려는 시도라는 점에서 의의가 있다. 향후에는 임계 속도 및 지속시간 기준에 대한 민감도 분석을 통해 유령정체 식별 기준의 적정성을 검토하고, 일반 정체와의 비교를 통해 공간적 집중도와 발생 특성의 차이를 보다 정교하게 분석할 필요가 있다. 또한 밀도, 도로 기하구조, 네트워크 연결성과 같은 공간 특성 요인을 도출함으로써 유령정체 발생 가능 구간을 선제적으로 식별하고, 이를 기반으로 속도 관리, 운영 전략 수립, 관리 대상 구간 선정 등 정책·운영 측면의 시사점을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 본 연구는 현재 분석 틀과 방법론을 중심으로 구성되어 있으므로, 향후 실제 교통 데이터에 대한 적용과 검증을 통해 연구의 실효성과 일반화 가능성을 보완할 필요가 있다.

교통 데이터 분석 및 AI

Session

C-4

데이터 기반 운전행태 평가지표 최적안 선정 방법론 개발

김민경, 오철

내비게이션 모빌리티 데이터 기반 방향별 교통량 추정 AI 모형 기법 연구

오상태, 김진태

화물차량 특성 및 운행정보 분포 재구성을 위한 생성모형 접근

이희창, 김동규

통신사 경로데이터와 교통카드의 확률적 융합을 통한 도시 규모 교통수단별 통행 재구축

김태우, 박병규, 여지호

트립체인 데이터 기반 LLM을 활용한 자가용 운전자의 내비게이션 의존 행태 분석

박유진, 이경재, 추상호

Recursive Neurosymbolic Optimization for the Semantic Repair of Structurally Inconsistent Household Travel Surveys

Lucas Kervin Joshua, 이준욱, 김인희

데이터 기반 운전행태 평가지표 최적안 선정 방법론 개발

A Methodological Framework for Optimal Selection of Data-Driven Driving Behavior Evaluation Indicators

김민경

(한양대학교 스마트시티공학과, 석박사통합과정)

오철

(한양대학교 교통물류공학과, 교수)

본 연구는 기존 교통문화지수에서 활용되는 운전행태 평가지표에 대해 데이터 기반 평가지표로 개선하여 지표의 신뢰성과 정책 활용성을 제고하기 위한 방법론을 제안한다. 교통문화지수는 국민의 교통안전의식과 교통문화 수준을 평가하는 대표적인 지표로 활용되고 있으나, 현재 운전행태 평가지표는 설문조사 및 관측조사 방식에 의존하고 있어 객관성 부족, 표본 편향, 실제 운전행태 반영의 한계 등의 문제가 존재한다. 특히 운전행태는 교통사고를 유발하는 위험 운전이벤트의 직접적인 요인이므로 운전행태에 대한 평가는 중요하다. 이에 본 연구에서는 교통법규 위반 데이터를 활용하여 운전행태 평가지표를 데이터 기반 정량지표로 재구성하고, 다양한 노출도 변수(인구수, 도로연장, 교통량, 자동차 등록대수, 단속카메라 수 등)를 반영하여 다양한 산출방안을 도출하였다. 노출도를 달리 사용하는 경우, 동일 지표에 대해서도 여러 산출식이 가능함에 따라, 각 산출방안의 적정성을 객관적으로 평가하기 위한 평가 방법론을 구축하였다. 본 연구에서 제시하는 평가 방법론은 변별력, 변동성, 설명력의 세 가지 성능지표로 평가되며 세 가지 성능지표를 모두 고려하여 평가지표별 최적의 산출방안을 선정한다.

본 연구에서는 변별력, 변동성, 설명력 분석을 통해 각 점수를 산출하고 점수를 통합하여 통합 점수를 산출한다. 먼저, 변별력의 경우 지자체 간 교통안전 수준의 차이를 구분할 수 있는 능력을 의미하며, 교통사고율 기반 등급을 설정한 후 ANOVA 분석을 수행하여 교통안전 등급 간 평균 차이를 검정하였다. ANOVA 분석 결과로 산출된 F값을 활용하여 각 산출방안의 변별력을 정량화하였다. 다음으로 변동성은 데이터 기반 산출방안으로 변경됨에 따른 지자체 순위 변동 정도를 의미하며, 기존 산출방안과 데이터 기반 산출방안 간 순위 차이를 통해 산출하였다. 순위 변동이 크게 발생하는 산출방안의 경우 정책 수용성이 저하될 수 있으므로, 변동이 적은 산출방안에 높은 점수를 부여하였다. 마지막으로 설명력은 평가지표가 실제 교통사고 발생 수준을 얼마나 잘 설명하는지를 나타내는 지표로, 교통사고율 (인구 및 도로연장당 교통사고 건수)와의 상관분석을 통해 평가하였다. 상관분석 결과, 상관계수는 평가지표와 교통사고율 간의 논리적 인과관계를 의미하고, 유의확률은 통계적 신뢰성을 의미하여 두 가지를 모두 고려하여 설명력 점수 산출에 활용하였다. 논리적 인과관계와 유의확률에 대해 각각 0.8과 0.2의 가중치를 적용하여 설명력 점수를 산출하였다. 이와 같이 산출된 변별력, 변동성, 설명력 점수는 평가지표 산출방안의 최적안 선정 시 활용할 통합 점수 산출에 반영되었다. 본 연구에서는 정책적 활용성을 고려하여 설명력에 가장 높은 가중치(0.4)를 부여하고, 변별력과 변동성에는 각각 0.3의 가중치를 적용하였다. 이를 통해 각 산출방안별 종합 점수를 산출하고, 가장 높은 점수를 가지는 산출방안을 최적안으로 선정하였다. 분석 결과, 교통법규 위반 데이터를 기반으로 다양한 노출도를 반영한 데이터 기반 산출방안은 기존 조사 기반 방안에 비해 교통사고와의 상관성이 향상되었으며, 지표의 객관성과 설명력이 개선되는 것으로 나타났다. 또한 변별력, 변동성, 설명력을 종합적으로 고려한 평가 방법은 다양한 산출방안 중 최적안을 체계적으로 선정하는데 효과적인 것으로 확인되었다.

본 연구에서 제안한 데이터 기반 운전행태 평가지표 및 최적안 선정 방법론은 기존 교통문화지수의 한계를 보완하고, 지자체 교통안전 정책 수립 및 평가에 활용 가능한 객관적이고 신뢰성 높은 지표 개발에 기여할 수 있다. 향후 전국 단위 데이터 수집 및 다년도 분석을 통해 결과의 일반화를 검증하고, AHP 등 전문가 기반 가중치 설정을 적용하여 평가체계를 보다 정교하게 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

내비게이션 모빌리티 데이터 기반 방향별 교통량 추정 AI 모형 기법 연구

An AI-Based Method for Estimating Directional Traffic Volumes Using Navigation Mobility Data

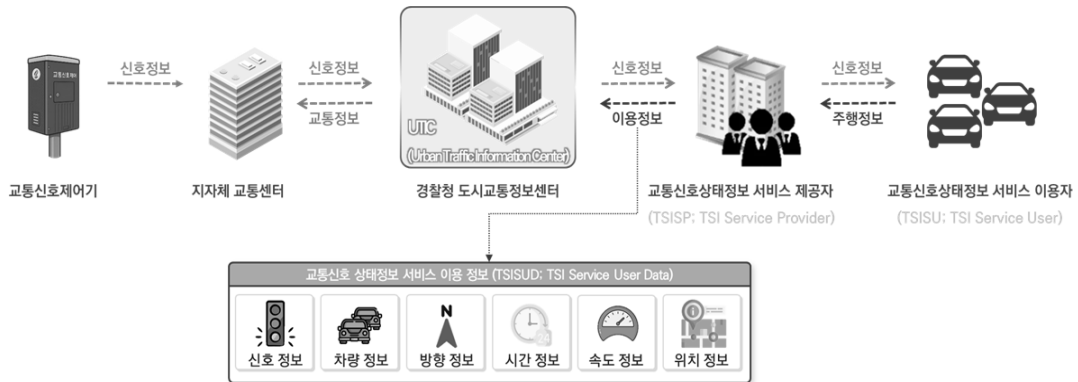
오상태

김진태

(국립한국교통대학교 교통시스템공학과, 박사후연구원) (국립한국교통대학교 교통시스템공학과, 교수)

2000년대 이후 정보통신기술(Information and Communications Technology; ICT), 지능형교통체계(Intelligent Transport System; ITS), 인공지능(Artificial Intelligence; AI)의 발전으로 영상, 라이다, 레이더 기반의 비매설식 검지기를 활용한 스마트교차로 기술이 등장하였다. 이러한 기술은 기존 루프검지기 대비 설치 제약이 적고 다양한 교통 데이터를 수집할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나 높은 설치비용과 유지관리 부담, 통신 장애 및 기상조건에 따른 검지 오류 등으로 인해 데이터의 일관성과 신뢰성을 확보하는 데 한계가 존재한다. 이로 인해 모든 교차로를 실시간 검지 기반으로 운영하는 데에는 여전히 현실적인 제약이 따른다.

최근에는 민간 내비게이션 서비스의 확산과 신호정보 개방 정책을 통해 새로운 데이터 환경이 조성되고 있다. 특히 교통신호상태정보 서비스 이용정보(Traffic Signal Information Service User Data; TSISUD)는 이용자의 이동 과정에서 자연스럽게 생성되는 데이터로, 기존 검지기가 설치되지 않은 구간까지 포함하여 교통흐름을 광범위하게 반영할 수 있다. 이는 교통정보 수집 체계를 인프라 중심에서 이용자 중심으로 전환할 수 있는 가능성을 제시한다.



<그림 1> 경찰청 실시간 교통신호정보개방을 통한 정보흐름

본 연구는 이러한 변화에 주목하여 TSISUD를 활용한 신호교차로 교통량 추정 및 신호운영 적용 방안을 제시한다. 서비스 이용률(Service Usage Rate; SUR)을 10~90%로 설정하여 부분 관측 환경을 구성하고, 시계열 학습 모형을 적용하여 교통량을 추정하였다. LSTM, TimeDistributed, Random Forest 모형을 비교·분석한 결과, SUR 40% 이상 조건에서 평균절대오차 약 10대 수준과 결정계수 0.99 이상의 높은 정확도를 확보하였다. 이는 일부 이용자 데이터만으로도 전체 교통량의 시계열 변동을 안정적으로 재현할 수 있음을 의미한다.

이러한 결과를 바탕으로, 도시부 교차로 신호운영의 개선 가능성을 검토하였다. 현재 국내 신호운영체계는 정주기식 및 TOD 기반 방식에 의존하고 있어 24시간 교통패턴 반영의 한계, 검지기 오류에 따른 데이터 신뢰성 저하 등의 문제를 내포하고 있다. 본 연구에서 제안한 TSISUD 기반 접근은 이러한 한계를 보완할 수 있는 대안으로, 부분 관측 데이터를 활용한 교통량 추정과 이를 기반으로 한 신호설계 가능성을 제시한다.

결과적으로 본 연구는 기존의 특정 시점 관측 교통량에 의존한 정적 신호설계 방식에서 벗어나, 과거 이력 학습 기반의 24시간 교통량 추정 및 데이터 중심 신호운영 체계로의 전환 가능성을 제시한다.

화물차량 특성 및 운행정보 분포 재구성을 위한 생성모형 접근

A generative approach to reconstructing freight vehicle attribute and operation distributions

이희창

(서울대학교 건설환경공학부, 석박사통합과정)

김동규

(서울대학교 건설환경공학부, 교수)

화물차량은 전 국토에 구축된 도로 인프라를 기반으로 운행된다는 점에서 다른 화물 운송 수단에 비해 방대한 물동량을 처리할 수 있으며, 국가 공급망에서 핵심적인 역할을 수행한다. 특히 화물차량은 운송 화물의 종류와 적재 조건에 따라 차량 특성과 운행 패턴의 이질성이 크게 나타난다. 이러한 이질성은 여객차량과 동일한 도로 공간을 공유하는 환경에서 교통 흐름과 환경에 복합적인 영향을 미친다. 예를 들어, 화물차량은 높은 적재 하중으로 인해 오르막 구간에서 속도가 크게 저하되며, 이는 도로 상류 방향으로 교통 정체를 유발할 수 있다. 또한 화물차량은 전체 차량 대비 등록 비중과 운행거리 비중은 약 5~10% 수준에 불과하지만, 교통부문 이산화탄소 배출량의 20~30%를 차지하는 것으로 보고되고 있다. 이와 같이 화물차량이 교통 및 환경에 미치는 영향을 정확히 이해하고 정책 효과를 정량적으로 평가하기 위해서는, 도로 상에서 운행되는 화물차량의 특성과 운행 행태의 분포를 정밀하게 파악하는 것이 필수적이다.

여객 이동이 개인의 활동 스케줄에 의해 결정되는 것과 달리, 화물 이동은 운송 수요와 화물차량 공급 간의 복잡한 상호작용에 의해 형성된다. 화물 운송은 주로 민간 기업 중심으로 이루어지며, 다수의 이해관계자가 관여하는 특성으로 인해 운행 데이터를 통합적으로 수집하기 어렵다. 또한 기업 간 경쟁 관계와 개인정보 보호 문제 역시 데이터를 확보를 제한하는 주요 요인으로 작용한다. 이러한 제약으로 인해 화물 운행 특성을 직접적으로 관측할 수 있는 자료는 차량 등록 및 검사 데이터와 주기적으로 수행되는 화물차 통행조사에 제한되어 있다.

본 연구는 차량 등록 및 검사 데이터와 화물차 통행조사를 통합하여, 화물차량 특성 및 운행정보의 고차원 분포를 재구성하는 생성모형 기반 접근법을 제안한다. 구체적으로, 고차원 분포 학습에 적합한 딥 생성모형인 변분 오토인코더를 활용하여 통행조사로부터 관측된 화물차량 특성 및 운행정보의 결합 분포를 학습한다. 또한 화물차 통행조사가 갖는 응답 누락 및 표본 편향 문제를 고려하여, 생성된 분포를 차량 등록 및 검사 데이터 기반으로 보정하는 절차를 포함한다.

제안된 방법으로 도로 상에서 운행되는 화물차량의 특성 분포를 보다 정밀하게 추정할 수 있다. 이는 행위자기반모형이 실제 화물 운송 행태를 보다 현실적으로 재현하는 데 기여하며, 화물차량 관련 정책이 교통 상태 및 환경에 미치는 파급효과를 정량적으로 평가하는 데 활용될 수 있다.

사사: 이 연구는 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업, 한국연구재단 4단계 BK21 사업 및 한국연구재단(RS-2025-25428362, 다중 이산-연속 선택 모형의 유연성 및 예측력 향상을 위한 이론-데이터 융합 접근법 개발)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

통신사 경로데이터와 교통카드의 확률적 융합을 통한 도시 규모 교통수단별 통행 재구축

City-Scale Travel Mode Reconstruction through
Probabilistic Fusion of Telecom Trajectory and Smart Card Data

김태우

(가천대학교 스마트시티학과,
학부생)

박병규

(버지니아대학교 정보 시스템 및
토목환경공학과, 교수)

여지호

(가천대학교 스마트시티학과,
조교수)

도시 교통 계획의 핵심은 시민의 통행 패턴, 즉 "누가, 언제, 어디서 어디로, 어떤 수단으로 이동하는가"를 정확히 파악하는 것이다. 그러나 현재 단일 데이터 소스로는 이 질문에 완전히 답할 수 없다. 가구통행실태조사(HTS)는 전 수단을 포함하나 5년 주기 소규모 표본이며, 교통카드는 대중교통만 포착하고, GPS 프로브는 장착 차량에 한정된다. 최근 통신사 경로데이터가 인구 규모의 전수 이동 궤적을 도로 링크 단위(~50m)로 제공하면서 새로운 가능성을 열고 있으나, 전체 레코드의 95.2%를 차지하는 도로 구간에서 교통수단이 구분되지 않으며, 개인정보 보호를 위해 단말기 식별자(ID)가 삭제되어 교통카드와의 직접적인 1:1 매칭이 불가능하다는 근본적 한계가 있다. 본 연구는 이러한 제약 조건 하에서, 통신사 경로데이터를 뼈대(backbone)로 하고 교통카드 전수 데이터를 증거(evidence)로 활용하여, 서울 하루 330만 통행을 도보·버스·승용차 등 수단이 구분된 끊김 없는 통행(seamless trip)으로 재구축하는 계층적 확률 융합(Hierarchical Probabilistic Fusion, HPF) 프레임워크를 제안한다.

HPF 프레임워크는 "확실한 것부터 처리하고, 불확실한 것은 나중에" 원칙에 따라 4단계 계층 구조로 설계되었다. Level 1(Trip 컨테이너 추출)에서는 376백만 통신사 레코드를 구간 유형(도로·지하철·환승)별 블록 시퀀스로 파싱하여 330만 Trip을 추출한다. 이때 Trip 내 환승(type=5) 블록의 존재 여부만으로 대중교통 통행 135만 건(41.1%)을 100% 규칙 기반으로 즉시 확정하며, 나머지 도로만 Trip 192만 건(58.1%)을 후속 단계의 수단 판별 대상으로 분리한다. Level 2(증거 매칭)에서는 개인 ID 없이 시간·공간·경로 유사성에 기반한 확률적 시공간 매칭을 수행한다. 지하철의 경우, 블록 내 링크 시퀀스에서 경유역을 직접 추출하는 방식으로 280만 블록에 대해 96.1%의 매칭률을 달성하였다. 버스의 경우, 도로 블록의 링크 시퀀스와 GTFS 버스 노선의 정류장-링크 매핑을 활용하여 노선 경유 여부를 판정하고, 교통카드 버스 Leg과의 시공간 매칭으로 증거를 부착한다. Level 3(수단 판별)에서는 증거가 부착되지 않은 도로 블록에 교통수단을 부여하기 위해 세 가지 독립적 방법을 결합한다. 첫째, HMM(은닉 마르코프 모델)으로 링크별 속도 시퀀스에서 도보 구간과 차량 구간의 전환점을 자동 탐지하여 분리한다. 둘째, GTFS 노선 폴리라인과 도로 링크의 공간적 중첩률로 버스 노선 위를 달리는 블록을 식별한다. 셋째, 속도·정류장 정보를 의도적으로 배제한 독립 피쳐(도로 등급, 통행 맥락 등) 기반 K-NN으로 앞선 두 방법의 결과를 교차 검증한다. 세 방법이 서로 다른 정보원(속도, 인프라, 맥락)에서 독립적으로 판정하므로, 도시 환경에서 구조적으로 발생하는 버스·승용차 속도 겹침(15~60 km/h) 문제를 상호 보완적으로 해결할 수 있다. Level 4(검증 및 알고리즘 튜닝)에서는 개별 통행의 정오를 1:1로 따질 수 없는 제약 하에서, 알고리즘 결과의 집계 분포를 외부 참값과 비교하여 검증하고 파라미터를 반복 튜닝한다. 버스는 교통카드 전수 데이터(814만 트립체인)의 시간대별 통행량, 노선별 이용량, 통행거리 분포를 참값으로 활용하고, 차량은 서울시 TOPIS 139개 검지 지점의 링크별 시간대별 교통량과 비교한다. 각 비교에 KS 검정, R^2 , χ^2 등 통계 검정을 적용하여, 분포의 형태가 현실과 부합할 때까지 HMM 전이 확률, 노선 중첩 임계값, K-NN 가중치 등 핵심 파라미터를 조정한다.

본 연구의 학술적 기여는 다음과 같다. 첫째, 개인 ID 없이 인구 규모에서 확률적으로 다중 소스 교통 데이터를 융합하는 프라이버시 보존형 프레임워크를 제시하며, 이는 전 세계적 개인정보 보호 강화 추세에서 점점 더 보편화된 제약 조건에 대한 방법론적 해법이다. 둘째, 기존 CDR(기지국 단위, 수백m~km)이 아닌 도로 링크 단위(~50m) 해상도에서 교통수단을 분류하는 것은 기존 문헌에서 극히 드물다. 셋째, 330만 Trip 규모에서 First Mile/Last Mile을 실제 도로 네트워크 기반으로 정량화하여, 역별 접근성 평가와 라스트마일 모빌리티 수요 예측에 활용할 수 있다. 넷째, 본 프레임워크는 통신사 경로데이터와 교통카드가 존재하는 모든 날짜·도시로 확장 가능하며, HTS 캘리브레이션을 통해 교통 시뮬레이션과 정책 분석의 입력 데이터로 활용 가능한 합성 통행 데이터를 생산할 수 있다.

사사: 본 연구는 한국 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었습니다(No. RS-2024-00415360).

트립체인 데이터 기반 LLM을 활용한 자가용 운전자의 내비게이션 의존 행태 분석

Analyzing navigation dependency behavior of private car drivers using LLM-based trip chain data

박유진

(홍익대학교 도시계획과,
박사과정)

이경재

(홍익대학교 도시공학과,
연구교수)

추상호

(홍익대학교 도시공학과,
교수)

차량 내비게이션의 보편화에도 불구하고, 운전자마다 내비게이션에 의존하는 정도는 상이하게 나타난다. 내비게이션 의존 행태는 단순한 기기 사용 여부를 넘어, 경로 선택 방식과 돌발 상황 대응 등 운전자의 주행 의사결정 전반에 영향을 미친다. 이는 통행 패턴과 교통 흐름에 변화를 유발할 수 있으며, 나아가 교통 수요 예측의 정확성에도 밀접하게 연관된다.

그러나 내비게이션 의존 정도는 운전자의 개인적 성향, 통행 목적, 실시간 교통 상황 등 다양한 요인에 의해 결정된다. 따라서 통행 속성 데이터만으로는 이러한 행태 차이를 충분히 설명하기 어려우며, 운전자의 주관적 판단과 심리적 요인, 그리고 교통 환경이 함께 고려되어야 한다. 이에 본 연구는 운전 전후 수집된 운전자의 음성전사데이터 및 통행 전반의 맥락이 담긴 문장 데이터를 활용하여, LLM(Large Language Model)을 통해 내비게이션 의존 행태 관련 변수를 추출하고, GPS 기반 교통상황 변수 및 운전자 특성과의 연계 분석을 통해 자가용 운전자의 내비게이션 의존 행태에 영향을 미치는 요인을 규명하는 것을 목적으로 한다.

본 연구는 국가정보화진흥원(NIA)의 트립체인 데이터(승용차)를 활용한다. 해당 데이터는 운전자의 인적사항, 통행 조건, 출도착 관련 정보로 구성된 트립 데이터, 일정시간 간격의 위경도 좌표 및 속도 정보가 포함된 GPS 데이터, 운전자의 음성을 텍스트로 변환한 음성전사 데이터, 그리고 트립 전반의 맥락을 Q&A 형태의 자연어로 작성한 문장데이터로 구성된다.

연구는 크게 세 단계의 분석 과정으로 구성된다. 먼저 GPS 데이터를 활용하여 각 통행별 교통상황 변수를 구축한다. 정체 여부, 정체 정도, 통행 소요시간 등의 변수를 산출하여 통행 당시의 도로 조건을 정량적으로 반영한다. 다음으로 LLM을 활용하여 음성전사 데이터와 문장 데이터로부터 내비게이션 의존 관련 정보를 추출한다. 마지막으로 위 과정을 통해 구축된 변수들을 종합하여 내비게이션 의존 정도에 영향을 미치는 요인을 분석한다.

본 연구는 텍스트 기반의 비정형 데이터와 GPS 기반의 정형 데이터를 LLM을 통해 분석함으로써, 기존 통행 데이터만으로는 파악하기 어려웠던 운전자의 내비게이션 의존 행태를 심층적으로 규명하고, 나아가 운전자 행태 기반의 맞춤형 교통정보 서비스 설계에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Recursive Neurosymbolic Optimization for the Semantic Repair of Structurally Inconsistent Household Travel Surveys

Lucas Kervin Joshua
(KAIST, PhD Student)

이준욱
(KAIST, MS Student)

김인희
(KAIST, 부교수)

Household travel surveys (HTS) provide the empirical basis for activity-based transport modelling; however, many survey records contain physical and behavioural inconsistencies. In the Daejeon 2021 Household Interview Survey (HIS), 66.0% of 4,057 person-day records violate at least one of 15 formally grounded axioms, yielding a Structural Health Score of $S = 0.34$. Heuristic cleaning typically discards these records, introducing population bias, removing behavioural information, and propagating distortions into downstream microsimulation. We propose the Recursive Neurosymbolic Optimizer (RNO), a Critic - Actor framework that replaces record deletion with semantic repair. A deterministic Symbolic Auditor identifies axiom violations and produces structured diagnostics; a large language model (LLM) constrained by an axiom manifest resolves violations through mode substitution, timestamp adjustment, and semantic consolidation, preserving original activity intent. A recursive feedback loop iterates up to three passes per record, and a Temporal Elasticity mechanism provides global rescheduling authority for temporally infeasible chains. Applied to the Daejeon 2021 HIS, the RNO repaired all 2,677 broken records, raising the Structural Health Score from 0.34 to 1.00; trip-count statistics converged toward the clean baseline (mean 2.49 vs. 2.32), and the proportion of records with five or more trips fell from 18.8% to 1.3%. The framework is model-agnostic, achieving equivalent repair quality with cloud-based (Gemini 2.5 Flash Lite) and local open-weight (Qwen 2.5 7B) models. The batch of 2,677 records was processed without failure in approximately 10 hours, yielding an axiom-compliant 4,057-person dataset for Daejeon traffic microsimulation, transit network design, and equity analysis.

사사: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2025-02223612).

대중교통 계획 및 운영

Session

C-5

RAPTOR 기반 선택지 집합 생성과 스마트카드 매칭을 활용한 대중교통 경로선택 모델
김민수, 여지호

일반화 서열로짓 모형 기반 김포 수상버스 도입 수용요인 분석
이재완, 이재영, 김도경

오픈 데이터를 활용한 지하철 승·하차 승객 수 산출 방법론
하창준, 조항훈, 유승민, 유소영, 김정화, 최성택

광역BRT 수단선택 행태 모형화 연구: 충청권 사례를 중심으로
정유미, 도명식, 김세현

RAPTOR 기반 선택지 집합 생성과 스마트카드 매칭을 활용한 대중교통 경로선택 모델

Transit Route Choice Model Using RAPTOR-Based Choice Set Generation and
Smart Card Data Matching

김민수

(가천대학교 스마트시티학과, 박사과정)

여지호

(가천대학교 스마트시티학과, 부교수)

대중교통 경로선택 모형은 교통수요 예측과 정책 평가의 핵심 요소이나, 승객의 실제 이용 경로를 직접 관측하기 어렵다는 근본적 한계가 있다. 본 연구는 RAPTOR 알고리즘 기반의 경로 탐색 엔진을 활용하여 대안 경로 집합을 생성하고, 수도권 스마트카드(AFC) 데이터와의 유사도 매칭을 통해 경로선택 모형을 추정하는 방법론을 제안한다.

유사도 매칭은 노선명 일치도(route jaccard), 교통수단 조합(mode), 경유지 순서(sequence LCS)의 3개 지표를 복합 가중치(route=0.40, mode=0.39, sequence=0.21)로 결합하며, 2단계 격자 탐색을 통해 가중치를 최적화하였다. 경유지 순서 비교 시, 스마트카드의 승·하차 정류장 정보만으로는 중간 경유지를 알 수 없으므로 GTFS(General Transit Feed Specification)의 노선별 정류장 순서 데이터를 결합하여 경로상 전체 정류장 시퀀스를 복원하였다. 이를 통해 동일 OD라도 경유 정류장이 다른 대안 경로를 구분할 수 있었다. 매칭임계값 0.5 이상인 약 527,000개 OD 쌍, 196만 개 대안으로 학습 데이터를 구축하였다.

기본 모형으로 조건부 로짓(MNL)을 추정하였으며, 통합 차내시간(IVT), 로그 변환 접근·하차 도보시간, 환승 횟수, 요금, 수단 더미(버스, 철도, GTX)를 설명변수로 설정하였다. 모든 계수의 부호가 경제이론과 일치하며, 테스트셋 McFadden $R^2=0.530$, 1순위 정답률(FPR) 72.5%를 달성하였다.

딤러닝 모형 5종(DNN, TasteNet, ResLogit, ASU-DNN, L-MNL)을 비교 추정한 결과, ASU-DNN이 $R^2=0.686$ 으로 최고 성능을 보였으나 파라미터 해석이 불가능하였다. TasteNet은 $R^2=0.542$, FPR 73.9%로 MNL 대비 성능이 향상되면서도 모든 계수 부호가 정상인 유일한 딤러닝 모형이었다. SHAP 분석 결과, 전 모형에서 수단 종류 및 접근·하차 시간이 차내시간보다 경로선택에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 해석 가능 모형과 블랙박스 모형이 동일한 결론을 도출함을 확인하였다.

본 연구는 스마트카드 데이터와 경로 탐색 엔진의 결합을 통해 별도의 경로선택 조사 없이 대규모 경로선택 모형을 구축할 수 있음을 실증하였으며, 추정된 파라미터는 수도권 대중교통 시뮬레이션(DTUMOS)에 직접 활용 가능하다.

사사: 이 (성과)는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00415360).

일반화 서열로짓 모형 기반 김포 수상버스 도입 수용요인 분석

Acceptance Factors of Water Transport in Gimpo: A Generalized Ordered Logit Model

이재완

(서울시립대학교
교통공학과, 석사과정)

이채영

(서울시립대학교
교통공학과, 석사과정)

김도경

(서울시립대학교 교통공학과
·도시빅데이터융합학과, 겸용교수)

수도권 서부 성장도시 김포시는 지속적인 인구 증가와 서울 방면 통근통행 집중으로 교통혼잡이 심화되고 있으며, 김포한강2 콤플렉스도시 개발 등 신규 택지 공급이 확대됨에 따라 김포골드라인·김포한강로·국도48호선 등 주요 교통축의 과부하가 더욱 가중될 전망이다. 현행 교통 인프라는 철도·도로 중심의 단일 축 구조로, 늘어나는 수요를 감당하기에 구조적 한계가 있어 대안적 교통수단 도입에 대한 논의가 필요한 시점이다. 이에 본 연구는 수도권 서부 교통난의 대안으로 거론되는 김포 수상버스 도입 필요성에 대한 시민 인식을 실증적으로 분석하고, 도입 필요성 인식에 영향을 미치는 사회경제적·행태적 결정요인을 규명하는 것을 목적으로 한다. 아울러 이항로짓 모형을 통해 요금 수준(1,000원·3,000원·5,000원)별 이용의사 결정요인의 변화 패턴을 비교하여 적정 요금 정책 수립을 위한 근거를 마련하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 서울시, 김포시, 고양시 거주자 총 806명을 대상으로 설문조사를 실시하였으며, 수상 교통수단 도입에 대한 인식 수준을 종속변수로 설정하였다. 종속변수는 “필요없다”, “보통이다”, “필요하다”의 3단계 리커트 척도로 구성된 순서형 변수로 정의하였다. 독립변수는 사회경제적 특성(성별, 연령, 소득, 거주지역), 한강 이용 특성(한강 방문빈도, 승용차 이용 여부, 쾌속선 이용 경험), 이용의사 특성(최대지불의사, 왕복 이용의사, 이용 시점 등)으로 구성하여 총 10개의 변수로 설정하였다.

분석 방법으로는 순서형 종속변수를 효과적으로 설명할 수 있는 일반화 서열로짓모형(Generalized Ordered Logit Model, GOLM)을 적용하였다. 해당 모형은 전통적인 서열로짓모형의 평행선 가정(parallel lines assumption)을 완화하여 변수별로 상이한 영향력을 반영할 수 있다는 장점을 가지며, 정책 인식과 같이 서열형 응답 데이터를 분석하는 데 적합하다. 본 연구에서는 Brant 검정을 통해 비례오즈 가정을 검토하였으며, 분석 결과 모든 변수에서 해당 가정이 충족되어 모형의 안정성과 적합성이 확보되었다.

분석결과, 수상 교통수단 도입 수용성은 사회경제적 특성보다 이용의사와 지불의사와 같은 행태적 요인에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 왕복 이용의사는 가장 강력한 영향요인으로 확인되어 통근 목적의 반복 이용 가능성이 수용성 형성에 핵심적으로 작용함을 보여준다. 또한 최대지불의사(WTP)는 수용성 증가에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 요금 수용 가능성이 중요한 결정요인임이 확인되었다. 반면 성별, 소득, 거주지역 등의 변수는 유의한 영향을 미치지 않아 개인의 인구학적 특성보다 실제 이용 행태가 더 중요한 것으로 나타났다. 거주지역별 분석에서도 지역 간 차이는 크지 않았으며, 이용 목적에 따른 차이가 상대적으로 크게 나타났다. 특히 평일 왕복 통근 조건에서는 수용성이 높게 나타난 반면, 주말 편도 이용과 같은 관광 목적에서는 수용성이 낮은 것으로 분석되어 수상 교통수단의 주요 수요가 통근 중심으로 형성될 가능성이 확인되었다.

이러한 결과를 바탕으로, 수상 교통수단 도입 시 통근 중심의 노선 및 운영 전략을 우선적으로 고려할 필요가 있으며, 이용자의 지불의사를 반영한 적정 요금 설계가 중요하다. 또한 초기 도입 단계에서는 이용 경험 확대를 통해 수용성을 제고하는 전략이 요구된다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. RS-2022-NR068754)

오픈 데이터를 활용한 지하철 승·하차 승객 수 산출 방법론

A Methodology for Estimating Subway Boarding and Alighting Passengers Using Open Data

허창준	조항훈	유승민	유소영	김정화	최성택
(한양대학교 도시공학과, 석사과정)	(한양대학교 도시공학과, 박사후연구원)	(한국철도 기술연구원, 철도디지털트윈 연구실장)	(한국철도 기술연구원, 연구전략실장)	(경기대학교 도시·교통공학과, 교수)	(한양대학교 도시공학과, 교수)

수도권 대중교통의 핵심 축인 수도권 도시철도는 노선 확대와 복합 개발 등으로 인해 철도 역사의 대규모화 및 고심도(高深度)화가 진행 되어왔다. 특히, 출퇴근 시간대에는 특정 승강장이나, 특정 열차 칸에 승객이 집중되는 현상이 빈번하게 발생하였으며, 이는 승강장 혼잡도 증가, 승·하차 지연, 열차 정시성 저하 및 안전사고 위험을 초래하는 주요 원인이 되었다. 해당 문제를 해결하기 위해 최근 보행 시뮬레이션과 디지털 트윈 기술을 활용한 안전 대응 시나리오 연구 등이 진행되고 있으나, 실제 운영 현장에서 활용할 수 있는 열차 한 편성 및 한 칸 단위의 미시적 단위의 승·하차 승객 수를 공공 데이터만으로 산출하는 데에는 여전히 한계가 존재하였다. 이에 본 연구는 서울역 1호선과 4호선을 대상으로 공공 데이터와 실측 자료를 결합하여 미시적 수준의 승객 수를 산출하는 방법론 두 가지를 제안하였다. 1) 승·하차인원정보 기반 추정 방법론은 분석을 위해 교통카드 빅데이터 통합정보시스템의 정류장별 이용량, 서울교통공사의 열차시간표를 활용하여 시간대별 상·하행 열차 배차 비중에 따라 카드 데이터 기반으로 집계된 시간대별 승·하차 승객 수를 단순히 분배하여 산출하는 방식이고, 2) 실측 및 API 기반 추정 방법론의 경우 SK OpenAPI 지오비전퍼즐의 칸별 하차비율 및 혼잡도 자료를 수집하였고, 또 2025년 10월 15일 수요일 오후 18시에서 19시 사이 서울역 현장에서 직접 촬영한 하차 영상 자료를 실측 데이터로 활용하였다. 촬영 영상을 통해 특정 열차 칸의 실제 하차 승객 수를 집계하고 여기에 API를 통해 확보한 칸별 평균 하차 비율을 적용하여 열차 한 편성의 전체 하차량을 추산하였으며, 인접 역(시청, 남영, 회현, 숙대입구역)과의 칸별 혼잡도 변동량을 계산하여 최종적인 승차 승객 수를 도출하였다. 본 연구의 공간적 범위는 서울역 1호선과 4호선 상·하행 플랫폼이며, 시간적 범위는 2025년 7월부터 10월까지 수요일 데이터를 평균하여 활용하였다. 18시에서 19시 사이의 서울역 데이터를 두 방법론을 분석한 결과 두 방법론 간 승객 수 추정치에서 공통으로 오전 침두시에는 하차가, 오후 침두시에는 승하 승객 수가 높게 나타나 서울역의 통근 통행 경향이 나타났으나, 승·하차인원정보 기반 추정 방법론에서는 1호선 이용객 비중이 더 높게 나타났지만, 실측 및 API 기반 추정 방법론에서는 4호선의 승객 수가 더 많게 산출되었다. 이러한 차이는 카드 데이터가 개찰구의 카드 태그 지점 기준으로 집계되기 때문에 발생한 것으로 해석하였다. 또한, 서울역의 구조적 특성상 버스환승센터와 고속열차 승강장으로의 접근성이 1호선 측 개찰구에 편중되어 있어, 실제 4호선을 이용하였다더라도 1호선 측 개찰구를 이용하는 승객이 많음을 시사한다. 본 연구는 접근이 쉬운 오픈 데이터만을 활용하여 열차 한 편성, 및 한 칸 단위의 미시적 수요를 추정할 수 있는 방법론을 제시했다는 점에서 의의를 가진다. 또한, 본 방법론을 통해 산출된 데이터는 철도 역사 내부의 보행 시뮬레이션 고도화, 플랫폼 운영 효율화, 그리고 비상시 안전·대피 대응 계획 수립의 정량적 근거로 활용될 수 있으며, 역사 리모델링이나 시설 배치 조정 등 혼잡 완화를 위한 중장기적 계획 수립에 기반이 될 수 있다. 다만, API 데이터 제공 특성상 평균으로 인한 오차 가능성은 한계로 남으며, 향후에는 AI 영상 분석(Object Detection) 등의 기술을 도입하여 표본을 확대하고 환승 수요를 정밀하게 보정하는 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

사사: 본 연구는 정부(과학기술정보통신부) 재원인 한국연구재단(RS-2024-00415360)의 지원 및 한국철도기술연구원 기본사업(PK26314B0)의 연구비 지원으로 수행되었음.

광역BRT 수단선택 행태 모형화 연구: 충청권 사례를 중심으로

Modeling Preferences for Metropolitan BRT: A Case Study of Chungcheong Region

정유미

(국립한밭대학교, 박사수료)

도명식

(국립한밭대학교, 교수)

김세현

(국립한밭대학교, 교수)

수도권 중심의 국토 구조 완화와 권역별 자립적 생활·경제권 형성을 위한 '5극3특' 전략이 추진되고 있으나, 충청권은 행정 기능이 집적된 핵심 거점임에도 불구하고 광역 교통 인프라의 제약으로 인해 도시 간 연계성이 충분히 확보되지 못하고 있으며, 이에 따른 승용차 의존 구조가 지속되고 있다. 이러한 구조적 한계를 보완하기 위한 대안으로 광역 교통 연계성 강화를 위한 수단인 BRT가 주목받고 있으나, 수요 창출을 위해서는 서비스 속성뿐 아니라 이용자의 잠재적 심리 요인을 포함한 통합적 접근이 요구된다. 이에 본 연구는 혼합선택모형(HCM)을 활용하여 충청권 광역 통행에서 서비스 속성과 심리 요인이 BRT 수단 선택에 미치는 영향 구조를 실증적으로 규명하고, 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

본 연구는 충청권(대전·세종·충남·충북) 광역 통행권을 대상으로 통근·통학 통행자를 분석 대상으로 설정하였다. 이는 반복적 통행 특성을 가지는 이용자를 중심으로 광역 BRT의 잠재적 핵심 수요층을 반영하기 위한 것이다. 자료는 RP·SP 결합 설문을 통해 수집되었으며, 선택실험 기반 자료를 구축하였다. 설문은 개인 특성, 실제 통행행태(RP), 가상 선택실험(SP)으로 구성되었으며, SP 실험에서는 승용차, 철도, 시외버스, 광역 BRT를 대안으로 설정하고 통행시간, 환승시간, 환승횟수, 비용 등의 속성을 응답자의 RP 정보를 기반으로 변동시켜 개인별 선택 시나리오를 설계하였다. 또한 태도 및 인식 관련 문항은 5점 리커트 척도로 측정하였다.

분석 결과, 개인 특성 측면에서는 연령이 증가할수록 승용차 선택 가능성이 증가하는 반면(=0.050, $p<0.01$), 시외버스 선택 가능성은 감소하는 경향을 보였다(=-0.039, $p<0.05$). 또한 남성은 여성 대비 전반적으로 보다 적극적인 수단 선택 경향을 보였으며, 기혼자와 정규 통근자는 승용차 선호가 강화되는 것으로 나타났다. 서비스 속성 측면에서는 접근시간과 차내 통행시간이 모든 수단에서 유의한 음(-)의 영향을 미쳤으며, 특히 광역 BRT는 접근시간(=-0.016), 환승시간(=-0.025), 환승횟수(=-0.153)에 대해 상대적으로 높은 민감도를 보였다. 이는 환승 편의성이 BRT 선택에 있어 핵심적인 결정 요인임을 의미한다.

잠재변수 분석 결과, 신기술 태도(NT)는 광역 BRT 선택에 가장 큰 양(+)의 영향을 미치는 요인으로 나타났으며(=2.123, $p<0.01$), 신기술 수용성이 높은 이용자일수록 BRT 선택 경향이 증가하는 것으로 확인되었다. 이는 새로운 교통수단에 대한 수용성이 실제 선택 행태에 직접적으로 반영됨을 의미한다. 반면, 정시성 태도(PR)는 음(-)의 영향을 보여(=-0.190, $p<0.10$), 정시성을 중시할수록 BRT 선택 가능성이 감소하는 경향을 나타냈으며, 이는 BRT의 정시성에 대한 인식 또는 신뢰 수준이 선택에 영향을 미친 결과로 해석된다. 또한 사회적 용이성(SO)은 음(-)의 영향을 보였으며(=-0.753, $p<0.01$), 특히 고학력·기혼 집단에서 대중교통 이용에 대한 심리적 저항이 상대적으로 크게 나타났다. 이는 혼잡이나 낯선 환경에 대한 기피 성향이 대중교통 이용의 주요 심리적 장벽으로 작용함을 시사한다.

종합하면, 본 연구는 혼합선택모형(HCM)을 통해 서비스 속성뿐 아니라 이용자의 잠재적 심리 요인이 수단 선택에 중요한 영향을 미친다는 점을 실증적으로 확인하였다. 특히 신기술 태도(NT)는 주요 서비스 속성보다 더 큰 영향을 미치는 핵심 요인으로 나타나, 기존 이산선택모형에서 충분히 설명되지 못했던 선택 메커니즘을 보완하는 역할을 하는 것으로 나타났다. 이는 광역 BRT 정책이 단순한 인프라 구축 중심에서 벗어나 이용자의 인식과 경험을 반영한 '체감 품질' 중심으로 전환될 필요가 있음을 시사한다.

정책적으로는 환승 편의성 개선, 정시성 확보, 실시간 정보 제공 등 서비스 품질 향상이 우선적으로 고려되어야 하며, 충청권 거점 간 고속·정시·편리한 광역 대중교통 체계 구축을 위한 현실적인 대안으로 광역 BRT가 활용될 수 있다. 다만, 수요 창출을 위해서는 물리적 인프라 개선과 함께 이용자의 심리적 장벽 완화를 고려한 통합적 접근이 병행되어야 한다. 향후 연구에서는 노선 단위 수요 예측과 이용자 특성별 세분화 분석이 필요하며, 실제 BRT 도입 이후 RP 자료를 활용한 사후 검증을 통해 본 연구 결과의 적용 가능성을 검증할 필요가 있다.

지속가능 교통 및 환경정책

Session

C-6

차량번호인식장치 기반 서울 도심부 차량 배출량의 구조적 특성 분석

이인성, 임승빈, 고준호

Mobility as a Service는 어떻게 진화하고 있는가? : BERT 분석을 통한 2016년~2025년 궤적 추적

김성아, 이수기, 고준호, 여지호, 조항훈, 최성택

통행데이터를 활용한 탄소배출량 기반의 Eco-Score 설계 및 통행자 집단 분석

김동현, 구자현, 추상호

한국 승인 국가온실가스 배출계수식의 보정계수 기반 고도화 방법론 개발

김진재, 이채영, 김예원, 이승봉, 오관용, 김대진

차량번호인식장치 기반 서울 도심부 차량 배출량의 구조적 특성 분석

Analysis of the Structural Characteristics of Vehicular Emissions in Downtown Seoul
Using Automatic Number Plate Recognition Data

이인성

(한양대학교 도시대학원
도시·지역개발경영학과,
석사과정)

임승빈

(한양대학교 도시대학원
도시·지역개발경영학과,
석박사통합과정)

고준호

(한양대학교 도시대학원
도시·지역개발경영학과,
교수)

1. 연구 목적

본 연구는 한양도성 내부 진출입 차량으로부터 발생하는 차량 배출량을 정량적으로 산정하고, 차종별·유종별·시간대별·공간별 특성을 분석하여 도심부 자동차 배출의 주요 발생 특성과 고배출 양상을 파악하는 것을 목적으로 한다. 또한 O/D 기반 네트워크 분석을 통해 배출량 형성의 연결구조를 해석하고, 핵심 연결축과 중심 거점을 도출함으로써 도심부 대기환경 관리 및 교통정책 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 선행연구와의 차별성

기존 연구는 배출량의 정량적 산정과 시공간적 분포 파악, 또는 정책 시행 전후 대기질 변화를 통한 효과 검증에 주로 초점을 두었다. 반면 본 연구는 한양도성 녹색교통지역을 대상으로 진출입 차량자료와 차량 속성정보를 활용하여 개별 차량의 배출량을 산정하고, 이를 차종별·유종별·시간대별·공간별로 분석한 뒤, 진출입 지점 간 O/D 연결구조를 반영한 가중 방향 네트워크 분석으로 확장하였다. 진출입 지점을 노드로, 진출입 O/D와 오염물질별 배출량을 링크 가중치로 설정함으로써, 기존 공간분석에서 충분히 드러나지 않았던 배출량 형성의 핵심 연결축과 중심 거점을 규명하고자 한다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다.

3. 방법론

본 연구는 한양도성 녹색교통지역을 통행한 차량데이터를 바탕으로 자동차 배출량을 산정한다. 차량은 「CAPSS 도로이동오염원 분류체계」에 따라 차종별로 구분하고, 차량번호 인식데이터와 차량 정보데이터를 결합하여 통행 특성을 구축한다. 이후 각 차량이 O-D 간 최단경로를 주행하였다고 가정하고, 네이버 Directions 5 API를 활용하여 통행거리와 평균속도를 산정한다. 이를 바탕으로 차종, 유종, 연식에 따른 배출계수와 열화계수를 적용하여 CO, VOCs, NOx, PM-10, PM-2.5, NH₃ 및 CO₂의 배출량을 산정한다.

배출량 산정 결과를 바탕으로 한양도성 진출입 차량의 배출량 형성 구조를 파악하기 위해 O/D 기반 네트워크 분석을 수행한다. 진출입 지점을 노드로, 진입지점과 진출지점 간 O/D 관계를 방향성을 갖는 링크로 설정하고, 링크의 가중치는 통행량 및 오염물질별 배출량으로 정의한다. 이후 weighted degree centrality를 적용하여 각 진출입 지점의 유출입 강도를 산정하고, O/D 링크별 통행량과 배출량의 상위 링크 및 누적 기여율을 분석함으로써 배출량이 특정 연결축에 집중되는 구조를 파악한다. 이를 통해 한양도성 자동차 배출량의 핵심 연결축과 중심 거점을 도출하고자 한다.

사사: 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00415360)

Mobility as a Service는 어떻게 진화하고 있는가? : BERT 분석을 통한 2016년~2025년 궤적 추적

How has Mobility as a Service (MaaS) evolved?
: Tracing the trajectory using BERT-based analysis, 2016-2025

김성아	이수기	고준호	여지호	조향훈	최성백
(한양대학교 도시공학과, 박사후연구원)	(한양대학교 도시공학과, 교수)	(한양대학교 도시대학원, 교수)	(가천대학교 스마트시티학과, 부교수)	(한양대학교 도시공학과, 박사후연구원)	(한양대학교 도시공학과, 부교수)

Mobility as a Service(MaaS)는 다양한 교통수단과 서비스를 하나의 플랫폼에서 통합적으로 제공하는 이동서비스로, 2016년 헬싱키의 Whim 상용화를 기점으로 기술혁신적 통합형 이동서비스를 넘어 새로운 도시교통 패러다임으로 빠르게 확산되어 왔다. 특히 유럽, 아시아, 북미를 중심으로 다수의 MaaS 파일럿과 정책 실험이 추진되면서, MaaS는 통합, 거버넌스, 데이터, 형평성, 지속가능성을 포괄하는 복합적 정책 의제로 발전하고 있다. 그러나 기존 MaaS 연구는 주로 개념 정립, 사례 비교, 이용자 수용성, 서비스 설계 등 개념적·경험적 연구에 집중되어 왔으며, 관련 문헌리뷰 역시 시점과 대상이 제한된 정적 분류에 머무르는 경향이 있었다. 이에 본 연구는 2016년부터 2025년까지 축적된 MaaS 관련 SCI 학술문헌을 대상으로, MaaS 학술담론의 구조와 진화 과정을 동적으로 추적하고자 하였다. 분석자료는 WoS에 수록된 영어권 학술논문으로 한정하였으며, 학술대회 자료, 도서, 사설, 뉴스 기사, 정책보고서 등은 제외하였다. 분석방법으로는 SBERT 기반 문서 임베딩, UMAP 차원축소, HDBSCAN 군집화, c-TF-IDF 토픽 표현을 결합한 BERTopic 구조에 시간 단위 토픽 병합과 추적 기능을 추가한 BERTrend를 활용하였다. 분석 결과, MaaS 관련 논문은 2020년을 기점으로 급증한 이후 2025년까지 꾸준한 증가세를 보였으며, 초기에는 기술·운영체계 중심 저널의 비중이 컸으나, 최근에는 정책 및 소비자 행동 기반 저널로의 확장이 확인되었다. 토픽모델링 결과 총 12개의 주요 토픽이 도출되었고, 전기차, 모드선택, 개인맞춤형 서비스, 이용자 중심성, 스마트시티·모빌리티, 공유모빌리티, 통합 이동서비스, 이용자 수용성, 공공부문·지역기반, 일반 MaaS 서비스, 공공혁신, 비즈니스모델 등으로 라벨링되었다. 또한 시간이 지남에 따라 MaaS 토픽의 다양성이 확대된 반면, 2021년 이후에는 새로운 토픽의 급격한 추가보다 기존 토픽의 연속적 심화가 두드러졌다. 특히 이용자 수용성 토픽은 최근까지 증가 추세를 보였고, 개인맞춤형 서비스와 일반적인 MaaS 서비스 관련 토픽은 급증한 이후 차츰 감소되는 양상을 보였다. 토픽 유사도 분석에서는 전기차 및 스마트시티 관련 토픽이 상대적으로 독립적인 반면, 중심부 토픽들은 상호 밀접하게 연결되어 있었다. BERTrend 분석에서는 초기인 2016-2017년에는 글로벌 토픽의 연속성이 거의 확인되지 않았으나, 2018-2020년부터 흐름이 형성되기 시작했고, 2021년 이후에는 다수의 글로벌 토픽이 지속적으로 유지되며 시간적 연속성이 강화되었다. 특히 일부 backbone topic은 꾸준히 증가하였고, 최근에 새롭게 등장한 토픽과 특정 시기에만 강하게 부상한 토픽이 구분되었다. signals분석 결과, 2020-2021년에는 weak signal이 증가하여 아직 안정화되지 않은 토픽이 다수 생성되었으나, 2022년 이후 strong signal이 증가하고 noise topic은 사실상 사라지면서 MaaS 연구 주제가 점차 고착화되고 구조적으로 안정화되는 양상이 확인되었다. 2024년의 strong signal 증가는 단일 토픽 우세가 아니라 여러 강한 토픽이 동시에 유지되는 구조를 의미한다. 이는 MaaS 연구가 초기 개념 탐색 단계를 넘어, 다해적이면서도 지속성을 지닌 성숙한 학술담론으로 발전하고 있음을 시사한다. 본 연구의 결과는 MaaS 학술문헌을 대상으로 토픽의 시계열 변화와 토픽 간 구조적 관계를 함께 분석함으로써, 단순 연구동향 정리를 넘어 MaaS 학술담론의 재편 흐름과 진화 과정을 추적하였다는 점에서 의의를 가진다.

사사: 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-RS-2024-00415360)

통행데이터를 활용한 탄소배출량 기반의 Eco-Score 설계 및 통행자 집단 분석

Eco-Score Design and Traveler Group Analysis Based on Carbon Emissions Using
Household Travel Survey

김동현

(홍익대학교 도시계획과,
석사과정)

구자현

(홍익대학교 도시공학과,
연구교수)

추상호

(홍익대학교 도시공학과,
교수)

교통부문은 온실가스 배출의 주요 원인으로, 탄소중립 달성을 위한 시민참여 기반의 개인 통행행태의 변화 유도가 중요한 과제로 대두되고 있다. 기존의 정책은 개인이 자신의 탄소배출 영향을 직관적으로 인지하기 어렵다는 한계가 있어 정량적인 지표의 필요성이 제기되었다. 본 연구는 가구통행실태조사를 활용하여 개인 단위의 통행 기반 탄소배출량을 산정하고 이를 바탕으로 통행의 환경영향을 평가하는 Eco-Score를 설계하는 것을 목적으로 한다.

분석을 위해 2016년 가구통행실태조사를 활용하여 서울시 내부 통행을 대상으로 개인 단위 데이터를 구축하였다. 통행 거리를 구득할 수 없어, 서울시 수단별 평균 통행속도와 기입된 통행시간을 활용하여 거리를 추정하고 수단별 온실가스 배출계수를 적용하여 개인의 1일 탄소배출량을 산정하였다. 분석 표본의 탄소배출량 분포는 다수의 저배출자와 소수의 극단적 고배출자에 의해 비대칭 분포를 보였으며 이를 완화하기 위해 배출량의 로그 변환을 수행하고, z-score 표준화 및 Min-Max 스케일링을 통해 0~100점 척도의 Eco-Score를 도출하였다.

분석 결과, 점수가 높은 집단은 도보 및 대중교통의 이용 비율이 높은 반면, 낮은 집단은 승용차의 이용 비율이 높은 것으로 확인되었다. 또한 사회경제적 특성인 연령, 성별, 소득, 차량보유 여부가 Eco-Score에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. K-means 군집분석을 통해 통행자를 지하철·도보 중심형, 버스·도보 중심형, 택시 중심형, 승용차 중심형의 4가지 유형으로 분류하였다. 이를 통해 유형별 평균 통행 거리, 이용 수단 비율, 통행 목적 등을 비교할 수 있었으며 특정 수단에 대한 의존도가 높은 통행목적이 존재함을 확인하였다.

한편, 단거리 승용차 통행과 장거리 대중교통 통행 간 유사한 배출량이 유사할 경우 점수가 비슷한 구조적 한계가 확인되었으며, 이는 단순한 배출량 기반의 평가 체계의 한계임을 나타낸다. 따라서 향후에는 저탄소 교통수단을 선택하는 행위에 대한 가중치를 부여하는 등의 평가 체계 고도화가 필요하다.

한국 승인 국가온실가스 배출계수식의 보정계수 기반 고도화 방법론 개발

Enhancement of Korean National GHG Emission Factor Equations through Correction Factor Adaptation

김진재	이채영	김예원	이승봉	오관용	김대진
(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 연구원)	(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 연구원)	(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 연구원)	(한국교통연구원 교통빅데이터 연구본부, 부연구위원)	(인하대학교 물류전문대학원, 박사과정)	(인하대학교 아태물류학부, 부교수)

우리나라는 국제 탄소중립 정세에 맞춰 '20년 2050 탄소중립을 선언 이후 '21년 8월 관련법 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」, 이하 탄소중립기본법) 제정, '21년 10월 “2030 NDC 상향안” 국제사회 제출, '23년 4월 탄소중립 기본계획 수립, '25년 11월 “2035 NDC 안” 수립 등 탄소중립을 위한 꾸준한 정책을 수립 및 이행하고 있다. 수송부문 또한 2030 NDC 기준 37.8%, 2035 NDC 기준 60% 이상의 감축을 이행하겠다고 공표하였다. 하지만, 2035년 NDC 목표 달성을 위한 국가 차원의 주요 감축 전략은 ①친환경 차량 보급률 확대 및 내연기관 차량 연비개선, ②교통수요관리 및 대중교통 활성화, ③ 철도/항공/해운의 저탄소화 기술개발로 기존과 동일한 구성이다. 지자체 또한 지자체별 자체 전략 수립이 요구되지만, 지자체별 특성을 반영하기에는 제한적인 전략들만 존재한다는 지적도 이뤄지고 있다.

국가 단위의 추가 감축목표 달성과 지자체 단위의 맞춤 전략 수립 부재에 의한 전략 수립의 한계를 극복하기 위해서는 집계적 수준의 배출량 통계자료에서 벗어나, 개별 차량 통행에 대한 고려가 가능하도록 구축된 IPCC Tier 3수준의 배출량 DB 기반의 활용이 필요하다. 이에, 본 연구는 통행 기반의 배출량 DB 구축의 기초가 되는 배출량 산정 고도화 방법론 개발을 진행하였으며, 해당 방법론의 적용 가능성을 제시하고자 한다.

기존 연구들은 수송부문의 배출량 산정 방식이나 배출량 산정에 활용되는 입력데이터 고도화관련 연구가 이뤄졌다. 배출량에 유의한 영향인자를 탐색 및 국내 모형에 적용을 시도하였던 김대진 외(2024)와 김진재 외(2025), 도시 특성 요인들을 중심으로 상관성을 분석한 윤진성(2023), 입력데이터 고도화 방법론을 연구한 주진호(2025) 등이 있으며, 교통량 집계기 기반의 탄소 배출량 추정을 진행한 양충현 외(2025) 등이 있다. 기존 연구들에서 개별 차량 수준의 배출량 산정을 위한 국내 배출량 산정 고도화 연구는 부분적으로 진행됐으나, 실제 모형 적용에 있어서는 모형의 구조적인 한계점들이 존재했다.

이에, 본 연구는 국내 집계 및 활용 중인 16종 차종에 대한 승인 국가온실가스 배출계수식(이하 국내모형)에 추가 적용이 가능한 형태인 보정계수 모형을 보완 개발하였다. 해당 모형은 기존 연구에서 선정된 배출량 유의한 영향인자들을 복합적으로 고려하는 방식으로 진행하였으며, 방법론으로는 미국 EPA의 MOVES DB를 활용한 민감도 분석을 활용하였다. 민감도 분석은 3개의 영향 요인(속도, 감가속도, 종단경사)을 대상으로 하였으며, 요인별 분석 기준은 속도(10~120km/h, 10km/h 단위), 감가속도(-0.1:감속, 0~3m/s²:가속, 0.5m/s² 단위), 종단경사(-6~6%, 1% 단위)로 설정하였다. 해당 민감도 분석 기준은 기존 단일 보정계수의 곱적용 방식(김대진 등, 2024; 김진재 등, 2025)과의 비교분석을 위해 동일한 기준을 설정하였으며, 기존 단일 보정계수 산정에 활용된 MOVES2014버전에서 MOVES5.0(2025)로 현행화하여 활용하였다는 차이점이 존재한다. 제시된 영향인자의 조합(세부차종(16종)×속도(12개 구간)×감가속도(8개 구간)×종단경사(13개 구간))으로 구성된 총 19,968개의 민감도 분석 결과는 전 차종 속도별 기준치(감가속 0m/s², 경사도 0%)를 중심으로 몇 배수의 배출량 차이를 보이는지에 따라 합성 보정계수로 설정하여 DB화하였다.

위와 같은 방식으로 산정된 합성 보정계수 DB의 산정 의의는 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 보정계수 활용의 필요성이다. 국내 모형 대비 합성 보정계수 적용 시 발생하는 편차는 승합차(0.1~13.7배)가 가장 크게 나타났으며, 화물차(0.2~10.5배), 승용차(0.2~6.4배)의 순서를 보였다. 이는 다양한 도로 주행환경에 따라, 국내 모형이 과소/과대 추정하는 상황이 발생하고 있음을 의미하며, 미시적 배출량 산정 시 오차가 발생할 수 있음을 시사한다. 둘째는 보정계수 적용 방식의 개선 필요성이다. 합성 보정계수에 비해 단일 보정계수는 차종별로 -7.7~44.4배(승합차), -6.4~12.4배(화물차), -1.9~8배(승용차)의 보정계수 산정 결과의 차이를 나타냈다. 주요한 원인은 단일모형(단일 보정계수 곱 적용 방식)에서 고려되지 못하는 환경(감속&내리막, 가속&내리막, 감속&오르막, 가속&오르막)에서 발생하는 왜곡 때문이다. 시내버스(CNG)의 가속&오르막 상황(60km/h, 3m/s², 6%)을 가정하였을 때, 단일모형(감가속 보정계수 * 종단경사 보정계수)은 58.1(=13.4*4.3)의 보정 계수값을 제시하지만, 합성모형(합성 보정계수 적용)은 13.7의 값을 제시한다. 다양한 통행 환경에 적용함에 있어 단일모형보다는 합성모형의 설명 가능성이 높으며, 보정계수의 왜곡을 축소한다고 판단할 수 있다. 다만, 본 연구의 결과는 미국의 배출량 DB를 활용한 민감도 분석 기반의 배출량 보정계수 산정 방식이기에, 향후 실제 측정된 배출량 결과와의 비교분석 및 일부 구간들에 대한 수정은 필요할 것으로 판단된다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 탄소공간지도기반 계획지원 기술개발(과제번호: RS-2023-00242291)의 지원을 받아 수행되었습니다.

수요응답형 교통(DRT)

Session

C-7

AHP-WASPAS 기반 경기도 광역 DRT 우선도입지역 선정 연구
오승빈, 김수재

농촌 DRT 접근성 개선을 위한 저속 전기 Mobility 활용 방안 연구
김자유, 김수재

다도시 DRT 알고리즘 벤치마킹: 도시 맥락 기반 성능 비교 프레임워크
방해원, 여지호

평가지표별 수요응답형 교통서비스 데이터 항목 중요도 분석
권영일, 권우진, 예지현, 오지혜, 권오훈, 도우석, 김동욱, 김성훈

AHP-WASPAS 기반 경기도 광역 DRT 우선도입지역 선정 연구

A Study on the Selection of Priority Introduction Areas for Metropolitan DRT in Gyeonggi Province
Based on AHP-WASPAS

오승빈

(성결대학교 도시디자인정보공학과, 학부과정)

김수재

(성결대학교 도시디자인정보공학과, 조교수)

2025년 말 기준 우리나라 인구의 약 51%인 약 2,608만 명이 수도권에 거주하고 있으며, 서울은 주거, 업무, 문화시설 등 다양한 생활 인프라가 집중된 핵심 도시로 기능하고 있다. 그러나 최근 서울의 인구 밀집에 따른 교통혼잡, 환경문제와 더불어 경기지역 재개발 등에 따른 주거 이전이 증가하면서 수도권의 거주 패턴이 경기지역으로 확산되고, 이에 따라 경기도 전체 통근 통행자 중 약 25.5%는 서울 및 인천으로 광역통행을 하고 있으며 이는 수도권 통근이 광역화 되었음을 의미한다. 그럼에도 불구하고 현재 광역버스는 수요예측의 한계로 인해 만차 시 승차 불가 문제가 빈번하게 발생하고, 침투 시간대에는 수요 부족으로 운영 비효율이 발생하는 등 한계를 보이고 있다. 도시철도 또한 제한된 노선 체계와 침투시간대 과밀 문제로 인해 이용 불편과 안전사고 우려를 내포하고 있다. 이와 같은 수도권 광역교통체계의 불균형은 출퇴근 불편과 교통혼잡 심화라는 사회적 문제를 초래하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로, 이용자 수요에 따라 운행 경로와 운행 시점이 유연하게 조정되는 수요응답형 교통수단인 DRT(Demand Responsive Transit)의 도입 필요성이 제기되고 있다. 특히 광역 DRT는 예약 기반의 지정 좌석제 운영, 환승 없는 직결 이동, 실시간 통행정보를 반영한 탄력적 서비스 제공이 가능하다는 점에서 기존 광역교통수단의 한계를 보완할 수 있는 대안으로 평가된다. 선행연구에서도 침투시간대 DRT 도입을 통해 기존 대중교통 대비 통행시간 단축과 접근성 개선 효과가 확인된 바 있으며, 정책적으로도 2024년 관련 법령 개정을 통해 광역 DRT의 제도적 기반이 마련되고 시범사업이 추진되는 등 도입 여건이 구체화되고 있다. 그러나 현재까지 광역 DRT 도입 대상 지역을 체계적으로 분류·평가하고 우선순위를 제시한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구는 경기도 내 시·군을 대상으로 광역 DRT 우선 도입지역을 선정하기 위한 정량적 평가체계를 구축하고, 지역별 상대적 우선순위를 도출하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 선행연구 검토를 바탕으로 광역 DRT 도입 필요성을 설명할 수 있는 평가항목을 도출하였으며, 대분류 지표는 운송수요지표, 공급서비스수준지표, 지역잠재력지표의 3개 영역으로 구성하였다. 또한 각 대분류 지표별로 3개의 소분류 지표를 설정하여 총 9개의 평가지표 체계를 구축하였고, 이를 경기도 시·군 단위의 정량자료로 수집·정리하였다. 이후 평가항목 간 상대적 중요도를 반영하기 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process)를 적용하여 가중치를 산정하였으며, 지표별 단위와 방향성 차이를 보정하기 위해 표준화 과정을 수행하였다. 종합평가 단계에서는 가중합모형과 가중곱모형을 결합한 WASPAS(Weighted Aggregated Sum Product Assessment) 기법을 적용하여 각 시·군의 종합점수와 우선순위를 산정하였다. 또한 특정 평가방식에 따라 결과가 과도하게 좌우되지 않도록 값 변화에 따른 순위 변동을 검토하였으며, 평균순위 방식, 보르다 방식, 코플랜드 방식과 같은 복수의 의사결정 규칙을 활용하여 순위 안정성을 추가적으로 검증하였다. 이를 통해 단일 점수 산정 결과에 의존하지 않고, 다양한 평가 규칙에서 공통적으로 상위에 도출되는 지역을 광역 DRT 우선 검토지역으로 해석하고자 하였다.

연구 결과, 안양, 성남, 고양, 수원, 용인 등 서울과의 광역 통행 연계성이 높은 시·군이 우선도입지역으로 도출되었다. 이는 광역 통행 수요가 크고 통행시간 부담이 높으며, 기존 대중교통 공급만으로 수요 대응에 한계가 있는 지역일수록 광역 DRT 도입 필요성이 상대적으로 높게 평가되었음을 의미한다. 또한 시나리오와 복수의 순위검증 결과가 대체로 유사하게 나타나 분석 결과의 안정성도 확인되었다. 다만 본 연구는 2023년 기준 자료를 활용하여 최근 교통환경 변화를 충분히 반영하지 못하였고, 시·군 단위 분석으로 생활권 내부의 미시적 차이를 포착하는 데 한계가 있다. 또한 광역도로망 혼잡도 지표는 한국도로공사 기반의 고속도로 TTI 지표만 활용하여, 도로공사 관리 구간 외 광역도로의 혼잡 특성을 충분히 반영하지 못한 제약이 있다. 그럼에도 본 연구는 광역 DRT 도입의 정책적 우선순위를 정량적으로 판단할 수 있는 기준을 제시하였으며, 상위권 지역이 서울 연계 통근축에 위치한다는 점에서 광역 DRT가 기존 광역버스 및 철도를 대체하기보다 환승 기반의 보완수단으로 기능할 가능성을 보여주었다. 또한 AHP-WASPAS 기반의 평가체계를 통해 다수의 지표를 통합적으로 반영함으로써, 향후 유사한 광역교통정책 및 서비스 평가에도 확장 적용 가능한 정책평가 틀을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

농촌 DRT 접근성 개선을 위한 저속 전기 Mobility 활용 방안 연구

A Study on Strategies to Improve Accessibility of Rural Demand-Responsive Transport (DRT) Using Low-Speed Electric Mobility

김지우

(성결대학교 도시디자인정보공학과, 학부과정)

김수재

(성결대학교 도시디자인정보공학과, 조교수)

우리나라는 2025년 초고령사회에 진입하였으며, 특히 농어촌 지역은 고령인구 비율 증가와 인구 감소가 동시에 나타나면서 대중교통 서비스 수준이 지속적으로 저하되고 있다. 이에 따라 고령자와 같은 교통약자의 이동권 제한 문제가 심화되고 있다. 실제로 금산군 조사에서는 외출 의지가 있음에도 불구하고 외출하지 못한 주요 원인으로 '대중교통 수단 부족'이 48.7%를 차지하는 것으로 나타났으며, KREI(2017) 조사에서도 '대중교통 이용 편리성'의 도농 격차가 가장 크게 나타났다.

이러한 문제를 해결하기 위해 정부는 벽지노선 및 수요응답형 교통(DRT) 등 다양한 정책을 도입하였다. 그러나 벽지노선은 낮은 수요로 인해 운영 효율성에 한계를 보였으며, DRT 또한 예약 불편과 대기시간 등의 문제로 지속적인 운영 제약이 나타났다. 특히 정류장 기반으로 운영되는 DRT 버스는 주거지와 정류장 간 거리 문제로 인해 실제 이용으로 이어지지 못하는 한계를 보였다. 이는 퍼스트마일(First Mile) 접근성 부족에 기인한 것으로, 농촌 고령자의 이동 제약이 교통수단 접근성과 같은 구조적 요인에 의해 발생함을 시사한다고 볼 수 있다.

한편, 일본에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 Green Slow Mobility(GSM)와 같은 저속 전기 모빌리티 기반 서비스를 도입하여, 주거지와 생활 거점을 연결함으로써 대중교통 접근성 개선과 고령자의 이동권 확보에 기여하고 있다. 국내에서도 생활거점 및 대중교통 정류장까지의 퍼스트마일 공백을 보완할 수 있는 교통수단 도입이 필요할 것으로 판단된다. 특히 DRT가 확대되고 있음에도 불구하고, 농어촌 지역은 낮은 수요 특성으로 인해 여전히 대중교통 사각지대가 존재하며 서비스 수혜 인구 또한 확대되지 못하고 있다. 이에 따라 주거지와 정류장을 연결하는 보조 교통수단을 포함한 통합 교통모델에 대한 연구 필요성이 제기된다. 퍼스트마일 접근성이 개선될 경우 고령자의 이동권 확보뿐만 아니라 외출 빈도 증가 및 사회활동 참여 확대, 교통서비스 이용 효율성 증대 등의 효과가 기대된다.

이에 본 연구는 농어촌 지역에서 퍼스트마일 접근성 문제를 중심으로, 저속 전기 모빌리티를 활용한 보조 교통수단 도입 가능성을 검토하고, 서비스 도입에 적합한 입지 요인 도출 및 DRT 연계 운영 방안 분석을 주요 목적으로 하고자 한다. 이를 위해 정류장 접근성 한계를 중심으로 문제를 정의하고, 농어촌 지역의 고령화 수준·정류장 접근성·교통 공급 특성과 함께 생활권 구조 및 공간적 요인을 종합적으로 고려하여 서비스 도입 적지 기준을 도출하고자 한다. 나아가 이용 수요 특성 및 이동 패턴 분석을 바탕으로 한국형 운영 모델을 개발하고, 기존 DRT와의 기능적 중복을 최소화하며 상호 보완적인 연계 운영 시나리오를 구축하고자 한다.

이를 통해 농어촌 지역의 교통 접근성 문제를 구조적으로 개선하고, 단순 이동수단 공급을 넘어 지역 내 이동 연계성을 강화함으로써 DRT 이용률 향상과 함께 고령자의 실질적인 이동권을 확보할 수 있는 정책적 시사점을 제시하고자 한다. 또한 향후 농어촌형 통합 모빌리티 체계 구축을 위한 기초 자료로 활용 가능하며, 저밀도 지역에서 적용 가능한 지속가능한 교통 운영 전략 수립에 기여할 수 있다.

다도시 DRT 알고리즘 벤치마킹: 도시 맥락 기반 성능 비교 프레임워크

Multi-City Benchmarking of DRT Algorithms: A City-Context-Driven Performance Comparison Framework

방혜원

(가천대학교 스마트시티학과, 석사과정)

여지호

(가천대학교 스마트시티학과, 부교수)

수요응답형 교통(DRT)의 서비스 품질은 배차 및 리밸런싱 알고리즘에 크게 좌우되나, 기존 연구는 단일 도시에서 단일 알고리즘만을 평가하고 있어 도시 간 일반화 근거가 부족하다. 본 연구는 수요 밀도와 서비스 영역이 상이한 3개 도시—뉴욕 맨해튼(고밀도, 85.6건/km²/hr, 178km²), 성남시(중밀도, 31.3건/km²/hr, 67km²), 시카고(저밀도, 8.8건/km²/hr, 1,410km²)—를 대상으로 3종의 배차 알고리즘(D1: Alonso-Mora RTV+ILP, D2: MCTS+Insertion, D3: Column Generation DARP)과 4종의 리밸런싱 전략(R0: 없음, R1a: 수요 기반 1:1, R1b: H3 존 기반, R3: MPC Rolling Horizon)을 조합한 36개 실험을 수행하였다. 세 도시의 원본 데이터는 시간 정밀도(초 단위 vs 15분 bin)와 공간 정밀도(GPS vs Zone ID)가 상이하므로, Poisson Order Statistics 기반 시간 재구성 및 OSM 도로망 노드 샘플링 기반 공간 재구성을 적용하여 통합 스키마로 표준화하였다. 모든 실험은 DTUMOS 플랫폼에서 동일 조건(최대 대기 5분, 차량 용량 4인)으로 수행되었으며, 프로토타입 검증에 의해 분당 최대 10건씩 샘플링($n_{per_min}=10$)하여 도시별 1,200건/2시간 규모로 수행하였다. 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 배차 알고리즘 성능 순위가 도시마다 달랐다. D3가 전반적 최고 서비스율(93.7~100%)을 보였으나, D2는 컴팩트 도시(성남)에서 97.8%로 D1(72.9%)을 24.8%p 압도한 반면, 뉴욕에서는 D1(75.4%)보다 5.2%p 낮았다. 둘째, 반응형 리밸런싱(R1a/R1b)의 효과가 도시 규모에 따라 정반대로 나타났다. 성남(67km²)에서는 서비스율을 +15.7~16.7%p 개선하였으나, 뉴욕·시카고에서는 -10.4~15.6%p 악화시켰다. 이 패턴은 D1과 D2에서 일관되어, 리밸런싱 효과의 방향이 알고리즘이 아닌 도시 공간 구조에 의해 결정됨을 보여준다. 셋째, 예측 기반 리밸런싱(R2: MPC)은 반응형 전략(R1a/R1b)이 광역 도시에서 보인 역효과(-10~16%p)를 방지하며, 모든 조합에서 R0 이상의 서비스율을 유지하였다. 다만 컴팩트 도시에서는 R1a/R1b(+16.7%p)가 R2(± 0 %)보다 크게 효과적이어서, 예측 기반 전략의 보수적 판단이 적극적 리밸런싱의 기회를 놓치는 한계도 확인되었다. 넷째, 배차 알고리즘이 강력할수록(D3 > D2 > D1) 리밸런싱 의존도가 낮아졌다. D3는 리밸런싱 전략에 무관하게 뉴욕·성남에서 100%를 달성하였다. 다섯째, 서비스율-대기시간-연산시간의 삼중 트레이드오프가 확인되었다. D2는 서비스율이 높으나 대기시간이 D1의 2~3배(6~9분), 연산시간이 30~60배(최대 65분)로 실시간 적용에 한계가 있다. 도시 유형별 최적 조합으로, 컴팩트 도시는 D3 또는 D2에 R1a/R1b 병행, 고밀도 광역 도시는 D3 단독(또는 R2 병행), 저밀도 광역 도시는 D3+R1b를 제안한다. 본 연구는 프로토타입 수준의 실험으로, 향후 풀스케일 검증 및 학습 기반 알고리즘(FlexiPool 등) 추가를 통해 48개 이상의 조합으로 확장할 계획이다.

사사: 이 (성과)는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00415360).

평가지표별 수요응답형 교통서비스 데이터 항목 중요도 분석

Analyzing the Importance of Demand-Responsive Transport(DRT) Service Data Attributes Based on Evaluation Indicators

권영일	권우진	예지현	오지혜	권오훈	도우석	김동욱	김성훈
(계명대학교 교통공학과, 학사과정)	(계명대학교 교통공학과, 학사과정)	(계명대학교 교통공학과, 학사과정)	(계명대학교 교통공학과, 학사과정)	(계명대학교 교통공학과, 부교수)	(계명대학교 교통공학과, 조교수)	(한국교통 연구원)	(한국교통 연구원)

최근 수요응답형 교통(Demand Responsive Transit, DRT) 서비스는 대중교통의 유연성을 확보하고 교통 취약지역의 이동권을 보장하는 핵심 수단으로 부상하며, 2024년 기준 전국 51개 시·도 지역에서 450대 이상의 차량이 운행되는 등 급격한 양적 성장을 기록하고 있다. 그러나 운영 플랫폼별로 상이한 데이터 구조는 지역 간 운영 효율의 객관적 비교와 통합 모빌리티 서비스(MaaS) 연계를 저해하는 주요 원인이 되고 있다. 공통 표준이 부재할 경우 플랫폼 변경 시 데이터 매핑에 막대한 비용이 발생하며, 국가 교통 데이터 허브와의 유기적 연계도 어려워진다. 이에 본 연구는 선행 연구에서 전문가 20인의 계층분석법(AHP)을 통해 도출된 지표별 가중치를 적용하여 111개 데이터 항목의 기술적 가치를 산출하고, 사분면 분석과 군집분석을 통해 기술적 분포 특성을 규명하고 논리적 타당성을 확보하고자 하였다. 본 연구는 DRT 데이터 표준화의 실무적 적용성을 검증하기 위해 이용자, 호출 및 예약, 차량 및 운전자, 정류장, 결제, 기타 정보 등 6개 카테고리로 분류된 총 111개 데이터 항목을 분석 자료로 활용하였다. 데이터 항목별 가치 산정에는 전문가 Rubric 평가 점수와 AHP로 도출된 4대 지표 가중치인 정합성(0.4854), 연계성(0.2422), 활용성(0.1571), 접근 및 개방성(0.1153)을 적용하였다. 분석 대상 111개 항목의 평균 점수는 100점 만점 환산 기준 66.23점이며, 상위 25% 임계치인 제3사분위수는 71.09점, 하위 25%인 제1사분위수는 62.67점으로 확인되었다. 특히 지표별 상·하위 5개 항목을 선정한 결과, 정합성 상위 항목은 4.35에서 4.41점의 높은 분포를 보였으나 하위 항목은 2.76에서 2.98점에 머물러 지표 내 항목 간 편차가 뚜렷하게 나타났다. 접근 및 개방성 지표는 상위(0.76에서 0.77점)와 하위(0.56에서 0.58점) 항목 모두 다른 지표에 비해 상대적으로 낮은 점수대와 좁은 분포 범위를 형성하고 있음이 확인되었다.

4대 대분류 지표를 교차 축으로 설정한 6종의 사분면 분석(Quadrant Analysis)을 수행한 결과, 정합성·연계성·활용성 지표 간 0.7 이상의 강한 양의 상관관계를 보였다. 특히 연계성과 활용성(0.817), 정합성과 연계성(0.814) 간의 상관계수가 높게 나타나 데이터의 연계성 확보가 활용도 향상에 중요한 역할을 확인하였다. 사분면 분포상 정합성과 연계성이 모두 높은 제1사분면(High-High)에는 '정류장 좌표 X, Y' 및 '실시간 승차 위치' 등이 위치하여 표준화 최우선 항목임을 보여준다. 반면, 접근 및 개방성 지표 분석에서는 데이터 활용 가치와 무관하게 0.8점 미만의 임계치가 존재하는 것으로 나타났는데, 이는 개인정보 보호 및 보안 체계 내에서의 제한적 활용을 우선시하는 전문가들의 판단을 보여준다.

111개의 데이터 항목을 기술적 성격에 따라 분류하기 위해 K-평균 군집분석(K-Means Clustering)을 수행하였으며, 엘보우 기법(Elbow Method)을 통해 오차제곱합(SSE)의 감소 폭이 완만해지는 지점인 최적의 군집 개수는 3으로 도출되었다. 분석 결과, 평가지표 평균값이 2.01로 가장 높게 나타난 군집 2가 표준화 최우선 군집임을 확인하였으며, 해당 군집의 데이터 항목 카테고리별 구성비는 호출 및 예약 정보(71%), 결제 정보(16%), 정류장 정보(8%) 순으로 높은 비율을 보였으며, 표준화 우선순위가 낮은 군집 3은 차량 및 운전자 정보(63%)와 같은 정적 데이터가 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 이를 통해 표준화 우선순위가 높은 군집 2에서 구성 비율이 높은 호출 및 예약 정보 항목이 표준화 우선순위가 높음을 보여준다. 결론적으로 본 연구는 다차원적인 분석을 통해 DRT 데이터 표준화 과정에서 의사 결정을 지원하는 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 국가대중교통정보센터(TAGO)와의 데이터 연계 및 데이터 기반 모빌리티 정책 수립을 위한 정량적 근거로 활용될 수 있다.

사사: 본 연구성과물은 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 과제번호 : RS-2025-25427620)

클라우드소싱 물류 및 마이크로모빌리티

Session

C-8

동대문구 여객 통행 기반 Crowdsipping 도입 가능성 평가

이중권, 민석원, 김용훈, 박동주

배송주행로봇 운영을 위한 로드뷰 기반 보도환경 구축과 Social Force Model을 활용한 구간별 임계 혼잡도 평가

박자수, Mohammadjavad Ghorbanalivakili, 고준호

클라우드소싱 물류에 대한 체계적 문헌 고찰

김지요, 민석원, 박동주

서울시의 자전거 기반 클라우드물류 도입 가능성 연구

민석원, 김용훈, 박동주

동대문구 여객 통행 기반 Crowdshipping 도입 가능성 평가

Evaluation of the Possibility of Crowdshipping Based on Passenger's trip in Dongdaemun-gu

이중권 (서울시립대학교 교통공학과, 석·박사통합수료)	민석원 (서울시립대학교 교통공학과, 석·박사통합수료)	김용훈 (서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)	박동주 (서울시립대학교 교통공학과, 교수)
---	---	--	--------------------------------------

Crowdshipping은 새로운 Last-mile 배송 방식으로써 화물을 배송하는 과정에 불특정한 일반 대중이 자발적으로 참여하며 그에 상응하는 보상을 받는 시스템으로, 공유·플랫폼 물류의 핵심이 되어 관련 시장이 성장하고 있다. 국내에도 다양한 Crowdshipping 서비스(배민 커넥트, 쿠팡 플렉스 등)가 운영되고 있어 대중에게 익숙한 개념으로 자리를 잡고 있다.

최근 도시 물류의 비효율성과 환경 문제 완화를 위한 대안으로 Crowdshipping이 주목받고 있다. 이는 앞서 언급된 바와 같이 기존 여객 통행을 활용하여 화물 배송을 수행하는 방식이기 때문에, 추가적인 물류 이동을 최소화하면서도 배송 효율을 높일 수 있는 잠재력을 가진다. 특히 한국 대도시는 인구밀도가 높고, 대중교통 시스템이 잘 구축되어 있어 장래 Crowdshipping 참여율과 효용이 높을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 서울시 동대문구를 대상으로 여객 통행 데이터를 활용하여 Crowdshipping 도입 가능성을 정량적으로 평가하고자 한다. 연구는 크게 '여객 O/D 구축', '화물(택배) 배송 수요 데이터 구축', '여객-화물 기종점 검토', '여객 통행자의 배송 참여율을 고려한 Crowdshipping 잠재 물동량 산정'의 네 단계로 구성된다.

분석 결과, 동대문구 내 여객 통행은 일정 수준 이상의 화물 배송 수요를 Crowdshipping을 통해 처리할 수 있는 잠재력을 가지는 것으로 나타났다. 다만, 연구에서 설정한 여객 통행자의 시간 제약과 우회 허용 수준이 서비스 성과에 중요한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

본 연구는 공신력 있는 여객 이동 데이터를 기반으로, 대도시에서의 Crowdshipping 실현 가능성·잠재력을 정량적으로 평가하였다는 점에서 의의를 가진다. 특히, Parcel Locker(택배 보관함) 기반의 중계 구조와 여객 통행자 시간 제약을 동시에 고려한 분석 프레임워크를 제시함으로써, 향후 도시형 Crowdshipping 서비스 설계 및 정책 수립에 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제 번호: RS-2025-00557826, 한국형 Crowdshipping 서비스 최적 설계 및 운영방안 연구)

배송주행로봇 운영을 위한 로드뷰 기반 보도환경 구축과 Social Force Model을 활용한 구간별 임계 혼잡도 평가

Road-View-Based Sidewalk Environment Reconstruction and Segment-Level Critical
Congestion Assessment for Delivery Robot Operations

박지수

(한양대학교 도시대학원
도시·지역개발경영학과, 석사과정)

Mohammadjavad Ghorbanalivakili

(York University, 박사과정)

고준호

(한양대학교 도시대학원, 교수)

도심 보도에서의 배송주행로봇 운행 가능성은 단순한 보도폭만으로 설명되기 어렵다. 실제 보행공간에서는 가로수, 기둥, 적치물, 안내표지 등 다양한 정적 장애물이 보도 점유를 유발하고, 이로 인해 동일한 폭의 구간이라도 실제 로봇이 통과할 수 있는 유효 공간은 크게 달라질 수 있다. 또한 보행자 밀도가 증가하면 좁은 보도나 병목구간에서 로봇의 회피 부담이 급격히 증가하여 지속화, 정지, 통과 곤란 상태로 전이될 가능성이 높아진다. 그럼에도 기존 연구는 도시 또는 블록 수준의 정적 적합도 평가에 머무르거나, 보도 존재·폭·경사와 같은 인벤토리 구축에 초점을 두는 경우가 많아, 실제 보도 구간의 미시적 공간구조와 보행 혼잡이 결합될 때 발생하는 주행 한계를 직접 설명하는 데에는 한계가 있었다.

본 연구는 이러한 문제의식에 따라, 로드뷰 영상과 depthmap, point cloud, semantic segmentation을 결합하여 실제 보도 구간의 정적 공간구조를 구축하고, 이를 회랑 단위의 공간모형으로 환원한 뒤 Social Force Model(SFM)을 적용하여 구간별 임계 혼잡도를 평가하는 방법론을 제안한다.

먼저 보도환경 구축 단계에서는 로드뷰 영상, 촬영 메타데이터, depth 정보, point cloud를 함께 활용하여 프레임별 촬영 위치와 방향을 보정한다. 이후 보도 마스크와 장애물 탐지 결과를 지도 좌표계로 투영하여 실제 보도 점유 구조를 구축한다. 이때 로드뷰 기반 보도 마스크는 카메라 시점에서 관측 가능한 visible sidewalk에 가깝기 때문에, 최종 보도폭 자체로 사용하지 않고 기존 보도폭 자료가 제공하는 기본 폭을 기준값으로 둔다. 로드뷰와 depth 정보는 장애물과 차폐로 인해 실제 통과 가능한 corridor가 얼마나 감소하는지를 보정하는 자료로 활용한다. 장애물은 동적 객체를 제외한 정적 장애물만 남기고, 동일 링크 내 중복 객체를 제거한 뒤 유형별 대표 크기를 갖는 proxy polygon으로 변환하여 공간화한다. 이를 통해 링크별 기본 보도폭, 최소 및 평균 유효폭, 장애물 점유 면적, 좌우 편재 여부, 중앙 차단 여부, 병목 길이, 필요 시 경사와 같은 정적 공간 제약 변수를 구축한다.

이후 구축된 정적 보도환경은 링크 단위로 정리되며, 시뮬레이션 단계에서는 2차원 corridor 형태로 단순화된다. 각 corridor는 링크 길이, 기본 보도폭, 최소 유효폭, 병목 길이, 장애물 polygon의 위치와 크기, 장애물 편재, 경사로 구성된다. 보행자 조건은 링크별 보행량 밀도 자료를 기반으로 설정하며, 이후 보행자 밀도를 단계적으로 증가시키며 로봇의 통과 성공 여부, 지연시간, 정지 여부, 최소 이격거리, 속도 손실 등의 운영 지표를 산출한다. 본 연구의 관심은 절대 속도 예측이 아니라, 보행량이 증가할 때 해당 구간이 언제부터 취약해지는가에 있으므로, 시뮬레이션 결과는 저속화가 시작되는 수준, 정지 위험이 증가하는 수준, 통과가 사실상 곤란해지는 수준의 임계 혼잡도로 정리한다.

본 연구의 의의는 첫째, 로드뷰 기반 자료를 활용하여 보도폭, 장애물, 병목, 경사 등 구간별 정적 제약을 실제 보도 환경 수준에서 구조화한다는 점, 둘째, 이러한 정적 공간구조를 SFM 기반 보행자 증가 시나리오와 결합하여 구간 단위의 임계 혼잡도를 정량적으로 제시한다는 점에 있다. 이는 도시 전역의 정적 suitability score 중심 접근을 넘어, 보도 corridor 수준에서 공간구조와 혼잡 조건이 결합될 때 로봇 운행이 어떻게 제약되는지를 미시적으로 평가할 수 있는 틀을 제공한다. 향후 본 방법론은 배송주행로봇의 운영 가능 구간 선별, 로봇 친화적 보도환경 개선, 혼잡 취약구간 사전 진단 등 도시 보행공간의 로보터빌리티 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00415360)

크라우드소싱 물류에 대한 체계적 문헌 고찰

A Systematic Literature Review of Crowdsourced logistics

김지요

(서울시립대학교 교통공학과,
학부과정)

민석원

(서울시립대학교 교통공학과,
박사과정)

박동주

(서울시립대학교 교통공학과,
교수)

전자상거래의 급격한 성장으로 말단배송(Last-Mile Delivery) 수요가 폭증하면서, 불특정 다수의 시민이 자발적으로 배송에 참여하는 크라우드소싱 물류(Crowdsourced Logistics, CL)가 유력한 대안으로 떠오르고 있다. CL 관련 연구는 최근 10년 사이 연평균 37%의 증가율을 기록하였고, 이에 따라 여러 차례 체계적 문헌고찰이 이루어져 왔다. 그러나 기존 고찰들은 대체로 정성적 서술 위주여서, 핵심요인의 영향력을 수치적으로 비교·종합한 사례는 찾아보기 어렵다. 이러한 한계를 보완하고자 본 연구에서는 Scopus와 Web of Science로부터 309편의 논문을 확보한 뒤 연구주제 및 방법론 기준으로 분류하였으며, 그중 행동연구 81편에 대해서는 종속변수와 독립변수, 분석기법 등을 바탕으로 정리하였다. 분류 체계는 모델링 측면에서 공급 측면 행동, 수요 측면 행동, 시스템 평가, 운영 성과의 네 범주를, 과업 유형 측면에서 통계 모델링, 구조방정식 모델링, 다기준 의사결정, 기계학습의 네 범주를 적용하였다. 이 과정에서 총 113개의 핵심요인이 식별되었는데, 연령과 보상/인센티브, 배송비용, 소득수준, 배송 소요시간이 가장 빈번하게 활용된 변수였다. 다만 핵심요인의 빈도 분포가 극단적인 long-tail 형태를 띠고 있어, 개별 연구마다 변수 선정 기준이 상이하다는 점이 드러났다. 아울러 각 핵심요인이 참여의향, 채택의향, 운영성과, 만족도·충성도라는 네 가지 종속변수에 대해 어떤 방향의 영향을 보이는지를 회귀계수 부호 기준으로 집계하였다. 그 결과 보상/인센티브와 신뢰는 종속변수 전반에 걸쳐 긍정적 영향이 우세하였으나, 연령이나 소득수준의 경우 참여의향에 대해서는 오히려 부정적 경향이 두드러졌다. 본 연구는 이처럼 행동연구에 한정된 정량적 분석 프레임워크를 구축함으로써 선행 고찰과 차별화를 꾀하였으며, 후속 연구의 방향 설정과 정책적 시사점 도출에 활용 가능한 기초자료를 마련하였다.

서울시의 자전거 기반 크라우드물류 도입 가능성 연구

A Study on the Feasibility of Introducing Bicycle-Based Crowdsourced Logistics (CL) in Seoul

민석원

(서울시립대학교 교통공학과,
박사과정)

김용훈

(서울시립대학교 교통공학과,
석사과정)

박동주

(서울시립대학교 교통공학과,
교수)

크라우드물류는 불특정 다수의 통행자가 자신의 기 계획되거나 진행중이던 통행을 이용하여 물류 배송에 참여하는 시스템으로, 2010년대에 접어들면서 기존의 트럭 기반 말단배송에 대한 녹색교통대안으로써 활발히 연구되어져 왔다. 최적 크라우드물류 대안을 도출해내기 위한 많은 최적화 연구가 수행되었으나, 이들은 합성데이터에 의존하여 분석환경을 구축하거나 현실세계의 특성을 고려하지 않은 상태에서 진행되었다. 이들이 제시하는 크라우드물류 도입 가능성과 최적대안에 대한 사전분석 결과는 복잡한 상호작용과 변수가 존재하는 현실세계에서 적용성 및 호환성이 크게 부족하다고 할 수 있다. 본 연구는 서울시 도로형상, 생활물류 배송이력, 자전거 대여 및 반납기록을 활용하여 각각 네트워크, 시공간적 공급 및 수요특성을 정의하고, 실제 물류배송행태를 반영한 자전거 기반의 크라우드물류 최적화 프레임워크를 제시한다. 최종적으로 우회보상을 조절함에 따라 크라우드물류 기반의 말단배송 성사비율이 어떠한 양상으로 달라지는지 분석한다. 본 연구는 추후 한국형 크라우드물류 도입을 위한 기초연구로써 활용되어질 수 있다.

사사: 본 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(과제 번호: RS-2025-00557826, 한국형 Crowdshipping 서비스 최적 설계 및 운영방안 연구)

도로 인프라 관리 및 파손탐지

Session

C-9

이중 헤드 세그멘테이션 기반 차선 도색 손상도 평가 프레임워크

한준규, 김민석, 박준규, 류승기

도로파손 시각정보 기반 AI 탐지 성능을 향상하는 AFNet 전처리 연구

김민석, 한준규, 박준규, 류승기

고속도로 리모델링 사업 성과지표 체계 구축 연구

강민욱, 도승일, 박신형

머신러닝을 활용한 도로포장 열화 예측: 변수 선택 및 예측력 검증

김민송, 김세현, 도명식

이중 헤드 세그멘테이션 기반 차선 도색 손상도 평가 프레임워크

An Automated Lane Marking Damage Assessment Framework Based on Dual-Head Segmentation

한준규	김민석	박준규	류승기
(과학기술연합대학원 대학교 통합과정, 한국건설기술연구원 UST학생연구원)	(과학기술연합대학원 대학교 통합과정, 한국건설기술연구원 UST학생연구원)	(과학기술연합대학원 대학교 박사과정, 한국건설기술연구원 UST계약학과생)	(과학기술연합대학원 대학교 교수, 한국건설기술연구원 선임연구위원)

차선 도색은 운전자의 주행 경로 인식과 차로 유지에 필수적인 시각 정보를 제공하며, 차선 인식에 의존하는 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS) 및 자율주행 시스템의 정상 작동을 위한 핵심 인프라 요소이다. 차선 도색의 시인성이 저하되면 운전자의 안전을 위협할 뿐만 아니라 카메라 기반 자율주행 시스템의 인식 성능을 직접적으로 저하시킨다. 현행 국내 차선 관리 체계는 도로 관리자의 육안 점검과 전문 장비를 이용한 재귀반사도 측정의 2단계로 운영되며, 인력·비용 집약적인 특성으로 인해 대규모 도로망의 체계적이고 지속적인 모니터링이 어렵다. 이러한 한계는 손상 감지의 지연과 선제적 유지관리 기회의 상실로 이어진다.

본 논문에서는 일반 블랙박스 영상으로부터 차선 도색 상태를 자동으로 평가하는 2단계 딥러닝 기반 프레임워크를 제안한다. 1단계에서 YOLO 기반 객체 탐지 모델이 주행 영상 내 차선 후보 영역을 검출하고, 2단계에서 이중 헤드 세그멘테이션 네트워크가 각 패치에 대해 전체 차선 영역 마스크와 도색 잔존 영역 마스크를 각각 독립적으로 예측한다. 손상 비율은 두 예측 결과의 픽셀 단위 차이로 산출된다. 손상 픽셀을 직접 분류하는 방식은 손상 영역이 전체 차선 면적에서 차지하는 비율이 낮은 경우 극심한 클래스 불균형을 야기한다. 제안 방식은 이를 우회하여 클래스 정보량이 상대적으로 많은 두 클래스를 예측 대상으로 설정함으로써 클래스 불균형 문제를 구조적으로 완화하며, 손상 라벨 없이도 손상 비율을 산출할 수 있는 효율적인 학습 체계를 구성한다.

실험에는 고양시 일반국도에서 수집한 대시캠 영상을 기반으로 구축한 데이터셋(바운딩 박스 라벨링 8,300장, 세그멘테이션 마스크 라벨링 11,800장)을 활용하였으며, UNet, PSPNet, DeepLabV3+, SegFormer 등 CNN 및 Transformer 계열을 포함한 4가지 백본 아키텍처를 동일 조건에서 비교 평가하였다. 그 결과 DeepLabV3+(ResNet-50)이 차선 마스크 mIoU 95.44%, 도색 잔존 마스크 mIoU 91.55%로 최고 성능을 달성하였으며, 전체 아키텍처에서 차선 마스크 mIoU 94% 이상을 기록하여 이중 헤드 설계가 다양한 아키텍처에서 일관되게 유효함을 확인하였다. 제안 프레임워크는 고가의 전용 장비 없이 블랙박스 영상만으로 차선 상태를 정량적으로 평가할 수 있어, 대규모 도로망의 상시 모니터링 및 유지관리 우선순위 결정에 실용적으로 활용될 수 있다.

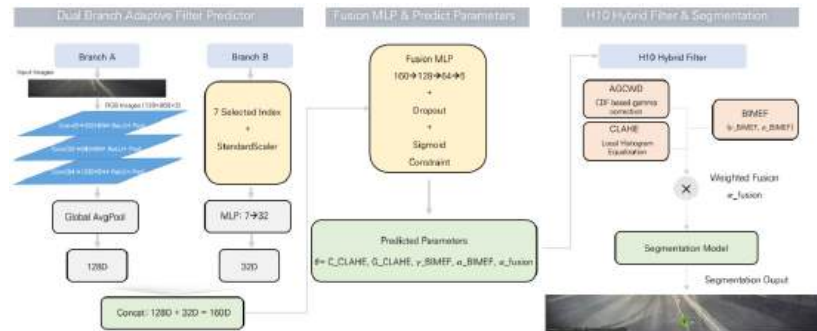
사사: 본 연구는 2026년도 한국건설기술연구원 주요사업('자율주행모빌리티 기반 고위험 난인지 객체 탐지 AI 핵심 기술 개발'(과제번호: 20260152-001))의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

도로파손 시각정보 기반 AI 탐지 성능을 향상하는 AFNet 전처리 연구

AFNet-Based Preprocessing for Improving AI Detection Performance Using Road Damage Visual Information

김민석	한준규	박준규	류승기
(과학기술연합대학원 대학교 통합과정, 한국건설기술연구원 UST학생연구원)	(과학기술연합대학원 대학교 통합과정, 한국건설기술연구원 UST학생연구원)	(과학기술연합대학원 대학교 박사과정, 한국건설기술연구원 UST계약학과생)	(과학기술연합대학원 대학교 교수, 한국건설기술연구원 선임연구위원)

딥러닝 기반 도로 파손 탐지 모델은 저조도·저대비와 같은 악조건 촬영 환경에서 미탐지(False Negative, FN)가 빈번하게 발생한다. 기존의 CLAHE, 감마 보정 등 고정 파라미터 기반 전처리 필터는 영상별 품질 편차를 반영하지 못하여 FN은 일부 감소시키더라도 기존 정탐지(True Positive, TP) 성능을 저하시킬 수 있는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 인지 실패 원인 분석에 기반한 적응형 전처리 필터 네트워크인 AFNet(Adaptive Filter Network)를 제안하고, 다중 Semantic Segmentation 모델에서의 일반화 성능을 평가하였다. 먼저 KICT 도로 노면 데이터셋(학습 9,931장, 테스트 1,882장)을 대상으로 5종의 의미론적 분할 모델(KICT-Net, U-Net, DeepLabV3+, HRNet-W18, SegFormer)을 학습·평가하고, 테스트 데이터에서 TP와 FN 사례를 분류하였다. 이후 조도, 대비, 색상, 질감, 블러를 포함한 24개 이미지 품질지표를 정의하고, Cohen's d 효과크기 분석을 통해 Hue, HueEntropy, MeanV, Brightness, Saturation, BlurMetric, MichelsonContrast의 7개 유효 지표를 도출하였다. 이를 기반으로 RGB 이미지 특징을 추출하는 CNN branch와 품질 지표 벡터를 처리하는 MLP branch를 결합한 dual-branch 구조의 AFNet을 설계하고, 이미지별 최적 필터 파라미터를 예측하도록 구성하였다.



<그림 1> AFNet 설계 구조

실험 결과, AFNet은 5개 분할 모델 전체에서 고정형 필터인 H10 대비 FN을 안정적으로 감소시키면서도 mIoU를 유지하거나 개선하는 경향을 보였다. 특히 KICT-Net은 FN이 79장에서 31장으로 감소하였고, U-Net은 97장에서 57장, DeepLabV3+는 79장에서 49장, HRNet-W18은 55장에서 42장, SegFormer는 51장에서 44장으로 감소하였다. 또한 AFNet은 대부분의 모델에서 고정형 H10 필터 대비 더 높은 mIoU를 보였다. 이는 제안 방법이 단순한 고정 파라미터 기반 보정이 아니라, 이미지 품질과 실패 특성을 반영하여 영상별로 적응적으로 전처리를 수행함으로써 미탐지를 줄이고 기존 정탐지를 보존할 수 있음을 의미한다. 따라서 AFNet은 도로 파손 탐지 모델 구조와 무관하게 적용 가능한 일반화형 적응 전처리 모듈로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 2026년도 한국건설기술연구원 주요사업('자율주행모빌리티 기반 고위험 난인지 객체 탐지 AI 핵심 기술 개발'(과제번호: 20260152-001))의 연구비 지원으로 수행되었습니다

고속도로 리모델링 사업 성과지표 체계 구축 연구

A Study on the Development of a Performance Indicator Framework for Expressway Remodeling Projects

강민욱

(서울시립대학교 교통공학과,
석사과정)

도승일

(서울시립대학교 교통공학과,
석박사통합과정)

박신형

(서울시립대학교 교통공학과,
교수)

국내 노후 고속도로에 대한 기존 보수 방식은 파손 재발 및 잦은 교통차단과 같은 한계가 존재하며, 이를 극복하기 위해 신설 수준의 전면 보수로 도로 상태를 회복시키는 고속도로 리모델링 사업이 추진되고 있다. 그러나 기존 평가 방식은 신설 및 확장 사업 중심의 4대 편익 산정 방식 체계에 국한되어 있어, 주행 쾌적성 향상, 자산 수명 연장 등 리모델링 사업 고유 효과를 정량적으로 입증하는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구는 기존 지표의 한계를 보완하고 국내 리모델링 사업 특성을 객관적으로 증명할 수 있는 핵심 성과지표를 선정하고 평가 체계를 구축하는 데에 목적을 둔다. 미국, 일본, 호주, 유럽 등 국외 고속도로 리모델링 사업의 성과지표 문헌 및 사례 검토를 통해 이동성, 접근성, 안전성 등 6개 범주별로 지표를 1차로 분류하였다. 또한, 국내 고속도로 리모델링 사업이 지닌 주요 효과를 검토하였다. 검토 결과 리모델링을 통한 다양한 효과가 있으며, 먼저 도로의 기대 수명을 연장하여 고속도로의 장수명화가 가능하다. 그리고 개량을 통해 기존 도로의 노후화로 인한 사고 예방 및 유지보수 관리 효율화가 가능하며 개선된 도로로 인한 이용자 편익 증진까지 4개의 효과를 도출하였다. 이후 이를 토대로 국내 실정에 해당하는 성과지표를 2차로 분류한 뒤, 실제 국내에서 성과지표 산출이 가능한 데이터의 구득 여부를 검토하여 성과지표를 재분류하였다. 데이터의 경우 포장 평균 평탄성(IRI), VDS, 도로파입 건수, 전체 사고 건수 등 실증 가능한 데이터 위주로 분석을 진행하였다. 분류 결과, '안전, 서비스·미래, 이동성 및 신뢰도, 기술 및 자산, 경제 및 관리'의 5개 대분류와 '공사 구간 사고율, 고객 만족도, 통행시간 신뢰도(LOTTR), 포장 평균 평탄성(IRI) 등 총 10개의 세부 성과지표가 산정되었다. 이를 통해 기존의 단순 혼잡 개선 및 편익 중심 평가 방법론에서 벗어나, 노후 인프라의 장수명화 및 생애주기비용(LCC) 절감 등 리모델링 고유의 사업 목적을 평가할 수 있는 지표들을 제시했다는 데 의의를 둔다. 또한 도로 관리자 측면뿐만 아닌 도로 이용자가 체감할 수 있는 안전 및 서비스 측면을 정량적 지표로 편입함으로써 성과지표의 효용성을 확보하였다. 향후 연구로는 사업의 정량적 평가 방식 검증을 위해 실제 리모델링이 진행된 시범 구간의 사업 전·후 실측 데이터를 성과지표에 적용하여 실증이 가능한 성과지표를 도출할 계획이다.

머신러닝을 활용한 도로포장 열화 예측: 변수 선택 및 예측력 검증

Pavement Deterioration Prediction Using Machine Learning:
Variable Selection and Performance Verification

김민송

(국립한밭대학교 도시공학과,
석사과정)

김세현

(국립한밭대학교 도시공학과,
조교수)

도명식

(국립한밭대학교 도시공학과,
교수)

최근 국내 도로 인프라는 노후화가 빠르게 진행되고 있으며, 준공 후 30년 이상 경과한 시설 비율이 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 노후화는 도로포장 상태 저하와 직결되며, 유지관리 비용 증가 및 안전성 저하 문제를 유발할 수 있다. 이에 따라 기존의 사후 보수 중심 관리 방식에서 벗어나, 시설물의 상태를 사전에 예측하고 적절한 시점에 유지관리를 수행하는 선제적 관리 체계로의 전환이 요구되고 있다. 정부 또한 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」과 「제1차 기반시설관리 기본계획(2020~2025)」을 통해 성능 중심의 자산관리 체계 도입과 예방적 유지관리 강화를 주요 정책 방향으로 제시하고 있다.

이와 같은 정책적·기술적 흐름 속에서 포장관리시스템(Pavement Management System, PMS)은 도로포장 상태를 체계적으로 관리하고 유지관리 의사결정을 지원하는 핵심 도구로 활용되고 있다. 특히 미래 포장 상태 예측 기능은 유지관리 시기 및 방법을 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 그러나 기존 열화 예측 기법은 장기간에 걸친 연속적인 시계열 데이터 확보를 전제로 하고 있어, 데이터 축적이 충분하지 않은 경우 적용이 어렵다는 한계를 가진다. 이는 특히 지방자치단체와 같이 데이터 확보 여건이 제한적인 환경에서 중요한 제약 요인으로 작용한다.

이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로 머신러닝 기반 도로포장 상태 예측 연구가 수행되고 있다. Muhammad Amjad Afridi et al.(2025)은 Linear Regression, Random Forest, Neural Network를 활용하여 도로 연령, 균열 손상, 유지관리 이력, 교통량 및 장기 누적 데이터와 PCI 조사자료를 결합한 예측모델을 구축하였다. 분석 결과, 포장 연령이 주요 설명변수로 나타났으며 Random Forest 모델이 비교적 우수한 예측 성능을 보였다. 그러나 해당 연구는 데이터 품질 관리 및 변수 확장의 필요성을 제시하고 있어 변수 구성과 데이터 활용 측면에서 한계를 가진다. 또한 Alnaqbi et al.(2024)은 구조, 교통, 기후 변수를 통합하여 포장 열화 예측을 수행하였으나, 다수 변수 활용에 따른 다중공선성과 과적합 가능성이 존재한다. 이처럼 기존 연구들은 다양한 변수와 모델을 활용한 예측 가능성을 제시하고 있으나, 데이터 구성의 제약과 변수 선택의 문제는 여전히 해결 과제로 남아 있다.

따라서 본 연구는 연속적인 중간 연도 데이터 확보가 어려운 현실적 제약을 고려하여, 제한된 시점의 포장 상태 데이터와 이후 기간의 교통·환경 변수를 활용한 도로포장 상태 예측 방법론을 제안하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 2019년과 2020년 대전광역시 주간선도로 데이터를 기반으로 직진 상태와 외생 변수를 입력변수로 구성하고, 유전알고리즘(Genetic Algorithm, GA)을 적용한 변수 선택을 통해 예측모델을 구축하였다. 또한 2025년 실측 데이터를 활용하여 예측 성능을 검증함으로써, 데이터 제한 환경에서의 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

연구는 대전광역시 주간선도로를 대상으로 수행되었으며, 2019년, 2020년, 2025년에 모두 관측된 동일 구간(overlapping sections) 13,601개를 분석에 활용하였다. 포장 상태 데이터는 Mobile Mapping System(MMS)을 통해 취득된 노면 영상 자료를 기반으로 구축되었으며, 인공지능 기반 균열 탐지 기법을 적용하여 균열 정보를 정량화하고 포장 상태 등급으로 변환하였다. 입력변수는 직진 상태 변수와 함께 교통 변수 7개, 환경 변수 14개를 포함한 총 21개로 구성하였다.

변수 선택 과정에서는 유전알고리즘을 적용하여 변수 간 상관성과 중복성을 고려한 최적 변수 조합을 도출하였다. 이후 선택된 변수 집합을 기반으로 머신러닝 예측모델을 구축하고, 2019년과 2020년 데이터를 활용하여 모델을 학습한 후 2025년 포장 상태를 예측하였다. 예측 성능 평가는 실측 데이터와의 비교를 통해 수행하였으며, Accuracy, Precision, Recall, F1-score 등의 분류 기반 지표를 활용하였다.

분석 결과, 제안된 방법론은 제한된 데이터 환경에서도 도로포장 상태 예측에 적용 가능성을 검토하였으며, 데이터 구성 및 모델 설정에 따라 예측 결과가 영향을 받을 수 있음을 확인하였다. 이는 연속적인 시계열 데이터가 부족한 상황에서도 포장 상태 예측이 가능함을 시사한다.

향후 연구에서는 다양한 지역 및 도로 유형을 포함한 데이터 확장을 통해 모델의 일반화 가능성을 검토할 필요가 있다. 또한 시계열 특성을 보다 정교하게 반영할 수 있는 방법론 적용과 함께, 변수 구성 방식 및 데이터수집 주기에 따른 영향 분석이 요구된다. 나아가 실제 유지관리 의사결정과의 연계를 통해 실무 적용 가능성을 보다 구체적으로 검토할 필요가 있다.

도시 모빌리티 서비스 및 주차

Session

C-10

서울시 공공자전거의 지역단위 주행거리 영향요인 분석-Spatial GAM을 활용하여-
김태우, 박지수, 고준호

2035 서울 모빌리티 미래상 연구
길주희, 김희조, 심재윤, 박신형, 박동주

서울시 공공자전거의 지역단위 주행거리 영향요인 분석 -Spatial GAM을 활용하여-

Exploring determinants of zone-level public bike kilometer traveled in Seoul:
An application of Spatial GAM

김태우

박지수

고준호

(한양대학교 도시대학원, 석사) (한양대학교 도시대학원, 석사과정) (한양대학교 도시대학원, 교수)

본 연구는 자전거 이용 특성에 관한 기존 연구들이 주로 이용 빈도와 대여 횟수 등 단순 지표에 국한되어, 실제 도로 인프라의 부하량 및 환경적 영향의 정밀 지표인 자전거 주행거리(BKT, Bike Kilometers Traveled) 정량화가 미진했던 한계를 극복하고자 하였다. 특히 건조환경의 영향력이 지닌 비선형적 임계값과 공간적 미묘함을 포착하기 위해, 서울시 공공자전거 시스템인 '따릉이'의 고해상도 GPS 궤적 데이터를 활용하여 행정동 단위의 BKT 추정 프레임워크인 Spatial GAM(Spatial Generalized Additive Model)을 개발하였다. 연구를 위해 2023년 10월 중 기상 조건이 안정적이고 이용량이 균일한 일주일을 분석 대상으로 선정하였으며, 1분 단위로 기록된 GPS 포인트를 Hidden Markov Model(HMM) 기반의 알고리즘을 통해 실제 도로 네트워크에 매칭하여 총 425개 행정동의 주행 경로를 재구성하였다. 분석 결과, 서울시의 일평균 BKT는 평일 약 54.9만 km로 주말의 약 50.9만 km보다 높게 나타났으며, 공간적으로는 평일의 경우 외곽 주거지 및 산업단지에서 도심으로 향하는 출퇴근 목적의 주행이, 주말은 한강 변을 중심으로 한 레저 목적의 주행이 두드러지는 시계열적 차이를 보였다.

구체적인 요인별 분석에서는 산업지역 면적과 토지이용 혼합도가 BKT 증가에 유의미한 영향을 미쳤으나, 인구 및 고용 밀도와 같은 단순 밀도 지표는 BKT와 직접적인 선형 관계를 보이지 않아 주행거리 기반 모델링의 독자적 가치를 확인하였다. 주요 인프라 변수의 경우, 물리적으로 분리된 자전거 전용도로는 평일 출퇴근 수요를 유도하는 핵심 축매체로 확인되었으며, 주행거리 증가에 비례하여 선형적으로 긍정적인 효과를 주었다. 반면, 서울시 자전거 도로의 66%를 차지하는 자전거 보행자 겸용도로는 약 10~15km의 임계치를 넘어서면 보행자와의 상충 및 혼잡으로 인해 오히려 주행 효율이 감소하는 역U자형 비선형 패턴을 나타냈다. 또한, 지형적 제약으로서 도로 경사가 3도를 초과할 경우 이용 수요가 급격히 하락하며, 공원 면적은 30~40ha 이상의 대규모일 때 비로소 주행거리가 폭발적으로 증가하는 시너지 효과가 관찰되었다. 버스 정류장 밀도 역시 적정 수준(25~40개)까지는 자전거 이용과 상호 보완적이지만, 그 이상에서는 수단 간 경쟁과 교통 혼잡으로 인해 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 자전거 정책이 단순히 양적 확장에 그치지 않고 시간대별 이용 특성과 인프라 유형별 효율성을 고려한 전략적·맥락 중심적 접근으로 전환되어야 함을 시사하며, 본 연구가 제시한 BKT 프레임워크는 향후 도시 자전거 시스템의 이동성, 환경 및 보건적 편익을 최적화하기 위한 실질적인 정책 로드맵과 인프라 투자 우선순위 결정의 실증적 토대를 제공한다.

사사: 이 (성과)는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00415360)

2035 서울 모빌리티 미래상 연구

A Vision for Seoul's Mobility Ecosystem in 2035

길주희 (서울시립대학교, 학부과정)	김희조 (서울시립대학교, 석박사통합수료)	심재윤 (서울시립대학교, 석사과정)	박신형 (서울시립대학교, 교수)	박동주 (서울시립대학교, 교수)
----------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

본 연구는 2035년 서울시민의 이동 생활상을 구체적으로 도출하고, 이를 기반으로 향후 서울시의 교통정책 및 운영 분야에 활용 가능한 정책제언을 도출하는 것을 목적으로 한다. 현재 TOPIS·TAIMS 등 서울시 교통 플랫폼은 목적별 분산 운영으로 신규 모빌리티 연계가 어려운 상황이며, E2E 자율주행·UAM·Agent AI 등 급변하는 기술 환경을 기존 계획 주기가 따라가지 못하는 구조적 한계를 내포하고 있다. 이에 본 연구는 "무엇을 만들지"보다 "어떤 세상을 위해 만드는지"를 먼저 정의하는 접근법을 채택하였다.

연구 방법론은 ① 도시·사회 변화상 수집 및 미래예측, ② 미래 모빌리티 시나리오 설정, ③ 서울 미래 교통 생태계 제시의 3단계 프로세스로 구성된다. 변화 요인 분석 시 정책·제도 발전, 도시 생활양식 변화, 공공가치 제약, 신규 모빌리티 대응, AI 확산 등의 5개 축을 병행 검토하였으며, 관련 자료 분석 후 생활 장면 시나리오 연구 방식(Bottom-up)과 시민 생활 장면 시나리오 연구 후 관련 자료 보강(Top-down) 방식을 상호 보완하는 구조를 통해 실현 가능성을 검증하였다.

근거자료 분석 결과, 5대 부문에 걸쳐 현재~2035년의 변화 경로가 확인되었다. 정책·제도 측면에서는 K-MaaS 통합 결제 및 녹색교통진흥지역 전면화가, 도시 생활양식 측면에서는 GTX 개통 및 UAM(도심항공교통) 상용화 등을 통한 수도권 30분 생활권 실현이 전망된다. 공공가치 부문에서는 AI 기반 교통약자 맞춤형 서비스 고도화, 신규 모빌리티 부문에서는 자율주행 Lv.4 상용화 및 UAM 공공 서비스 개시가 주요 전환점으로 도출되었다. AI 확산 부문에서는 C-ITS 전국 확대와 함께 Agent AI 기반 자율 교통관제 체계로의 전환이 예측된다.

이를 토대로 2035년 서울시민의 하루를 대표하는 7가지의 대표장면을 제시하였다. 초광역 연결이동(A씨), AI 기반 재난 자율대응(B씨), 친환경 보행 공간(C씨), 교통약자 자립이동(D씨), 자율주행 녹색도심(E씨), UAM 입체이동(F씨), 스마트 물류(G씨)로 구성되며, 각 장면은 현행 정책 로드맵 및 기술 전망으로 실현 가능성이 검증되었다. 따라서, 본 연구는 향후 교통계획 및 운영 정책 수립 시 미래상에서 드러나는 수요자 기반의 요구사항을 구조적으로 반영하기 위해 수행되었으며, 향후 미래예측의 불확실성, 실현여부를 반영하여 주기적인 재반영이 필요할 것으로 판단된다.

교통신호 제어 및 최적화

Session

C-11

도로 유고 상황에서의 실시간 경로 안내 및 적응형 신호 제어의 통합 적용 효과 평가

오동호, 김중규

교통 신호 최적화에서 딥러닝 기반 시간 지연 보상 기법의 효과 분석

박근원, 이상현

실측 데이터 기반 과포화 상태 자체도 추정 모형 개발

김재웅, 조재호, 김진태

AI 기반 신호제어 방식 현시 운영 특성 분석 연구

이재형, 김진태

국도 감응신호제어시스템을 위한 대체검지기 성능기준 개선 연구

이만형, 이준엽, 진재엽

도로 유고 상황에서의 실시간 경로 안내 및 적응형 신호 제어의 통합 적용 효과 평가

Evaluation of Integrated Effects of Real-Time Route Guidance and
Adaptive Signal Control under Road Incident Scenarios

오동호

(서울대학교 건설환경도시공학부, 석박사통합과정)

김동규

(서울대학교 건설환경도시공학부, 교수)

교통 혼잡은 반복적 혼잡과 비반복적 혼잡으로 구분되며, 특히 비반복적 혼잡은 사고, 기상, 공사 등 예측이 어려운 사건으로 인해 발생한다. 선행연구에 따르면 비반복적 혼잡은 전체 혼잡의 10~30%로 상당 비중을 차지하며, 비반복적 혼잡 대응 능력은 교통운영의 핵심 과제로 인식되고 있다. 이에 본 연구는 도로 유고 상황에서 발생하는 비반복적 혼잡의 전파 특성을 정량적으로 분석하고, 교통운영 정책의 효과를 비교·평가하는 것을 목적으로 한다. 대구광역시 테크노폴리스 지역을 대상으로 SUMO 프로그램 기반의 시뮬레이션 환경을 구축하고, 특정 링크의 양방향 통제를 통해 유고 상황을 구현하였다. 대응 정책은 제어 미적용(NC), 유입 제한 중심의 적응형 신호제어(ASC), 정보 수용률(p)을 고려한 실시간 경로 안내(RRG), 그리고 통합 정책(ASC+RRG)으로 구성하였다. 또한 혼잡 길이, 최대 혼잡규모, 총 혼잡규모, 혼잡 그리드, 네트워크 평균 통행시간 등의 지표를 활용하여 정책 효과를 평가하였다. 분석 결과, ASC는 유고 지점에서의 접근을 제한하여 최대 혼잡규모를 크게 감소시키는 등 혼잡 강도 억제에 효과적이었으나, 교차로 인근의 국지적 혼잡으로 인해 총 혼잡규모 개선에는 한계가 있었다. 반면 RRG는 정보 수용률이 증가함에 따라 혼잡을 분산시켜 총 혼잡규모와 최대 혼잡규모를 모두 감소시켰으며, 특히 정보 수용률 0.4에서 0.6 구간에서 혼잡 감소 효과가 크게 나타났다. 정보 수용률이 높은 경우에는 혼잡이 거의 발생하지 않아 단일 정책만으로도 효과적인 대응이 가능함을 확인하였다. 통합 정책(ASC+RRG)은 낮은 수용률에서 우수한 성능을 보였으나, 높은 수용률에서는 신호제어로 인한 국지적 혼잡으로 인해 RRG 단독 대비 총 혼잡규모가 증가하는 간섭 효과가 관찰되었다. 본 연구는 유고 상황의 대응 정책에 따른 혼잡 전파를 정량적으로 분석한 점에서 의의를 가지며, 정책 효과가 운영 조건에 따라 달라질 수 있음을 확인하였다. 다만 운전자 행태의 단순화, 국지적 신호제어 가정, 단일 유고 시나리오 적용 등의 한계가 있으며, 향후 다양한 조건과 정교한 운전자 행태를 반영한 확장이 필요하다.

사사: 이 연구는 한국연구재단 4단계 BK21 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

교통 신호 최적화에서 딥러닝 기반 시간 지연 보상 기법의 효과 분석

Temporal Mismatch Mitigation in Traffic Signal Optimization via Deep Learning

박근원

(인하대학교, 석사과정)

이상현

(인하대학교, 석사과정)

본 연구는 교통 신호 최적화에서 발생하는 시점 불일치(temporal mismatch) 문제를 완화하기 위해 딥러닝 기반 시간 지연 보상 구조를 제안한다. 기존의 온라인 유전 알고리즘은 현재 교통 상태를 기반으로 신호 전략을 도출하지만, 계산 및 통신 지연으로 인해 실제 적용 시점과의 괴리가 발생하여 최적화 성능이 저하되는 한계를 가진다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 미래 교통 상태를 예측하는 딥러닝 모델을 도입하고, 예측된 상태를 기반으로 유전 알고리즘을 수행하는 구조를 설계하였다.

제안 방식은 유전 알고리즘의 시뮬레이션 기반 평가 구조를 유지하면서, 딥러닝을 최적화 대상 자체가 아닌 입력 시점 보정에 활용함으로써 기존 접근과 차별화된다. 실험은 SUMO 기반 시뮬레이션 환경에서 다양한 교통 시나리오(정적, 출퇴근, 이벤트, 복합)를 대상으로 수행되었으며, 제안 방법은 특히 교통 수요 변동성이 큰 환경에서 총 지연 시간을 유의미하게 감소시키는 결과를 보였다. 반면, 교통 패턴이 안정적인 경우에는 성능 개선 효과가 제한적이거나 일부 저하가 나타났다.

이러한 결과는 제안 기법이 범용적 대체 방법이라기보다, 동적이고 비정상적인 교통 상황에서 효과적인 보완 전략으로 활용될 수 있음을 시사한다.

사사: 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2022-KP002841, 회전설비 인공지능형 진동 감시 시스템 개발)

실측 데이터 기반 과포화 상태 지체도 추정 모형 개발

Development of a Control Delay Estimation Model for Oversaturated Conditions Based on Field Data

김재웅

(국립한국교통대학교
교통정책·시스템공학과, 박사)

조재호

(국립한국교통대학교
교통정책·시스템공학과, 박사과정)

김진태

(국립한국교통대학교
교통시스템공학과, 교수)

신호교차로의 제어지체(control delay)는 도시 도로망의 운영 효율성을 진단하고 효율적인 운영전략을 수립하는 데 있어 핵심 지표로 활용된다. 교통공학 분야에서 가장 널리 사용되는 지체도 추정 방식은 도로용량편람(highway capacity manual; HCM)이 제시하는 지체 추정 모형(analytical model)이다. 이는 복수의 세부 이론들(누적대기도형(queue accumulation polygon) 및 대기행렬이론(queuing theory))이 결합된 모형이다. 비포화(undersaturation) 및 근포화(Near-saturation) 상황에 해당하는 일반적인 교통 조건에서 제어지체를 적절히 추정하는 데 활용되고 있다. 그러나 과포화 상황일 때 지체도를 추정함에는 한계가 있다. 모형 개발 단계에서 교차로 영향권에 개별 차량이 진입하고 진출하는 정확한 시점의 자료를 수집하기 어려워, 참조되어야 하는 현장 자료를 충분히 확보하기 힘들었다. 이는 모형 검증에 필요한 참값(ground truth) 자료의 확보가 불가능하였음을 의미한다. 이러한 제약의 주요 사유 중 하나는 당시 정보통신기술이 오늘날과 다름에 있을 것이다. 근래 정보통신기술의 급속한 발달로 개별 차량의 이동 궤적 자료 수집이 이제는 현실적으로 가능해졌다. 스마트교차로에 도입된 차량 번호판 자동 인식(automatic number plate recognition; ANPR) 등의 차량 감지 기술을 활용하면, 과포화 상황에서도 개별 차량 단위의 실측 지체 자료를 수집할 수 있다. 이는 기존에는 검증이 불가능하였던 과포화 조건에서의 지체도 추정 모형 개발과 실증적 평가가 비로소 가능해졌음을 의미한다. 이에 본 연구는 실제 개별 차량 궤적자료를 기반으로 기존 HCM 제어지체 추정 모형의 정확도를 더욱 향상시키고자 한다. 기존 HCM 모형을 기반으로 하되, 과포화 상황에서의 지체도 추정 모형을 구축하여 복합적으로 추정 및 보완하는 방법을 제안한다. 새로운 추정 모형은 실측 자료의 지체도와 비교·검증하고자 한다. 기존 HCM 모형의 지체도 추정값을 비교·분석하고, 개선된 정도를 객관적으로 평가하여 다양한 교통 조건에 대한 일반화 가능성을 검토한다.

본 연구는 인천광역시 스마트교차로에서 수집된 실제 차량 궤적자료(약 1백 50만 건)를 활용하였다. 이는 방대한 데이터 분석 과정이 요구된다. 이에 인공지능 기술과 접목하였다. 인공지능 기술은 HCM 제어지체 추정 모형을 통해 값을 산정 후, 실제 데이터 기반 제어지체 값과 비교하여 발생하는 차이를 인공지능이 집중적으로 학습하도록 하는 '잔차 학습(residual learning)' 기법을 적용하였다. 인공지능 추정 모형의 입력 변수는 (1) 교통류 특성, (2) 신호운영 특성, (3) 도착행태 특성 세 가지 변수로 구분하였다. (1) 교통류 특성은 포화도(v/c), 도착교통량(V), 차두간격, 교통 수요 변동성을 통해 도로에 유입되는 수요 수준과 혼잡도를 정량화하였다. (2) 신호 운영 특성은 신호 주기, 녹색시간 비율 연동값을 고려하여, 신호제어기의 실제 운영전략과 연동 품질을 직접적으로 반영하였다. (3) 도착행태 특성은 녹색 도착 여부, 주기 내 위치, 신호대기시간을 통해 '균일 도착' 가정의 한계를 넘어 실제 차량 도착 패턴을 반영하였다. 이에 HCM 추정 모형(d_{HCM}^i) 기반 과포화 상황(f_{AI}^i)을 고려한 지체도(d_o^i)를 추정하는 모형을 제안한다.(수식 (1) 참조.)

$$d_o^i = d_{HCM}^i + f_{AI}^i(e_1^i, e_2^i, \dots, e_n^i) \quad (1)$$

실제 현장에서 관측한 지체도 값을 기준으로 기존 HCM 지체 추정 모형과 본 연구에서 제안한 지체 추정 모형의 정확도를 비교 분석하였다. 분석 결과, HCM 지체 추정값 대비 제안 모형의 성능이 우수하였다. 실측 데이터 기준 RMSE는 HCM 추정 모형 대비 14.8초에서 8.9초로 약 40% 감소하였다. 이러한 결과는 실측 데이터를 포화도 상태별로 학습한 구조가 교통류의 비선형적 특성을 학습하고 추정한 것이다. 결과적으로 제안 모형은 기존 추정 모형이 지닌 과포화 상황의 설명력을 높이고, 실측값과 근접한 수준으로 추정하였다.

본 연구는 교통공학적 분석의 패러다임을 '가정 기반'에서 '데이터 기반'으로 전환하는 진기를 마련하였다. 향후 실시간 신호 최적화 시스템 및 스마트시티의 혼잡 관리 도구로 도시 네트워크의 이동성 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다.

AI 기반 신호제어 방식 현시 운영 특성 분석 연구

Study on the Analysis of Display Operation Characteristics of AI-based Signal Control Methods

이재형

김진태

(국립한국교통대학교 교통정책·시스템공학과, 박사과정) (국립한국교통대학교 교통시스템공학과, 교수)

도시부 신호교차로는 대부분 TOD(Time-of-Day) 방식으로 운영되나, 교통 패턴이 불명확한 비첨두 시간대에는 TOD 설계값이 실제 교통량과 괴리되어 불필요한 대기시간이 발생한다. 이를 극복하기 위해 AI 기반 적응형 신호제어 시스템의 도입이 확산되고 있으나, 기존 연구들은 지체 감소 결과 지표 중심의 평가에 집중되어 AI가 실제로 현시길 이를 어떻게 배분하는지에 대한 분석은 미흡하다. 본 연구는 AI 신호제어가 TOD 설계 원리를 유지하는지 또는 독립적인 운영 패턴을 형성하는지 규명하는 것을 목적으로 한다.

제주시 오일장동 교차로에 구축된 AI 기반 신호제어 시스템을 대상으로, 교통량 조사 여부에 따른 4개 시간대(오전·오후 첨두, 오전·오후 비첨두)의 현시 운영 특성을 분석하였다. AI 현시길이는 TOD 기준값에 AI가 조정된 phase change를 합산한 값으로 산출하였으며, Cyclic 방식만을 분석 대상으로 하였다.

현시길이의 분포 특성을 파악하기 위해 빈도분석과 Shapiro-Wilk 정규성 검정($\alpha=0.05$)을 수행하였다. 정규성 검정 결과, 교통량 조사가 이루어진 첨두시간대에서는 정규분포를 따르는 것으로 확인된 반면, 교통량 조사가 이루어지지 않은 비첨두시간대에서는 정규분포를 따르지 않는 것으로 확인되었다.

빈도분포 분석 결과, 첨두시간대에서 AI 현시길이는 Median을 중심으로 종형에 가까운 대칭 분포를 나타냈으며, TOD 고정 현시값이 AI 분포의 최빈구간 내에 위치하였다. 비첨두시간대에서는 TOD 고정 현시값이 AI 분포의 중심보다 오른쪽에 위치하여, AI가 TOD 설계값보다 낮은 현시길이를 더 빈번하게 표출하는 양상을 보였다. 시간대별 AI 현시길이를 TOD 기준으로 분류한 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1> TOD 기준 빈도분포

시간대	TOD 최적값 미달	TOD 일치	TOD 최적값 초과
오전 첨두	65.2%	17.4%	17.4%
오후 첨두	65.2%	13.0%	21.7%
오전 비첨두	75.0%	4.2%	20.8%
오후 비첨두	95.8%	4.2%	0.0%

교통량 조사가 이루어진 첨두시간대에서는 TOD 최적값 미달 비율이 65.2%로 나타났으나, TOD 일치 및 최적값 초과 비율도 함께 관찰되었다. 이는 AI 신호제어가 TOD 설계 최적값을 기준으로 교통상황에 따라 양방향으로 유연하게 현시를 조정하고 있음을 나타낸다. 반면, 교통량 조사가 이루어지지 않은 비첨두시간대에서는 TOD 최적값 미달 비율이 75.0~95.8%에 달하였으며, 오후 비첨두시간대에서는 TOD 최적값 초과 비율이 0.0%로 나타났다. AI가 TOD 설계값을 기준으로 활용하지 않고 실시간 교통상황에 반응하여 독립적인 운영 패턴을 형성하고 있음을 확인하였다.

본 연구는 AI 기반 신호제어 운영방식의 현시 특성이 교통량 조사 여부에 따라 명확하게 구분됨을 확인하였다. TOD 방식 자체 문제가 아니라, 교통량 조사 범위의 미비로 인해 시간대 TOD 설계값이 실제 교통수요를 적절히 반영하지 못하고 있음을 시사한다.

국도 감응신호제어시스템을 위한 대체검지기 성능기준 개선 연구

A Study on Improving Performance Standards of Actuated Signal Control Systems

이민형

(한국도로교통공단,
책임연구원)

이준엽

(한국도로교통공단,
연구원)

진재엽

(한국도로교통공단,
책임연구원)

본 연구는 감응신호제어시스템에 적용되는 대체검지기의 성능인증시험에서 사용되는 기존 평가지표의 한계를 분석하고, 이를 개선하기 위한 이벤트 검증 기반의 새로운 평가지표를 제안하는 것을 목적으로 한다. 일반국도는 직진 교통 비율이 높고 좌회전 및 부도로 유입 교통량이 상대적으로 적으며 변동성이 큰 특성을 가지므로, 고정식 신호제어 방식만으로는 효율적인 교통 운영이 어려운 한계가 존재한다. 이에 따라 교통량 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 감응신호제어가 도입되었으며, 이를 위해 차량 검지기의 정확성과 신뢰성 확보가 중요하게 요구된다.

현재 성능인증시험에서는 검지정확도와 검지오류율을 주요 평가지표로 활용하고 있다. 검지정확도는 차량 존재 시 이를 올바르게 검지하는 비율을 의미하며, 검지오류율은 점유시간 오류, 오검지, 과검지 등을 포함하여 산출된다. 그러나 이러한 평가지표는 차량 존재 상황에 대한 평가에 치중되어 있으며, 차량 비존재 상황에서 발생하는 오검지 특성이나 점유시간 차이에 따른 신호운영 영향 등을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다. 특히 영상 기반 검지기의 경우 기상조건에 따라 검지오류율이 크게 증가하는 문제가 확인되었다.

이에 본 연구에서는 검지기의 성능을 차량 존재 여부에 따른 이진분류 문제로 정의하고, 혼동행렬(Confusion Matrix)을 기반으로 한 이벤트 검증 방식의 평가지표를 제안하였다. 이를 통해 검지 결과를 True Positive(TP), True Negative(TN), False Negative(FN), False Positive(FP)의 네 가지로 구분하고, 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision), 재현율(Recall), 특이도(Specificity), 거짓양성률(False Positive Rate, FPR) 등의 지표를 활용하여 성능을 평가하였다. 특히 재현율은 기존의 존재검지 정확도와 동일한 개념으로 해석되며, 특이도와 거짓양성률을 통해 기존에 고려되지 않았던 차량 비존재 상황에서의 검지 성능을 정량적으로 평가할 수 있도록 하였다.

성능평가는 기존 성능인증시험에서 수집된 실제 데이터를 기반으로 수행되었으며, 총 153대의 차량 데이터를 활용하여 검지 이벤트를 분석하였다. 분석 결과, 기존 평가지표 대비 제안된 평가지표의 성능 값이 전반적으로 낮게 나타났다. 이는 차량 비존재 상황을 포함한 보다 엄격한 평가 기준이 적용된 결과로 해석된다.

결론적으로 본 연구에서 제안한 이벤트 검증 기반 평가지표는 차량의 존재 및 비존재를 모두 고려함으로써 검지기의 전반적인 성능을 보다 균형 있게 평가할 수 있으며, 감응신호제어시스템의 효율성과 신뢰성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 향후에는 다양한 환경과 검지기 유형에 대한 추가적인 비교 분석과 함께, 통계적으로 유의미한 성능 평가를 위한 적정 차량 표본 수 산정에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다. 이를 통해 보다 정교한 성능인증 기준 마련이 가능할 것으로 기대된다.



Poster Session

C-ITS 통신방식 단일화 정책 이후 도로변 통신 인프라 전환 전략 연구

A Study on Transition Strategies for Roadside Communication Infrastructure after the Adoption of a Unified C-ITS Communication Standard

윤영민

(한국건설기술연구원, 수석연구원)

지능형교통체계(Intelligent Transport Systems, ITS)는 교통정보 수집 및 제공을 중심으로 발전해 왔으며, 국내 ITS 구축 과정에서는 교통정보 수집을 위한 다양한 장비와 통신 기술이 단계적으로 도입되어 왔다. 초기(1990년대 중반) ITS 구축 단계에서는 VDS, AVI 등의 교통검지 장비가 활용되었으며, 2000년대 들어 차량에 장착된 단말기 식별 기반 교통정보 수집과 통행료 징수 등을 위해 DSRC(Dedicated Short Range Communications) 기술이 활용되었다.

2014년부터는 차량과 도로 인프라 간 실시간 정보 교환을 기반으로 교통안전 서비스를 제공하는 협력형 지능형교통체계(C-ITS)가 등장하면서 차량-간(V2V), 차량-인프라 간(V2I) 통신을 위한 V2X 기술이 도입되었다. 국내에서는 2014년 대전-세종 구간을 대상으로 C-ITS 시범사업이 추진되었으며, IEEE 802.11p 기반 WAVE 통신 기술을 활용한 노변장치(RSU)와 차량 단말기(OBU)가 구축되었다. 해당 사업에는 약 180억 규모의 예산이 투입되었으며, 이후 지자체 및 고속도로 구간을 중심으로 C-ITS 실증사업이 확대되면서 2021년 기준 약 599대의 RSU와 13,000여 대의 차량 단말기가 구축되었다. 이러한 사업은 국가 및 지방자치단체 예산을 기반으로 추진된 공공 인프라 구축 사업이라는 점에서 상당한 정책적 의미를 갖는다. 한편 글로벌 자동차 산업과 이동통신 기술의 발전에 따라 IEEE 기반 WAVE 기술과 이동통신 기반 Cellular-V2X(C-V2X) 기술 간 경쟁이 지속되어 왔으며, 약 4년간의 기술 검증과 정책 논의를 거쳐 2023년 12월 정부는 차세대 C-ITS 통신방식을 LTE-V2X(C-V2X) 기술로 단일화하는 정책 결정을 발표하였다.

주목해야 할 점은 C-ITS 통신방식 결정은 단순한 기술 선택을 넘어 교통안전 향상과 사회적 비용 절감 측면에서 중요한 정책적 의미를 갖는다는 것이다. 5G포럼 교통융합위원회에서는 V2X 기술 도입에 따른 교통사고 감소 효과와 사회적 편익을 분석한 바 있으며, 해당 연구에서는 LTE-V2X 기술 적용 시 IEEE 802.11p 기반 WAVE 기술 대비 교통사고 감소 효과와 사회적 비용 절감 효과가 더 크게 나타날 수 있음을 제시하였다. 이러한 분석 결과는 차량 간 및 차량-인프라 간 통신을 활용한 교통안전 서비스가 교통사고 감소와 사회적 비용 절감에 기여할 수 있음을 보여주며, C-ITS 통신방식 단일화 정책의 주요 정책적 근거로 활용되었다. 또한 정부는 C-ITS 확산을 위해 2030년까지 약 3.5조 원 규모의 투자를 계획하고 있으며, 이는 향후 교통 인프라 구축 방향에 중요한 영향을 미칠 것으로 예상된다.

그러나 C-ITS 통신방식 단일화 정책은 기존 WAVE 기반 C-ITS 인프라의 활용 및 전환 문제를 동시에 발생시켰다. 왜냐하면 기존 시범사업과 실증사업을 통해 구축된 WAVE 기반 노변장치와 통신 인프라는 향후 C-V2X 기반 C-ITS 구축 과정에서 레거시 인프라로 남게 될 가능성이 높기 때문이다. 특히 기존 C-ITS 인프라는 국가 및 지방자치단체 예산을 통해 구축된 공공 인프라라는 점에서 단순한 기술 교체나 즉각적인 철거 대상으로 접근하는 것은 적절하지 않다. 이러한 상황은 기존 인프라가 향후 활용되지 못한 채 좌초자산(stranded assets)으로 전환될 가능성을 내포하고 있으며, 공공 인프라 자산관리 측면에서도 중요한 정책적 고려사항이 된다. 따라서 기존 인프라의 잔존 수명, 유지관리 비용, 교통 서비스 필요성 등을 종합적으로 고려하여 체계적인 전환 전략을 마련할 필요가 있다.

본 연구에서는 기존 WAVE 기반 도로변 통신 인프라의 효율적 전환을 위해 3단계 전환 전략 모델을 제안하였다. 첫째, 병행 운영 단계이다. 통신방식 전환 초기에는 기존 WAVE 기반 인프라와 C-V2X 기반 인프라가 일정 기간 병행 운영될 가능성이 높다. 특히 차량 단말기 보급률이 낮은 초기 단계에서는 기존 서비스의 연속성을 확보하기 위해 WAVE 기반 인프라를 일정 기간 유지 운영할 필요가 있다. 둘째, 선택적 전환 단계이다. C-V2X 기반 인프라 구축이 확대되는 단계에서는 교통량, 교통안전 서비스 필요성, 장비 노후도, 유지관리 비용 등을 고려하여 우선 전환 대상 구간을 선정할 필요가 있다. 특히 교차로, 사고 다발 구간, 고속도로 주요 구간 등 교통안전 서비스 수요가 높은 구간을 중심으로 C-V2X 기반 인프라 구축을 우선적으로 추진하는 것이 바람직하다. 셋째, 단계적 종료 단계이다. C-V2X 기반 C-ITS 인프라 구축이 일정 수준 이상 확대되고 차량 단말기 보급률이 충분히 확보된 이후에는 기존 WAVE 기반 인프라의 단계적 종료 가능성이 가능하다. 이 과정에서 기존 장비의 유지보수를 점진적으로 중단하고 계획적으로 운영을 종료하는 선셋(Sunset) 전략을 적용할 수 있다. 또한 기존 노변장치 철거 과정에서 전원 설비, 통신 회선(백홀), 장비 설치 구조물 등 일부 물리적 인프라는 신규 C-V2X 인프라 구축에 재사용함으로써 인프라 전환 비용을 절감할 수 있다.

C-ITS 통신방식 단일화 정책은 향후 국내 교통 인프라 구축 방향을 결정하는 중요한 정책 전환점이므로 본 연구에서는 국내 ITS 발전 과정과 C-ITS 인프라 구축 현황을 분석하고, 통신방식 전환에 따른 도로변 통신 인프라의 효율적 전환 전략 모델을 제시하였다. 향후 연구에서는 해외 C-ITS 정책 사례와 인프라 전환 전략을 비교 분석함으로써 보다 체계적인 C-ITS 인프라 관리 정책을 마련할 필요가 있다.

HS-WIM의 축별 계측 오차와 총중량 오차의 분포 특성 비교 분석

(Comparing Error Distributions of Axle and Gross Weight in HS-WIM)

안선영

(한국건설기술연구원, 전임연구원)

장경찬

(한국건설기술연구원, 수석연구원)

1. 연구 배경

교통하중에 대한 정보는 과적 차량 관리 및 단속뿐만 아니라 도로나 교량의 포장 설계, 시설물 유지관리, 구조물 수명 예측 등에도 다양한 분야에서 활용되고 있다. 고속측중기(High-Speed Weigh-In-Motion, HS-WIM)는 이러한 교통하중 정보를 수집하는 장비로, 차량이 주행 상태에서 축하중과 총중량(Gross Vehicle Weight, GVW)을 계측할 수 있어 그 활용성이 높다. 그러나 HS-WIM은 차량의 동적 거동이나 노면 상태 등의 영향을 받기 때문에 계측 오차가 발생할 수 있으며, 따라서 이러한 오차 특성에 대한 분석이 필요하다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 HS-WIM 성능평가 자료를 활용하여 기준 축하중 및 총중량과 HS-WIM 계측값을 비교하였다. 분석에는 5축 세미트레일러 차량을 대상으로 수행된 HS-WIM 성능평가 주행 자료를 사용하였으며, 총 240회의 중량 측정 데이터를 활용하였다. 축별 상대오차와 총중량 상대오차는 다음과 같이 정의하였다.

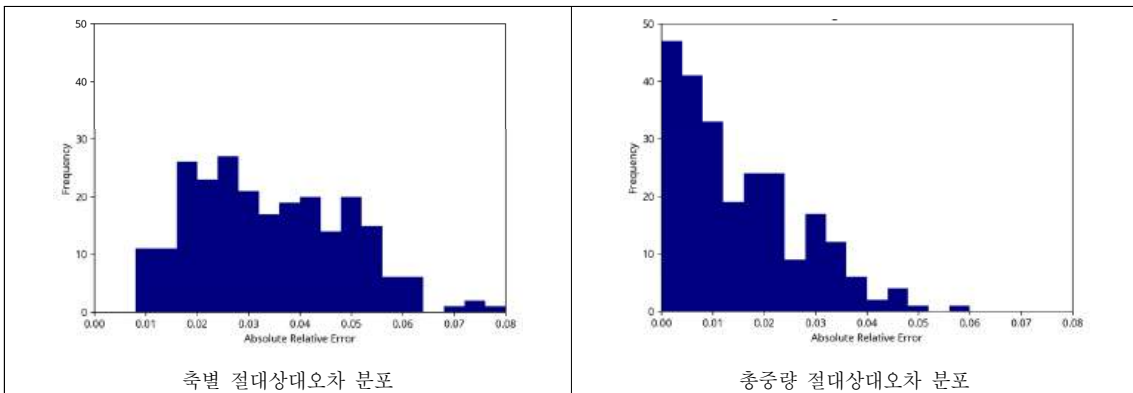
$$e_i = \frac{WIM_i - REF_i}{REF_i}, e_{GVW} = \frac{WIM_{GVW} - REF_{GVW}}{REF_{GVW}}$$

여기서, e_i 는 i 번째 축의 상대오차, WIM_i 는 HS-WIM 계측 축하중, REF_i 는 기준 축하중이며, e_{GVW} 는 총중량 상대오차, WIM_{GVW} 는 HS-WIM에서 측정된 총중량, REF_{GVW} 는 기준 장비에서 측정된 총중량이다.

분석에서는 축별 절대상대오차와 총중량 절대상대오차의 분포를 비교하여 두 오차의 특성의 차이를 확인하였다.

3. 분석 결과

축별 절대상대오차는 약 0.01에서 0.06이상의 넓은 범위에 걸쳐 고르게 분포하며, 오차의 변동성이 크게 나타났다. 반면 총중량 절대상대오차는 0.03미만의 좁은 범위에 밀집되어 있으며, 특히 0.01 이하의 저오차 구간에 집중되는 경향을 보였다. 이는 5개 축의 개별 계측 과정에서 발생하는 양(+)과 음(-)의 오차가 총중량 합산 과정에서 서로 상쇄되기 때문으로 판단된다.



<그림> 축별 절대상대오차와 총중량 절대상대오차 분포

4. 결론

본 연구에서는 HS-WIM 성능평가 자료를 바탕으로 축별 오차와 총중량 오차의 분포 특성을 비교하였다. 분석 결과, 총중량 오차가 낮더라도 개별 축하중 오차는 상당히 클 수 있음을 확인하였다. 이는 현재 총중량 위주의 HS-WIM 성능 검증 방식이 개별 축하중의 정확도를 충분히 반영하지 못할 수 있음을 시사한다. 따라서 HS-WIM 성능평가에서는 총중량 정확도뿐만 아니라 축별 오차 특성을 함께 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이러한 관점에서 본 연구는 HS-WIM 계측 오차 특성에 대한 기초적인 분석 결과를 제시하였으며, 보다 상세한 분석은 향후 연구에서 추가적으로 수행될 예정이다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원 평가인증사업으로 수행되었습니다. (과제번호 20250026, 2026년 ITS장비 성능평가 사업)

도로교통 공공 서비스·인프라의 암호화 사이버위협에 대한 네트워크 행위기반 보안관제 기술 개발

Development of security monitoring technology based network behavior
against encrypted cyber threats in ITS/C-ITS environment

황정운 (ITS Korea, 선임연구원)	양승규 (ITS Korea, 선임연구원)	신영섭 (ITS Korea, 선임연구원)	차태영 (ITS Korea, 책임연구원)	김상헌 (ITS Korea, 적합성평가실장)	김경환 (ITS Korea, 표준인증본부장)	조용성 (ITS Korea, 상임이사)
------------------------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------

최근 통신 기술의 고도화와 관련 인프라의 확산에 따라 사회 전반적으로 네트워크 기반 서비스가 확장하고 있으며, 이는 지능형 교통 체계(ITS) 및 차세대 지능형 교통 체계(C-ITS) 분야에서도 핵심적인 변화를 이끌고 있다. ITS는 수많은 장비와 시스템이 유기적으로 연계되어 서비스를 제공하는 구조적 특성을 지니며, 이로 인해 장비 간 연결성과 시스템의 개방성이 비약적으로 확대되었으나, 외부 시스템과의 접점이 늘어남에 따라 잠재적인 보안 위협 또한 동반 상승하고 있다. 특히 교통 시스템은 국민의 일상생활 및 안전과 직결되는 국가 핵심 인프라인 만큼, 사이버 위협으로부터 시스템을 보호하는 암호화 기술과 보안 체계 확보는 더 이상 선택이 아닌 필수 과제를 부정할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 ITS 시스템별 보안 요구사항을 체계적으로 규격화하고, 도로 교통 공공 서비스 및 인프라를 위협하는 사이버 공격에 대응하기 위해 '네트워크 행위 기반의 보안 요구사항 규격 및 적용 가이드라인'을 개발하고자 한다.

본 연구의 핵심은 전통적인 정보보호체계의 한계점(평문, 비암호화 정보 중심)을 극복하기 위해 지능형 도로교통 서비스 환경에 최적화된 통합 공유·협력 플랫폼을 개발하는 것이다. 이를 위해 1단계 연구에서 ITS와 C-ITS 시스템의 보안 취약점을 진단하고 보안 요구사항 규격화를 위한 기초자료 분석을 수행하였다. 취약점 조사 결과 두 시스템은 서비스 목적과 네트워크 구조에서 상이한 보안 특성을 보였다. ITS는 차량검지기, 돌발상황검지시스템, 스마트교차로 등을 통해 도로교통 상황을 실시간으로 모니터링하며 관리의 효율성을 높이는 데 주력한다. 이는 다수의 물리적·논리적 구성요소가 내부적으로 긴밀하게 연계되어 동작하는 특징을 갖는다. 반면, C-ITS는 차량과 인프라 간의 통신(V2X)을 기반으로 위치기반 정보, 위험구간 알림 등 운전자의 안전을 직접적으로 지원한다. 이러한 구조적 차이로 인해, 외부 네트워크와의 상호연계성이 극대화된 C-ITS는 메시지 교환 및 정보 융합 과정에서 ITS에 비해 사이버 공격 등 외부 보안 위협에 노출될 위험이 현저히 높다.¹¹

이에 본 연구는 향후 연구에서 각 지능형 교통체계 시스템과 서비스의 네트워크 구조의 차이를 고려하여 각 보호 대상에 최적화된 맞춤형 보안 요구사항 규격을 개발하고 이에 대한 표준화를 진행하고자 한다. 더 나아가 자율협력주행산업발전협의회 C-ITS(통신) 분과, ITS 표준총회 등 이해당사자 의견수렴을 통해 요구사항 규격을 보완 예정이다.

추가적으로 본 연구과제에서 개발된 비복호화 사이버 위협 탐지 기술의 도입 및 적용 전략을 개발하고자 한다. 이를 위해 도로교통 공공서비스·인프라의 시스템에 적용된 보안기술 별 관련 법·제도 도입, 적용 현황을 분석 예정이며, 도입 및 적용 전략을 구축하여 보안기술 도입 방안과 로드맵을 제시하고자 한다.

또한, 보안 실무자들이 현장에서 쉽게 적용할 수 있도록 보안 기술별 위협시나리오, 대응 방안 등에 대해 구체적으로 정의한 보안 기술 가이드를 정립하고자 한다. 이 과정에서 공공/민간 보안 전문가, 사업 시행자 등 다양한 이해당사자의 의견 수렴을 통해 보안 기술 가이드의 실효성을 높일 것이다. 최종적으로 본 연구를 통해 ITS 산업 전반의 보안체계를 확립함으로써, 사이버 위협으로부터 안전한 도로교통 환경을 조성할 것이며 더 나아가 관련 산업의 지속적인 발전을 도모하고자 한다.

사사: 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00236032)

교차로 신호운행을 반영한 교통정보 수집 및 가공 방안

A Method for Traffic Information Collection and Processing Reflecting Intersection Signal Operation

안휘근

(한국도로교통공단, 연구원)

이민형

(한국도로교통공단, 책임연구원)

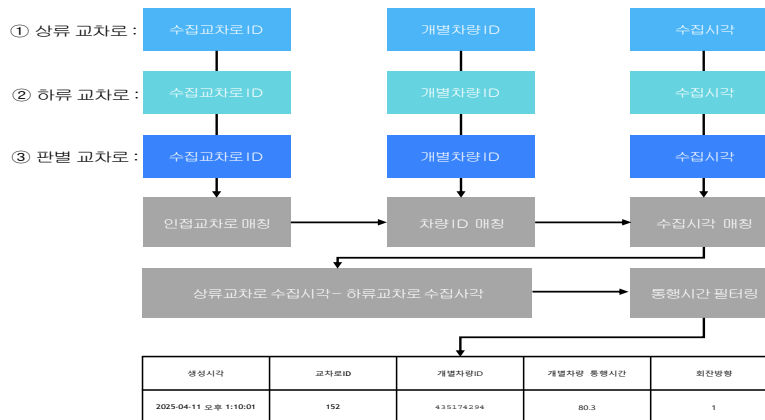
김광수

(한국도로교통공단, 책임연구원)

최근 대부분의 차량에는 하이패스(Hi-pass)가 설치되어 있으며 전용 근거리 통신(DSRC, Dedicated Short-Range Communications)으로 통행료를 자동 징수하고 있다. 하이패스 단말기는 통행료 징수시 단말기 번호, 시간, 카드 번호 등의 정보를 전송하여 통행료를 산출한다. 본 연구에서는 하이패스의 통신 특성을 이용해 DSRC 교통정보 수집 장치를 통해 교통정보 수집방법과 가공하는 방안을 마련하였다.

교차로에 DSRC 수집장치에 고유 ID를 부여하여 설치하고, 하이패스 단말기를 장착한 차량이 DSRC 수집구간을 통과 할 때 고속도로의 하이패스 톨게이트와 마찬가지로 단말기 번호, 통신시각 등을 수집하여 원시자료를 생성하고, 동시에 해당 교차로의 교통신호제어기로부터 교차로 정보와 A링, B링의 현시와 진행 시간 등을 신호운영 이력을 같이 수집하였다.

개별차량 정보 수집시 교통신호제어기의 운영이력과 매칭하여 개별차량 통행시간 정보를 주기단위로 가공하였다. 같은 주기 시작 시간 자료들에서 링, 현시 및 회전 방향을 구분해 이동류를 분류하였으며 교통정보에서 offset 구분을 가능하게 하여 시간대별 이동류 특성 분석을 가능하도록 가공했다.



최종적으로 교통신호제어기로부터 교차로 운영정보를 반영해 주기단위로 가공된 교통정보는 이동류 구분이 가능하며 각각의 평균통행시간을 생성 할 수 있었다.

향후 연구에서는 본 연구를 바탕으로 지점교통정보와 구간교통정보를 가공해 새로운 교통정보를 생성하고 신호교차로 운영과 관련된 평가방법 등에 대해 연구를 진행하고자 한다.

최소한 프로브 차량 데이터를 활용한 침투율 인지 기반 교통속도 및 불확실성 추정

Estimating Corridor-Level Traffic Speed with Penetration-Aware Uncertainty
Using Sparse Probe Vehicle Data

박하정

(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

이승현

(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

본 연구는 매우 최소한 프로브 차량 궤적 데이터를 활용하여 회랑 수준의 시공간적 교통류 프로파일을 추정하기 위한 프레임워크를 제안한다. 기존 교통상태 추정 기법과 달리, 제안된 방법은 극히 낮은 프로브 차량 침투율 환경에서도 적용 가능하며, 추정 신뢰성 향상을 위해 공간적 속도 변동성을 명시적으로 반영한다. 제안된 프레임워크에서는 각 링크 및 시간 구간별로 개별 차량의 이동 특성을 요약하는 차량 단위 대표속도를 산출한다. 이를 위해 1초 단위 waypoint 관측값을 Time-Weighted Average(TWA)로 집계하여 차량 기반 속도 샘플을 생성함으로써, 독립적인 프로브 관측치를 확보한다.

또한 검지기 기반 교통량 데이터를 활용하여 유한 모집단 보정(Finite Population Correction, FPC)을 적용함으로써, 시간에 따라 변화하는 프로브 침투율과 추정 불확실성을 연계하고, 프로브 데이터가 최소한 상황에서 불확실성이 과대 추정되는 문제를 방지한다. 더 나아가, 공간적으로 이질적인 교통 조건에서의 강건성을 향상시키기 위해, 대상 링크와 인접 링크 간의 속도 변동성을 Kalman smoothing 프레임워크에 반영함으로써 회랑 수준 속도 추정의 시공간적 일관성을 확보한다.

결과적으로 제한된 수의 프로브 차량만으로도 유의미한 회랑 수준 교통속도 패턴과 불확실성 범위를 도출할 수 있다.

제안된 Spatio-temporal Kalman Smoothing(SKS) 프레임워크는 대한민국 고양시에서 수집된 1초 단위 디지털 운행기록계(Digital Tachograph, DTG) 데이터를 활용하여 검증되었다.

또한 공간 정보를 반영하지 않는 기존 Kalman smoothing 기반 방법과의 비교를 통해 제안 모형의 성능을 평가하였다.

사사: This project has been funded by Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA, RS-2025-16066665) under the Driving Urban Transitions Partnership, which has been co-funded by the European Commission.

차량추종모형 보정을 통한 신호교차로 군집주행 전략수립

Platooning strategy at consecutive signalized intersections based on calibrated car-following model

남혁주

(서울시립대학교 교통공학과, 학부생)

이승현

(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

도심 도로망에서 신호교차로는 교통 체증과 비효율을 유발하는 대표적인 병목 구간이다. 특히 차량이 신호대기 구간에서 빈번히 정지·재가속을 반복하면 연료 소모와 대기오염이 급증하며, 평균 주행속도와 교통 흐름 품질이 크게 저하된다. 이를 극복하기 위해 최근에는 차량 간 통신(CV) 및 자동화 기술을 활용한 군집주행과 제적 스무딩기법이 주목받고 있다. 군집주행은 차량들이 짧은 간격으로 집단 이동함으로써 도로 용량을 극대화하고, 제적 스무딩은 신호정보를 이용해 불필요한 완전 정지를 최소화하여 연료 효율성과 통행 시간을 동시에 개선한다. 그러나 기존 연구는 주로 단일 교차로 또는 고정 신호 체계에 한정되어 있으며, 차량 추종 행동을 하나의 통합 파라미터 집합으로만 모델링하는 한계가 있다. 따라서 본 연구를 통해 군집 구성 유형별 운전행태 특성과 제적 스무딩 성능을 정량적으로 분석하고, 이를 바탕으로 각 군집별 차량추종모형 파라미터 보정 프레임워크를 제안하고자 한다.

본 연구에서는 신호교차로 주행 제적 데이터를 활용하여 HDV(Human Driven Vehicle) 군집의 형성 조합에 따른 운전행태를 클러스터링으로 구분하고, 각 클러스터별로 최적화된 차량추종모형 파라미터를 정산하는 프레임워크를 제안하고자 한다. 이를 위해 첫째, 실제 차량제적 데이터로부터 Platoon 구성 유형별 주행 패턴 특성을 추출하고, K-means 기반의 클러스터링 기법으로 운전행태를 분류한다. 둘째, 각 클러스터에 대해 IDM(Intelligent Driver Model) 모델의 파라미터를 유전알고리즘 기법으로 캘리브레이션한다. 마지막으로 고정 신호와 검지기 연동 신호 체계 각각에서 평균 정지 횟수, trip time의 성능 지표를 비교·분석하여, 제안 프레임워크의 적용 가능성과 실효성을 종합적으로 평가한다. 도심 신호교차로에서의 군집주행 및 제적 스무딩 연구는 다음 다섯 가지 주요 축으로 정리할 수 있다. Asadi와 Vahidi(2011)는 SPaT 정보를 이용해 교차로별 녹색 통과 가능 속도 범위를 계산하고 MPC를 통해 속도 추종 오차와 제동 사용을 최소화하는 Predictive Cruise Control 기법을 제안하였다. 이 프레임워크는 단일 고정신호 환경에서 최대 47% 연료 절감과 56% CO₂ 저감을 달성했으나, 실시간 신호 변화나 검지기 연동은 반영하지 못했다. Yao 등(2018)은 일부 차량에만 Variable Speed Limit을 부여하고 나머지 차량은 Gipps 모델로 추종하도록 하는 IVSL-LC 기법을 제안하여 정지 횟수 및 통과 시간을 감소시켰다. 다만 단일 교차로를 대상으로 한 평가에 그쳤으며, 연속된 다중 교차로 연동 및 군집 내부 동기화는 고려하지 않았다. Stebbins 등(2017)은 platoon 리더의 전체 제적을 GLOSA로 최적화하고 주기마다 리더를 재선정하여 정지 횟수를 사실상 제거하는 방법을 개발하였다. 이 연구 역시 교차로 간 오프셋 조정과 리더 식별 오류 대책이 마련되지 않아 적용 범위가 제한적이다. Liu 등(2020)은 고정 및 동적 SPaT 모두를 “가상 차량”으로 모델링한 MPC 제어 기법을 제시하여 platoon 지연과 연료 소비를 유의미하게 줄였다. 그러나 높은 계산 부담으로 인해 실시간 현장 적용에 제약이 따른다. Talebpour와 Mahmassani(2016)은 인간 운전자, ACC, CACC가 혼합된 환경에서 소수의 CAV만으로도 충격파를 억제해 스트링 안정성을 확보할 수 있음을 보였다. 이 연구는 교차로 통과 효율성 평가보다는 전체 흐름 안정성에 초점을 맞추어, 신호교차로 구간에서의 성능 검증은 미흡하다. 이러한 선행연구들은 신호정보 기반 제어, V2I/GLOSA, MPC 기법, 혼합교통 안정성 측면에서 중요한 성과를 보였으나 연속 교차로 연동, 군집 구성별 운전행태 반영 및 실시간 신호 변화 대응 등의 과제를 남겨 두고 있다.

본 연구의 본론에서는 신호교차로 구간에서 HDV와 CAV가 혼합된 조건 하에서 군집주행 특성을 종합적으로 분석하기 위한 연구 시나리오와 평가 프레임워크를 서술한다. 먼저, 연구는 두 가지 시나리오를 설정하여 진행된다. 시나리오 1은 모든 차량이 HDV로만 구성된 플레톤 환경을 대상으로, 자연적으로 형성되는 HDV 군집의 운전행태와 안정성을 분석하는 것이며, 시나리오 2는 SUMO 시뮬레이션 상에 CAV를 일부 투입해 HDV와 CAV가 혼합된 군집을 조성하고, 이 혼합 환경에서 나타나는 다양한 리더-팔로워 조합의 특성을 비교·분석하는 것이다. 특히 본 연구는 대상 차량이 HDV인 경우와 CAV인 경우를 구분하여, 각각 네 가지 리더-팔로워 조합을 설정함으로써 총 여덟 가지 조건을 평가한다.

시나리오 1(모든 차량이 HDV인 환경)에서 관측된 네 개 클러스터의 밀도-흐름-속도 분포 및 Lane 1 제적 시각화 결과, 신호교차로 진입 전후에도 운전행태가 주변 교통 밀도와 선행차 속도에 따라 뚜렷하게 네 가지 유형으로 분리됨이 확인되었다. 고밀도·저속 영역에 해당하는 Cluster 3은 장시간 정체와 느린 회복이 반복되어 교차로 대기 구간이 길었으며, 상대적으로 저밀도·고속·고흐름을 나타낸 Cluster 4는 거의 정지 없이 연속 통과하는 이상적인 제적을 보였다. 이와 같은 결과는 동일한 신호주기 조건에서도 HDV 운전자의 반응이 일관된 군집별 패턴을 형성함을 시사하며, 각 클러스터에 맞춘 차량추종모형 파라미터 보정과 GLOSA/MPC 기반 속도 제어 설계가 필요함을 뒷받침한다.

신호교차로에서 차종 및 진행방향에 따른 차두간격 분포 특성 분석

(Analysis of Headway Distribution Characteristics by Vehicle Type and Movement at Signalized Intersections)

장경찬

김현준

안선영

(한국건설기술연구원, 수석연구원) (한국건설기술연구원, 전임연구원) (한국건설기술연구원, 전임연구원)

1. 연구의 배경

신호교차로에서의 차두간격(Headway)은 교통류의 흐름 특성을 나타내는 핵심 지표로서, 교차로 용량 산정 및 신호 운영 효율 분석에 중요한 역할을 한다. 특히 최근에는 교통류 내 대형차 및 버스의 혼입을 증가에 따라 차종별 특성이 교통류에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 있다. 일반적으로 차량이 대형화될수록 차량의 길이, 가속 성능 및 운전 행태의 차이로 인해 차두간격이 증가하는 경향이 있는 것으로 알려져 있으나, 실제 신호교차로 환경에서는 진행방향, 보행자 간섭, 신호운영 조건 등 다양한 요인이 복합적으로 작용한다. 따라서 차종별 차두간격 특성을 단순 평균 비교에 그치지 않고, 진행방향과 결합하여 상세히 분석하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 실제 교차로 검지 데이터를 활용하여 차종 및 진행방향에 따른 차두간격 분포 특성을 분석하고, 그 차이를 정량적으로 제시하고자 한다.

2. 연구방법

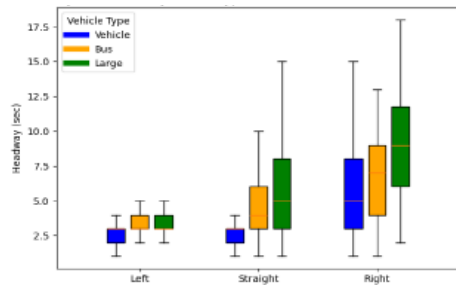
본 연구에서는 신호교차로에 설치된 영상식 차량검지기로부터 수집된 데이터를 활용하였다. 분석 대상은 2023년 8월 25일부터 27일까지 수집된 자료이며, 각 차량에 대해 통과 시간, 차종 및 진행방향 정보를 활용하였다. 차두간격은 동일 차로에서 연속적으로 통과하는 차량 간 시간 차이로 정의하였으며, 시간순으로 정렬된 차량 간 통과시간 차이를 이용하여 산정하였다. 또한 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 0초 이하 및 20초 이상의 비정상치는 분석에서 제외하였다. 차종은 승용차(Vehicle), 버스(Bus), 대형차(Large)의 3종으로 분류하였으며, 진행방향은 직진, 좌회전, 우회전으로 구분하였다. 단, 유턴 교통류는 표본 수가 매우 적고, 교차로 기하구조 및 운영 방식에 따라 변동성이 커 분석 대상에서는 제외하였다. 이후 차종 및 진행방향별 기초통계량(평균, 중앙값, 표준편차)과 분위수(85%, 95%)를 산정하여 차두간격의 분포 특성을 비교 분석하였다.

3. 분석 결과

차종 및 진행방향에 따른 차두간격 특성을 분석하기 위해 기초통계 분석과 분포 분석을 수행하였다. 분석 결과, 차종별 평균 차두간격은 승용차 3.32초, 버스 4.82초, 대형차 5.18초로 나타나 차량이 대형화될수록 차두간격이 증가하는 경향이 확인되었다. 특히 95% 분위수 기준에서 승용차는 약 8초인 반면, 버스는 12초, 대형차는 14초로 분석되어 대형차 혼입 시 교통류의 변동성이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 진행방향별 분석 결과, 직진 교통류에서 차종에 따른 차두간격 차이가 가장 크게 나타났다. 승용차의 평균 차두간격은 3.15초인 반면 버스는 5.17초, 대형차는 6.25초로 나타나, 대형차의 경우 승용차 대비 약 2배 수준의 차두간격을 보였다. 반면 좌회전 교통류에서는 승용차 3.01초, 버스 3.78초, 대형차 3.61초로 차종 간 차이가 상대적으로 작게 나타났다. 우회전 교통류의 경우 전체적 차두간격과 분산이 크게 증가하였으며, 이는 차종 자체의 특성보다는 보행자 간섭 및 비신호 제어 등 외부 요인의 영향이 크게 작용한 결과로 판단된다.

[차종별 방향별 차두간격] (단위 :대, 초)

진행방향	차종	표본수	평균	중앙값	표준편차	85%	95%
직진	승용	18,136	3.15	3	2.42	4	7
	버스	275	5.17	4	3.57	8	12
	대형	734	6.25	5	4.01	11	15
좌회전	승용	4,577	3.01	3	1.81	4	6
	버스	151	3.78	3	1.90	5	7.5
	대형	588	3.61	3	1.73	5	7
우회전	승용	1,068	6.49	5	4.56	12	17
	버스	17	7.71	7	4.59	13	14.2
	대형	24	9.75	9	4.46	15.6	16.9
	대형	8	9.00	8.5	4.78	14.0	14.7



4. 결론

본 연구는 실제 신호교차로 검지 데이터를 기반으로 차종 및 진행방향에 따른 차두간격 특성을 분석하였다. 분석 결과, 차량이 대형화될수록 평균 차두간격이 증가할 뿐만 아니라 분산 또한 확대되어 교통류의 안정성이 저하되는 경향이 확인되었다. 이러한 차종별 영향은 진행방향에 따라 상이하게 나타났으며, 특히 직진 교통류에서 가장 뚜렷하게 나타났다. 반면 좌회전 교통류에서는 차종 간 차이가 상대적으로 작았으며, 우회전 교통류에서는 보행자 및 외부 간섭 요인이 차두간격에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 따라서 신호교차로의 교통류 분석 및 용량 산정 시 차종 혼입률뿐만 아니라 진행방향을 함께 고려할 필요가 있으며, 특히 직진 교통류에서의 차종 구성 변화는 교차로 운영 효율에 중요한 영향을 미칠 수 있다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원 평가인증사업으로 수행되었습니다. (과제번호 20250026, 2026년 ITS장비 성능평가 사업)

자율주행차량 도입에 따른 도로다이어트 분석

Intergrating Road Diets with Autonomous Vehicles in Signalized Networks

문경준

(서울시립대학교 교통공학과, 학석사연계과정)

변지혜

(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

This study presents a quantitative framework that integrates the deployment of autonomous vehicles (AVs) and connected autonomous vehicles (CAVs) with road diet feasibility in signalized networks. We analyzed whether capacity reductions resulting from lane reductions could be offset by the AV/CAV penetration in mixed traffic environments. Vehicle behaviors were modeled using multi-regime prospect theory for manual vehicles, ACC models for AVs, and adaptive reaction time models for CAVs, with MOBIL governing lane changes. A 3×3 grid network with structural bottlenecks simulated realistic urban conditions. Two demand scenarios were evaluated against two performance targets: maintaining current service levels and allowing saturation operation. Bayesian Optimization determined optimal AV/CAV penetration rates, while Network Fundamental Diagrams quantified actual network performance. Results revealed that uncongested networks achieved successful road diets with moderate penetration, while congested conditions required a minimum 57% CAV penetration. Simulations exposed critical discrepancies between macroscopic capacity calculations and actual performance, where reduced headways paradoxically accelerated shockwave propagation at signalized intersections. The framework provides practical thresholds for coordinating infrastructure transformation with technology deployment timelines for sustainable urban planning.

정확도 향상 및 유지를 위한 교보정 절차

Calibration Manual for The Improvement and Maintenance

박가문날비

(한국건설생활환경시험연구원(KCL))

AI소프트웨어평가센터 연구원)

김태상

(한국건설생활환경시험연구원(KCL))

적합성본부 본부장)

과적 화물차량은 도로 인프라와 교통 안전에 중대한 위협을 야기하며, 이를 완화하기 위해서는 고속측중기(HS-WIM) 시스템을 통한 효과적인 모니터링이 필수적이다. 많은 국가에서 HS-WIM 시스템의 설계와 성능평가에 COST 323, OIML R134, ASTM E1318 등 국제 WIM 및 ITS 관련 표준과 가이드라인을 준용하고 있으며, 국내에서는 총중량 및 축하중의 정확도 요구사항을 규정한 ITS 성능평가 기준에 따라 시스템이 구축·운영되고 있다.

현장 연구 결과에 따르면, 고속측중기의 계측 정확도는 온도 변화, 강우, 포장 상태, 차량 주행 특성과 같은 외부 환경 요소뿐 아니라 센서 노후화, 설치 편차 등 시스템 내부 요인에 의해 지속적으로 영향을 받는 것으로 보고되고 있다. 이러한 영향이 잘 알려져 있음에도 불구하고, 이를 체계적으로 관리하기 위한 표준화된 운영 절차와 상시 정확도 관리 체계는 아직 부족한 실정이다. 설치·검정 위주의 일회성 성능평가와 실제 운영 단계에서의 지속적인 정확도 유지 관리 간의 이러한 간극으로 인해, HS-WIM 시스템 전 생애주기에 걸쳐 정확도를 유지할 수 있는 구조화된 교차 교정(calibration) 프레임워크의 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 교정을, HS-WIM 계측값을 공인 정적 계측에 의해 검정된 기준 중량과 반복적으로 비교하여 교정 계수를 산출·적용함으로써, 설치 단계의 초기 교정 이후에도 운영 전 기간에 걸쳐 연속적인 정확도 관리를 가능하게 하는 반복적(Iterative) 프로세스로 정의한다.

교정 효과를 평가하기 위해 저속(20 km/h)과 중속(30 - 60 km/h) 조건에서 네 가지 실험 시나리오를 수행하였으며, 시험에는 2 - 5축 차량이 사용되었다. 기준 중량은 신뢰성을 확보하기 위해 공인 정적 저울을 이용한 반복 계측을 통해 획득하였다. 기준 중량 데이터는 제어된 조건에서 분산이 최소화될 것을 요구하였다. 동적 데이터는 과도한 가속 또는 감속($\pm 1.0 \text{ m/s}^2$ 초과), 차로 변경, 회피 기동이 포함된 주행은 제외하고, 정상적인 주행 행태에 해당하는 계측만 사용하였다. 총중량(GVW)과 개별 축하중은 주요 교정 대상 파라미터로 선정하였다.

이러한 실험을 바탕으로 제안된 절차는 성능에 따른 관리 기준을 유지, 관찰, 개선의 세 가지 범주로 구분하고, 장기적인 안정성 확보를 위해 일정 주기에 따라 수행하는 정기 검교정과 성능 저하나 포장 보수·센서 교체와 같은 물리적 변화, 또는 ‘관찰·개선’ 판정이 발생했을 때 수행하는 비정기 검교정을 구분하였다. 이러한 이중 구조를 통해 예방적 유지관리와 사후(교정적) 유지 및 관리를 모두 가능하게 하며, 검교정 결과는 운용 여부를 단정적으로 결정하는 절대 기준이라기보다 시스템 상태를 진단하는 지표로 활용된다.

본 연구에서 제안한 절차는 검교정 대상 항목, 정확도 기준, 단계별 절차, 운영 일정, 이력 관리 등을 포괄하는 종합적인 HS-WIM 정확도 관리 체계를 구축한다는 점에서 의의가 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부 국토과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음. (RS-2022-00142239)

데이터 희소 OSM 환경에서의 휠체어 통행 경로 생성 방법론

A Methodology for Wheelchair Routing in Data-Sparse OSM Environments

장재홍

(한남대학교 빅데이터응용학과,
학사과정)

한정우

(한남대학교 빅데이터응용학과,
학사과정)

심지섭

(한남대학교 빅데이터응용학과,
조교수)

OSM(OpenStreetMap)은 이용자들이 공동으로 구축하고 갱신하는 개방형 지리정보 플랫폼으로, 해당 플랫폼 상의 지도 데이터는 경로 탐색 연구와 네트워크 분석 등에 폭넓게 활용되고 있다. 그러나 우리나라 도시의 보행 네트워크에서는 노면 상태, 연석, 휠체어 접근성 등 보행 약자 접근성과 관련된 핵심 속성의 구축이 미흡하여 휠체어 경로 등 교통 약자의 통행 경로 분석 방법론을 그대로 적용하기 어렵다. 이에 본 연구는 데이터가 희소한 OSM 환경에서 이동 시나리오별 통행 가능 네트워크를 정의하고, 이동 부담과 경로 주변 활동 기회를 함께 고려하는 다중목적 경로 분석 방법론을 제시한다. 이를 위해 먼저 제주특별자치도와 대전광역시의 보행 네트워크, 경사 정보, 관심지점 자료(POI)를 결합하여 이동 시나리오별 제약 선별 네트워크를 구축하였다. 또한 동일한 제약 조건 하에서 세 가지 대표 경로 생성 전략을 수립하고((i) 이동 부담 최소화 경로, (ii) 활동 기회 최대화 경로, (iii) 질충형 경로), 각 전략별 차이를 비교하였다. 분석 결과, 이동 시나리오에 따라 통행 가능 네트워크의 범위가 달라졌으며 특히 수동 휠체어 시나리오에서는 급경사가 네트워크 축소의 주요 원인으로 나타났다. 또한 일부 출발지-도착지 쌍에서는 세 가지 대표 경로 전략이 서로 다른 경로 구조로 분화하였다. 본 연구에서는 동일한 제약 조건에서도 경로 전략에 따라 각기 다른 대안 경로가 형성될 수 있음을 검증하였으며, 특히 데이터가 희소한 OSM 환경에서 휠체어 경로를 생성할 때에는 통행 가능 네트워크의 정의가 비용함수의 정교화보다 우선 되어야 함을 확인하였다.

사사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

도심 교차로 자율 이동 로봇을 위한 R2X 기반 내비게이션 시스템

R2X-Based Robust Navigation System for Autonomous Mobile Robots in Urban Intersections

김명현

(한국과학기술원,
석사과정)

김준영

(한국과학기술원,
석사과정)

김인희

(한국과학기술원,
부교수)

천경훈

(한국과학기술원,
연구원)

최근 라스트마일 배송 및 도심 순찰 등 다양한 분야에서 자율 이동 로봇(Autonomous Mobile Robot, AMR)의 활용이 급증함에 따라, 신호 교차로에서의 안전한 횡단 의사결정이 핵심 과제로 부상하고 있다. 기존 비전 기반 신호 인식 방법은 자동차 중심 데이터셋으로 학습되어 AMR의 낮은 카메라 시점에 일반화하기 어려우며, 강한 역광·야간 저조도 환경에서의 색상 왜곡과 보행자 밀집 상황에서의 동적 폐색으로 인해 신호 인식 신뢰도가 현저히 저하된다. 이는 급정지, 우유부단한 기동, 적색 신호 시 무단 진입 등 위험 행동으로 직결되며, 특히 신호 변경 시점에 로봇이 횡단보도 중간에 고립되는 '딜레마 존(Dilemma Zone)' 문제는 보행자 안전에 심각한 위협이 된다.

본 연구는 비전 기반 인식의 불확실성을 보완하기 위해 R2X(Robot-to-Everything) 통신을 활용한 정보 인식 기반 의사결정 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 교차로에 설치된 노변 장치(RSU)로부터 SAE J2735 표준에 따른 신호 현시 및 잔여 시간 정보(SPaT)를 실시간으로 수신하여, 현재 신호 상태와 잔여 시간을 획득한다. 이를 바탕으로 횡단보도 길이, 로봇의 평균 속도, 안전 여유 시간을 종합적으로 고려한 횡단 가능 시간 검증 알고리즘(Time-to-Cross)을 적용하여, 안전한 횡단 완료가 보장되는 경우에만 진입을 허용한다. 이 예측적 의사결정 논리는 현재 신호가 녹색이더라도 잔여 시간이 부족하면 진입을 금지함으로써 딜레마 존 상황을 원천적으로 방지하며, 비전 인식 실패 상황에서도 결정론적 통신 데이터를 통해 일관된 행동을 유지하게 한다.

제안 시스템은 LIMO Pro 플랫폼에 구현되었으며, KAIST 문지캠퍼스 내 실외 신호 교차로에서 정상 조명(S1), 극단적 조명 도전(S2), 동적 폐색(S3)의 세 가지 시나리오로 각 40회씩 비교 실험을 수행하였다.

실험 결과, 비전 단독 시스템은 횡단보도 구간 내 신호 인식률이 S1에서 13.2%, S2에서 12.6%, S3에서 10.5%에 그쳤으며, 야간 환경(S2)에서는 녹색 신호 인식률이 0%로 나타나 신호 상태를 전혀 판별하지 못하였다. 동적 폐색 환경(S3)에서는 보행자에 의한 카메라 시야 차단으로 인해 인식률이 S1 대비 추가적으로 저하되었다. 이에 따라 비전 단독 시스템의 횡단 중 신호 미인지 구간은 S1 84.4%, S2 73.7%, S3 91.8%로 나타났으며, S2에서 적색 신호 중 횡단보도 진입이 5건, S3에서 4건 발생하였다. 반면, 제안 시스템은 세 시나리오 모두에서 횡단보도 구간 내 신호 인식률 100%를 달성하였고, 횡단보도 내 적색 신호 진입은 S1에서 0건, S2에서 0건, S3에서 0건으로 확인되었다. 딜레마 존 검출률은 S1 22.1%, S2 16.4%, S3 25.4%로, 잔여 시간이 부족한 상황을 사전에 감지하여 진입을 차단하였다. 특히 S3에서는 장애물 차폐 동안에도 SPaT 통신을 통해 신호 정보를 지속적으로 수신함으로써, 차폐 해제 후 즉시 정확한 횡단 판단이 가능하였다. 이는 차폐 해제 후 신호 상태를 알 수 없는 비전 단독 시스템과의 핵심적 차이이다.

본 연구는 비전 인식을 대체하는 것이 아닌 상호 보완하는 다중 정보 융합 전략을 통해, 완전한 시각적 실패 상황에서도 안전성을 보장하는 확장 가능한 솔루션을 제시한다. 향후 연구에서는 동적 폐색 시나리오에 대한 추가 실험, 인프라 카메라 및 VLM(Vision-Language Model)을 활용한 교차로 상황 인식 확장, 그리고 통신 지연 및 패킷 손실 환경에서의 강인성 검증을 수행할 예정이다.

사사: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2025-02223612).

This research was supported by the Korea Innovation Cluster Foundation (INNOPOLIS) grant funded by the Korea government (MSIT). (No. RS-2025-02307661, Regional Innovation Demonstration Scale-up Support Project)

영상센서의 오차 특성을 반영한 차량 밀도 추정 방법

Traffic Density Estimation Considering Error Characteristics of Vision Sensor

이희원

(한국교통연구원 도로교통연구본부 주임연구원)

이지선

(한국교통연구원 도로교통연구본부 연구위원)

최근 차량용 블랙박스와 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS) 등 영상센서 기반의 안전장치 보급이 늘어나고 있다. 이러한 안전장치들은 주행의 안전성을 높이기 위한 역할이 일차적으로 중요하지만, 다른 한편으로는 교통정보를 수집하기 위한 장치의 역할 또한 수행할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구는 이러한 점에 착안하여 영상센서를 통해서 얻어지는 차간 거리 정보를 이용하여 차량 밀도를 추정하는 방법을 개발하였다. 특히 영상센서의 특성상 측정 거리에 수반되는 오차를 차량 밀도의 추정 과정에 반영함으로써 이론적인 밀도가 아닌 실제 현장에서 오차를 수반하는 밀도를 측정하는 방법을 개발하였다.

분석을 위해서 본 연구에서는 시뮬레이션 기반의 실험 환경을 구축하고 차간 거리 기반의 밀도 추정 방법을 개발하였다. 본 실험의 첫 번째 단계에서는 차량 밀도를 추정하기 위해 필수적인 차간 거리 정보를 실제 현장에서 수집하는 과정으로부터 시작하였다. 두 번째 단계에서는 이러한 실제 현장의 차간 거리 정보를 기반으로 오차의 특성을 분석하는 과정을 수행하였다. 오차의 분포는 차간 거리에 따라 군집을 형성하는 패턴으로 나타났고 이를 통해 확률밀도를 추정하였다. 세 번째 단계에서는 차간 거리에 따른 오차를 발생시키고 이를 밀도 계산 과정에 반영하는 과정을 진행하였다. 이러한 조건을 바탕으로 시뮬레이션을 실행한 결과 영상센서의 오차를 반영한 차량 밀도를 추정할 수 있었고 더불어 현장 활용성을 확인할 수 있었다.

교통량과 신호 잔여시간을 고려한 GLOSA 기반 친환경 주행 전략

An Eco-driving Strategy Based on GLOSA Considering Traffic Volume and Remaining Signal Time

박건민

(한남대학교
AI·데이터사이언스학과,
석사과정)

정희진

(한국과학기술정보연구원,
선임연구원)

심지섭

(한남대학교
빅데이터응용학과,
조교수)

연속된 교차로 구간에서는 다수 차량의 정지와 가속이 반복적으로 발생하며, 이는 통행 효율 저하와 에너지 소비 증가를 초래하는 주요 요인으로 작용한다. 신호 잔여시간을 고려한 속도 권고를 위해 GLOSA(Green Light Optimal Speed Advisory) 기반의 주행 전략이 제안된 바 있으나, 실제 교통상황 및 신호 지점에서의 지연 통과 전략을 고려한 분석은 상대적으로 부족하였다. 본 연구는 기존 연구들의 한계점을 보완하기 위해 신호 정보와 교통상황을 함께 고려한 GLOSA 전략의 효과를 3가지 시나리오별로 비교·분석하였다.

본 연구에서는 SUMO 기반 시뮬레이션 환경에서 다중 교차로, 배경 교통 흐름, 회전 교통을 포함한 도로 네트워크를 구축하고, 세 가지 주행 시나리오를 동일 조건에서 적용하였다. 기준 주행 시나리오는 별도의 속도 권고 없이 ego 차량이 일반 차량처럼 주행하는 기준 조건이며, 신호기반 GLOSA 시나리오는 신호 잔여시간만을 반영한 기존 연구 방식의 조건과 동일하다. 교통상황 반영 GLOSA 시나리오는 신호 잔여시간과 주변 교통상황을 함께 고려하고, 필요 시 무리한 통과 대신 다음 녹색 신호를 선택하는 지연통과 전략을 반영하도록 하였다. 실험 결과, 기준 시나리오 대비 신호기반 GLOSA는 정지 횟수와 대기시간을 유의미하게 완화하였으며, 특히 교통상황 반영 GLOSA 시나리오는 이동 시간이 다소 증가할 수 있으나 연료 소비와 CO₂ 배출 저감 측면에서 가장 우수한 성능을 나타냈다.

본 연구의 결과는 복잡한 도시 간선축 환경에서 GLOSA 기반 속도 제어가 정지 횟수와 대기시간을 완화하며, 친환경 경성을 더욱 향상시킬 수 있음을 보여준다. 본 연구에서는 가상의 환경을 토이 네트워크로 구축하여 실험하였으나, 향후 연구에서는 실제 데이터를 결합하여 본 실험 결과에 대한 검증을 수행하고자 한다. 또한 본 연구에서 제안하는 주행 전략 및 그 적용 결과는 향후 자율주행 차량의 주행 판단 로직을 설계하는 데에도 기초 자료로 활용될 수 있다.

사사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

교통약자를 위한 전동보장구 충전시설 입지선정에 관한 연구: 대전광역시를 중심으로

Site selection of public charging stations for power assistive devices:
A case study of Daejeon, South Korea

이승보 (한남대학교 경영정보학과, 학사과정)	이성계 (한남대학교 경영정보학과, 학사과정)	정희진 (한국과학기술정보원, 선임연구원)	고은정 (한남대학교 빅데이터응용학과, 조교수)
--	--	-------------------------------------	---

대한민국은 초고령사회의 진입과 함께 고령인구 및 교통약자의 비중이 빠르게 증가하고 있으며, 이에 따라 이동을 지원하는 전동보장구의 이용 또한 지속적으로 확대되고 있다. 전동보장구는 교통약자의 일상적 이동을 가능하게 하는 핵심적인 수단으로서, 배터리 충전 인프라는 이용자의 활동 반경과 삶의 질을 좌우하는 중요한 요소이다. 따라서 효율적이고 합리적인 충전시설의 입지 선정은 정책적·사회적 측면에서 중요한 과제로 대두되고 있다.

이에 본 연구는 대전광역시를 대상으로 전동보장구 충전시설의 우선 설치지역을 도출하고, 기존 설치 패턴을 학습한 머신러닝 기반 입지 추천 모형을 구축하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 대전광역시 전역을 300m×300m 그리드로 세분화하여 생활권의 공간적 이질성을 반영하였다. 행정구역 단위의 분석은 동일 행정동 내부의 생활권 차이와 실제 시설 접근성을 충분히 반영하기 어렵고, 충전시설의 입지는 골목 단위, 상권 단위, 대중교통 거점 주변 등 미시적 공간 특성의 영향을 크게 받기 때문에 그리드 기반 분석이 보다 적절한 것으로 판단하였다. 이를 바탕으로 각 그리드별 장애인 수요와 시설 밀집도를 산출하였으며, 기본 변수로는 장애인 등록 인원, 복지시설, 지하철역, 대규모점포, 공공체육시설, 경찰시설, 소방서, 버스정류장 등을 반영하였다. 또한 대전 지역의 생활권 특성과 공공시설 분포를 보다 정밀하게 설명하기 위하여 병원, 초등학교, 공원, 종교시설, 도서관, 고령자 인구 등 지역 특성 변수를 추가하였다. 이러한 변수들은 교통약자의 잠재 수요, 체류 가능성, 공공 접근성 및 생활편의성을 종합적으로 반영하도록 구성하였다.

다음으로, 구축된 그리드 단위 자료를 바탕으로 입지 평가를 위한 전처리와 점수화를 수행하였다. 먼저, 데이터 왜곡을 최소화하기 위하여 결측치는 중앙값으로 대체하였으며, 변수 간 단위 차이로 인한 편향을 줄이기 위해 최대-최소(Min-Max) 정규화를 적용하였으며, 이후 다양한 요인을 단일 기준으로 통합하여 비교할 수 있도록 가중치 기반 입지점수를 산출하였다. 해당 점수는 장애인 수요, 복지 접근성, 교통 접근성, 공공안전, 생활편의성을 종합적으로 반영한 지표로서, 각 격자의 우선 설치 가능성을 상대적으로 비교하기 위한 기준으로 활용되었다. 또한 기존 충전시설의 설치 여부를 중속변수로 설정하여 기존 설치의 공간적 특성을 학습하는 머신러닝 모형을 구축하였다. 이 과정에서 충전시설이 설치된 격자의 비율이 매우 낮아 자료 불균형 문제가 발생하므로, 이를 완화하기 위해 SMOTE 오버샘플링 기법을 적용하였다. 아울러 특정 모형의 결과에만 의존할 경우 알고리즘별 편향이 발생할 수 있다는 점을 고려하여, 복수 모형에서 공통적으로 추천된 지역을 최종 후보지로 선정하였다. 또한 대전광역시는 특정 자치구를 단일사례지역으로 한정하지 않고, 5개 자치구를 순차적으로 테스트셋으로 활용하는 자치구 홀드아웃 방식을 적용하였다.

이 결과, 전체 5,994개 그리드(Grid)가 최종 분석에 활용되었으며, 이 중 기존 충전시설이 설치된 그리드는 138개로 확인되었다. 가중치 기반 입지점수 상위 1%에 해당하는 63개 그리드가 우선 설치 후보지로 도출되었으며, 이는 장애인 수요와 시설 접근성이 상대적으로 높은 지역으로 해석할 수 있다. 또한 4개 모형에서 공통적으로 추천된 후보지는 총 11개 그리드로 나타났으며, 각각 동구 5개, 유성구 3개, 서구 3개로 도출되었다. 이는 특정 생활권과 교통 접근성이 우수하고 의료 및 공공시설이 밀집한 지역이 공통적으로 높은 평가를 받았음을 시사한다. 본 연구는 향후 전동보장구 충전시설의 입지 선정에 있어 실증적 근거를 제공하는 데 활용될 수 있다.

시사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

지속 가능한 자율주행 모빌리티를 위한 승하차 인프라의 전략적 배치 연구

Strategic Planning of Pick-Up and Drop-Off Infrastructure for Sustainable Autonomous Mobility

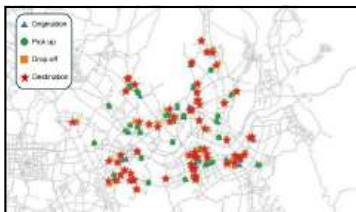
김채원

(경기대학교 도시·교통공학과, 석사과정)

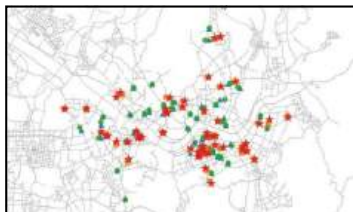
김정화

(경기대학교 도시·교통공학과, 조교수)

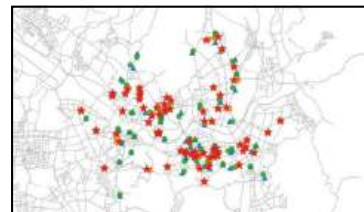
도시화 가속, 교통 혼잡 심화, 환경 문제 증가로 인해 공유 모빌리티 서비스에 대한 관심이 높아지고 있다. 공유 자율전기택시(SAET)는 개인 차량 의존도를 낮추고 교통 인프라 활용 효율을 높이는 지속 가능한 도시 모빌리티의 수단으로 주목받고 있다. 그러나 SAET의 실질적 운영을 위해서는 차량 경로 최적화를 넘어 승하차(PUDO) 활동을 체계적으로 관리하는 인프라가 반드시 뒷받침되어야 한다. 실제로 미국 보스턴에서는 기존 주차 공간을 PUDO 구역으로 전환하는 시범 사업이 운영된 바 있으며, 우버, 리프트 등 차량 호출 서비스도 공항 주요 거점에서 PUDO 구역을 운영하고 있다. 그럼에도 기존 연구는 차량 배치 및 경로 생성 알고리즘에 집중되어 있어, PUDO 구역의 공간적 배치 문제는 상대적으로 다루어지지 않았다. 최적 계획된 PUDO 인프라가 없을 경우 최적 경로로 운행되는 차량이라도 승객 접근성 저하, 국지적 혼잡, 승차 구역 인근의 안전 위험에 노출될 수 있다. 본 연구는 서울시 택시 통행 데이터를 활용한 혼합정수선형계획법(MILP) 기반 최적화 프레임워크를 개발하였다. 2023년 10월 9일 하루 동안 수집된 577,542건의 택시 승하차 기록을 분석하였으며, DBSCAN 밀도 기반 군집화 알고리즘을 통해 3,809개의 후보 PUDO 구역을 도출하였다. 모델은 보행 접근성, 구역 용량, 차량 우회 거리, 전기차 충전 요건, 자율주행 운행설계영역(ODD) 제약을 통합적으로 고려하였다. 분석 결과, 허용 보행 시간이 5분에서 10분, 15분으로 늘어남에 따라 서비스 수락률은 29%, 55%, 62%로 상승하고 공차 운행 거리는 감소하였다. 보행 허용 시간이 시스템 성능에 영향을 끼치는 설계 변수임이 확인되었으며, 10분이 효율성과 접근성을 균형 있게 유지하는 기준값으로 채택되었다. 시간대별 분석에서는 오후 시간대(14~18시)에 80%로 가장 높은 수락률이 나타난 반면, 심야(22~02시)에는 48%로 가장 낮았다. 공차 운행은 저녁 피크 시간대(18~22시)에 가장 높아, 시간대별로 차별화된 인프라 배치 전략의 필요성이 확인되었다.



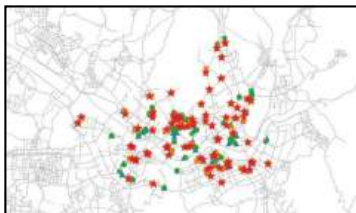
[그림 1] 02:00-06:00



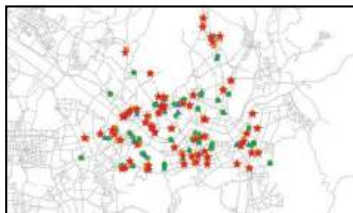
[그림 2] 06:00-10:00



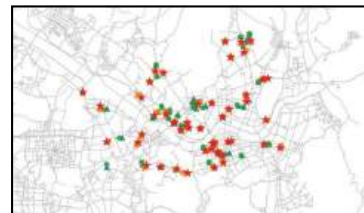
[그림 3] 10:00-14:00



[그림 4] 14:00-18:00



[그림 5] 18:00-22:00



[그림 6] 22:00-02:00

입지 특성 분석에서는 건물 밀도 관련 지표가 시간대 전반에 걸쳐 일관되게 높은 성과를 보였다. 복합용도 개발지, 병원, 대형 상업 시설 등 도시 활동이 집중된 지역이 PUDO 배치에 유리한 환경을 제공하는 것으로 나타났다. 또한 전략적으로 선정된 소수의 PUDO 구역만으로도 효율적인 서비스 커버리지 확보가 가능함을 확인하였다. 본 연구는 PUDO 인프라를 차량 운행 관점뿐만 아니라 도시 공간 특성과 시간 변동 수요를 고려한 전략적 도시 모빌리티 시설로 계획하여야 함을 시사한다.

사사: This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Grant 22AMDP-C160881-02, Future Road Design and Testing for Connected and Autonomous Vehicles).

중단 시계열 분석을 활용한 통합 교통정책이 서울시 공공자전거 이용에 미치는 영향 분석

The Impact of Intergrated Transportation Policy on Public Bike Uasge in Seoul:
An Interrupted Time Series Approach

이성재	이승보	정희진	고은정
(한남대학교 경영정보학과, 학사과정)	(한남대학교 경영정보학과, 학사과정)	(한국과학기술정보원, 선임연구원)	(한남대학교 빅데이터융용학과, 조교수)

서울시는 대중교통 이용 확대와 탄소 배출 감소를 목표로 대중교통을 통합적으로 이용할 수 있는 통합형 정기권 제도인 '기후동행카드'를 도입하였다. 기후동행카드는 1회 요금 충전으로 사용기간동안 지하철, 버스, 따릉이, 한강버스를 무제한 이용할 수 있는 대중교통 통합 정기권이다. 한편, 2015년 서울시 공공자전거 '따릉이'는 도입 이후 연간 이용 건수가 지속적으로 증가해왔으나, 2024년을 기점으로 변화 양상이 나타나고 있다.

이에 본 연구는 자전거 이용의 생활화, 친환경 정책 등의 정책으로 도입한 서울시 공공자전거의 이용 건수 변화와 정책을 분석하였다. 특히, 친환경 이동 수단 확대라는 공통된 목적을 가진 기후동행카드와 따릉이 정책을 함께 비교함으로써, 통합 교통 정책이 공공자전거 이용에 미치는 영향을 실증적으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 또한 이러한 분석을 바탕으로 향후 공공자전거 활성화와 기후동행카드와 같은 통합 교통 정책 설계에 대한 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

이에 본 연구는 2023년 3월 1일부터 2026년 2월 28일까지의 서울시 공공자전거 이용 데이터를 활용하여 중단 시계열(Interrupted Time Series, ITS) 분석을 수행하였다. 정책 개입의 인과적 효과를 준수험적으로 식별하고, 정책 도입 전후의 수준 변화와 추세 변화를 동시에 분석하기 위해 중단 시계열 분석 방법을 적용하였다. 정책 개입 시점은 기후동행카드 시범 사업 (2024년 1월 23일), 본 사업(2024년 7월 1일), 후불결제 도입(2024년 11월 30일)으로 각각 설정하였으며, 정책 도입 전후의 즉각적인 수준 변화와 시간 경과에 따른 추세 변화를 동시에 식별하기 위하여 각 시점에 대한 단계 변화(Step)와 추세 변화(Slope)를 동시에 추정하였다. 또한 주말·공휴일 여부, 평균기온, 강수량, 요일 효과 등을 통제변수로 포함하여 기후동행카드의 정책 효과를 분석하였다.

분석 결과, 기후동행카드 정책 도입은 따릉이 이용량에 영향을 미친 것으로 나타났다. 시범사업 단계는 즉각적으로 이용 건수가 감소하였고(coef = -38,290, $p < 0.001$), 이후 점차적인 이용 증가 추세가 확인되었다. 반면, 본 사업 도입 이후에는 이용량의 추가적인 감소가 나타났으며(coef = -116,200, $p < 0.001$), 후불결제 도입 이후에도 이용량 감소 추세는 지속되는 것으로 나타났다(coef = -64,650, $p < 0.001$). 이는 기후동행카드가 버스, 지하철과 같은 대중교통의 이용을 촉진함에 따라 상대적으로 공공자전거 이용을 일부 대체하는 효과가 발생했을 가능성을 시사한다.

결과적으로 본 연구는 환경을 위한 통합 교통 정책이 개별 교통수단에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다는 점에서 의의를 가진다. 특히, 이는 동일한 친환경 목표를 가진 정책 간에도 상호 보완이 아닌 대체 효과가 발생할 수 있음을 보여준다. 이에 향후 공공자전거 이용의 활성화를 위해서는 통합 교통 정책과의 연계 구조를 보다 면밀하게 파악하고 대중교통 정책과의 연계 및 조정을 함께 진행할 필요가 있을 것으로 사료된다.

사사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

텍스트-트립체인 융합 기반 환승 이벤트 스트레스 지수 산정 및 네트워크 지도화: 형평 가중 우선순위 분석

Estimation and Network Mapping of Event-Based Transfer Stress Index Using Text - Tripchain Fusion:
An Equity-Weighted Prioritization Framework

양민수

(계명대학교 교통공학과, 석사과정)

홍정열

(계명대학교 교통공학과, 교수)

대중교통은 통근·통학과 같은 일상 이동을 지탱하는 핵심 교통수단으로 많은 시민이 반복적으로 이용하는 대표적인 공공 서비스이다. 그러나 이용 규모가 큰 만큼 혼잡은 상시적으로 발생하며 이는 대기시간 증가, 이동 동선의 복잡성 증대 등으로 이어져 이용자가 체감하는 스트레스 수준을 높이는 주요 요인으로 작용한다. 특히 운행 간격의 불확실성, 연결여유시간 부족, 복잡한 환승 동선 등은 환승 과정에서 스트레스를 더욱 증폭시키는 핵심 요인으로 지적된다. 기존 연구에서는 환승시간, 혼잡도, 접근성 등 물리적 지표를 중심으로 환승 불편을 평가해왔으나 스트레스가 발생하는 지점과 원인을 세밀하게 구분하거나 이용자의 감정 변화 과정을 반영하는 데에는 한계가 존재한다. 따라서 환승 과정에서의 체감 스트레스를 보다 정밀하게 설명하기 위해서는 물리적 요인뿐 아니라 이용자의 정서적 반응을 통합적으로 고려한 분석이 필요하다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 트립체인 기반 통행정보, 텍스트 기반 정서 신호, 그리고 이용자 속성 변수를 결합한 환승 이벤트 단위 스트레스 지수를 개발하였다. 환승을 단순한 시간 증가가 아닌 ‘하차 - 이동 - 대기 - 재승차’로 구성된 하나의 이벤트로 정의하고 해당 과정에서 발생하는 감정의 변화와 누적 구조를 반영하였다. 대기시간, 연결성 불편 등 물리적 요인과 텍스트 데이터에서 추출된 긍·부정 감정을 통합하여 스트레스 지수를 산정하였다. 특히 본 연구는 환승 과정에서의 감정 흐름을 단일 시점이 아닌 연속적인 감정 시퀀스(sequence)로 재구성하고 감정 전이 분석을 통해 스트레스 형성 과정을 동적으로 해석하였다. 또한, 문장 단위로 분류된 감정 상태를 기반으로 감정 간 전이 확률을 분석함으로써 특정 조건에서 부정 감정으로의 전이가 강화되거나 지속되는 패턴을 규명하였다. 이러한 접근은 환승 과정에서의 일시적 불편을 넘어 스트레스가 어떻게 누적되고 심화되는지를 설명할 수 있으며 기존의 평균적 지표 중심 분석을 넘어 환승 과정에서 발생하는 감정 전이와 스트레스의 동적 형성 메커니즘을 설명할 수 있다는 점에서 차별성을 갖는다.

본 연구에서 제안한 환승 이벤트 기반 스트레스 지수는 환승 불편이 발생하는 지점과 원인을 정량적으로 식별할 수 있으며 공간적·사회적 편차를 체계적으로 규명하는데 기여한다. 특히 환승시간 비율 증가에 따른 스트레스 급증 구간과 같은 임계 특성을 확인함으로써 단순한 시간 단축이 아닌 환승 경험의 질적 개선이 중요함을 시사한다. 나아가 본 연구는 환승 거점의 개선 우선순위 설정, 혼잡 완화 정책 수립, 형평성 기반 투자 의사결정 지원 등 다양한 정책적 활용 가능성을 제공한다. 궁극적으로 본 연구는 대중교통 환승 환경의 실질적 개선과 이용자 중심 교통 정책 수립을 위한 정량적 근거를 제시한다.

멀티모달 데이터 기반 트립체인 분석을 통한 공유 모빌리티 기능적 권역 설정 방법론 연구

A Study on the Methodology for Establishing Functional Zones for Shared Mobility through
Multimodal Data-Based Trip Chain Analysis

박기현
(계명대학교, 석사과정)

홍정열
(계명대학교 교통공학과, 교수)

본 연구는 자가용 이용자의 실제 GPS Trajectory 데이터를 기반으로 통근·통학 및 생활 이동의 경로 패턴을 분석하고, 이를 바탕으로 기존 행정구역 중심이 아닌 실제 통행 수요 중심의 기능적 공유 모빌리티 권역을 도출하는 것을 목적으로 한다. 연구의 출발점은 현대 도시의 교통 혼잡과 환경 오염이 자가용 중심의 비효율적 이동에서 비롯되며, 기존 공유 모빌리티 서비스가 라스트 마일이나 특정 거점 중심으로 운영되어 광역적이고 복합적인 통근 수요를 충분히 반영하지 못한다는 문제 의식이다. 이에 따라 본 연구는 통행의 단순한 OD가 아니라 하루 일과와 활동이 연결된 트립체인 구조로 이해하고, 실제 경로 기반의 이용자 행태를 정밀하게 분석함으로써 보다 현실적인 서비스 권역과 운영 전략을 제시하고자 한다.

연구의 차별성은 데이터, 방법론, 권역 설정 방법, 정책 목표의 네 측면에서 드러난다. 기존 연구가 주로 정형화된 OD 자료나 통계 자료를 활용하고 행정동 단위의 공간 구분에 머물렀다면, 본 연구는 GPS 데이터, 운전자 속성 정보, 인터뷰 텍스트를 결합한 멀티모달 데이터셋을 활용하였다. 분석 방법으로는 시계열 궤적을 고차원 벡터로 변환하는 Traj2Vec 임베딩을 적용하여 경로의 형상 뿐 아니라 속도, 방향성 등 잠재적 특성까지 학습하였고, 이후 HDBSCAN과 K-Means를 결합한 하이브리드 군집화를 통해 자연스러운 패턴 그룹을 도출하면서도 노이즈로 분류된 궤적을 재할당해 데이터 손실을 최소화하였다. 이를 통해 행정구역이 아닌 실제 이동 행태와 공간 밀도에 기반한 기능적 권역을 설정하고, 각 권역에 적합한 카풀, DRT, 셔틀 등 맞춤형 서비스를 설계하는 틀을 마련하였다.

분석 자료는 2024년 8월 10일부터 10월 31일까지의 서울·경기권 개인 차량 이동을 대상으로 구축되었으며, 총 4,500개의 트립체인 데이터와 4,500개의 인터뷰 데이터가 활용되었다. GPS 자료에는 수집시각, 위도·경도, 속도 등의 주행 기록이 포함되고, 운전자 속성 자료에는 성별, 연령, 직업, 소득, 통행 목적, 운전경력 등이 포함된다. 또한 인터뷰 텍스트에는 출발·도착지 선정 이유, 경로 변경 사유, 선호도 등 정량 자료만으로 파악하기 어려운 주관적 정보가 담겨있다. 주요 특성을 보면 30~50대가 전체의 중심을 이루고, 주간 차차 이용이 거의 매일인 이용자가 52.3%, 나홀로 차량이 71.4%, 가벼운 소지품 휴대가 59.5%, 중형차 이상 이용 비중이 69%로 나타났다. 통행목적은 통근이 35%로 가장 높았지만, 업무, 여가, 기타 목적도 상당 비중을 차지하여, 단순 출퇴근 전용 서비스 만으로는 수요를 충분히 포괄하기 어렵다는 점이 확인되었다. 즉, 서비스 설계시 정형적 통근 수요 뿐 아니라 시간대별·목적별로 달라지는 비정형 이동까지 함께 고려해야 함을 보여준다.

본 연구는 도출된 군집의 특성을 해석하기 위해 Lift 분석도 적용하였다. 이는 전체 데이터에서 특정 속성이 나타날 확률과 특정 클러스터 내에서 해당 속성이 나타날 확률을 비교함으로써, 각 군집을 설명하는 핵심 속성을 객관적으로 추출하는 방식이다. 분석에는 연령대, 직업군, 소득 수준 등의 이용자 속성, 차종과 유종 등의 차량 속성, 이동목적·동승자·소지품·집중 시간대 등의 통행 환경 변수가 투입되었다. 또한 인터뷰 텍스트는 LLM 기반 파이프라인을 통해 정형화 되었으며, 직업, 동승자, 이동목적, 경로 선택 우선순위, 주요 불만, 운전 감정 등의 범주형 변수로 추출되어 기존 데이터셋을 보완하였다. 이 과정은 단순 수치 자료를 넘어서 이용자 의사결정과 제약 조건을 함께 반영하게 해주며, 향후 공유 모빌리티 서비스 설계의 설명력을 높여주는 기반이 된다.

종합하면, 본 연구는 자가용 이용자의 실제 경로 패턴을 정밀하게 분석하여 행정구역이 아닌 실제 생활권 기반의 서비스 권역을 제안하고, 그 권역별로 적합한 공유 모빌리티 운영 모델을 설계하려는 시도라는 점에서 의의가 있다. 이러한 접근이 주요 통근축의 피크시간대 자가용 통행 감소, DRT 기반 운영 효율성 증대, 나홀로 차량 감소에 따른 환경비용 절감, 대중교통 소외지역과 교통약자의 이동권 보장으로 이어질 수 있음을 제시한다. 또한 정책적으로는 광역 통근 축에는 프리미엄 구독형 출퇴근 버스, 생활거점에는 커뮤니티 기반 케어형 카셰어링, 도심 단거리 권역에는 PM 환승연계 정책 등 권역별 차별화 전략이 가능함을 시사한다. 결국 본 연구는 OD 중심 분석의 한계를 넘어, GPS 기반 경로 분석·딥러닝 임베딩·텍스트 정형화·권역 맞춤형 서비스 설계를 통합한 실증적 프레임워크를 제시했다는 점에서 학술적·정책적 가치가 크다.

철도역 동적 정보 환경에서의 정보 접근성 분석

Information Accessibility in Dynamic Information Environments of Railway Stations

백지혜

(한국과학기술원(KAIST), 석사과정)

철도역의 출발 안내 전광판은 이용자가 이동과 동시에 정보를 탐색해야 하는 대표적인 동적 정보 환경이다. 그러나 기존 연구는 전광판의 정보 구성이나 가독성에 주로 초점을 두고 있으며, 정보가 얼마나 빠르게 전환되는지와 같은 시간적 설계 요소에 대한 논의는 상대적으로 부족한 실정이다. 특히 이러한 전환 주기가 신체적 제약을 가진 이용자에게도 충분한지에 대해서는 충분히 검토되지 않았다.

본 연구는 철도역 전광판의 정보 전환 주기가 모든 이용자에게 적절한지에 대한 문제의식에서 출발한다. 이를 위해 가상현실 기반 철도역 환경을 구축하고, 약 7초 주기로 정보가 갱신되는 전광판을 재현하였다. 또한 노화 시뮬레이션을 적용하여 신체 제약이 결합된 조건에서 정보 탐색 과정을 비교·관찰하였다.

분석 결과, 일부 참가자는 한 번의 전환 주기 내에서 목표 정보를 충분히 확인하지 못하고, 다음 주기를 기다려야 하는 경향이 나타났다. 특히 제약 조건에서는 이러한 경향이 더욱 뚜렷하게 나타났으며, 이는 전광판의 정보 전환 속도가 일부 이용자의 정보 처리 속도보다 빠를 수 있음을 시사한다.

이러한 결과는 철도역 정보 시스템이 단순한 정보 제공 수단을 넘어, 특정 이용자에게는 잠재적인 이동 제약으로 작용할 수 있음을 보여준다. 특히 현재의 전환 주기가 평균적 이용자를 기준으로 설정되어 있을 경우, 이동 및 시각 제약을 가진 이용자는 정보 접근 과정에서 추가적인 부담을 경험할 수 있다.

따라서 향후 철도역 전광판 설계에서는 정보 전환 주기를 보다 유연하게 조정하거나, 다양한 이용자 특성을 고려한 시간 기반 설계 전략에 대한 검토가 필요하다.

본 연구는 정보 접근성을 교통 불이익의 한 측면으로 확장하고, 동적 정보 환경에서의 시간적 설계 요소를 재조명했다는 점에서 의의를 가진다.

사사: 본 연구는 한국철도공사(KORAIL)와 KAIST 간 산학협력 프로그램(KAIST - KORAIL Railway Mobility Program, A0602030009)의 지원을 받아 수행되었습니다.

공간자기상관을 고려한 음이항 회귀모형 기반 대전광역시 공공자전거 이용 특성 분석

Analysis of Public Bicycle Usage in Daejeon
Using a Negative Binomial Model with Spatial Autocorrelation

성하운

(한남대학교 빅데이터응용학과,
학사과정)

이동섭

(한남대학교 빅데이터응용학과,
학사과정)

심지섭

(한남대학교 빅데이터응용학과,
조교수)

대전광역시의 공공자전거 타수는 2024년 이후 연간 500만 건 이상의 이용 건수가 발생하며 지역 사회의 필수 교통 수단으로 자리 잡고 있다. 이에 따라 공공자전거의 효율적인 운영과 데이터 기반 재배치 전략 수립을 위해 이용 특성과 수요 영향 요인에 대한 실증적 분석이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 대전광역시 타슈 이용 데이터 자료를 활용하여 시간대별 이용 특성, 통행 유형, 대여소별 수요의 공간적 영향 요인을 분석하였다. 이를 위해 대여소별 공간적 영향권을 설정하고 인구밀도, 사업체 밀도, 대중교통 접근성 등 공간 변수를 구축하였다. 한편 공공자전거 이용은 편도형 통행과 왕복형 통행에 따라 이동 목적 및 시공간적 이용 특성이 다르게 나타나므로 통행 유형을 구분한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 타슈 이용 데이터를 기반으로 편도형·왕복형 통행을 정의하고 대여소별 이용 건수 자료의 과산포와 공간자기상관을 고려한 음이항 회귀모형을 사용하였다. 분석 결과, 타슈 이용은 편도형 통행이 대부분을 차지하였으며 출퇴근 시간대에 집중되는 경향을 보였다. 반면, 왕복형 통행이 차지하는 비중은 낮지만 점심 및 저녁 시간대에 상대적으로 높은 비율을 보여 이용 목적의 차이를 보였다. 또한 대여소별 이용 수요는 주변 공간 특성에 따라 유의한 차이를 보였는데, 이는 타슈 이용이 도시 활동 및 대중교통 접근성과 밀접하게 관련되어 있음을 나타낸다.

사사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

어린이보호구역 무인 속도단속에 따른 운전자 행태 분석: 준수 및 주행 안정성의 유형화

Automated Speed Enforcement and Driver Behavior in School Zones:
A Typology of Compliance and Driving Stability

이소연

(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

이승현

(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

본 연구는 어린이보호구역 무인 속도단속의 효과를 단속지점에서의 점기반 속도 감소에 한정하지 않고, 단속 영향권 전반에서 나타나는 운전자의 지속적 준수와 주행 안정성의 변화라는 관점에서 평가하는 데 목적이 있다. 기존 연구가 평균 속도, 85백분위 속도, 사고건수 등 집계지표 중심으로 단속 효과를 파악해 온 것과 달리, 본 연구는 단속지점을 전후한 연속 구간에서 운전자의 반응이 어떻게 형성되고 유지되는지에 주목한다. 이를 위해 서울시의 1초 단위 DTG 택시 운행기록을 활용하여 커넥티드 차량 기반 궤적 데이터를 구축하고, 각 무인 속도단속 지점을 중심으로 전후 150m씩 총 300m의 영향권 구간을 통과하는 주행을 추출하였다. 최종 분석대상은 286개 어린이보호구역 단속지점, 3,461대 차량, 총 352,509건의 주행이며, 계절적 교란을 줄이면서 시공간적 이질성을 포착하기 위해 2022년 9월과 2024년 9월을 비교하였다.

분석에서는 서로 다른 주행 궤적을 공통 거리축에 정렬한 뒤, 거리 기반 속도비를 통해 단속 영향권 내 지속적 준수 수준을 정량화하고, 가속도와 저크 프로파일을 활용해 주行的 매끄러움과 안정성을 측정하였다. 또한 시간대, 요일, 연도에 따른 반응 차이를 함께 살펴보고, 개별 안전시설 변수들은 주성분분석(PCA)을 통해 정책적으로 해석 가능한 시설 묶음으로 요약하였다. 이후 이러한 시설 묶음과 운영조건이 각 반응유형과 어떤 관련을 가지는지 파악하기 위해 다항 로지스틱 모형과 CART 기반 규칙 추출을 적용하였다. 이와 같은 접근은 단속지점 인근에서만 일시적으로 감속하는 행태와 영향권 전반에서 안정적이고 지속적으로 속도를 준수하는 행태를 구분할 수 있게 해 준다.

시계열 군집분석 결과, 어린이보호구역 내 운전자 반응은 세 가지 유형으로 구분되었다. 첫째, 영향권 전반에서 속도준수가 비교적 안정적으로 유지되는 지속준수형, 둘째, 단속지점 직전 급감속 후 통과 직후 다시 가속하는 감속-재가속형, 셋째, 전반적으로 속도준수 수준이 낮고 하류부에서 재가속 경향이 두드러지는 저준수형이다. 전체 표본에서 지속준수형은 146,439건, 감속-재가속형은 79,710건, 저준수형은 126,360건으로 나타났다. 또한 2022년과 2024년을 비교한 결과, 지속준수형 비중은 0.381에서 0.423으로 증가한 반면 감속-재가속형은 0.263에서 0.218로 감소하였고, 감속-재가속형의 단속지점 인근 최대 저크도 0.167에서 0.131로 낮아져 국지적 급제동 반응의 강도가 완화된 것으로 나타났다. 시간대별로는 야간에 감속-재가속형 비중이 상대적으로 높고, 오후 시간대에는 저준수형 비중이 상대적으로 높게 나타나 운전자 반응의 시간적 이질성도 확인되었다.

한편, 시설 및 도로운영 여건과의 연계 분석에서는 보호펜스, 과속방지턱, 적색포장과 노면표시, 황색 횡단보도 표시 등 안전시설이 단독이 아니라 묶음 형태로 작동한다는 점이 확인되었다. 특히 차로 수가 많을수록 비안정적 반응, 특히 저준수형이 나타날 가능성이 높았으며, 과속방지턱 중심의 물리적 감속시설 묶음과 시각적 경고시설 묶음은 보다 안정적이고 지속적인 준수 반응과 관련되는 것으로 분석되었다. 종합하면, 본 연구는 어린이보호구역 무인 속도단속의 효과를 단순한 점기반 속도 감소가 아닌 영향권 전반의 주행행태 변화로 재해석하였으며, 지속준수와 주행 안정성을 함께 고려한 유형화 분석을 통해 보다 정교한 정책평가 틀을 제시하였다. 이러한 결과는 무인 단속과 보완 안전시설의 조합이 어떤 조건에서 보다 부드럽고 지속적인 속도준수를 유도하는지를 보여준다는 점에서, 향후 어린이보호구역 속도관리 정책의 설계와 우선순위 설정에 실증적 근거를 제공한다.

사사: 본 연구는 국토교통부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원(KAIA)의 지원을 받은 연구과제(과제번호: RS-2025-16066665)의 지원으로 수행되었음.

철도 네트워크 회복탄력성 평가를 위한 머신러닝 기반 시뮬레이션 프레임워크

Assessment of Railway Network Resilience Using a Machine Learning-Based Simulation Framework

김동민

(서울시립대학교, 석박사통합과정)

이승현

(서울시립대학교, 부교수)

본 연구는 철도 시스템의 회복탄력성을 정량적으로 평가하기 위해 딥러닝 기반 예측 모델과 물리 기반 수식을 결합한 데이터 기반 통합 프레임워크를 제안한다. 철도 네트워크의 확장과 함께 운영 복잡성이 증가함에 따라, 인적 오류, 차량 고장, 신호 장애 등 다양한 교란이 빈번하게 발생하며, 이러한 교란은 네트워크 전반으로 빠르게 전파되어 서비스 신뢰도를 저하시킨다. 기존 연구는 주로 네트워크 토폴로지 기반의 구조적 분석에 집중하여 실제 운영 성과인 지연이나 승객 영향 등을 충분히 반영하지 못하는 한계를 가진다. 또한 머신러닝 기반 지연 예측 연구는 활발히 수행되고 있으나, 이를 회복탄력성 평가로 직접 확장한 연구는 제한적이다. 이에 본 연구는 과거 운영 데이터를 활용하여 열차 지연 전파를 예측하고, 이를 시나리오 기반 네트워크 분석과 결합하는 통합 접근법을 제시한다. XGBoost 회귀 모델을 활용하여 정차역 단위의 도착 지연을 예측하며, 이전 정차역 지연, 노선 정보, 사고 유형 등 다양한 요인을 반영하여 비선형적인 지연 전파 특성을 학습한다. 이후 특정 역, 시간대, 사고 유형으로 정의된 교란을 주입하여 시나리오를 생성하고, 해당 조건 하에서 지연을 재귀적으로 추정함으로써 교란의 확산 과정을 모사한다. 생성된 시나리오 시간표는 시간의존 네트워크로 변환되며, 각 OD 쌍에 대해 최단 이동시간을 계산한다. 기준 시나리오와 비교하여 산출된 추가 지연은 승객 수요로 가중되어 네트워크 수준의 취약도로 집계된다. 이러한 방법은 지연 규모와 승객 영향도를 동시에 고려함으로써 보다 현실적인 성능 평가를 가능하게 한다. 사례 분석 결과, 제안된 모델은 높은 예측 정확도를 보이며, 단일 교란이 네트워크 전반으로 확산되는 연쇄 효과를 효과적으로 포착하였다. 특히 수요가 집중된 시간대 및 주요 노드에서 취약도가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 특정 노선에 영향이 집중되는 현상도 확인되었다. 결론적으로, 본 연구는 예측 모델과 수요 기반 네트워크 분석을 통합하여 철도 시스템의 취약성을 보다 정밀하게 평가할 수 있는 방법론을 제시한다. 제안된 프레임워크는 취약 구간 식별 및 교란 대응 전략 수립을 지원하며, 운영 의사결정의 실질적 근거를 제공한다.

협력적 게임 이론 기반 수도권 지하철 네트워크 수입금 기여도 산정 방안

Cooperative Game Theory Based Revenue Contribution Estimation of Subway Network

김희천

(서울대학교 행정대학원)

신성일

((주)ITS Moblitty Lab)

김중형

(인천연구원, 선임연구위원)

본 연구는 협력적 게임 이론을 수도권 지하철 대중교통요금제(이하 통합요금제)의 수입금 배분 문제에 도입하는 방안을 검토한다. 통합요금제는 서울, 경기, 인천과 일부 충청, 강원 지역의 대중교통 운송기관이 참여하고 있으며 대중교통을 이용하는 승객은 환승할인으로 산정되고 요금은 총이용한 거리에 비례해서 부과된다. 따라서 통합요금제에 참여하고 있는 모든 운송기관(버스 및 지하철 운영기관)의 요금수입을 수입금으로 배정하는 절차가 반드시 요구된다. 이들 정산은 버스와 지하철의 요금을 수입금으로 배정하는 수단정산인 1차 정산과, 지하철 15개 운송기관에게는 연락운임정산이라는 2차 정산이라는 제도의 틀 안에서 움직인다. 현재 수단정산은 (주)티머니가 통합정산을 담당하며 시행하고 있으며 일일 단위로 개별 운송기관에 수입금으로 배분하고 있다. 한편 지하철은 승객의 교통카드자료를 기반으로 TagIn기관에 임시 배분하는 단계에 머물고 있다. 따라서 특히 연락운임정산은 최근까지 운송기관의 협약에 의해서 시행되어 많은 문제점을 노출시켜 왔으며, 이러한 문제점의 근간에는 운송기관의 입장을 아우르는 통합적인 정산정책의 부재라는 한계가 존재하기 때문이다. 최근 협력적 게임 이론을 연락운임정산에 도입하여 운송기관의 사전적인 통합을 이끌어내는 시도가 이루어지고 있으며 긍정적인 통합요금제의 발전으로 검토되는 사항이 필요하다.

연구는 연락운임정산에 협력적 게임을 구현하고 결과를 운송기관의 입장에서 해석하는 자료를 구축하는 방안을 마련한다. 이를 위해 수입금 배분문제에서 협력적 게임이 적용되는 알고리즘을 구현하고 수도권 지하철 네트워크에서 개별 운송기관의 노선-링크에서 발생하는 수입금을 기여도로 분석하는 방안을 마련한다. 현재 지하철 승객의 이동은 최적경로선택이라는 개념으로 모형화되기 때문에 승객의 이동이 연락운임의 정산에 그대로 영향을 미치는 구조이다. 따라서 노선링크에서 기여도로 산정되는 수입금을 산정하는 방안으로 경로선택모형의 개별승객의 통행배정되는 과정을 역추적하는 방안을 마련한다. 이를 선별분석(Selected Analysis)의 개념으로서 노선링크의 기여도로 산출하는 알고리즘을 구현한다.

● 협력적 게임 기반 알고리즘 구현 과정

- TagIn-TagOut OD 구축 및 1차 정산에서 배분된 OD 수입금과 승객수 확정
- 모든 TagIn-TagOut OD에 대하여 통행시간기반 경로탐색 알고리즘 수행
- 배분된 OD 수입금을 OD최적경로에 대하여 경로수 또는 경로거리비율배분

● 선별 노선링크기반 수입금 기여도 산정방안

- 배분된 OD 수입금을 OD최적경로에 포함되는 개별 노선링크 대상
- 총수입금을 노선링크의 링크수 또는 링크거리 배분비율로 배정
- 노선링크에 OD정보를 Mapping하여 전체 OD개념으로 확대

수도권 통합대중교통 요금체계 시뮬레이터 - 선별분석 기반 지하철 네트워크 수입 기여도 추정 모형 -

Toward An Integrated Public Transit Fare System Simulator for Seoul Metropolitan Area
- Selected Analysis Based Subway Network Revenue COntribution Estimation Model -

신성일
(주)ITS Mobility Lab

고규희
(명지대학교, 연구원)

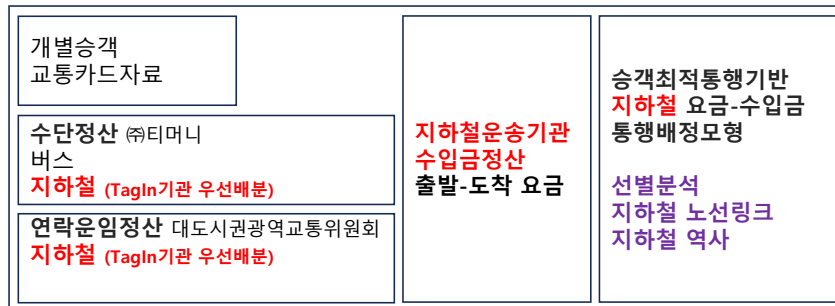
김중형
(인천연구원, 선임연구위원)

교통망 최적화기법에서 통행배정모형은 기중점의 수요를 교통망 네트워크에 최적의 통행비용을 가정하여 배정한다. 통행배정단계에서 활용되는 선별링크분석(Selected Link Analysis: SLA)은 특정 링크를 통과하는 개별 기중점 수요가 링크 통과여부를 판단하여 영향을 분석하는 기법이다. SLA는 링크에서 발생하는 총통행량과 함께 수요에서 접근하는 통행비용과 수요를 역추적함으로써 전체 교통망 네트워크에서 링크의 영향력과 같은 가중치를 판단하는 방안으로 활용된다. 본 연구는 SLA와 같은 교통망 분석기법을 수도권 통합대중교통 요금체계(이하 수도권통합요금제)에 적용해서 대중교통 노선과 연계된 링크(이하 노선링크, Line Link)에서 수입금을 분석하는 방법론으로 활용한다.

현재 수도권통합요금제는 환승할인과 통합거리비례요금제가 병행되는 요금구조로서 운송기관은 승객이 지불한 요금을 배분 및 정산하는 과정을 포함되어 있다. 일일 약 2000만 통행이 움직이는 상황에서 승객의 요금수입이 어떤 노선과 링크에서 또는 역사 및 정류장에서 수입이 발생하는 가에 대한 근본적인 분석이 요구되고 있다. 운송기관 입장에서는 이들 요금 정산에 미치는 영향을 인프라 차원에서 모니터링하는 과정이 필요한 상황이라고 볼 수 있다.

수도권통합요금제에서 수입금 배분은 수단정산과 지하철정산의 2단계로 구분된다. 수단정산은 버스(B)와 지하철(S)의 환승에 의해서 발생하는 수단배분에 따른 요금수입을 배분하는 과정으로 일일단위로 정산된다. (주)티머니는 통합정산사로서 역할을 수행하며 버스운영기관의 요금수입을 매일 기준으로 배정한다. 이때 지하철에 배정되는 수입금은 승객이 교통카드를 Tag한 역사에 전부 우선 배분한다. 이때 지하철에 수단정산된 금액은 14개 운송기관이 승객의 통행에 기여한 상황을 분석하는 2차 정산인 지하철 정산단계로 진행된다. 지하철정산은 정식 용어로 지하철연락운임정산이라는 명칭으로 과거 3-5년으로 정산했으나 현재는 대도시권광역교통위원회에서 1년 단위로 정산하는 과정을 포함하고 있다.

본 연구는 승객에 의해서 나타난 교통카드자료를 대상으로 1차 정산을 구현하고 지하철에 배분된 연락운임정산에 대하여 SLA기법을 통해서 노선의 역사 및 링크의 수입금이 어느 정도 기여가 나타나는지 분석한다. 이때 SLA분석은 선별노선링크분석(Selected Line Link Analysis: SLLA)분석과 선별역사분석(Selected Station Analysis : SSA) 분석으로 보다 포괄적으로 확대된다. SLLA와 SSA의 분석으로 구분하는 이유는 지하철 수입금 배분과정에서 노선링크와 함께 지하철 역사를 관리하는 기여도도 포함되기 때문이다.



사사: 본 연구는 '2025년도 수도권 전철 연락운임 정산 및 일단위 정산체계 도입방안 연구용역'의 지원으로 수행되었음

모바일폰 신호 데이터 기반 엔트로피를 활용한 집-직장 거점 추정

Estimating Home-Work Anchors Using Entropy from Mobile Phone Signaling Data

남상기

(영남대학교 도시공학과 박사과정)

정연식

(영남대학교 도시공학과 교수)

모바일폰 신호 데이터로 집·직장과 같은 활동 거점을 대규모 이용자 수준에서 추정할 수 있어, 출퇴근 패턴과 생활권 구조를 파악하는데 활용할 수 있다. 특히 이러한 데이터는 설문조사처럼 표본이 적거나 기간이 짧은 자료를 보완할 수 있다는 점에서 대규모 이용자의 거점·통근 패턴을 비교·분석하는데 장점이 있다. 다만 모바일폰 신호 데이터는 기지국 기반 관측과 핸드오버 때문에 한 장소에 체류하더라도 이동하는 것처럼 기록되거나, 이동 하는 중에도 체류처럼 기록되는 등 오류가 발생할 수 있다. 또한 이용자에 따라 집이나 직장이 한곳으로 뚜렷하게 나타나지 않고 여러장소로 분산되는 경우도 있어, 주간·야간에 가장 오래 체류한 지점만으로 집·직장을 일괄적으로 확정하면 일부 표본에서 결과의 신뢰도가 낮아질 수 있다. 이에 본 연구는 이용자별 체류 기록을 장소별 체류 비중으로 정리한 뒤, 체류가 한 곳에 얼마나 집중되거나 분산되는지를 나타내는 엔트로피를 이용해 거점의 신뢰도와 함께 평가하는 방법을 제시한다. 구체적으로 야간, 주간, 주말로 시간을 구분하여 각 시간대에서 체류 비중이 가장 큰 장소를 집·직장·제3의 장소를 설정하며, 이후 엔트로피와 1, 2순위 격차를 활용해 결과를 확정/준확정/불명확으로 구분하여 불확실 표본을 체계적으로 관리한다. 또한 집과 직장이 같은 경우 또는 제3의 장소가 집/직장과 겹치는 경우 별도 유형으로 분류하여 결과 해석의 일관성을 확보한다. 본 연구에서 활용한 자료는 비식별화된 사용자 단위 체류 데이터이며, 2016년 5월 19일부터 5월 26일까지 수집된 자료를 활용하여 분석하였다. 본 연구는 집·직장 추정에서 단순 규칙만 쓰는 대신, 결과의 신뢰도를 함께 제시함으로써 해석 가능성을 높이는 데 기여하고자 한다.

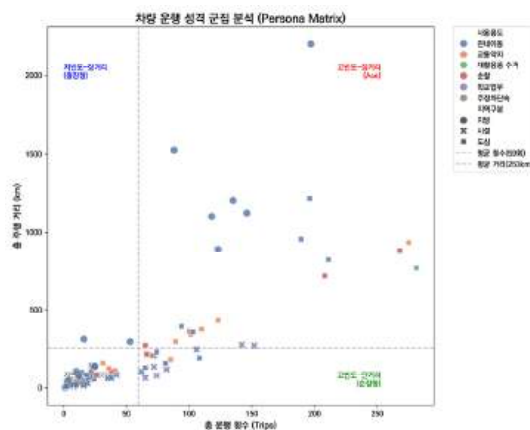
공공분야 이동지원 실증차량의 운행실태 파악을 위한 빅데이터 분석

Analysis of Big Data for Characterizing Operational Status of Public Sector
Micro-Electric Vehicle Demonstrations

박찬영	백성채	최세령	박제진
(전남대학교 건축토목공학과)	(전남대학교 건축토목공학과)	(전남대학교 건축토목공학과)	(전남대학교 토목공학과)

본 연구는 초소형 전기차(Micro-EV)의 공공분야 시장 도입을 위한 정량적 근거를 마련하고, 지역별 환경이나 업무 특성을 고려하지 않은 기존의 일률적인 보급 정책이 야기하는 운영 효율성 문제를 개선하고자 수행되었다. 연구의 주요 목적은 주행 빅데이터를 활용하여 실증차량의 운행실태를 객관적으로 규명하고, 이를 통해 공공 모빌리티 서비스 최적화를 위한 지표를 도출하는데 있다. 분석의 신뢰성을 확보하기 위해 지난 4년간 수집된 OBD(On-Board Diagnostics) 실 운행 로그를 원천 데이터로 활용하였으며, 총 3단계의 체계적인 전처리 및 가공과정을 거쳤다. 우선 1 단계인 데이터 정규화 및 정제과정에서는 한국 표준시(KST)를 기준으로 시간을 통일하고, 공간 필터링을 통해 한국 지리 범위 내의 유효 데이터를 추출하는 한편 속도 이상치를 제거하였다. 이어지는 2단계에서는 주행 상태 판단과 통행 분할(Trip Segmentation)을 위해 명확한 임계치를 설정하고 필터링 기준을 수립하였다. 마지막 3단계에서는 분석의 핵심인 시계열 운행 특성, 통행 상세 패턴, 그리고 운행 효율성 패턴 지표를 각각 도출하여 진단체계를 구축하였다.

이후 수행된 세 가지 측면의 운행 특성 분석 결과, 의미있는 시사점이 도출되었다. 먼저 시계열 분석 결과, 실증 차량은 주중 업무 시간대에 집중적으로 활용되고 있었으며, 이는 단순 출퇴근 목적이 아닌 시설 점검이나 현장 출동 등 공공서비스 본연의 목적에 부합하게 운영되고 있음을 시사한다. 통행 상세 패턴 측면에서는 단거리 다정차 (Multi-stop) 형태의 순회형 이동과 거점 간 단순이동이 주를 이루는 것으로 나타났다. 마지막으로 지역 및 용도별 분석 결과, 지방부에서는 장거리 주행 패턴이 두드러진 반면 도심부에서는 단거리 반복 주행이 지배적이었다. 특히 업무 용도에 따라 관내 이동업무는 장거리 패턴을, 순찰 및 교통약자 지원업무는 단거리 반복패턴을 보이며 뚜렷한 차이를 나타냈다. 결론적으로, 본 연구를 통해 도출된 차량별 주행편차는 단순히 활용도의 고저를 나타내는 것이 아니라 각 기관이 수행하는 업무의 본질적인 특성 차이에서 기인한 것임을 확인하였다. 이러한 분석결과를 바탕으로, 향후 공공 모빌리티 정책은 운행 유형별 맞춤형 인프라 구축과 관리체계 지원은 물론, 각 업무의 적합성을 정밀하게 고려한 차종 최적화(Vehicle Type Optimization) 방향으로 추진되어야 할 것이다.



<그림 1> 차량 운행 성격 군집 분석

사사: 본 연구는 한국산업기술진흥원의 『초소형전기차 기반 공공분야 이동지원 서비스 실증(P0022022)』에 의하여 수행되었으며, 본 연구를 지원해 준 산업통상자원부에 감사드립니다.

공공업무용 초소형 전기차의 실증 성과 및 서비스 만족도 분석

Analysis of Public Work Performance and Service Satisfaction for Micro-Electric Vehicles

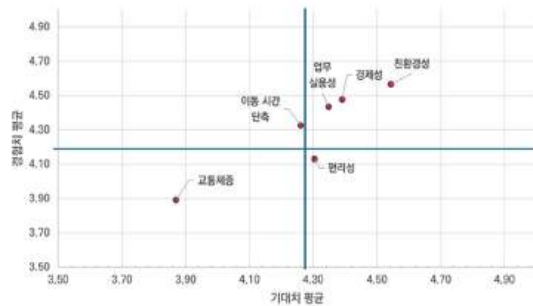
정민준 (전남대학교 토목공학과)	백성채 (전남대학교 건축토목공학과)	최세령 (전남대학교 건축토목공학과)	박제진 (전남대학교 토목공학과)
--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------

본 연구는 탄소중립 정책의 가속화에 따른 교통부문의 온실가스 감축 대응책으로서, 저전력·고효율 모빌리티인 초소형 전기차(Micro-EV)의 공공분야 도입 성과를 분석하고 보급 활성화를 위한 정책적 시사점을 도출하고자 수행되었다. 초소형 전기차는 우수한 도심 기동성과 친환경성을 바탕으로 주차단속 및 시설관리 등 공공서비스 영역에서 높은 활용 잠재력을 보유하고 있으나, 주행 안전성, 성능 제약, 전용도로 진입 제한 등의 기술적·제도적 한계가 공존해 왔다. 이에 본 연구는 2022년부터 2025년까지 실증사업에 참여한 공공기관 관리자 및 운전자 46명을 대상으로 기대확인모형(ECM) 기반의 설문을 실시하여 연차별 만족도 변화와 운영 실태를 정량적으로 분석하였다.

데이터 분석을 위해 기술통계, 일원배치 분산분석(ANOVA), 대응표본 T-검정 및 중요도-만족도 분석(IPA)을 병행하였으며, 분석 결과, 항목별 만족도는 친환경성(4.63), 업무 효율성(4.50), 유지관리 경제성(4.48) 순으로 높게 나타났다. 반면, 차량의 승차감(3.48)과 내구성(3.52)은 상대적으로 낮은 평가를 받아 하드웨어 측면의 개선과제를 시사하였다. 특히 ANOVA 분석 결과, 모든 주요 평가지표에서 연도별로 유의미한 차이가 확인되었으며($p < 0.001$), 실증 마지막 해인 2025년에 모든 항목에서 최고점을 기록함으로써 지속적인 기기 성능 개선과 운영 고도화의 성과가 입증되었다. 기대확인 분석 결과, 경제성 측면에서는 사용자 기대치 대비 긍정적 불일치(Positive Disconfirmation)가 나타나 높은 만족도를 보였으나, 주행 및 이용 편의성 측면에서는 부정적 불일치가 관측되었다. IPA 분석을 통해서도 업무 실용성과 경제성, 친환경성은 '지속 유지(Keep up the good work)' 영역의 강점으로 도출된 반면, 편의성 항목은 '중점 개선(Concentrate here)' 영역으로 분류되었다. 특히 와이퍼 성능 미흡 및 수납공간 부족 등 구체적인 하드웨어적 결핍이 사용자 만족도를 저해하는 주요 원인으로 파악되었다.

결론적으로 초소형 전기차는 공공기관의 예산 절감과 탄소 저감에 실질적으로 기여하며 업무 효율성 측면에서 긍정적인 평가를 얻었으며, 이는 높은 수준의 지속 이용 의향(4.24)과 타인 추천 의향(4.22)으로 이어졌다. 향후 초소형 전기차의 보급 확대를 위해서는 승차감 및 배터리 성능 등 기계적 완성도를 높이는 노력과 더불어, 전용 주차구역 확보 및 신속한 정비 네트워크 구축 등 인프라 측면의 지원 정책이 유기적으로 병행되어야 할 것이다.

구분	차이값		t	F	유의확률
	평균	표준편차			
이동시간 단축	-0.065	0.490	-0.903	45	0.371
업무 실용성	-0.087	0.412	-1.430	45	0.160
기존 수단 대비 편리성	0.174	0.570	2.070	45	0.044
교통체증	-0.022	0.577	-0.256	45	0.799
경제성	-0.087	0.285	-2.070	45	0.044
친환경성	-0.022	0.333	-0.443	45	0.660



<그림 1> 초소형전기차 설문조사 항목별 대응표본 T-검정 및 IPA분석

사사: 본 연구는 한국산업기술진흥원의 『초소형전기차 기반 공공분야 이동지원 서비스 실증(P0022022)』에 의하여 수행되었으며, 본 연구를 지원해 준 산업통상자원부에 감사드립니다.

강수량이 대중교통 이용에 미치는 영향: 스마트카드 데이터를 활용한 고령자와 일반 이용자 비교

The Impact of Rainfall on Public Transit Use:
A Comparative Analysis of Older Adults and General Users Using Smart Card Data

김지규

(인천연구원, 전임연구원 &
서울시립대학교 스마트시티학과 박사과정)

김중형

(인천연구원, 선임연구위원)

박민호

(인천연구원, 연구위원)

본 연구는 스마트카드 기반 대중교통 이용 데이터를 활용하여 강수량이 통행수요 및 수단선택에 미치는 영향을 분석하고, 특히 고령자와 일반 이용자 간 이용행태의 차이를 규명하는 것을 목적으로 한다. 최근 기후변화로 인한 기상 변동성이 증가함에 따라 강수와 같은 기상요인이 일상적 이동행태에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 있으나, 사용자 특성을 고려한 실증 분석은 상대적으로 제한적인 실정이다. 이에 본 연구는 대규모 교통카드 데이터를 활용하여 기상조건 변화에 따른 대중교통 이용 특성을 다각도로 분석하고자 한다.

이를 위해 교통카드 데이터를 기반으로 시간대별·수단별 이용량을 구축하고, 기상청의 시간별 강수량자료와 결합하여 분석 DB를 구성한다. 분석은 강수 여부 및 강수 강도에 따른 대중교통 이용량 변화를 중심으로 수행하며, 버스와 지하철 등 수단별 이용 특성과 시간대별 변화 양상을 비교한다. 또한 요일 및 통행 목적을 고려한 이용 패턴의 차이를 함께 검토하여 강수 조건이 통행행태에 미치는 영향을 보다 정교하게 파악한다. 아울러 교통카드 이용자의 연령 정보를 기반으로 고령자와 일반 이용자를 구분하고, 기상 조건 변화에 따른 이용행태의 차이를 정량적으로 분석한다.

나아가 본 연구는 통행수요의 변동뿐만 아니라 이용 집중도, 시간대별 분산 특성 등 시계열적 변화를 함께 검토함으로써, 강수 상황에서 나타나는 대중교통 이용 구조의 변화를 종합적으로 분석하고자 한다. 이를 통해 기상요인과 대중교통 이용 간의 관계를 사용자 특성별로 체계적으로 이해하고, 향후 기상 대응형 대중교통 운영 전략 수립과 교통약자 이동지원 정책 마련을 위한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

교통량정보제공시스템 개선을 위한 방법론 개발 연구

A Study on the Development of Methodology for Improvement of Traffic Monitoring System

김동협 (한국건설기술연구원, 박사후연구원)	한대철 (한국건설기술연구원, 수석연구원)	정도영 (한국건설기술연구원, 수석연구원)	김형규 (한국건설기술연구원, 수석연구원)
--------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------

교통량정보제공시스템(TMS, Traffic Monitoring System)은 국가승인통계인 도로교통량 조사를 기반으로 하는 교통 데이터 제공 시스템으로 도로 계획, 교통수요 예측, 정책 의사결정 등에 활용되는 중요한 기초자료를 제공하고 있다. 그러나 현행 시스템은 단순한 교통량 수치(AADT, 연평균 일교통량)와 지점별 통계 중심의 정보 제공에 머물러 있다. 최근 자율주행, 빅데이터 분석, 스마트 시티 등 교통 산업의 패러다임이 급변함에 따라, 단순 통계 기능을 넘어 도로 운영 상태를 다각도로 진단할 수 있는 고도화된 지표에 대한 수요가 급증하고 있다. 이에 본 연구에서는 TMS가 보유한 기초 데이터의 잠재력을 극대화하고 데이터 기반의 행정 서비스를 강화하기 위해, 기존의 양적 지표를 넘어선 '이용자 중심의 지표 고도화 방법론'을 제안하였다.

이에 본 연구에서는 TMS가 보유한 기초 데이터의 잠재력을 극대화하고 데이터 기반의 행정 서비스를 강화하기 위해, 기존의 양적 지표를 넘어선 이용자 중심의 지표 고도화 방법론을 개발하였다. 연구의 핵심은 단순 차량 대수 집계에서 탈피하여 도로의 운영 효율성과 주행 쾌적성을 정밀하게 측정할 수 있는 다각화된 분석 지표 체계를 구축하는데 있다. 본 연구에서 제안하는 5대 핵심 지표는 다음과 같다.

- 절대적 혼잡도: 도로의 설계 용량 대비 실제 통과 교통량의 비율을 산출하여 구간별 물리적 정체 수준을 정량화
- 상대적 혼잡도: 개별 도로 구간의 과거 평균 교통량 대비 현재의 교통량을 비교하여 상대적 소통 변화 측정
- 변동성 지수: 계절, 요일, 시간대별 교통량의 변화 폭을 지수화하여 도로 이용의 안정성과 통행 신뢰도 분석
- 침투 집중도: 교통량이 가장 집중되는 시간대의 쏠림 현상을 분석하여 도로별 수요 집중 특성과 부하 정도를 도출
- 주행 쾌적성: 화물차 혼입률을 활용하여 승용차 운전자가 체감하는 주행 환경의 질적 수준을 등급화하여 평가

이러한 지표 고도화 방법론은 TMS를 단순 통계 제공 시스템에서 벗어나, 교통 상태를 진단하고 정책적 의사결정을 지원하는 종합 교통 모니터링 플랫폼으로 전환시키는 핵심 기반이 될 것으로 기대된다. 특히 데이터의 가공·해석 기능을 시스템 내부로 내재화함으로써, 이용자의 분석 부담을 감소시키고 데이터 활용성을 확보할 수 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부의 재원으로 수행된 "2026년 도로교통량 조사" 연구를 통해 수행되었음

거대 언어 모델을 활용한 개인단위 통행사슬 전수화 방법 개발

Development of a Method for Synthesize of Individual-Level Travel Chains
Using Large Language Models

노치우

(한국교통연구원, 연구원)

원민수

(한국교통연구원, 연구위원)

개인단위 통행정보는 교통수요 예측, 수단선택모형 등 다양한 도시·교통 분석의 핵심 자료로, 집계자료로는 포착하기 어려운 행동 이질성과 시공간적 의존성을 반영할 수 있다는 점에서 중요하다. 그러나 전통적인 조사 기반 통행 정보 수집 방식은 통행목적, 사회경제적 특성 등 풍부한 정보를 제공함에도 불구하고, 높은 조사 비용, 응답 부담, 표본 편향, 기억 오류와 같은 한계로 인해 전체 인구의 실제 통행행태를 충분히 반영하기 어렵다. 이를 보완하기 위해 GPS, CDR, 교통카드, 모바일 위치 데이터 등 다양한 빅데이터 기반 접근이 활용되어 왔으나, 이러한 자료는 개인의 사회인구학적 속성이나 통행 목적과 같은 행동적 맥락 정보가 부족하여 미시적 통행패턴을 정밀하게 재현하는 데 한계를 가진다. 설문조사와 빅데이터를 결합하는 데이터 융합 접근도 제안되었지만, 표본 편향과 결측 속성 문제를 근본적으로 해결하지는 못하였다.

이러한 배경에서 최근 발전한 거대 언어모델(LLM)은 별도의 추가 학습 없이도 프롬프트 기반으로 활용 가능하며, 텍스트 기반의 맥락 이해와 추론 능력을 통해 기존 교통 예측 및 통행 생성 문제에 새로운 가능성을 제시한다. 이에 본 연구는 최소한의 인구 프로필 정보와 집계 통계, 그리고 일부 샘플 통행조사 자료만을 활용하여 특정 지역 전체 인구의 개인단위 trip chain을 생성하는 LLM 기반 방법론을 제안한다. 구체적으로, 지역 인구 구조와 통행 특성을 정의하고, LLM용 통행 생성 프롬프트와 참조 데이터 제공 전략을 설계한 뒤, 전략별 생성 결과의 정확도를 비교함으로써, 사전 학습된 LLM이 샘플 수준 자료만으로도 개인단위 통행 생성에 활용될 수 있는지와 LLM 활용 방식이 생성 품질에 어떠한 영향을 미치는지를 검증하고자 한다.

통행 생성 모델은 거대 언어 모델 중 사전 학습 언어 모델이자 텍스트 생성에 특화된 GPT(Generative Pre-trained Transformer) 모형을 사용하였으며, 이중 OpenAI에서 개발한 Chat GPT 5.4 Thinking 모델을 기반으로 분석하였다. 사회·인구학적 정보가 담긴 개인 단위 인구자료를 기반으로 하여, LLM을 활용해 개인의 일일 Trip Chain을 생성하고, 보조 참고 데이터 조합에 따른 생성 품질 차이를 6개 시나리오로 비교·분석하였다. 모든 실험은 동일한 공통 프롬프트와 입력·출력 구조를 유지한 상태에서, 수단별 통행량 집계자료, 목적별 통행량 집계자료, 통행 조사 샘플 자료를 각각 또는 결합하여 제공하는 방식으로 수행되었다. 생성 결과는 집계 통행량 비교, 수단·목적별 분포 특성, 그리고 JSD 기반 분포 유사도 관점에서 평가하였다.

분석 결과, 최적 시나리오는 평가 목적에 따라 다르게 나타났다. 목적별 통행량 재현 측면에서는 목적 집계자료를 단독으로 제공한 시나리오가 가장 우수한 성능을 보였으며, 이는 목적 집계자료가 통행 발생의 거시적 구조를 유도하는 데 효과적임을 보여준다. 반면, 수단 분포 분석의 경우 집계자료 기반 시나리오는 전체 수단에서 전반적으로 큰 오차가 나타난 반면, 표본 조사 샘플 자료 기반 시나리오들은 전체 수단에서 보다 정확한 수단 분담 구조를 보였다. 이때, 표본 조사 샘플 자료를 포함한 시나리오들은 JSD 기준 분포 유사도에서도 뚜렷한 우위를 보였고, 특히 모든 정보를 제공한 시나리오는 시간, 공간, 수단, 목적 등 대부분의 속성에서 표본 조사 샘플 자료와 가장 유사한 분포를 재현하였다.

이러한 결과를 통해, 집계 수준의 통행량 재현이 목적일 경우 목적 집계자료의 단독 제공이 효과적일 수 있음을 알 수 있었다. 만약, 시간·공간·수단과 같은 미시적 통행행태의 현실적 재현을 위해서는 통행 표본 조사 샘플 자료를 활용한 추가 정보 제공이 중요하다. 즉, 집계자료는 거시적 정합성을 보완하는 데 유용하지만, 개별 통행 패턴의 세부 구조를 재현하는 데에는 실제 통행사슬 기반 정보가 더 중요한 역할을 함을 알 수 있었다.

사사: 이 연구는 산업통상자원부가 출연하고 한국산업기술진흥원에서 발주하여 시행한 “실시간 개방형 모빌리티 서비스 플랫폼 구축 및 산업 생태계 조성(P0025249)” 사업의 지원으로 수행되었습니다.

스마트카드 데이터를 활용한 서울시 마을버스 노선의 Hub 기반 OD 구조 분석

Hub-based Origin-Destination Structure Analysis of Seoul Town Bus Routes Using Smart Card Data

오정현

(서울대학교 건설환경도시공학부,
석사과정)

서연우

(서울대학교 건설환경도시공학부,
석박통합과정)

윤규근

(서울대학교 건설환경도시공학부,
조교수)

서울시 마을버스는 기사 부족 및 고령화에 따른 인력 문제로 배차간격 증가, 노선 운행 축소 등 운영상의 제약을 겪고 있다. 2022년 6월 기준, 서울시 내 241개 마을버스 노선은 동일한 버스 위계임에도 정류장 수가 최소 6개에서 최대 82개(평균 30.6개, 표준편차 12.6개)로 노선별 물리적 규모와 담당 생활권의 기능적 편차가 크다. 기존의 서울시 버스 이용통계 및 정류장별 이용량 데이터는 단위 정류장에 대한 집계 데이터로, 특정 시공간의 수요 총량 파악에는 용이하나, 승차와 하차 지점이 결합된 개별 통행의 연속성을 파악하는 데는 설명력이 제한적이다. 본 연구는 스마트카드 승하차 태그 데이터를 활용하여 개별 차량 내 승하차 시퀀스를 매칭하였다. 이를 통해 승객의 기점과 종점을 직접 연결하여 노선별 통행 거리 분포를 도출하고, 이를 정류장 간 OD 매트릭스 히트맵으로 시각화하였다. 해당 히트맵을 이미지 클러스터링 기법을 통해 노선 유형을 연속 이동형, 기점 집중형, 회차지 집중형으로 분류하였다. 전체 마을버스 노선 중 79.7%를 차지하는 연속 이동형은 인접 정류장 간 단거리 수요가 전 구간에 고르게 분포하며 생활권 내 이동이 연속적으로 발생하는 특징을 보인다. 기점 집중형(5.8%)은 지하철역 등 주요 교통 결절점이 기점에 위치하여, 해당 지점에서 주거지 등 노선 내 다양한 목적으로 연계하는 지선 기능을 수행한다. 회차지 집중형(14.5%)은 노선의 중간 지점인 회차지를 중심으로 통행의 수렴과 발산이 집중되며, 회차 지점이 지역 내 주요 상업 시설이나 역세권의 거점 정거장 기능을 수행하는 구조로 나타난다. 나아가 노선 유형별 내부 구조를 미시적으로 분석하기 위해, 승하차 수요가 고도로 집중되는 지점을 Hub로 정의하고 이를 기·종점으로 한 통행 분포를 분석하였다. Hub는 정류장별 승하차량을 z-score와 F-statistic을 평가지표를 활용하여 통계적 분리도($\sigma=1.7$)가 최대화되는 지점으로 식별하였다. 각 노선의 길이를 정규화하여 Hub 기반 유입·유출 패턴을 분석한 결과, 유출 통행의 89.1%와 유입 통행의 91.7%는 통행량의 80%가 정규화 거리 0.5 이내에 분포하는 근거리 집중형 패턴을 보여 마을버스의 기능이 Last-mile 연계에 있음을 정량적으로 입증하였다. 그러나 일부 노선에서는 통행량의 80%가 정규화 거리 0.78 내외까지 확장되는 등 노선 특성에 따라 영향권의 범위가 상이하게 형성됨을 입증하였다. 본 연구 결과는 운영 제약 환경에서 노선 유형과 통행 수요 구조에 맞춘 차별화된 운영 전략이 필요성을 시사한다. 근거리 대량 수요 노선은 개인형 이동수단(PM) 연계 전략이, 원거리 소규모 수요 노선은 수요응답형교통수단(DRT)이나 Skip-Stop 등 유연 운영 전략이 적합할 것으로 판단된다. 나아가 본 연구의 분석 프레임워크는 전국 지자체의 버스 체계 효율화 및 운영 지속가능성에 기여할 수 있으며, 한정된 운송 자원의 집중 투입 지점과 유연 서비스 대체 구간을 설정하는 정량적 근거를 제공할 수 있다. 다만, 5일간의 데이터를 기반으로 하여 계절적 변화 반영에 한계가 있으며, 향후 첨두·비첨두 시간대별 시변적 통행 구조 변화와 Non-Hub 정류장 기준 내부 통행 구조 분석을 확장하여 연구의 완성도를 높일 필요가 있다.

사사: 이 연구는 서울대학교 신입교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음.

커뮤니티 탐지 기반 서울시 고령인구 생활권의 구조적 변화와 연령별·지역별 비교 분석

Community Detection-Based Analysis of Structural Changes in Elderly Living Zones in Seoul:
Age-Group and Regional Comparisons

김서연

(서울시립대학교 교통공학과, 학사과정)

변지혜

(서울시립대학교 교통공학과, 조교수)

As population aging accelerates worldwide, many countries are entering aged and super-aged societies. South Korea is one of the most extreme cases, reaching super-aged status in 2024 after one of the fastest aging transitions globally. This rapid shift highlights the need for age-friendly urban and transportation planning based on the actual spatial behavior of older adults. Understanding how elderly living zones evolve over time is therefore essential for inclusive policy design.

This study analyzes temporal changes in elderly living zones using community detection based on social network analysis. The Leiden algorithm is applied, and modularity (Q) is used to evaluate community structures. Using data from Seoul (2010, 2016, 2021) and comparative cases in Jeollabuk-do and Ulsan, the results show that the number of communities in Seoul increased over time, with living zones increasingly diverging from administrative boundaries. Age-group differences are evident: the young-old (65 - 74) maintain more interconnected activity spaces, while the old-old (75+) exhibit more localized and fragmented patterns. Regional comparisons reveal that metropolitan areas experience more dynamic changes, whereas non-metropolitan regions are more sensitive to local mobility conditions.

These findings suggest that elderly living zones are shifting toward mobility-based functional regions, indicating the need to reconsider the spatial planning of welfare services. The results also highlight the importance of age-specific and regionally differentiated policy approaches, including improved connectivity for the young-old and enhanced local accessibility for the old-old.

사사: This project has been funded by Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA, RS-2025-16066665) under the Driving Urban Transitions Partnership, which has been co-funded by the European Commission.

객체단위 모빌리티 합성 데이터 생성 및 데이터 합성 가이드라인 구축 연구

A Study on Data Synthesizing and Designate Guidelines of Object-level Mobility Data

정다빈 (한국교통연구원, 연구원)	노치우 (한국교통연구원, 연구원)	김의진 (아주대학교 교통시스템공학과, 조교수)	원민수 (한국교통연구원, 연구원)
---------------------------------	---------------------------------	--	---------------------------------

최근 4차 산업 혁명에 따른 ICT 기술 고도화와 개인형 디바이스 보편화로 모바일 통신 데이터, 차량 GPS 데이터, 대중교통 카드 데이터, 공유 모빌리티 이용객 데이터 등 다양한 객체단위의 모빌리티 빅데이터가 수집되고 있다. 객체 단위의 모빌리티 빅데이터는 높은 시공간 해상도를 가지고 있어 정밀하고 풍부한 교통 분석이 가능하지만, 동시에 높은 시공간 해상도에 따른 개인정보 침해 위험 또한 높다. 이러한 데이터의 특성으로 인해 데이터가 수집기관 또는 소수의 승인받은 전문가 및 기관에 의해서만 제한적으로 활용되는 데이터 활용 병목이 발생하고 있으며, 데이터가 공개될 때 활용 목적에 대한 고려 없이 일괄적으로 일부 정보가 삭제되거나 집계되어 정책 및 서비스 개발에 필요한 세밀한 분석에 활용하기 어렵다.

따라서 모빌리티 데이터의 통계적 특성과 높은 시공간 해상도를 유지하면서 개인정보 침해 위험을 최소화할 수 있는 합성데이터 기반 데이터 개방이 필요하다. 이를 통해 민간과 공공이 데이터에 다양한 기술과 방법론을 적용할 수 있으며, 이렇게 검증된 신기술과 최신방법론을 선택적으로 원본 데이터에 적용함으로써 다양하고 혁신적인 기술 및 정책이 도출될 수 있다. 그러나, 이러한 합성 데이터 기반의 데이터 개방 활성화를 위한 합성 데이터 생성 및 가이드라인에 대한 연구 및 정책은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 합성데이터 생성 모델을 활용해 모빌리티 합성데이터를 생성하고 모델별 안전성과 유용성을 평가하여 모빌리티 데이터의 형태별, 분석 및 활용 목적별, 공개 수준별 합성데이터 생성 가이드라인을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 LGU+의 서울시 내부통행 데이터(5,942,713건)를 Trip OD 형태와 격자단위 Trip-chain 형태로 전처리하고 각각 4가지 모델(Synthpop, CTGAN, WGAN-GP, CART+CVAE)과 3가지 모델(Synthpop, CTGAN, TVAE)을 활용하여 합성데이터를 생성하였다. 그리고 합성데이터가 원본 데이터의 통계적 분포를 얼마나 잘 보존하는지 평가하는 유용성 지표는 1·2차원 SRMSE(Standardized Root Mean Square Error)와 CPC(Common Part of Commuters) 지표를 사용하여 평가하였으며, 안전성 지표는 합성데이터와 원본 데이터에 동일한 레코드 조합 개수의 비율인 구별위험도를 사용하여 평가하였다. Trip OD 형태 합성데이터의 모델별 성능 평가 결과, Synthpop은 유용성이 높으나 안전성이 낮았으며, CTGAN, WGAN-GP는 안전성과 유용성 모두 제한적인 결과를 보였고, CART+CVAE 모형이 유용성과 안전성을 동시에 확보하는 것으로 나타났다. 격자 단위 Trip-chain 형태 합성데이터의 모델별 성능 평가 결과 TVAE 모델은 유용성의 모든 지표에서 가장 우수하나 구별위험도도 가장 높았고, Synthpop은 유용성은 중간 수준이나 구별위험도가 가장 낮았다. CTGAN은 가장 낮은 유용성 수준을 보였다.

앞선 분석에서 밝혔듯, 데이터의 형태에 따라 모델별 안전성과 유용성 수준이 다르다. 따라서, 데이터 형태(Trip OD, Trip-Chain), 분석 목적(거시적, 미시적), 공개수준(전면공개, 부분공개, 비공개)에 따라 적절한 합성데이터의 생성 모델과 안전성, 유용성에 관한 가이드라인을 제시하고자 한다. 먼저, Trip 단위 데이터의 집계적 OD 매트릭스를 재현하는 거시적 분석에는 확률 기반으로 순차적으로 정보를 생성하는 Synthpop이 적절하며, 미시적 분석에는 변수간 복잡한 관계를 충분히 반영할 수 있는 하이브리드 모형인 CART+CVAE 모델이 적절하다. 또한 데이터를 전면공개할 경우에는 CART+CVAE 모델이 안전성 지표가 좋으므로 이 모델을 선택하는 것이 유리하다. 다음으로 Trip-Chain 단위에서는 1차원적 미시적 분석에서 TVAE와 Synthpop이 높은 유용성을 보여 적절하며, 2차원적 미시적 분석에서는 CTGAN도 활용가능하다. 그러나 거시적인 집계적 OD를 재현하는 것에는 모든 모델이 적절하지 않은 것으로 나타났다. 이는, 거시적 분석을 위한 OD를 생성하기 위해서는 Trip-chain과 같이 필요 이상의 미시적 정보를 이용하는 것이 적합하지 않음을 의미한다. 또한, 모든 데이터의 전면공개시에는 안전성을 확보하기 위해 구별위험도 Baseline 기준 5%p 이상의 개선 효과를 확보할 것을 제안한다.

본 연구는 모빌리티 합성 데이터의 형태, 분석 목적, 공개수준에 따른 가이드라인을 제시하여 기존의 직접 식별자 위주 삭제·가명화 조치에 집중된 가이드라인의 한계를 극복하고, 모빌리티 데이터의 특수성을 반영한 실용적 지침을 제시하였다는 점에서 의의를 가진다.

사사: 이 연구는 한국교통연구원의 연구개발적립금 사업의 지원을 받아 수행됨 (No.51-25-020)

철도 승객의 차내 활동 및 활동 지속시간에 영향을 미치는 요인 분석

Investigating Factors Affecting In-Vehicle Activities and Activity Duration of Railway Passengers

정용진

(연세대학교 도시공학과, 석박사통합과정)

김진희

(연세대학교 도시공학과, 부교수)

이동은 파생수요이므로, 이동시간은 일반적으로 생산적이지 못한 시간, 즉 생산이나 여가에 활용될 수 있는 시간을 잠식하는 비생산적 시간으로 인식되어 왔다. 따라서 이동시간이 길어질수록 통행자가 느끼는 비효용도 커지는 것으로 이해되어 왔다. 그러나 디지털 기술의 발전과 철도 차내 환경의 개선으로 이동 중 수행할 수 있는 활동의 범위가 점차 확대되고 있다. 이에 따라 이동시간을 보다 생산적이고 효율적으로 활용할 수 있게 되었으며, 이동시간이 유발하는 비효용 또한 개인의 특성과 통행 여건에 따라 다르게 나타날 가능성이 커졌다. 이러한 점에서 철도 승객이 이동시간을 어떠한 방식으로 활용하는지를 이해하는 것은 교통계획 수립과 시간가치 산정 측면에서 중요한 의미를 지닌다.

본 연구는 한국 철도 이용자를 대상으로 한 RP설문조사 데이터를 기반으로, 사회경제적 특성과 통행 맥락이 차내 활동의 선택과 활동 지속시간에 미치는 영향을 분석함으로써 철도 승객의 이동시간 활용 행태를 보다 심층적으로 이해하고자 하였다. 분석 결과, 한국 철도 승객의 약 20%는 차내에서 업무 활동을 수행하였으며, 이는 전체 이동시간의 31%를 차지하는 것으로 나타났다. 업무 활동의 선택은 특히 출퇴근 및 업무 목적 통행과 같이 활동의 의무성이 높은 통행 맥락에서 크게 영향을 받는 것으로 확인되었다. 또한 통행시간이 110~150분인 경우에는 남성과 고소득층에서 업무 활동의 지속시간이 더 길어지는 경향이 나타났다.

한편, 수면 활동은 전체 승객의 57%가 수행하는 가장 대표적인 차내 활동으로 나타났으며, 전체 이동시간의 49%를 차지하였다. 수면 활동의 지속시간은 통행시간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였고, 특히 통행시간이 50~110분인 경우에는 50분 미만의 단거리 통행에 비해 그 지속시간이 78% 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 고속철도 승객은 일반철도 승객보다 수면 활동을 선택할 가능성이 더 높고, 수면 활동의 지속시간도 14% 더 긴 것으로 나타났다. 이러한 결과는 쾌적한 차내 환경의 조성이 장거리 통행자의 수면의 질 향상뿐 아니라 생산성 제고에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

실시간 수요응답형 교통을 위한 이용자 효용 기반 동적 경로 생성 프레임워크

A User Utility-Based Dynamic Routing Framework for Real-Time Demand-Responsive Transit

염주현

(연세대학교 도시공학과, 석박사통합과정)

김진희

(연세대학교 도시공학과, 부교수)

실시간 데이터 처리 및 지능형 교통 기술의 발전에 따라, 특히 저밀도 교외 지역에서 수요응답형 교통(Demand-Responsive Transit, DRT) 서비스의 도입이 확대되고 있다. 동적 DRT는 실시간 승객 요청에 따라 차량 경로를 지속적으로 갱신함으로써 높은 운영 유연성을 제공하지만, 신규 요청에 따른 경로 갱신으로 기존 탑승자의 통행시간 불확실성이 증가하는 문제가 발생한다. 이러한 불확실성은 서비스 신뢰도를 저하시켜 이용 거부 및 취소로 이어질 수 있으며, 결과적으로 서비스 효율성에도 부정적인 영향을 미친다. 기존 배차 알고리즘은 차량 이동시간 또는 이동거리 최소화와 같은 운영자 중심 목적함수를 기반으로 하며, 이용자 측면은 시간 제약 초과에 대한 임의적 패널티로 반영되는 경우가 많다. 그러나 접근시간, 대기시간, 우회시간 등 통행시간 요소는 이용자 효용에 미치는 영향이 상이하므로 이를 충분히 반영하지 못할 경우 실제 수요를 정확히 설명하기 어렵다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 이용자 효용을 기반으로 한 동적 경로 생성 프레임워크를 제안한다. 제안된 방법은 삽입 휴리스틱 기반의 동적 Dial-a-Ride Problem(DARP)을 활용하여, 각 시점에서 신규 요청을 기존 경로에 삽입해 생성된 후보 경로 중 최적 경로를 선택한다. 이때 차량 용량, 최대 대기시간, 추가 차내 이동시간 등의 제약을 만족하는 경로만을 고려하며, 경로 선택 기준으로는 운영자 중심 비용함수, 이용자 효용 기반 비용함수, 그리고 두 요소를 결합한 혼합형 비용함수를 적용한다. 이용자 효용은 잠재선호 설문 자료로부터 추정된 혼합로짓 모형의 효용함수를 비용함수에 직접 반영하였다. 또한 스케일링 가중치를 통해 운영자와 이용자 요소를 통합한 비용함수를 구성하였다.

경기도 화성시 남양신도시를 대상으로 차량 5대, 총 366건의 수요를 가정한 시뮬레이션을 수행하고, 최대 대기시간 및 추가 차내 이동시간 제약을 변화시키며 다양한 시나리오를 분석하였다. 성능 평가는 운영 효율성(차량 이동거리 대비 수송 인원), 이용자 관점(지연 비율), 수요-공급 관점(수용률)을 기준으로 수행되었으며, 수용 여부는 선택확률 0.5를 기준으로 정의하였다.

분석 결과, 이용자 효용함수를 비용함수로한 고려한 배차 전략은 운영 효율성을 유지하면서 서비스 수용률을 향상시키고 지연 변동성을 감소시키는 것으로 나타났다. 특히 혼합형 비용함수는 수요-공급 관점에서 가장 우수한 성능을 보였으며, 이용자 효용을 반영한 배차가 실제 서비스 성과 개선에 중요한 역할을 함을 확인하였다. 본 연구는 DRT 배차 문제를 이용자 행태를 반영한 통합적 의사결정 문제로 확장하고, 이용자 중심의 지속가능한 서비스 운영을 위한 방법론을 제시한다. 향후에는 실제 운영 데이터를 활용한 모형 고도화와 대규모 환경에서의 적용 가능성 검토하고자한다.

사사: 본 연구는 국토교통부/국토과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 26AMDP-C161756-06)

Drive-Through 시설의 입지 및 유출입 구조별 교통운영 영향 분석과 관리 전략에 관한 연구

A Study on Traffic Operational Impact Analysis and Management Strategies for Drive-Through Facilities Based on Location and Access Configurations

최창훈

(전남대학교 도시방재안전협동과정)

박제진

(전남대학교 토목공학과)

코로나19 팬데믹 이후 비대면 소비문화의 확산으로 드라이브스루(이하 DT) 시설이 급증하고 있다. 이러한 시설의 확산은 진출입 차량에 의한 대기행렬이 도로 본선까지 연장되는 결과를 초래하여 교통혼잡을 유발할 뿐만 아니라, 보행자와 자전거 이용자의 안전을 위협하는 사회적 문제를 야기하고 있습니다. 그러나 현행 제도상 DT 시설은 일반 근린생활시설로 분류되어 별도의 설치 및 관리 기준이 미비한 실정이다. 특히 「도시교통정비 촉진법」에 따른 교통유발부담금 제도가 일정 규모(1,000㎡) 이상의 시설에만 적용됨에 따라 상당수의 DT 시설이 관리 대상에서 제외되고 있으며, 부과되는 부담금 수준 또한 낮아 교통유발 억제 수단으로서의 기능이 제한적이다. 기존 연구들 역시 개별 지점의 혼잡 분석에 국한되어 있어, DT 시설의 입지 및 운영특성을 반영한 체계적인 교통운영 분석은 여전히 부족한 상태이다.

이에 본 연구에서는 광주광역시 내 DT 시설을 대상으로 현장조사를 실시하고, 실측 데이터를 기반으로 교차로와의 공간적 관계 및 진출입 구조에 따른 운영특성을 유형화하였다. 주요 분석항목으로는 교차로와의 이격거리, 진출입구 배치형태, 대기행렬길이, 지체시간, 차로점유 여부, 보행자 상충 등을 설정하였으며, 첨두시간대(Peak Hour)를 기준으로 교통운영 영향을 정량적으로 분석하였다. 분석 결과, 모든 유형에서 대기행렬에 의한 본선차로 점유가 공통적으로 관찰되었으며, 이로 인해 교통흐름 저해 및 보행자 상충 위험이 가중되는 것으로 나타났다. 특히 교차로 진출부 인접형(Type C)의 경우, 대기행렬이 교차로 내부까지 영향을 미쳐 교차로 운영 효율 및 서비스수준(LOS)을 저하시킬 가능성이 높은 것으로 분석되었다. 반면 교차로 사이 위치형(Type B)은 본선 교통흐름의 저해가 주요한 문제로 도출되었다.

이러한 분석 결과를 바탕으로 DT 시설의 교통영향을 최소화하기 위한 유형별 운영관리 전략을 제시하였다. 구체적으로 교차로 진입부 인접형(Type A)은 진출 동선 명확화 및 차로변경 제한을 통해 상충을 최소화해야 하며, 교차로 사이 위치형(Type B)은 충분한 대기공간과 가감속차로 확보가 요구된다. 또한 교차로 진출부 인접형(Type C)은 교차로에 미치는 간섭을 줄이기 위해 내부 대기공간 확충과 진출입구 분리 운영이 필수적이다. 본 연구는 DT 시설의 교통문제가 매장의 입지 및 접속도로의 기하구조에 따라 상이한 패턴으로 나타남을 실증적으로 규명하였으며, 이에 따른 차별화된 관리기준의 필요성을 제기하였다는 점에서 정책적 의의가 있다. 향후 연구에서는 본 전략의 효과를 검증하기 위한 교통 시뮬레이션 및 실시간 데이터 기반의 정량적 분석을 수행하고, 이를 ITS 기반의 교통운영 관리 체계와 연계하여 운영 최적화 방안을 마련할 필요가 있다.



< Type A (교차로 진입부 인접형) >



< Type B (교차로 사이 위치형) >



< Type C (교차로 진출부 인접형) >



< Type D (기타/이면도로형) >

수도권 교통카드기반 지하철 역사 접근성 추정 방안

Estimation of Subway Station Accessibility Using Transport Card Data

신성일
((주)ITS Mobility Lab)

김중형
(인천연구원)

접근성(Accessibility)은 특정한 지점 및 지역 (Point & Area)가 다른 지점 및 지역과 잠재적인 상호작용이 발생할 가능성(Intensity)으로 정의된다. 대중교통카드자료에서 생성되는 승객의 수단 및 공간 이동과 관련된 자료를 통해서 접근성을 개념을 보다 면밀하게 가다듬는 작업이 가능하다. 특히 승객의 이동이 단일 수단으로 연계되지 않고 복합적인 환승을 통해서 이루어지는 공간에 대한 설명은 지금까지 접근성에서 다루어지지 않은 영역이기 때문에 시도할 가치가 있다. 수도권 교통카드자료은 승객의 버스-지하철 수단이용을 5회까지 기록하기 때문에 버스-버스, 지하철-버스에 대한 승객의 개별 환승 정보를 활용할 수 있다.

본 연구는 수도권 대중교통카드자료를 활용해서 지하철을 중심으로 지하철 접근성과 지하철-버스 환승하는 접근성 지표를 구축하고 산출하는 방법론을 제안한다. 교통카드자료는 지하철 역사 및 버스 정류장에서 승객의 Tag와 연관된 통행시간이 기록된다. 버스 정류장의 승차 Tag 및 지하철 역사의 승차 Tag를 이용하면 버스와 지하철의 통행시간을 정확하게 추정이 가능하다. 연구는 지하철 접근성과 지하철 환승과 연계된 버스의 환승 접근성을 추정하는 방안을 제안하며 Tag 시간을 중심으로 산정한다.

지하철-버스 환승접근성

- 승객통행기반 지하철-버스 환승접근성
- 환승 Tag 빈도
- 지하철-버스 대당 통행시간
- 지하철역(A), 버스정류장 (B)

$$A_{Subway}^{Bus} = \frac{B_{Subway}^{Bus}}{BTT_{Bus}} \sum_{i=1}^n BTT_{Tr,i}$$

A_{Subway}^{Bus} : 지하철-버스 환승 접근성
 B_{Subway}^{Bus} : 역 지하철-버스 환승 Tag
 BTT_{Bus} : 역 지하철-버스 환승 시간 (3분)
 $BTT_{Tr,i}$: 지하철 역 - i 버스정류장 대당 통행시간 (분)

$BTT_{Tr} = Subway_{TagIn} - Bus_{TagIn}$
 $BTT_{Tr} = 30(\text{분})$

버스 승차 Tag 정확성 확보

2021. 6. 16 (수) - 77개 역사

역명	버스환승 접근성	태그빈도
1. 광명	1022554	95849
2. 유문	300238	56811
3. 유문	407527	34512
4. 유문	408486	28812
5. 인현/가산	432436	31881
6. 유문	432521	28232
7. 부림/고정	441271	32046
8. 유문/가산	461981	28666
9. 동탄/신	481284	38288
10. 신명/신	487591	24879

인천시 사례연구는 4가지 지하철-버스 환승 접근성을 도출하였다. 1) 지하철 - 광역버스, 시내버스, 마을버스의 환승 접근성 총합, 2) 지하철 - 광역버스 환승 접근성, 3) 지하철 - 시내버스 환승 접근성, 4) 지하철 - 마을버스 환승 접근성



이용행태와 TOD 특성 기반 환승역 유형화 및 환승센터 투자 우선순위 분석

Transfer Station Typology and Investment Priority Analysis for Transit Centers
Based on Travel Behavior and TOD Characteristics

김태준

(경기대학교 도시·교통공학과, 석사과정)

김정화

(경기대학교 도시·교통공학과, 조교수)

최근 수도권 광역 생활권 확대와 대중교통 수요 증가로 인해 환승역의 기능과 역할이 더욱 중요해지고 있으며, 환승 편의성 개선을 위한 환승센터 구축 및 시설 개선 요구가 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 기존 환승센터 계획은 개별 역의 수요 규모나 물리적 여건을 중심으로 검토되는 경우가 많아 환승역 간 기능적 차이와 이용 특성을 체계적으로 반영한 투자 우선순위 설정 기준은 상대적으로 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 서울특별시 도시철도 환승역을 대상으로 역사 이용행태와 역세권의 TOD 특성 특성을 기반으로 환승역을 유형화하고, 유형별 특성을 고려한 환승센터 구축 및 개선 대상의 우선순위를 검토하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 교통카드 데이터, 도시철도 운행현황, 시내버스 노선 및 정류소 현황, 인구 및 고용 자료, 토지이용 및 건축물 GIS 데이터를 활용하여 서울특별시 도시철도 환승역을 분석하였다. 먼저 승하차 인원, 환승 통행량, 출·퇴근 시간대 이용 비율 등 이용행태 변수와 환승 노선 수, 운행빈도, 인구밀도, 고용밀도, 토지이용 혼합도 등 접근성·밀도·다양성 기반 TOD 특성 변수를 구축하였다. 이후 주성분 분석(PCA)을 통해 주요 잠재요인을 도출하고, 계층적 군집분석과 k-means 분석을 결합한 혼합 클러스터링 기법을 적용하여 환승역 유형을 분류하였다. 또한 유형별 수요 규모와 환승 기능 수준을 종합적으로 고려하여 환승센터 구축의 우선순위를 도출하였다.

분석 결과, 서울특별시 환승역은 이용행태와 TOD 특성의 차이에 따라 기능적 역할이 여러 유형으로 구분되는 것으로 나타났다. 이 중에서 이용 및 환승 수요가 높고 다양한 교통수단이 결절되는 환승역일수록 환승센터 구축 필요성이 상대적으로 높은 것으로 검토되었다. 반면, 주거지역 등 생활권 중심 기능을 수행하는 환승역은 시설 확충보다는 운영 개선 및 환승 동선 효율화 중심의 관리 전략이 보다 적절한 것으로 해석되었다.

결과적으로 본 연구는 환승역의 이용행태와 TOD 특성을 기반으로 환승역을 기능 유형별로 구분하고, 이를 바탕으로 환승센터 구축 및 개선 대상의 우선순위를 정량적으로 검토하였다. 본 연구에서 제시한 분석 절차와 평가 지표 체계는 향후 환승센터 타당성조사 및 단계적 투자 계획 수립 시 활용 가능한 기초 프레임워크로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2025-00558731).

대심도 환승환경에서의 수직이동시설 선택행태와 이용자 이질성 분석: 서울역 GTX-A를 중심으로

Vertical Facility Choice Behavior and User Heterogeneity in Deep Underground Transfer Environments:
The Case of Seoul Station GTX-A

김아린

(경기대학교 도시·교통공학과, 석사과정)

김정화

(경기대학교 스마트시티공학부 도시·교통공학과, 조교수)

대심도 철도 시스템이 확대되면서 환승 부담은 더 이상 단순한 보행거리나 물리적 연결성만으로 설명되기 어려워지고 있다. 대심도 역사에서 이용자는 에스컬레이터, 엘리베이터와 같은 수직이동시설에 크게 의존하며 환승 경험은 대기시간, 혼잡, 이동시간, 반복적인 수직 이동의 영향을 복합적으로 받는다. 그러나 기존 환승 환경 평가는 주로 보행거리나 평균 환승 시간과 같은 물리적 지표에 초점을 두어 실제 이용자의 선택행태와 인지된 부담을 충분히 반영하지 못하며 역사 운영 및 설계 측면에서 구체적인 개선 우선순위를 도출하는 데에도 한계가 있다.

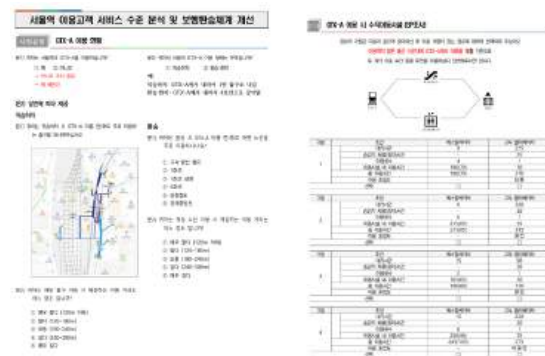
이에 본 연구는 서울역 GTX-A의 대심도 환승 환경에서 수직이동시설 선택행태를 기반으로 환승 저항을 정량화하고 이용자 이질성을 분석하고자 한다. 이를 위해 SP 설문은 활용하여 대기시간, 혼잡도, 이동시간, 수직 이동 횟수가 서로 다르게 조합된 가상의 환승 상황을 제시하고, 응답자가 각 상황에서 계단, 에스컬레이터, 엘리베이터 중 하나를 선택하도록 설계를 하였다. 이를 통해 객관적인 환승 조건이 시설 선택행태를 매개로 환승 저항에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하고, 기존의 거리 중심 평가를 넘어 대심도 역사에서의 환승 부담을 행태 기반으로 이해하고자 한다.

쾌적성, 동선 복잡성, 안내 및 정보의 적절성, 안전성, 수직 이동 장벽과 같은 인식요인을 함께 고려하여 주관적 인식이 관측 가능한 환승 조건과 어떻게 상호작용하는지를 살펴본다. 이러한 요인들은 Hybrid Choice Framework에 반영되며 잠재계층 선택모형을 통해 혼잡, 대기시간, 수직 이동 부담에 대한 민감도가 서로 다른 이용자 집단의 이질성도 분석한다. 모형 추정 결과를 바탕으로 대기시간 저감, 혼잡완화, 동선 단순화, 안내체계 개선과 같은 운영 및 설계 전략의 상대적 우선순위를 검토하고자 한다.

본 연구는 대심도 환승 환경에서 발생하는 이용자 부담을 정교하게 해석하고 주요 철도역 환승 공간을 이용자 중심으로 평가하기 위한 실증적 근거를 제시한다는 점에서 의의가 있다. 향후 대심도 역사 계획 및 운영 과정에서 수직이동시설 개선 방향을 설정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 1> 서울역 GTX-A 이용안내도(레이포털, 2025; 재구성)



<그림 2> 서울역 GTX-A 이용자 설문지 일부

사사: 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-00558731).

실제 주행자료 기반 혼잡 반영 대체경로 생성 및 네트워크 혼잡 완화 효과 분석

Analysis of Route-Level Efficiency and Network Congestion Mitigation Effects of Congestion-Aware
Alternative Routes Based on Real-World Driving Data

한정우 (한남대학교 빅데이터응용학과, 학부과정)	김가경 (한남대학교 경영정보학과, 학부과정)	정희진 (한국과학기술정보 연구원, 선임연구원)	심지섭 (한남대학교 빅데이터응용학과, 조교수)
--	--	---	---

기존의 경로안내 방식은 주로 최단시간 또는 최단거리 기준에 의존하며, 이로 인해 네트워크 상의 특정 링크에 통행이 집중되어 네트워크 내의 불균일한 혼잡을 야기할 수 있다. 반면 실제 운전자는 혼잡, 익숙함, 우회 성향 등 다양한 요인을 고려하여 경로를 선택하므로, 이를 전체 네트워크의 혼잡 상황에 반영할 수 있는 경로 생성 방법론이 필요하다. 이에 본 연구에서는 실제 상용 내비게이션 상의 주행패턴자료와 시간대별 교통량 자료를 활용하여 혼잡을 반영한 대체경로 생성 방법론을 제안하고자 한다. 또한 개별 경로 수준의 예측 통행시간 및 총거리 비교와 함께, 경로 전환이 네트워크 혼잡 완화에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

본 연구에서는 먼저 실제 주행경로 자료와 링크별 교통량 자료를 통합하여 시간대별 혼잡을 반영한 경로 분석 체계를 구축하였다. 실제 주행경로는 교통량 데이터가 존재하는 링크 단위로 재구성하였고, 이를 기반으로 시간대별 혼잡 수준을 산정한 뒤 이를 링크 비용 함수에 반영하였다. 아울러 실제 경로와 동일한 조건에서 혼잡 반영 대체경로를 생성하고, 실제 경로와의 통행시간 및 거리 차이를 비교하였다. 또한 시간 절감이 발생한 경로를 대상으로 경로 전환 시나리오를 설정하여 링크 사용량 변화와 네트워크 혼잡 완화 효과를 함께 평가하였다.

분석 결과, 실제 경로와 대체경로 비교에 사용된 4,565개의 통행 경로 중 약 39%에서 혼잡 반영 대체경로의 예측 통행시간이 실제 경로보다 짧아지는 것으로 나타났다. 특히 시간 절감이 확인된 경로에서는 평균 통행시간과 거리 모두 절감 효과가 나타나, 혼잡 정보를 반영한 경로 생성의 실효성이 확인되었다. 링크 수준에서는 실제 통행이 집중되던 일부 구간의 사용량이 감소하고 인접 링크로 분산되는 양상이 나타났다. 또한 경로 전환 시나리오 분석 결과, 대체 경로 적용 비율이 증가할수록 평균 혼잡지수와 고혼잡 링크 비율이 감소하는 경향이 확인되었다.

사사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

빅데이터 수집범위 변화에 따른 화물자동차 통행특성 분석

Analysis of freight vehicle traffic characteristics based on changes in big data collection scope

오연선

(한국교통연구원
빅데이터연구본부, 연구원)

이준혁

((주)노트스퀘어, 대표)

원민수

(한국교통연구원
빅데이터연구본부, 연구위원)

최근 빅데이터 기반 교통정보 수집 및 활용 환경이 구축됨에 따라, 화물자동차 기·종점(Origin-Destination, OD) 산정 과정에서도 기존의 설문조사 및 실적자료뿐만 아니라 다양한 빅데이터가 적극적으로 활용되고 있다. 특히 디지털 운행기록계(Digital Tachograph, DTG) 자료는 영업용 화물자동차의 주행 궤적을 기반으로 수집되는 데이터로, 전통적인 인력조사 방식에 비해 표본 규모 측면에서 높은 대표성을 확보할 수 있다.

그러나 DTG 자료는 일부 톤급을 제외한 영업용 화물자동차에 한정되어 수집되므로, 전체 화물자동차를 대상으로 한 분석에 적용할 경우 데이터의 적용 범위에 대한 검토가 필요하다. 또한 DTG 자료의 의무 제출 대상이 변화함에 따라, 수집된 데이터의 톤급 및 차종 구성에 차이가 발생하고 있으며, 이는 관측되는 화물자동차 통행특성에도 영향을 미칠 수 있다.

이에 본 연구에서는 DTG 데이터의 수집 대상 변화에 따른 통행특성의 변화를 분석하고, DTG 데이터를 활용한 화물 OD 구축의 신뢰성을 제고하기 위 화물자동차 OD 산정 과정에서 빅데이터를 활용할 때 고려해야 할 적용 범위 및 방안을 제시하고자 한다.

인천국제공항 국제선 연결 품질 기반 환승전용 내항기 최적 운항 스케줄 분석

Optimal Scheduling of Domestic Transit Flights Based on International Connection Quality at Incheon International Airport

이준욱

(KAIST 조천식 모빌리티대학원, 석사과정)

김인희

(KAIST 조천식 모빌리티대학원, 부교수)

인천국제공항은 동북아 허브공항으로 기능하고 있으나, 국내선 feeder 체계는 사실상 부재한 상태이다. 이에 따라 지방 출발 국제선 이용객은 김포공항 경유, 철도, 버스, 자가용, 전일 이동 등 다양한 대체수단을 활용하여 인천공항에 접근하고 있다. 그러나 인천공항 국내 feeder 도입 가능성은 단순한 국내선 신설 여부가 아니라, 현행 환승전용 내항기 제약 하에서 국제선과의 연결 품질을 얼마나 효과적으로 확보할 수 있는가의 관점에서 검토될 필요가 있다. 이에 본 연구는 인천국제공항 환승전용 내항기의 국제선 연결성을 극대화할 수 있는 최적 스케줄을 도출하고, 이를 현재 운항 스케줄과 비교·평가하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 본 연구는 2026년 3월 20일부터 26일까지 7일간 인천국제공항 및 국내 공항의 출·도착 예정 시간표를 구축하고, 인천공항 출발 국제선 중 환승전용 내항기와 연계 가능한 국제선 집합을 식별하였다. 이후 국제선 출발편의 시간대별 분포를 바탕으로 departure bank를 도출하고, 최소환승시간, 최대허용연결시간, 국제선 운항 가치, 항공사 및 제휴 기반 이용 가능 여부를 반영한 국제선 연결 품질 지표를 구성하였다. 또한 공항별 시간당 수용능력, curfew time, 허용 기종, 잔여 슬롯, 환승 가능 시간 조건 등을 제약조건으로 설정하여, 국내 feeder 항공편의 도착 시각 및 운항 빈도를 최적화하는 혼합정수계획모형(MILP)을 구축하였다.

분석 대상은 현행 환승전용 내항기 운영 노선인 김해 및 대구를 기본 분석 대상으로 설정하고, 잠재 확장 노선으로 제주, 광주, 양양을 추가 검토하였다. 이때 청주, 원주, 군산은 인천공항까지의 지상 접근 대체 가능성이 높아 국내 feeder 항공편의 추가 편익이 제한적일 것으로 판단하여 제외하였다. 또한 잠재 확장 노선에 대해서는 기존 유사 국내선의 운항 구조와 공항별 잔여 슬롯을 고려하여 일일 및 주간 운항횟수 상한을 설정하고, 연결 가능한 국제선 수, 연결 가능한 총 좌석수, 연결 대기시간, 편당 연결가치 등을 기준으로 최적 스케줄의 성능을 평가하였다.

본 연구의 학술적 의의는 인천공항 국내 feeder 문제를 단순한 국내선 도입 논의가 아니라, 현행 제도와 운영 제약 하에서 국제선 연결 품질을 극대화하는 허브 연계 스케줄 설계 문제로 재정의하였다는 점에 있다. 또한 관측되지 않는 국내 feeder 공급을 가상 확장 시나리오로 구성하되, 실제 국제선 및 국내선 운항 스케줄과 공항 운영 제약을 반영한 수리최적화 틀을 제시한다는 점에서 의미가 있다. 실무적으로는 인천공항 환승전용 내항기의 확대 가능성을 검토할 때, 단순 노선 신설 여부보다 국제선 departure bank와의 정합성, 대체수단 대비 경쟁력, 공항별 운영 가능성 및 제도적 이용 가능 범위를 함께 고려해야 함을 시사한다.

사사: 본 연구는 국토교통부가 지원하고 국토교통과학기술진흥원(KAIA)이 수행한 연구사업 (RS-2022-00156089)의 지원을 받아 수행되었습니다.

검지기 데이터 기반 네트워크 수준 TOD 경계 최적화 기법 연구

A Study on Network-Level Optimization of Time-of-Day Boundaries Based on Traffic Detector Data

서지영

((주)툼스, 책임연구원)

이선하

(국립공주대학교, 도시교통공학과, 교수)

본 연구는 도시 교통신호 운영에서 널리 사용되는 시간대 구분(Time-of-Day, TOD) 방식의 한계를 개선하기 위해, 교통 검지기 데이터를 활용한 네트워크 수준의 TOD 경계 최적화 방법을 제안하였다. 기존 TOD 설정은 경험적 판단이나 고정된 시간 기준에 의존하는 경우가 많아, 실제 교통흐름 변화를 충분히 반영하지 못하는 문제가 있다.

이에 본 연구에서는 대전시 전역의 차량검지시스템(VDS) 데이터를 활용하여, 데이터 기반의 TOD 구간을 도출하는 프레임워크를 구축하였다. 2021년 1년간 15분 단위로 수집된 교통량 데이터를 집계하여 하루 96개 시간대의 대표 교통 수요 패턴을 생성하였으며, 이를 기반으로 군집분석(K-means)을 수행하였다. 군집분석을 통해 유사한 교통 상태를 갖는 시간대들을 그룹화하고, 군집 간 전이 지점을 TOD 경계 후보로 설정하였다. 또한 실제 신호운영 적용을 고려하여 최소 구간 길이(120분) 조건을 적용함으로써, 지나치게 짧은 구간을 통합하여 운영 가능성을 확보하였다. 최적 군집 수는 실루엣 지수를 통해 결정되었으며, 최종적으로 3개 시간대 구조가 도출되었다. 이는 기존의 고정형 TOD와 유사한 구조를 가지면서도, 실제 교통수요 변화에 기반하여 설정된다는 점에서 차별성이 있다.

성능 평가 결과, 제안 방법은 기존 고정 TOD 대비 구간 내 변동성(SSE)을 34.87% 감소시키고, RMSE 역시 유의하게 감소하여 각 시간대 내 교통 상태의 균질성을 향상시키는 것으로 나타났다. 특히 주말과 같이 교통 패턴 변동성이 큰 경우 더 높은 개선 효과(최대 45.74%)가 확인되었다.

또한 최소 구간 길이를 변화시키는 민감도 분석에서도 결과가 안정적으로 3개 구간으로 수렴하여, 제안 방법의 구조적 안정성이 검증되었다. 이는 도출된 TOD 구간이 단순한 파라미터 설정이 아닌, 실제 네트워크 교통 특성을 반영한 결과임을 의미한다.

결론적으로 본 연구는 대규모 교통데이터 기반의 TOD 경계 설정 방법을 제시함으로써, 기존 경험적 방식의 한계를 극복하고, 신호 운영의 효율성과 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 보여준다. 향후에는 속도, 점유율 등 다양한 지표를 포함한 분석 및 실시간 신호제어 시스템과의 연계 연구가 필요하다.

신수단 수요 예측을 위한 페르소나 검색 기반 SP-RP 전이 프레임워크

Bridging SP and RP with Persona Memory Banks: A Retrieval-Augmented Framework for Mode Choice Prediction

문찬우	문선아	김인희	김진희
(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원)	(연세대학교 도시공학과)	(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원)	(연세대학교 도시공학과)

자율주행차(AV)와 같은 신수단이 도입되면, 수단선택 문제는 대안 집합 자체가 변화하는 구조적 전환이 된다. 신수단은 개인의 태도, 수용성, 위험 인식과 같은 잠재적 요인까지 자극하므로, 필요한 것은 현재 인구 중 누가, 어떤 맥락에서, 어떤 확률로 신수단을 선택할 것인가를 개인 수준에서 설명할 수 있는 예측 구조이다. 신수단의 실제 이용 데이터(RP)는 존재하지 않으므로 SP 조사에 의존할 수밖에 없으나, 기존 접근은 SP로부터 효용계수를 추정하여 모집단에 일괄 적용하는 파라미터 중심 방식을 취해 왔다. RP와 SP를 결합하여 추정하는 joint estimation이나 mixed logit을 통해 개인 간 이질성을 반영하려는 시도도 이루어져 왔으나, 이 역시 미조사 개인에게 적용할 때는 표본으로부터 추정된 분포 파라미터(평균, 분산)에 의존하게 된다. 머신러닝은 이질성을 포착할 유연성을 갖추고 있으나, SP의 현실적 표본 규모에서는 수단분포를 구조적으로 왜곡한다. 본 연구는 이러한 파라미터 추정 자체를 우회하여, 유사한 응답자의 실제 선택을 직접 전이하는 비모수적 접근을 취한다. 다만 이 접근이 성립하려면 SP 조사가 체계적으로 설계되어야 하며, SP 응답자와 미조사 개인이 같은 모집단에 속하고, SP 시나리오가 응답자의 실제 통근 조건에 기반하여 구성되는 것이 전제된다. 본 연구는 SP 응답 데이터의 활용 방식 자체를 재구성한다. SP를 효용계수 추정에 소비하는 대신, 각 응답자의 프로필과 실제 선택을 원형 그대로 보존하여 검색 가능한 페르소나 메모리 뱅크로 구축한다. 본 연구의 SP 조사는 각 응답자에 대해 세 종류의 정보를 수집한다. 첫째, 응답자의 실제 통근 조건(현재 수단, 소요시간, 비용, 거리)을 보고하는 RP 속성이다. 둘째, 비용 민감도, 시간 민감도, 신기술 수용성 등 9개 차원의 잠재 태도 응답이다. 셋째, 두 시점의 수단선택이다. 먼저 현재 존재하는 수단들 사이에서의 선택을 수집하고, 이어서 응답자 본인의 RP 조건을 기준으로 피벗된 시나리오에 AV가 추가된 상황에서의 선택을 수집한다. 이렇게 수집된 RP 속성, 잠재 태도, 현재 수단 선택, AV 도입 후 선택이 각 응답자의 페르소나 레코드가 되며, 이들의 집합이 메모리 뱅크를 구성한다. 미조사 개인은 RP 속성만 관측 가능하고 잠재 태도는 알 수 없다. 이 격차를 메우기 위해, SP 응답자의 RP 속성과 태도 응답 간의 관계를 베이지안 모형으로 학습하여, 미조사 개인의 RP 속성으로부터 각 잠재 태도 차원에 대한 확률분포를 산출한다. 이를 통해 미조사 개인에 대해서도 RP 속성, 태도 확률분포, 현재 이용 수단으로 구성된 페르소나를 생성할 수 있다. 예측 시에는 이 페르소나를 질의로 메모리 뱅크 내 모든 SP 응답자에 대해 유사도를 점수화한다. 유사도는 관측 속성의 코사인 유사도, 잠재 태도의 가우시안 정합도, 현재 이용 수단의 일치도를 결합한 복합 커널로 산출한다. 상위 k명의 유사 응답자를 검색하고, 유사도에 비례한 가중치로 그들의 AV 도입 후 선택을 집계하여 개인별 사전분포를 생성한다. 인구통계가 비슷하고, 잠재 태도가 유사하며, 현재 같은 수단을 이용하는 사람이 AV가 추가된 환경에서 실제로 어떤 선택을 했는지를 전이하는 구조이다. 이후 이 사전분포를 출발점으로, 예측 대상 개인의 시나리오별 서비스 수준 조건 등을 추가 반영하여 사후분포로 갱신한다. 본 연구에서는 LLM을 사후 갱신 모델로 활용하되, tempered Bayesian update를 적용하여 검색 기반 사전분포를 바탕으로 시나리오 맥락에 기반한 미세 보정이 반영되는 구조를 채택하였다. 사전분포가 동일 모집단 내 실제 선택 행태에 기반하므로 분포 수준의 안정성이 확보되고, 사후 갱신은 개인의 고유한 맥락에 맞춘 조정만 담당한다. 본 연구의 기여는 두 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 신수단 도입 시 SP 응답을 미조사 개인에게 전이하는 prior-posterior 프레임워크를 제안하였다. SP 응답자의 프로필과 선택을 메모리 뱅크로 구축하고, 관측 속성과 베이지안 태도 추정을 결합한 페르소나 검색으로 개인별 사전분포를 생성한 뒤, 시나리오 맥락을 반영하여 사후 갱신하는 구조이다. 효용함수의 형태 가정이 불필요하며, 사전분포가 실제 선택에 기반하므로 사후 모델의 편향이 있더라도 분포가 구조적으로 보존된다. 둘째, 이 프레임워크가 학습 표본보다 예측 대상이 훨씬 클 때에도 강건하게 작동함을 실증하였다. 모집단의 25%만으로 나머지 75%를 예측하는 조건에서, 이산선택 모형은 전체 수단분포는 적절히 복원하였으나 하위 그룹과 개인 수준에서는 한계를 보였고, ML은 수단분포 자체를 구조적으로 왜곡하였다. 제안 프레임워크는 전체 분포, 하위 그룹, 개인 수준 모두에서 가장 높은 성능을 보여, 체계적으로 설계된 SP를 RP 모집단으로 확장하는 통합 프레임워크로서의 가능성을 보였다.

서울시 장애인콜택시 서비스의 지역 간 배차율 불균형 요인분석

Factors Associated with Regional Disparities in Dispatch Rates of Seoul's Paratransit Service

진동준

(한남대학교 AI·데이터사이언스학과,
석사과정)

정희진

(한국과학기술정보연구원,
선임연구원)

심지섭

(한남대학교 빅데이터응용학과,
조교수)

서울시 장애인콜택시 서비스는 이동약자의 이동권 보장을 위한 대표적 특별교통수단으로서 높은 공공성을 지닌다. 그러나 실제 운영에서는 자치구별 배차율 차이가 반복적으로 나타나고 있어 서비스 제공의 지역 간 형평성 문제가 제기되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 형평성 문제를 자치구 간 배차율 차이로 정의하고 서울시 장애인콜택시 서비스의 지역 간 배차율 불균형 요인을 분석하였다. 기존 연구가 평균 대기시간과 수요·공급의 공간적 불일치, 차고지 및 대기소의 최적 입지에 주로 초점을 두었다면 본 연구는 특정 자치구에서 낮은 배차율이 지속되는 요인에 주목하였다. 이를 위해 2024년 서울시설공단 운행자료를 활용하여 자치구-시간대 단위의 집계자료를 구축하고, 배차 성공 건수와 실패 건수의 비율 특성을 반영할 수 있도록 배차 성공률을 종속변수로 하는 이항 일반화선형모형을 적용하였다. 분석 결과 서울시 전체 가중 평균 배차율은 86.8%였고 자치구 간 최대 격차는 7.9%p로 나타났다. 또한 장애인 천 명당 의료재활시설 수와 지역사회재활시설 수가 많은 지역일수록 배차 성공률이 낮은 경향을 보였다. 이는 의료·재활 목적 이동 수요가 특정 지역에 집중되면서 배차 수요가 상대적으로 높아지는 구조와 관련될 가능성을 시사한다. 반면 장애인 천 명당 차고지 주차대수가 많은 지역은 배차 성공률이 높은 경향을 보였다. 이는 차량 공급 기반에 대한 접근성이 높을수록 배차 대응력이 향상될 수 있음을 보여준다. 이와 같은 결과는 의료·재활 수요의 공간적 집중과 차량 공급 접근성의 차이와 밀접하게 관련되어 있는 것으로 해석된다. 본 연구는 장애인콜택시 운영의 형평성 문제를 자치구 간 배차율 차이의 관점에서 분석하고, 향후 형평성 기반 차량 재배치 기준 마련과 취약 자치구 우선 공급 전략 수립을 위한 근거를 제시한다.

사사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

AHP 기반 중소도시 모빌리티 도입 우선순위 분석

AHP-Based Analysis of Mobility Adoption Priorities in Small and Medium-Sized Cities

성민준

(계명대학교, 석사과정)

도우석

(계명대학교, 조교수)

권오훈

(계명대학교, 부교수)

국내 중소도시는 인구 규모와 재정 여건의 제약, 생활권의 공간적 분산, 고령화, 교통취약지역 등으로 인해 고정노선 중심 대중교통을 효율적으로 운영하기 어려운 구조적 한계를 가지고 있다. 특히 혁신도시가 조성된 중소도시는 혁신도시, 원도심, 농촌지역이 물리적으로 분리되어 있고 권역별 인구, 시설 밀도와 기능이 상이해 생활권 간 이동수요가 시간대와 요일에 따라 크게 변동하는 특성이 있다. 따라서 수익성이 낮은 노선은 배차간격이 길어지거나 심야, 주말 운행이 축소되고 외곽 및 농촌지역에서는 정류장 접근거리 자체가 부담이 되는 문제가 발생한다. 이러한 여건에서는 새로운 모빌리티 기술의 도입 가능성 자체보다 제한된 재정과 운영 여건 속에서 실제 교통문제 해결에 효과적인 모빌리티 도입 대안을 선별하는 과정이 중요하다. 따라서 본 연구는 김천시를 대상으로 계층분석법(AHP)을 활용하여 모빌리티 도입 수단의 우선순위를 도출하고 그 결과에 대한 계획적 시사점을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 개인형이동수단(Personal Mobility, PM), 수요응답형교통(Demand-responsive Transport, DRT), 환승 허브, 친환경 인프라, 드론 물류, 버스·택시, 자율주행 셔틀, 도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM), 모빌리티 통합플랫폼(Mobility as a Service, MaaS)의 9개 모빌리티 수단을 비교 대안으로 설정하였다. AHP 분석의 최상위 목표는 모빌리티 도입 수단의 우선순위 결정으로 상위 평가지표는 실현가능성, 시급성, 개선적정성, 파급효과의 4개 기준으로 구성했다. 하위 평가지표는 기술적 구현 가능성, 법·제도적 실행 가능성, 재정 확보 타당성, 사업 추진 시급성, 수요자 요구도, 문제해결 기여도, 사업 효율성, 직접효과, 간접효과로 세분화했다. 전문가 설문은 학계, 공공기관, 연구기관, 민간기업 실무자를 포함한 9인을 대상으로 서면 방식으로 실시하고 쌍대비교 설문과 모빌리티 수단별 10점 만점 평가를 병행하여 가중치와 종합점수를 산정했다. 분석 결과 상위 평가지표의 가중치는 실현가능성 0.54, 시급성 0.26, 개선적정성 0.13, 파급효과 0.08로 도출되었다. 하위 평가지표의 전역 가중치는 기술적 구현 가능성 0.35, 사업 추진 시급성 0.20, 법·제도적 실행 가능성 0.14, 문제해결 기여도 0.11, 직접효과 0.06, 재정 확보 타당성 0.06, 수요자 요구도 0.05, 사업 효율성 0.02, 간접효과 0.01으로 나타났다. 모빌리티 수단별 종합점수는 버스·택시 8.5점, DRT 8.1점, 친환경 인프라 7.9점, PM 7.5점, 환승 허브 7.3점 순으로 도출되었다. 이와 같은 결과는 중소도시에서 기존 교통체계의 개선과 유연한 수요 대응형 서비스가 상대적으로 높은 우선순위를 가진다는 점을 시사한다. 특히 버스·택시는 단기간 내 서비스 품질 개선이 가능한 현실적 수단, DRT는 농촌·외곽 및 비점투 시간대의 분산수요에 탄력적으로 대응할 수 있는 수단으로 평가되었다. 반면 자율주행 셔틀과 MaaS는 중·장기적 활용 가능성은 있으나 현 단계에서는 실증과 관련 플랫폼 기반 조성이 선행되어야 하는 모빌리티 수단으로 해석된다. 드론 물류와 UAM은 현재 교통현안과의 직접성이 낮아 장기 검토 대상 모빌리티 수단으로 분류됐다. 일관성 검토 결과는 $\max=4.55$, $CI=0.18$, $CR=0.21$ 로 나타났으며 다양한 전문가 집단의 판단을 통합한 결과라는 점에서 실무적 활용 가능성의 관점에서 검토하였다.

본 연구의 결과는 김천시와 같은 중소도시에서 모빌리티 도입 수단을 수립할 때 첨단기술 도입 여부보다 현재 여건에서의 구현 가능성과 당면 교통문제 해결 효과를 중심으로 우선순위를 설정하는 것이 중요하다는 점을 보여준다. 다시 말해 중소도시 모빌리티 정책의 핵심은 기술의 진보성 및 혁신성보다 제한된 여건 속에서 어떤 모빌리티 수단이 가장 실질적인 개선효과를 낼 수 있는지를 판별하는 데 있다. 특히 버스·택시, DRT, 친환경 인프라, PM, 환승 허브가 상위권을 형성하였다는 점은 중소도시에서 주민 체감도가 높은 서비스 재편과 접근성 개선이 우선 검토되어야 함을 시사한다. 따라서 본 연구에서 제시한 AHP 기반 의사결정 분석은 평가지표와 모빌리티 수단을 각 도시 여건에 맞게 조정할 경우 김천시와 유사한 도시구조를 가진 다른 중소도시의 모빌리티 도입 수단을 도출하는 데 기초자료이자 실질적 의사결정 도구로 활용될 수 있다.

사사: 본 연구성과물은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업입니다. (No. 과제 번호: RS-2025-24913021)

깊이카메라를 이용한 이동형 자전거도로 노면상태 자동탐지 시스템 개발

Development of a Depth Camera based Mobile Automatic Detection System
for Bicycle Path Surface Conditions

정인택

(한국건설기술연구원
미래스마트건설연구본부,
수석연구원)

장봉주

(한국건설기술연구원
미래스마트건설연구본부,
수석연구원)

박동현

(한국건설기술연구원
미래스마트건설연구본부,
수석연구원)

탄소중립 및 친환경 교통수단 활성화 정책에 따라 자전거 이용과 관련 인프라가 지속적으로 확대되고 있다. 국내 자전거도로 총 연장은 2009년 약 11,387 km에서 2024년 기준 약 27,754 km로 증가하는 등 자전거 이용 환경은 꾸준히 확대되고 있다. 그러나 자전거도로 상의 장애물, 노면패임, 포트홀 등 다양한 노면 위험요인으로 인한 안전사고가 지속적으로 발생하고 있으며, 기존 관리 방식은 민원 제보나 정기 현장조사에만 의존하는 등의 한계를 갖는다. 이러한 방식은 조사 인력과 시간 소요에 따른 관리비용이 크고, 도로 상태를 지속적으로 모니터링하기 어렵기 때문에 자전거도로의 안전 관리와 유지관리를 효율적으로 수행하기 위한 자동화된 조사 기술의 필요성이 증가하고 있다. 특히 자전거도로의 실제 주행 가능 폭인 유효폭원, 노면 장애물, 노면 파손 및 포장상태 등의 정보를 정량적으로 수집하고 디지털 기반으로 관리할 수 있는 현장 중심의 모니터링 및 정보 수집 기술이 요구된다.

기존 선행연구에서는 가속도 센서 기반 노면 평탄성 측정이나 RGB 영상 기반 도로 파손 탐지 기술이 주로 제안되었다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 단일 센서에 의존하거나 차량 환경을 중심으로 개발되어 자전거도로와 같은 협폭 및 저속 주행 환경을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 또한 장애물, 노면패임, 유효폭원 등 다양한 위험요소를 동시에 분석하는 통합 탐지 기술은 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 깊이카메라와 RGB 영상을 융합한 이동형 센싱 방식을 활용하여 자전거도로의 다양한 노면 상태 정보를 자동으로 탐지할 수 있는 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 깊이카메라 기반 이동형 자전거도로 노면상태 자동탐지 시스템을 구축하기 위하여 센서 장비, 분석 알고리즘 및 데이터 관리 플랫폼을 통합적으로 개발하였다. 먼저 깊이카메라, GPS 수신기, IMU 센서 및 AI 연산 장치를 통합한 이동형 센싱 장치를 구축하고 이를 프로브 자전거에 탑재하여 주행 중 노면 데이터를 수집할 수 있도록 하였다. 또한 깊이 영상과 RGB 영상을 동시에 활용하여 노면 장애물 탐지, 노면패임 탐지, 자전거도로 경계선 검출 및 유효폭원 산출을 수행하는 알고리즘을 개발하였다. 특히 깊이 카메라로부터 획득된 거리 정보를 수직 높이 정보로 실시간 변환하는 Depth-to-Height 변환 알고리즘과 AI 기반 영상 분할 및 객체 탐지 기법을 적용하여 노면 위험요소를 정량적으로 분석할 수 있도록 하였다. 아울러 수집된 데이터를 GIS 기반 플랫폼에서 분석하고 시각화할 수 있는 디지털 운영관리 시스템을 구현하였다.

개발된 기술의 실증을 위해 경기도 고양시 자전거도로(약 0.39km)와 서울 청계천로 자전거도로(약 1.42km)를 대상으로 현장 테스트를 수행하였다. 실증 결과 고양시 구간에서는 지주 등 장애물 약 15건이 탐지되었으며 일부 구간에서 유효폭원이 1.2m 미만으로 분석되었다. 또한 청계천로 구간에서는 장애물 및 노면 위험요소 약 7건이 검출되었고 포장상태는 대부분 A등급(일부 B등급)으로 판정되었다. 이러한 결과를 통해 개발된 시스템이 실제 도로 환경에서 자전거도로 노면 상태를 자동으로 탐지하고 분석할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 개발된 깊이카메라 기반 이동형 자전거도로 노면상태 자동탐지 시스템은 기존의 수작업 중심 조사 방식 대비 조사 효율성을 크게 향상시키며, 수집된 데이터는 GIS 플랫폼 기반의 시각화를 통해 자전거도로에 대한 유지보수 의사결정을 지원할 수 있다. 향후 스마트시티 및 디지털 교통 인프라 관리 체계와 연계될 경우 자전거 이용자의 안전성 향상과 지속가능한 도시 교통 환경 구축에 기여할 것으로 기대된다.

사자: 본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비 지원사업(주요사업)으로 수행되었습니다(20260239-001, R-V(Radar-Vision) 융합 센서 기반 지하 건축물 내부 익수위험 사전 인지 및 대응 핵심기술 개발).

도로기상 기반 지열식 도로열선 시스템의 결빙 방지 성능 분석

Analysis of Anti-icing Performance of Road Weather-Based Geothermal Road Heating Systems

박근형

(한국건설기술연구원 수석연구원)

겨울철 도로 관리에 있어서 도로 결빙은 차량 제동력 감소와 조향 성능의 저하를 유발하며 이를 통해 교통사고 발생 위험을 크게 증가시키는 주요 요인 중 하나이다. 특히 교량, 터널 입·출구, 경사로 및 곡선 구간과 같은 특정 도로 구간에서는 기온 저하와 노면 온도 변화로 인해 결빙이 빈번하게 발생하며, 이는 대형 교통사고와 교통 정체 등 사회적·경제적 손실을 초래한다. 현재 도로 결빙을 방지하기 위해 염화칼슘과 같은 제설제 살포, 제설 차량 운용 등의 방법이 사용되고 있으나, 이러한 방식은 도로 구조물의 부식, 환경 오염, 지속적인 유지관리 비용 증가 등의 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대안 기술로 도로열선(Heated Pavement System)을 이용한 도로결빙 방지기술이 주목받고 있다. 도로열선 시스템은 도로 포장 내부에 발열체 또는 열매체 순환 배관을 설치하여 노면 온도를 상승시킴으로써 눈이나 얼음의 형성을 억제하는 기술로, 자동 제어 시스템과 결합하여 효율적인 결빙 방지가 가능하다. 최근에는 전기식 열선뿐만 아니라 지열, 태양열 등을 활용한 친환경 에너지 기반 도로 난방 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 도로 결빙으로 인한 교통 안전 문제를 분석하고, 기존 제설 방식의 한계를 검토하였다. 또한 다양한 도로열선 기술의 특성을 비교·분석하고, 지열 에너지를 활용한 도로열선 시스템의 적용 가능성을 검토하였다. 이를 통해 겨울철 도로 결빙을 효과적으로 저감할 수 있는 지열 기반 도로열선 시스템의 설계 및 운영 방안을 제시하고자 한다.

사사: 본 연구는 2026년 국토교통부의 정부수탁과제 “도로제설시스템 운영관리” 지원에 의한 연구임

교통사고 상해 영향요인의 상대적 심각도 배수 분석: 가해자-피해자 간 비교

Analyzing Relative Severity Multipliers of Injury Determinants in Traffic Accidents: A Driver - Victim Comparison

박세현

(한국건설기술연구원, 수석연구원)

우리나라의 교통사고 건수는 2015년 약 23만 건에서 2024년 약 19만 건으로 약 15% 감소하였으며, 자동차 1만 대당 사고건수 또한 93.7건에서 65.1건으로 약 31% 감소하였다. 사망자 수 역시 2015년 4,621명에서 2024년 2,521명으로 약 45% 감소하여 사고 심각도 측면에서도 뚜렷한 개선이 나타났다. 그러나 최근 2023년 이후의 통계를 살펴보면, 사고건수(2023년 198,296건, 2024년 196,349건)와 사망자 수(2023년 2,551명, 2024년 2,521명)가 모두 유사한 수준을 유지하고 있어 감소 추세가 정체된 것으로 판단된다. 이는 기존 교통안전 정책의 효과가 점차 한계에 도달하고 있음을 시사한다.

한편, 최근 기술 발전에 따라 운전자보조장치(ADAS)의 성능이 고도화되고 있으며, 자율주행의 발전으로 교통안전의 추가적인 효과가 기대되고 있다. 또한 C-ITS 구축을 통해 스마트 횡단보도 등 교통안전 인프라 기술도 빠르게 발전하고 있다. 이에 본 연구는 향후 교통안전 정책의 방향을 진단하기 위해, 교통사고 상해 영향요인의 상대적 심각도 배수(Relative Severity Multiplier) 지표를 도입하였다. 이를 통해 도로환경, 기상상태 등 다양한 사고요인에 대해 정량적으로 분석하고, 정책적 우선순위를 제시하고자 한다. 특히 가해자와 피해자를 구분하여 분석함으로써 차별화된 시사점을 도출하고자 한다.

분석에는 한국도로교통공단 교통사고분석시스템(TAAS)의 수도권 교통사고 데이터(2023~2024년)를 활용하였다. 상해 심각도를 가해자와 피해자 각각에 대해 종속변수로 설정하고, 사고유형, 법규위반 유형, 기상 상태, 가해 운전자의 차종·연령·성별, 피해자의 차종·연령·성별 등을 독립변수로 구성하여 순서형 로짓모형(Ordered Logit Model)을 구축하였다. 분석 결과, 가해자 상해 심각도는 사고유형, 법규위반, 기상 및 도로환경, 차량 특성, 연령 요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 차대차 충돌사고일수록, 그리고 피해자의 차종이 대형일수록 상해 심각도가 증가하는 경향이 확인되었다. 가해자 기준 상대적 심각도 배수를 살펴보면, 차대차 충돌사고는 보도 통행 중 사고 대비 12.78배 높은 심각도를 보였다. 법규위반의 경우, 보행자 보호의무 위반 대비 타 법규 위반(중앙선 침범, 안전거리 미확보 등)이 약 3배의 유사한 수준의 심각도 증가가 나타났다. 기상상태에서는 맑은 날씨 대비 안개 시 2.15배, 노면상태에서는 기타 상태 대비 서리·결빙 시 1.85배 심각도가 증가하였다. 도로형태는 터널 구간에서 기타 단일로 대비 1.39배 높은 심각도를 보였다. 차량 특성 측면에서는 가해 차량이 자전거인 경우 건설기계 대비 68.51배로 매우 높은 심각도를 보였다. 또한 가해자 연령은 20~40대에서 60대 대비 약 2.0~2.3배 높은 심각도를 보였다.

피해자 상해 심각도는 사고유형, 법규위반, 기상 및 도로환경, 차량 특성, 연령 요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 보행자 관련 사고(보도 통행, 횡단 중)일수록, 가해 차량이 대형일수록, 그리고 피해자 차량이 소형일수록 상해 심각도가 증가하는 경향이 확인되었다. 상대적 심각도 배수를 살펴보면, 사고유형에서는 보도 통행 중 사고가 길 가장자리 통행 대비 약 3.20배, 횡단 중 사고는 약 3.08배 높은 심각도를 보였다. 법규위반의 경우, 보행자 보호의무 위반 대비 중앙선 침범이 약 2.22배로 가장 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 도로환경 측면에서는 터널 구간이 기타 도로 대비 약 3.16배로 가장 높은 심각도를 보였다. 가해 차량 특성에서는 자전거 대비 건설기계차(약 29.58배), 특수차(약 21.20배), 화물차(약 20.16배)에서 높은 심각도가 나타났다. 피해자 차량 특성에서는 승용차 대비 자전거가 약 31.99배로 가장 높은 심각도를 보였다. 연령 요인에서는 고령 피해자일수록 상해 심각도가 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 특히 65세 이상에서 가장 높은 수준을 보였다(약 2.61배). 한편, 가해자 연령에서는 65세 이상 대비 20대에서 약 1.19배 높은 심각도가 나타났다.

분석 결과 도출된 시사점은 다음과 같다. 우선 도로 환경 측면에서 터널이 가장 높은 위험도를 보이는 것으로 나타나, 진단 및 추가적인 연구가 필요하다. 또한 대형차량과 보행자 및 자전거 이용자가 연계된 사고에서 상해 심각도가 상대적으로 크게 증가하는 것으로 나타나, 대형차량 이동 경로와 보행자·자전거 간 상충 지점에 대한 집중적인 관리가 요구된다. 향후 C-ITS 적용 시에는 보행자 및 자전거 검지를 기반으로 대형차량에 경고를 제공하는 서비스 도입도 고려할 수 있다. 아울러 운전자 측면에서는 악천후 환경에서 사고 심각도가 증가하는 경향이 확인됨에 따라, 이를 보완할 수 있는 도로 인프라 기술 개발이 필요하다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원의 “2026년 ITS 장비 성능평가 사업”의 지원으로 이루어졌습니다.

2024년 도로교통 사고비용 추계

Estimation of road traffic accident costs in 2024

최미선

(한국도로교통공단, 연구원)

심태일

(한국도로교통공단, 책임연구원)

교통사고 사망자의 지속적인 감소에도 불구하고 교통사고로 인한 사회·경제적 손실은 여전히 지속되고 있다. 본 연구는 2024년 한 해 동안 발생한 도로교통사고의 인적·물적·사회적 피해를 화폐 가치로 환산하여 그 규모를 파악하고, 교통안전 정책 수립 및 투자사업 평가를 위한 기초 통계자료를 제공하는 데 목적이 있다.

분석은 2024년 대한민국 전 지역에서 발생한 교통사고를 대상으로 수행되었다. 경찰, 보험사, 공제조합의 교통사고 통합DB 및 보험개발원의 자동차보험금 현황 자료를 활용하였으며, 총생산손실법(The Gross Output Approach)을 적용하여 인적피해비용, 물적피해비용, 사회기관비용을 각각 산출 후 합산하였다. 2024년 전체 도로교통 사고비용은 약 26조 8,551억 5,560만 원으로 추계되었으며, 이는 전년 대비 약 1.1% 증가한 수치이자 2024년 국내총생산(GDP)의 약 1.0%에 해당한다. 비용 항목별 비중은 물적피해비용이 48.6%(약 13조 388억 원)로 가장 컸고, 인적피해비용 46.1%(약 12조 3,780억 원), 사회기관비용 5.4%(약 1조 4,383억 원)를 차지하였다. 사망자 감소 등의 영향으로 인적피해비용은 전년 대비 2.6% 감소하였으나, 차량 손해 및 대물 피해 증가 등으로 인해 물적피해비용이 5.2% 증가하며 전체 비용 상승을 이끌었다.

2024년 도로교통사고 사망자는 역대 최저 수준을 기록하였으나, 점증하는 물적피해비용과 증상·후유장해 중심의 비용 구조로 인해 국가 경제적 부담은 줄어들지 않는 양상을 보이고 있다. 따라서 향후 교통안전 정책은 단순한 사고 건수나 사망자 수 감소라는 양적 목표에서 벗어나, 사회적 비용 관리 관점에서의 종합적인 대책 수립으로 전환되어야 할 것이다.

증분 학습을 활용한 미학습 실내 환경의 세그멘테이션 성능 개선에 관한 연구

A Study on Enhancing Segmentation Performance in Unseen Indoor Environments Using Incremental Learning

정아영

(국립한국해양대, 학사과정)

배주원

(국립한국해양대, 박사과정)

서동환

(국립한국해양대, 교수)

최근 실내 공간을 픽셀 단위로 정밀하게 분석하는 시맨틱 세그멘테이션 기술은 다양한 컴퓨터 비전 응용 분야에서 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 기존의 딥러닝 기반 비전 모델은 대규모 상용 데이터셋을 활용하여 높은 수준의 객체 인식 성능을 달성해 왔으나, 실제 특정 건물 환경에 적용할 경우 학습 데이터에 포함되지 않은 특수 구조물이나 인테리어 패턴으로 인해 공간 분할 성능이 저하된다. 본 연구에서는 기존 상용 데이터셋을 통해 습득한 지식을 유지하면서 대상 환경에 존재하는 미학습 구조물에 효과적으로 대응할 수 있도록 증분 학습 기법을 제안한다. 이를 위해 실제 타겟 환경의 이미지를 수집하고, 주요 5대 구성 요소와 그 외의 특수한 요소를 배경으로 구분하는 정밀 라벨링 작업을 수행한다. 라벨링 과정을 통해 생성된 다각형 기반의 json 데이터와 픽셀 단위의 변환한 이미지로 딥러닝 모델이 직접 학습할 수 있도록 타겟 환경에 최적화된 학습 데이터셋을 구축한다. 데이터셋을 바탕으로 재구성한 모델에 증분 학습을 적용하고 그에 따른 공간 분할 성능 변화를 비교 분석한다. 제안한 증분 학습 기법을 적용한 결과, 모델의 인식 정확도가 17.33%에서 86.13%로 상승하였다. 이를 통해 모델을 처음부터 전체 재학습하는 연산 비용을 줄이면서 특정 실내 환경에 대한 분할 정확도를 효율적으로 향상시킬 수 있음을 입증한다.

사사: 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00352187).

자이로스코프 기반 중력 벡터 트래킹 전처리를 적용한 CNN-LSTM 기반 3D Inertial Odometry에 관한 연구

A Study on a CNN-LSTM based 3D Inertial Odometry with Gyroscope-based Gravity Vector Tracking Preprocessing

서홍일

(국립한국해양대학교, 박사과정)

이동진

(국립한국해양대학교, 학부생)

서동환

(국립한국해양대학교, 교수)

최근 자율주행 로봇 및 스마트 모빌리티 산업이 급성장하고, 그에 따른 정밀한 위치추정 기술이 필요하다. 일반적으로 널리 사용되고 있는 GPS 기술은 인공위성을 이용해 전 지구적으로 언제 어디서나 하늘만 보인다면 사용이 가능하지만, 터널이나 광산, 건물 내부 및 지하 등과 같은 GPS 음영 지역에서는 위성 신호가 벽에 막혀 정확한 위치 추적이 어렵다. 이러한 불편함을 해결하고 정밀한 위치추정을 위해 외부 신호 없이 기기 자체 관성 센서만으로 이동 경로는 추적하는 Inertial Measurement Unit(IMU) 기반 Odometry 기술이 주목받고 있다. 그러나 기존 IMU 기반 Odometry는 센서 노이즈와 바이어스로 인해 시간이 지남에 따라 오차가 누적되는 drift가 존재한다. 특히 자세 추정의 부정확성은 전체 위치 추정 성능 저하의 주요 원인으로 작용한다. 따라서 본 논문에서는 카메라나 비콘 등 외부 보정 센서가 제한되는 환경에서 IMU 데이터만을 이용한 3D Odometry의 정밀도 향상을 위해, 자이로스코프 기반의 중력 벡터 트래킹 전처리 단계가 포함된 CNN-LSTM 기반 딥러닝 모델을 제안한다. 제안하는 모델은 데이터 전처리 단계에서 특정 시점의 자이로 센서 변화량을 행렬 곱 연산에 적용하여 이전 시점의 중력 가속도 값을 실시간으로 추정 및 업데이트하는 네트워크이다. 이를 통해 입력 데이터는 raw IMU 값이 아닌, 보정되고 개선된 중력 가속도 정보를 포함하게 되며 이는 기존 IMU Odometry 방식보다 보다 안정적인 학습을 가능하게 한다. 제안된 중력 벡터 트래킹 기법은 기존 IMU Odometry에서 발생하는 자세 추정 오차를 구조적으로 감소시키며, 결과적으로 drift를 억제하고 장기적인 위치 추정의 안정성을 향상시킨다. 실험 결과, 제안하는 모델은 기존 IMU 기반 Odometry 대비 자세 추정 정확도 측면에서 유의미한 성능 향상을 보였다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방기술 연구개발사업(No.915141301)

Sequential 자이로 데이터를 활용한 Transformer 기반 자세변화량 추정 모델에 관한 연구

A Study on a Transformer-Based Orientation Change Estimation Model Using Sequential Gyroscope Data

서홍일 (국립한국해양대학교, 박사과정)	이동진 (국립한국해양대학교, 학부생)	정재훈 (국립군산대학교, 교수)	서동환 (국립한국해양대학교, 교수)
------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	----------------------------------

Odometry는 자율주행 및 주행 보조 시스템의 핵심 기술로, 카메라, 레이더, 라이다, 그리고 IMU 등 다양한 센서를 활용하여 활발히 연구되고 있다. 이 중에서도 IMU 데이터만을 독립적으로 활용하는 Inertial Odometry(IO)는 상대적으로 데이터의 크기가 작고 연산 효율성이 높아 다양한 환경에서의 적용 가능성으로 크게 주목받고 있다. 그러나 일반적인 IO 시스템은 센서에서 측정되는 각속도 및 가속도 값을 지속적으로 적분하여 궤적과 자세 변화량을 추정한다. 이러한 적분 기반의 추정 방식은 주행 중 센서를 주기적으로 초기화할 수 있는 절대적인 참조 정보가 부재할 경우, 필연적으로 누적 오차가 발생한다. 특히, 자세 추정이 시작된 후 수 초만 경과해도 센서 노이즈와 편향으로 인해 오차가 급격히 발산하게 되어 시스템의 장기적이고 안정적인 사용을 어렵게 만드는 치명적인 한계가 있다. 본 논문에서는 이러한 누적 오차 문제를 완화하고 자세 추정 성능을 향상시키기 위해, 시계열 자이로 데이터를 활용하는 새로운 자세 변화량 추정 모델을 제안한다. 제안하는 모델은 시계열 데이터 내의 복잡한 특징을 효과적으로 포착하기 위해 Self-Attention 기반의 트랜스포머(Transformer) 아키텍처이다. 네트워크를 통해 추출된 특징을 바탕으로 쿼터니언 자세 합 연산을 수행하여 연속적인 자세 변화량을 정밀하게 추정한다. 이를 통해 기존 단순 적분 방식이 갖는 발산 문제를 attention 기반 모델로 억제하여 제한된 센서데이터 활용을 통한 강건한 자세추정함이 가능함을 입증한다.

사사: 이 연구는 2025년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 미래도전국방기술 연구개발사업임(No.915141301)

고속 해상 객체 탐지 및 조기 포착을 위한 하이브리드 탐지 및 추적 알고리즘에 관한 연구

A Study on Hybrid Detection and Tracking for Early Capture of High-Speed Maritime Objects

강현준

(국립한국해양대학교, 학사과정)

배주원

(국립한국해양대학교, 박사과정)

서동환

(국립한국해양대학교, 교수)

미사일이나 고속 함정과 같은 표적은 높은 기동성과 더불어 원거리 관측 시 유효 특징 정보가 극도로 제한되는 초소형 객체의 특성을 지닌다. 이로 인해 기존의 단일 해상도 기반 탐지 모델은 동적 환경에서 오탐지 및 미탐지 확률이 높다는 기술적 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 선상 시점의 데이터셋과 선종별 세부 라벨이 풍부한 데이터셋을 통합하여, 벌크선부터 소형 레저 보트에 이르는 6종 해상 객체를 실시간으로 식별 및 분류할 수 있는 YOLO 기반 다중 클래스 탐지 모델을 설계하였다. 특히, 특징 소실이 빈번한 초소형 위협 객체의 포착 성능을 제고하고자 Slicing Aided Hyper Inference 기반의 하이브리드 추론 전략을 도입하였으며, 이미지 분할을 통한 국부 특징 강화를 통해 단일 추론 대비 유효 탐지 범위를 대폭 확장하였다. 또한, 선상 카메라의 격한 동요와 객체의 급격한 기동 속에서도 궤적의 연속성을 확보하기 위해 Global Motion Compensation 기술을 적용한 BoT-SORT 추적 알고리즘을 결합하였다. 성능 평가 결과, 제안된 통합 파이프라인은 단일 탐지 모델 대비 mAp_{50~96} 지표에서 0.71의 우수한 수치를 기록하였으며, 특히 32 X 32 픽셀 미만의 초소형 객체 구간에서 재현율이 유의미하게 향상됨을 입증하였다. 본 연구를 통해 확보된 고정밀 탐지 및 추적 기술은 향후 해상 위협 대응 시스템의 신뢰성을 제고하는 핵심 기초 기술로 활용될 것으로 기대된다.

사사: 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00352187).

서울시 고령 운전자 교통사고 다발지역의 사고 심각도 영향 요인 분석 -XGBoost와 SHAP 기반 주·야간 비교 분석을 중심으로-

Factors Affecting Accident Severity in Elderly Driver Crash Hotspots in Seoul
-A Day and Night Comparative Analysis Using XGBoost and SHAP -

박지영 (한남대학교 AI·데이터사이언스학과, 석사과정)	전효원 (한남대학교 빅데이터응용학과, 학부과정)	정희진 (한국과학기술정보 연구원, 선임연구원)	고은정 (한남대학교 빅데이터응용학과, 조교수)
--	--	---	---

고령 운전자 교통사고는 최근 고령 인구의 증가와 함께 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다. 특히 고령자의 신체적·인지적 특성은 사고 발생 가능성과 사고 심각도에 영향을 미치는 주요 요인으로 작용할 수 있어 이에 대한 체계적인 분석의 필요성이 증가하고 있다. 그러나, 기존 연구는 주로 도로환경이나 인적 요인을 개별적으로 분석하는 데 초점을 두어, 사고 발생지점의 공간적·환경적 특성, 사고 속성, 그리고 위험운전행동 요인을 통합적으로 고려한 분석은 상대적으로 부족하였다. 또한 사고 다발지역을 중심으로 미시적 공간 단위에서 사고 심각도에 대한 구조적 위험 요인을 종합적으로 분석한 연구는 제한적인 수준에 머물렀다.

이에, 본 연구는 서울특별시 고령 운전자 교통사고 다발지역을 분석 단위로 설정하고, 사고 심각도에 영향을 미치는 구조적 위험 요인을 분석하였다. 이를 위해 TAAS의 2021~2023년 서울시 고령 운전자 사고 데이터를 100m 격자 기반의 도로환경 및 위험운전행동 데이터와 공간적으로 결합하였다. 분석 방법으로는 변수 간 비선형적 관계와 복잡한 상호작용 효과를 효과적으로 반영할 수 있는 XGBoost 분류 모형을 적용하고, SHAP 기법을 통해 변수별 기여도와 영향 방향을 해석해 나갔다. 나아가 주간과 야간의 사고 심각도 결정 구조가 다를 수 있다는 가설하에 시간대별 분리 모형을 구축하여 비교하였다.

분석 결과, 고령 운전자 사고 심각도에는 범규위반, 가해운전자 차종 등 사고 특성 변수가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. SHAP 분석 결과, 특정 범규위반 유형과 대형 가해 차종에서 중사고 발생 확률이 증가하는 것으로 나타났다. 시간대별 비교 결과, 주간에는 사고 특성 변수 외에도 급출발, 과속 등 위험운전행동과 고령 보행자가 많은 지역의 도로 특성이 사고 심각도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면 야간에는 차선 수, 기상상태 등 도로환경 및 공간적 변수의 영향력이 상대적으로 크게 증가하였다. 이러한 결과는 고령 운전자의 사고 심각도가 시간대에 따라 다르게 작동할 수 있음을 보여준다. 구체적으로 주간에는 혼잡구간에서의 위험운전행동 관리와 보행자 사고 예방이 중요하며, 야간에는 넓은 도로에서의 과속 단속 강화가 특히 중요한 대응방안이 될 수 있다.

본 연구는 100m 미시 격자 단위에서 도로환경, 사고 속성, 위험운전행동을 통합적으로 분석하고, 주·야간 비교를 통해 시간대별 차이를 규명하였다는 점에서 의의를 가진다. 특히 고령 운전자의 사고위험에 영향을 미치는 요인 중 정책적으로 관리 및 개선 가능한 요소를 도출함으로써, 단순한 현상 설명을 넘어 실질적 정책 개입 방향을 제시하였다는 데 의미가 있다. 이러한 결과는 고령 운전자 교통사고 감소를 위한 시간대별 맞춤형 교통안전 대책 수립에 실증적 근거를 제공할 수 있다.

사사: This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the Daejeon RISE Center, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Daejeon Metropolitan City, Republic of Korea (2026-RISE-06-013).

고령운전자 교통환경 개선을 위한 도로표지 시인성 확보 연구

A Study on Enhancing Road Sign Visibility for Improving Traffic Environment of Elderly Drivers

장윤미

(한국건설기술연구원,
전임연구원)

최우철

(한국건설기술연구원,
수석연구원)

정규수

(한국건설기술연구원,
선임연구위원)

고령운전자 비율 증가와 함께 교통사고 위험이 지속적으로 증가하고 있으며 특히 교차로, 곡선구간, 보호구역 인접 도로와 같은 복합 교통환경에서 사고 발생 비율이 높게 나타나고 있다. 고령운전자는 시력 감소, 반응시간 증가, 정보 처리 능력 저하 등의 특성으로 인해 도로환경 인지 능력이 저하되며 교통환경 변화가 큰 구간에서 판단 오류가 증가하는 특성이 존재한다. 또한 야간 운전 시 시인성 저하로 인해 도로표지 인지 거리 감소가 발생하며 이는 교차로 진입 및 차로 변경 과정에서 사고 위험을 증가시키는 요인으로 작용한다. 그러나 현재 도로표지 설치 기준은 일반 운전자 중심으로 구성되어 있으며 고령운전자 인지 특성을 고려한 시인성 확보 중심 설치 기준은 미흡한 실정이다. 이에 따라 고령운전자 교통환경 개선을 위한 도로표지 시인성 확보 필요구간 도출을 위한 정량적 분석 접근이 필요한 상황이다.

본 연구에서는 고령운전자 교통환경 개선을 위해 공간데이터 기반 도로표지 시인성 확보 필요구간 도출 방법을 제시하였다. 고령운전자 사고 분포 특성과 도로 기하구조, 교통환경 특성, 생활권 활동 특성 등 다양한 공간정보를 종합적으로 고려하여 분석을 수행하였다. 구축된 공간데이터를 기반으로 고령운전자 사고 발생 특성과 교통환경 요소 간의 공간적 연관성을 분석하고 교통환경 변화가 큰 도로구간을 중심으로 시인성 확보 필요성을 검토하였다. 또한 도로환경 인지 부담이 증가하는 구간을 중심으로 도로표지 시인성 확보 필요구간을 도출하였다.

공간분석 결과 고령운전자 사고는 교차로 접근구간과 선형 변화가 큰 도로구간에서 상대적으로 높은 분포를 보이는 것으로 나타났다. 또한 보호구역 인접 도로와 생활권 활동이 집중된 구간에서 도로표지 시인성 확보 필요성이 높게 나타났다. 교통량이 많은 간선도로와 다차로 도로에서도 도로환경 인지 부담 증가로 인해 사고 위험이 증가하는 경향이 확인되었다. 야간 조도 부족구간에서는 도로표지 인지거리 감소로 인해 교차로 진입 시 감속 및 차로 변경이 증가하는 특성이 나타났다. 이러한 결과는 고령운전자 교통환경 개선을 위한 도로표지 시인성 확보 필요구간 검토의 중요성을 보여준다.

분석 결과를 종합하여 고령운전자 교통환경 개선을 위한 도로표지 시인성 확보 필요구간을 도출하였으며 교차로 접근구간, 곡선구간, 생활권 중심 도로, 다차로 간선도로, 야간 교통환경 변화 구간에서 우선 개선 필요성이 확인되었다. 특히 고령운전자 활동시설이 집중된 생활권 도로에서 도로표지 시인성 확보 필요성이 높게 나타났다. 본 연구에서 제시한 공간데이터 기반 도로표지 시인성 확보 필요구간 도출 방법은 고령운전자 중심 도로표지 설치 기준 마련에 활용 가능하며 교통안전 정책 수립 및 도로환경 개선을 위한 의사결정 자료로 활용될 수 있다. 또한 ITS 기반 교통안전 관리체계와 연계하여 고령운전자 교통환경 개선을 위한 도로안전 인프라 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 국토교통부 수탁사업 '2026년 도로표지센터 운영 업무대행' 지원으로 수행됨

도로표지의 설계목표수명을 고려한 구조 안전점검 주기에 대한 분석

Analysis of the structural inspection intervals based on the target design service life of road sign

성흥기

(한국건설기술연구원, 전임연구원)

정규수

(한국건설기술연구원, 전임연구위원)

도로표지는 안전하고 효율적인 교통 안내를 제공하는 중요한 도로 부속시설물이다. 최근 노후화된 도로표지가 증가하고 있으며, 태풍 및 돌풍과 같은 자연재해로 인한 도로표지의 파손, 붕괴, 탈락 등의 위험이 증가하고 있어 이에 대한 선제적인 구조 결함 예방이 요구된다. 따라서 도로표지의 구조 안정성을 확보하기 위한 구조안전 점검 수행이 필요하며, 효과적인 도로 인프라 관리 측면에서 적절한 구조안전 점검 수행 시기의 설정이 중요하다. 이에 본 연구에서는 구조 신뢰도 이론을 기반으로 도로표지의 응력, 설계목표수명 및 구조안전점검 주기 간의 상관관계를 분석하고, 이를 바탕으로 도로표지의 적정 구조안전 점검 주기를 제시하였다.

도로표지의 설계목표수명은 구조 형식에 따른 응력 특성을 고려하여 설정된다. 상대적으로 유효하중 면적이 작고 구조적으로 안정적인 형식인 홀기둥식과 겹기둥식 도로표지는 설계목표수명을 10년으로 설정하고 있다. 반면 구조물 규모가 크고 유효하중 면적이 넓으며 모멘트, 진동 및 피로의 영향이 상대적으로 크게 발생하는 편지식, 현수식, 문형식 도로표지는 설계목표수명을 50년으로 설정하고 있다. 이에 따라 도로표지 구조설계 시 설계목표수명을 반영하는 계수인 중요도계수는 홀기둥식과 겹기둥식 도로표지에 0.66을 적용하고, 편지식, 현수식, 문형식 도로표지에는 0.9를 적용하고 있다.

설계목표수명과 구조안전점검 주기의 관계는 설계목표수명 동안 수행되는 구조안전점검 횟수와 관련된다. 구조물 유지관리 분야의 연구에서는 구조안전점검 주기를 설계목표수명의 일정 비율로 설정하는 방법이 일반적으로 사용되고 있으며, 보통 설계목표수명의 약 1/10~1/20 수준으로 설정되는 경우가 많다. 이를 도로표지에 적용할 경우 홀기둥식과 겹기둥식 도로표지는 약 1년 주기의 점검이 필요하며, 편지식, 현수식, 문형식 도로표지는 약 5년 주기의 점검이 필요한 것으로 산출된다.

본 연구의 결과는 도로표지 구조물의 합리적인 점검주기 설정을 위한 이론적 근거로 활용될 수 있으며, 도로 인프라의 효율적인 안전관리 전략 수립에 기여할 것으로 기대된다. 향후 도로표지 구조형식별 구조안전점검 주기에 따른 파손확률을 분석하는 추가 연구를 수행하고, 이를 바탕으로 보다 합리적인 구조안전점검 주기 설정 기준을 마련할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 국토교통부 수탁사업 '2026년 도로표지센터 운영 업무대행' 지원으로 수행됨

NAM의 다중 과업 학습과 VLM 기반 로드뷰 분석을 활용한 교차로 내 취약계층 사고위험요인 해석

Interpreting Accident Risk Factors for Vulnerable Road Users at Intersections Using Multi-Task Neural Additive Models and VLM-Based Street View Analysis

연혁주

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 박사과정)

장기태

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 교수)

교통사고 위험 분석에서 취약계층 유형별 사고 특성 차이를 동시에 고려하면서도 각 요인의 기여도를 직관적으로 해석하는 것은 여전히 어려운 과제이다. 본 연구는 Neural Additive Model(NAM)의 다중 과업(multitask) 학습 구조를 활용하여, 전체 사고 및 다양한 취약계층 유형별 사고 위험을 단일 모델 내에서 동시에 추정하고, 과업 간 공유 표현을 통한 학습 효율과 해석 가능성을 동시에 확보하는 교차로 사고위험요인 해석 방법론을 제안한다.

NAM은 각 입력 변수에 대한 shape function을 독립적으로 학습함으로써 비선형적 변수 기여도를 시각적으로 제공하며, 본 연구에서는 이를 대형 언어 모델(LLM)과 연계하여 취약계층 유형별 유의미한 기하구조 및 환경 요인을 자연어로 자동 해석하는 파이프라인을 구축하였다. 나아가, 교차로를 기하구조 변수 기반 클러스터링을 통해 유형화하고, 분석 대상 교차로가 속한 클러스터의 전반적 사고 특성과 해당 교차로의 실제 사고 패턴을 비교함으로써 이상 교차로를 식별하는 방법론을 제시한다.

데이터 기반 분석만으로는 포착되지 않는 현장 요인을 보완하기 위해, 로드뷰 이미지를 시각-언어 모델(VLM)로 분석하여 수치화되지 않은 사고 유발 요인을 추출하고, 이를 정량 분석 결과와 통합하여 종합적인 사고위험요인 해석을 가능하게 한다.

교차로 사고 데이터를 활용한 검증을 통해, 제안 방법론이 취약계층 유형별 차별화된 위험요인을 효과적으로 식별하고, 로드뷰 기반 VLM 해석으로 기존 통계 모델이 설명하지 못하는 현장 특이 요인을 보완적으로 규명할 수 있음을 보인다. 본 연구는 해석 가능한 AI 모델과 멀티모달 분석을 결합함으로써, 지자체 교통안전 담당자의 현장 의사결정 지원 및 취약계층 맞춤형 개선사업 추진에 실질적으로 기여할 것으로 기대된다.

사사: 본 논문은 2026년도 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.092021C26S01000, Lv.4 대응 교통안전 인프라 표준 및 평가기술 개발).

딥러닝 영상 분석을 통한 도심부 불법 주·정차의 교통류 저해 영향 정량화: 유효 도로 폭 및 위험운전을 중심으로

Quantifying the Traffic Flow Obstruction Caused by Urban Illegal Parking via Deep Learning Video Analysis: Focusing on Effective Road Width and Dangerous Driving

박동혁	이유화	진민수	문재필	심승보
(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 박사후연구원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 연구위원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 수석연구원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 수석연구원)	(한국건설기술연구원 지반연구본부, 수석연구원)

도심부 도로 내 불법 주·정차는 도로 구성 요소 간의 시각적 차폐를 유발하며 보행 환경의 안전성을 저해한다. 현재 대한민국은 보행 중 교통사고 사망자 비율이 OECD 평균을 상회하고 있어 보행 환경 개선에 대한 다각적인 분석이 요구되고 있다. 불법 주·정차는 운전자의 가시 거리를 제한하여 돌발 상황에 대한 대응 능력을 낮춘다. 2018년 기준 전체 교통사고의 약 40%인 8만 건 이상의 사고가 불법 주정차와 연관되어 발생하였다. 특히, 어린이 보호구역 내 사고의 38%가 이로 인한 시야 차단과 관련이 있다는 점은 보행 취약계층의 안전 확보 측면에서 시사하는 바가 크다. 이러한 현상은 차량 통행과 보행 수요가 집중되는 대도시권을 중심으로 빈번하게 관측되고 있으며 기존 인력 중심 관리 체계의 한계를 보완할 정량적 관리 방안이 필요하다. 도심 내 불법 주·정차는 교통류의 연속성을 방해하며 이는 직·간접적인 사회적 손실 비용을 야기한다.

불법 주·정차는 단순한 통행 지체를 넘어 사고 발생 비용, 긴급 차량의 통행 저해에 따른 위험 비용, 주차 공간 탐색을 위한 배회 주행 비용 등 다각적인 교통혼잡비용을 유발한다. 이러한 사회적 비용 규모는 연간 수십 조 원으로 추산되며 이는 도시지역의 교통 효율성을 저해하고 지역 경쟁력을 낮추는 주요 요인으로 간주되었다. 특히 현행 인력 중심의 단속 체계는 시·공간적인 배치에 물리적 한계가 존재하여 불법 주·정차로 인한 경제적 손실을 선제적으로 관리하기에는 한계가 있다.

상기한 도로 환경 문제를 해결하기 위해 현재 경기도 남양주시 별내동 일대에서는 AI 기반 불법 주·정차 관리 시스템의 실증 사업이 수행되고 있다. 본 실증지는 차량 통행과 보행 수요가 복합적으로 발생하는 도심부 상업 지구(별내동 1017번지 일대)에 해당하며 2025년 11월부터 2년간 시스템의 현장 적합성 및 운영 실효성을 검증할 계획이다. 해당 시스템은 YOLO(You Only Look Once) 기반의 딥러닝 영상 분석 기술을 활용하여 지정된 구역(Region of Interest, ROI) 내 차량의 위치와 체류 시간을 실시간으로 판별하는 구조를 취한다. 특히 검지된 차량 정보를 VMS(Variable Message Signs) 및 LED 바닥등과 실시간으로 연계함으로써 단속 이전 단계에서 운전자의 자발적인 이동을 유도하는 예방적 관리 체계에 대해 실증하고 있다.

본 연구는 딥러닝 기반의 객체 인식과 공간 변환 알고리즘을 결합하여, 불법 주·정차가 도로 환경에 미치는 영향을 정량화하고 잠재적인 교통안전 위험을 식별하는 데 목적이 있다. 이를 위해 먼저, 고정형 카메라의 영상 데이터로부터 차량을 실시간 탐지하고 연속적으로 추적하기 위해 YOLOv11과 DeepSORT(Deep Simple Online and Realtime Tracking) 알고리즘을 결합한 파이프라인을 구축하였다. 객체 탐지 모델인 YOLOv11n을 기반으로 승용차, 버스, 트럭 등 주요 차량 객체를 실시간으로 식별하도록 학습하고, 차량 간 겹침 및 가려짐 현상이 발생하는 도심 도로 특성을 고려하여 칼만 필터(Kalman Filter) 기반의 DeepSORT 알고리즘을 적용함으로써 개별 차량에 고유 ID를 부여하고 주행 궤적을 지속적으로 관리하도록 설계하였다. 다음으로 2차원 영상 내의 픽셀 좌표를 실제 물리적 거리로 정량화하기 위해 사영 변환(perspective transform)을 적용하였다. 산출된 변환 행렬을 이미지 전체에 투영하여 Bird's eye view 형태의 좌표계를 생성하였다. 이를 통해 우측 연석을 기준으로 불법 주·정차 차량의 바다 좌표가 도로 안쪽으로 침범한 거리를 미터 단위로 계산하였다. 그 다음으로 전체 도로 폭에서 최대 침범 거리를 제외한 값을 유효 도로 폭(effective road width)으로 정의하여 정량화하였다. 추출된 차량 궤적 데이터를 기반으로 불법 주·정차가 주변 교통류에 미치는 위험성을 평가하였다. 과속, 급가속, 급감속 등 위험운전행동 판별 기준을 차량별 궤적 데이터에서 추출하고 집계하였다. 또한 불법 주·정차 차량이 존재하는 구간을 통과하는 차량의 속도 및 가속도 변화를 분석하여 해당 차량들이 유발하는 잠재적 사고위험 이벤트를 집계하였으며, 운전자 계도 중심의 불법 주·정차 AI 관리 시스템 운영 전·후의 데이터를 비교하여 효과성을 검증하였다. 최종적으로 고정형 CCTV(Closed-Circuit Television) 영상을 활용한 자동화된 분석 파이프라인을 제시함으로써 데이터에 기반한 선제적 교통안전 관리 및 효율적인 단속 행정 수립을 위한 기술적 기초를 제공하고자 한다.

사사: 본 연구는 한국건설기술연구원에서 수행 중인 과학기술정보통신부 26년 주요사업-(대4) 지역협력사업 중 'AI 기반 지역 맞춤형 도로교통 위험 환경 개선 기술 개발, 실증 및 사업화' 연구의 지원을 받아 수행되었습니다.

주행 안전 측면에서 보차혼용 도로 내 전기차 회생제동 시스템의 영향

Impact of Electric Vehicles' Regenerative Braking System in Shared Road on Driving Safety

임재혁

(한국과학기술원, 석사과정)

김인희

(한국과학기술원, 부교수)

자동차 시장 내 전기차 비중 증가와 함께 전기차 관련 사고 빈도 또한 증가하고 있다. 내연기관차와 달리 전기차 고유의 주행 방식인 회생제동(Regenerative Braking) 시스템은 운전자가 가속 페달(Throttle pedal)을 해제하는 것만으로 상당한 제동력을 발생시킨다. 이로 인해 전기차 운전자는 브레이크 페달을 사용하지 않고 가속 페달만으로 차량을 제어하는 원-페달(One-pedal) 주행 방식에 익숙해지는 경향이 있다. 그러나 보차혼용도로(Shared Road)와 같이 보행자와 차량이 공존하는 복잡한 도심 환경에서 갑작스러운 위험 상황에 대한 전기차 운전자의 대응 특성은 아직 충분히 연구되지 않았다.

본 연구는 주행 시뮬레이터를 활용하여 전기차(EV) 운전자와 내연기관차(ICEV) 운전자의 주행 행동 차이를 분석하고, 갑작스러운 위험 상황에서 회생제동 시스템이 운전자 반응에 미치는 영향을 규명하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 Unity 3D 게임 엔진과 Road Runner R2023a 소프트웨어를 활용하여 사각지대가 다수 존재하는 보차혼용도로 환경을 구현하였으며, 6축 주행 시뮬레이터를 활용한 실험을 수행하였다. 실험에는 EV 운전자 6명과 ICEV 운전자 6명이 참가하였으며, 일반 주행 구간과 갑작스러운 위험 상황 대응 구간으로 나누어 데이터를 수집하였다. 분석 지표로는 평균 속도, 페달 사용 횟수(Throttle/Brake Pedal Count), 페달 전환 시간(Pedal Change Time), 제동 반응 시간(Brake Reaction Time), 충돌 여유 시간(Time to Collision, TTC), 충돌 여부(Collision or Not)를 활용하였다.

분석 결과, EV 운전자는 일반 주행 시 브레이크 페달을 거의 사용하지 않고 가속 페달만으로 차량을 제어하는 원-페달 주행 경향이 두드러졌다. 브레이크 페달 사용 횟수(Brake Pedal Count)와 제동 반응 시간(Brake Reaction Time)에서 EV 운전자와 ICEV 운전자 간 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다($p < 0.05$). 특히 갑작스러운 위험 상황에서 one-pedal 주행 방식의 EV 운전자들은 two-pedal 주행 방식의 ICEV 운전자들에 비해 더 빠른 제동 반응 시간을 보였으며, TTC 지표에서도 우수한 결과를 나타냈다. 이는 회생제동 시스템이 갑작스러운 상황 대응에 있어 긍정적인 영향을 미침을 시사한다.

본 연구는 전기차 회생제동 시스템이 운전자의 주행 행동 패턴과 긴급 상황 대응 능력에 미치는 영향을 실증적으로 분석함으로써, 전기차 운전자 특성을 고려한 도로 안전 정책 및 전기차 안전 교육 방향 설정에 기여할 수 있다. 향후 연구에서는 표본 크기를 확대하고 다양한 연령대의 운전자를 포함하여 결과의 일반화 가능성을 높이고, 회생제동 강도가 주행 패턴에 미치는 영향 및 다양한 도로 환경에서의 상호작용을 추가로 검토할 예정이다.

사사: 본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원(RS-2023-00233952)에 의해 수행되었음

복잡한 도심 환경을 위한 상황 인지형 AR-HUD 내비게이션: 운전자 행태에 관한 다차원적 분석

Context-Aware AR-HUD Navigation for Complex Urban Environments:
A Multidimensional Analysis of Driver Behavior

김정운

(한국과학기술원, 석사과정)

김인희

(한국과학기술원, 부교수)

오태호

(한국과학기술원, 연수연구원)

내비게이션 시스템의 보편화에도 불구하고, 복잡한 도심 도로 환경에서 발생하는 시각적 분산과 인지적 혼란은 여전히 주행 안전의 주요 저해 요인으로 작용하고 있다. 전방 도로에서 시선을 이탈시키는 문제를 해결하기 위해 도입된 전통적 헤드업 디스플레이(HUD)조차 단순 기호나 텍스트 위주의 정보를 제공함으로써 운전자에게 추상적인 안내를 실제 도로 환경에 대입해야 하는 고도의 '인지적 매핑(Cognitive Mapping)' 부하를 강요한다. 특히 다차로가 복잡하게 얽히고 진출입로가 인접한 구간에서는 정적인 화살표 안내만으로 정확한 차선 변경 시점과 궤적을 판단하기 어려워 운전자의 주행 결정 지연이나 급작스러운 제어 작업이 빈번하게 발생한다.

이러한 한계를 극복하기 위해 본 연구는 자율주행 차량의 경로 계획 알고리즘인 Frenet Frame을 활용하여 도로 기하구조와 주변 차량 흐름을 실시간으로 반영하는 차선 수준 동적 AR-HUD 내비게이션(LD-HUD) 시스템을 제안하였다. 운전 시뮬레이터와 뇌파(EEG) 측정 장비를 활용하여 전통적 HUD(C-HUD), 정적 AR 가이드(AR-HUD), 그리고 제안된 LD-HUD 조건에서의 주행 성능과 인지 상태를 다차원적으로 분석하였다.

실험 결과, LD-HUD는 모든 정량적 지표에서 기존 시스템 대비 성능 향상을 입증하였다. 경로 준수율 조사에서 C-HUD가 61.11%의 낮은 성공률을 기록한 것과 달리, LD-HUD는 복잡한 로터리 구간을 포함한 대부분 구간에서 100%에 근접한 준수율을 보이며 경로 탐색 오류를 획기적으로 낮추었다. 주행 안정성 측면에서도 LD-HUD 사용 시 평균 주행 속도가 전반적으로 상승하였으며, 조향의 변화량 값이 유의미하게 감소하여 급격한 수정 조작이 적은 매끄러운 차량 제어가 이루어짐을 확인하였다. 이는 운전자가 투영된 예측 궤적을 신뢰함으로써 주행 결정에 대한 확신을 가졌음을 시사한다.

신경생리학적 지표인 EEG 분석 결과는 LD-HUD가 운전자의 인지적 자원을 효율적으로 관리함을 보여주었다. 인지 부하를 나타내는 theta-beta 비율은 LD-HUD 조건에서 AR-HUD보다 낮게 측정되었으나, 작업 참여도와 관련된 beta-alpha 및 gamma-alpha 비율은 가장 높게 유지되었다. 특히 FAA 수치가 증가한 것은 운전자가 해당 방식을 사용할 때 더욱 긍정적이고 능동적인 동기 상태에 있었음을 정량적으로 증명한다. 설문조사를 통한 주관적 부하 평가 역시 LD-HUD가 C-HUD보다 현저히 낮게 나타나 운전자의 심리적 부담 완화 효과를 뒷받침하였다.

결론적으로 본 연구는 차선 수준의 동적 궤적 경로 안내가 복잡한 도로 환경에서 공간적 불확실성을 효과적으로 외재화하여 운전자의 인지 프로세스를 최적화함을 확인하였다. LD-HUD는 운전자가 경로를 찾아 헤매는 수동적 상태에서 안내된 궤적을 주도적 상태로 전환시키며, 주행 안전성과 편의성을 동시에 만족시키는 운전자 보조 시스템 구축의 중요한 단초를 제공한다.

사사: This work was supported by the InnoCORE program of the Ministry of Science and ICT (N10250154).

화물차 중량관리 서비스 제도 개선 방안

Improvement Plan for the Truck Weight Management Service System

이치열

(한국건설기술연구원
도로교통연구본부, 전임연구원)

김성현

(한국건설기술연구원
도로교통연구본부, 연구위원)

김종식

(한국건설기술연구원
도로교통연구본부, 수석연구원)

1. 현황 및 문제점

- (과적 만연) 20년이상 과적차량 단속을 추진하고 있으나 현 단속체계에서 과적차량 감소를 기대하기 어려움
- (과적 원인) 과적차량 적발율이 정체된 원인은 과적차량 단속체계(법/제도, 운영 기술 등)의 한계, 물류운송시장 내 정상적인 화물차 운전자의 과적재 예방 검증방안 부재가 주 원인으로 분석되고 있으며 화주의 운송물에 대한 중량정보를 화물차 운전자가 확인할 수 있는 방안도 부재
- (단속환경 변화) 자율주행 화물차의 등장과 고속도로 스마트톨링 등 차량과 도로의 모빌리티 환경은 스마트화하고 있으나 과적차량 단속 업무의 기술적인 수준은 답보 상태임. 따라서 매설식 장비(WIM 측정기)의 문제점과 기존 자중계의 한계 극복을 위한 화물차 하중 스마트 센싱 및 적재량 변화 모니터링 기술 개발이 필요

2. 연구 목표

- 실도로 실증 결과를 종합하여 화물차 중량관리 서비스의 제도화·표준화·전국확대 적용 방안 제시

3. 연구 내용 및 범위

- (기술 만족도) 자중계 및 계중시스템을 대상으로 기술 만족도와 요구성능 충족 여부를 외부전문가 평가를 통해 평가 결과의 객관성과 신뢰성 확보
- (서비스 확대) 고중량 차량 운행허가, 적재중량 단속, 포장관리시스템(PMS) 연계, 민간 활용을 통한 서비스 확대 및 연계방안을 마련하고 외부전문가 평가를 통한 기술적·정책적 타당성 검증과 전국 확산을 위한 실행전략 제시
- (정책 지원) 중량 재검측 면제 서비스를 포함한 화물차 중량정보의 수집·유통·활용 전주기에 걸쳐 법·제도 및 정책적 지원방안을 마련하고 실증 성과를 분석하여 관련 법령·지침 개정과 정책 반영을 위한 기술적·행정적 근거 확보
- (표준 제정) 중량관리 운영센터 간 중량정보·상태정보 교환을 위한 정보교환 표준(안)을 제정하고 공공·민간 시스템 간 상호 운용성을 확보하여 전국단위 확산이 가능한 기술 기반을 마련



사사: 본 연구는 한국건설기술연구원의 고중량 차량 자동운행허가 시스템 도입 연구(3차)(과제번호 20250446-001)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

고정밀 스마트 자중계 센서 개발 로드맵

High-Precision Smart On-Board Weighing Sensor Development Roadmap

이치열

(한국건설기술연구원
도로교통연구본부, 전임연구원)

김성현

(한국건설기술연구원
도로교통연구본부, 연구위원)

김현석

(한국건설기술연구원
도로교통연구본부, 연구위원)

[1차년도] 주행 환경에 따른 중량측정 오차 보정 및 실시간 중량 모니터링 기술 구현을 위한 기초기술 확보

- (구조 및 설계) 실도로 주행 환경에서 반복 하중을 안정적으로 계측할 수 있는 차축·프레임 구조 기반 센서구조 설계 및 시제품 제작
- (모듈 구성) 탄성체 가공, 스트레인 게이지 부착, 배선 및 영점 보정 과정을 거쳐 센서 모듈을 구성하고 다양한 실험 환경에서 출력 특성, 반복성 및 안정성 확인
- (신호처리 펌웨어) 경사도 센서의 통합을 고려하여 아날로그 신호 취득, 디지털 통신, 데이터 프레임 구성을 포함하는 신호처리 펌웨어 개발
- (신호특성) 주행 조건(경사, 속도 등)이 중량 추정 결과에 미치는 영향(신호특성)을 정성적·정량적으로 검토 및 분석

[2차년도] 자중계 설치대상 화물차 차종별·서스펜스 타입별 시제품 개발

- (2차 시제품) 센서 형상 및 재질, 표면 처리, 탄성체 구조 및 센서 출력 특성과 신호처리 보드 인터페이스 고도화
- (시험 지그) 센서 장착 위치 재현성과 하중 재하 조건의 일관성을 확보하기 위한 시험 지그 설계 및 제작



[3차년도] 화물차의 축하중 및 총중량 측정이 가능한 자중계 센서 최종 시제품 개발

- (최종 시제품) 실차 주행 실증을 통해 도출된 개선 요구사항을 반영하여 자중계 센서 최종 시제품 제작
- (신호처리 보드) 주행중 조건 변화에서도 중량측정 신뢰성을 유지할 수 있도록 신호처리 보드 고도화
- (펌웨어) 외부 플랫폼과 데이터 전송 과정에서 발생 가능한 보안위협 대응을 위한 펌웨어를 개발하여 송수신 데이터의 무결성, 기밀성, 인증성을 확보하기 위해 보안 프로토콜 적용 및 시스템 보호 기반 마련
- (성능평가) 정적 하중 재하에 따른 센서 출력 특성, 반복성, 히스테리시스 특성 평가 및 적용 가능성 분석·검증



사사: 본 연구는 한국건설기술연구원의 고중량 차량 자동운행허가 시스템 도입 연구(3차)(과제번호 20250446-001)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

GTX-A 개통에 따른 진화게임이론 기반 전략적 경로 선택 행태 분석

Evolutionary Game Theory Based Strategic Route Choice Behavior for a New Subway Line

정인웅

(서울시립대학교 교통공학과,
석사과정)

이승현

(서울시립대학교 교통공학과,
부교수)

변지혜

(서울시립대학교 교통공학과,
부교수)

This study analyzes the strategic route choice of passengers between existing and newly introduced subway lines using Evolutionary Game Theory (EGT). This model simulates changes in strategic choice following the introduction of the Great Train eXpress (GTX) in Seoul, South Korea. To analyze with EGT, the payoff is designed based on generalized travel costs that incorporate fares, crowding levels, and travel time. GTX features higher fares but offers shorter travel times than existing lines. Under these conditions, the payoff is designed to reflect changes in the route choices of passengers in response to crowding levels. Crowding and fare scenarios are constructed to calculate the Evolutionarily Stable Strategy (ESS) and to analyze the convergence characteristics of the strategy distribution. The proposed payoff, validated using actual peak-hour demand data, confirms that fares, crowding, and travel time influence strategic choices of passengers. Consequently, the analysis confirms that the route choice ratio of passengers for GTX varies depending on crowding levels and converges to a stable proportion beyond a certain threshold. The findings contribute to policy design that accounts for the strategic responses of passengers to new line introductions, offering practical insights for accurate demand forecasting and effective operational planning.

사사: This project has been funded by Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA, RS-2025-16066665) under the Driving Urban Transitions Partnership, which has been co-funded by the European Commission.

한국에서의 앱 기반 주차 예약 서비스에 대한 운전자 선호 이질성 분석: 파일럿 이산선택실험 연구

Exploring Driver Preference Heterogeneity for App-Based Parking Reservation:
A Pilot Discrete Choice Experiment in Korea

Truyen Le-Minh

(Cho Chun Shik Graduate School of Mobility, KAIST)

Inhi Kim

(Master's Student, Associate Professor)

This pilot study explores drivers' stated preferences between traditional parking and app-based parking reservation services in a Korean urban context using a discrete choice experiment. A D-efficient stated preference survey was administered to 20 respondents, each completing 10 binary choice scenarios characterized by four attributes: searching time, parking fee, walking distance, and availability certainty. We estimate a progression of discrete choice models to examine average preference effects and explore potential taste heterogeneity. Results suggest that moving from generic MNL to a refined Mixed Logit specification substantially improves model fit (AIC decreased from 726 to 642), indicating that preference heterogeneity and alternative-specific effects may play important roles in parking mode choice. Preliminary estimates suggest notable asymmetry in price sensitivity: respondents appeared approximately four times less sensitive to parking fees when choosing the app-based service compared to traditional parking, consistent with a perceived value-added effect. Random parameter distributions reveal considerable variation in preferences for search time, parking cost, and availability certainty, pointing toward at least two latent preference profiles: time-sensitive convenience-seekers and price-sensitive traditionalists. While the small sample size limits statistical power and generalizability, the findings provide a methodological template and generate testable hypotheses for larger-scale investigations of smart parking adoption. The experimental design, modeling framework, and preliminary behavioral insights reported here can inform future research on parking reservation services and urban parking policy in Korean cities.

사사: This research was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2026-25492376).

요약 기반 문맥 구조화를 통한 Multi-hop 질의응답 방법 제안

A Method for Multi-hop Question Answering via Summary-based Context Structuring

윤태이

(동아대학교 소프트웨어대학
AI학과)

김태희

(동아대학교 소프트웨어대학
AI학과)

천세진

(동아대학교 소프트웨어대학
AI학과)

대규모 언어모델(LLM)은 자연어 이해와 추론에서 뛰어난 성능을 보이며, 다양한 도메인에서 활발히 활용되고 있다. 특히 Retrieval-Augmented Generation(RAG)의 등장으로 외부 문서를 참조해 응답을 생성할 수 있게 되었다. 그러나 기존 RAG는 질의와의 텍스트 유사도에 기반하여 청크를 검색하기 때문에, 문서 간 관계나 구조적 연결 정보를 충분히 반영하지 못한다.

이러한 문제는 여러 문서를 연결해야 답을 도출할 수 있는 Multi-hop 질의에서 두드러진다. 교통 법규와 같은 규범 문서에서는 'A이면 B이다. 단, C일 경우 D가 적용된다.'와 같이 계층적 조건문이 중첩된 구조가 많으며, 법률·고시·기술 기준처럼 서로 다른 문서를 함께 참조해야 정확한 답을 도출할 수 있다. 이처럼 여러 문서를 연결해 추론해야 하는 Multi-hop 질의의 경우, 단순 유사도 검색만으로 문서 간 연결 경로를 포착하기 어렵다. 여기에 긴 문맥 처리 과정에서 발생하는 위치 편향까지 더해지면, 연결 단서는 생성 단계에서 추가로 소실될 수 있다.

위와 같은 한계를 극복하기 위해 문서 간 연결 정보를 표현하고자, 그래프 기반 RAG(GraphRAG)가 제안되었다. GraphRAG는 문서 간 관계를 그래프 구조로 모델링하고, 노드 간 연결을 따라 관련 정보를 탐색함으로써, 단순 유사도 검색보다 구조적 연결 정보를 명시적으로 활용할 수 있다. 그러나 이 방식은 사전에 구축된 그래프 구조에 의존하기 때문에, 새로운 문서나 도메인이 추가될 때마다 그래프를 재구성해야 하는 비용이 발생한다. 또한 그래프 구축 과정에서 관계가 누락되거나 잘못 연결되면, 이후 검색 단계로 오류가 전파될 수 있다. 결국 이러한 접근은 문서 간 연결을 사전 구조에 위탁한다는 점에서 유연성과 안정성에 제약을 가진다. 나아가 Multi-hop 추론에 필요한 문서 간 연결 경로가 LLM의 입력 단계에서 명시적으로 드러나지 않는다는 한계로 이어진다.

본 논문에서는 요약 기반 문맥 구조화를 통한 RAG 방법론을 제안한다. 전체 과정은 세 단계로 구성된다. 첫째, 각 문서에 대해 공통 엔티티와 조건-결과를 중심으로 한 요약을 사전에 생성하여 저장한다. 이는 멀티홉 연결의 경로에 해당하며, 부연 설명은 제거해 요약이 추론을 방해하는 잡음으로 작용하지 않도록 한다. 둘째, 검색된 청크를 출처 문서 단위로 묶어 블록을 구성하고, 각 블록의 중요도를 기준으로 정렬한다. 셋째, 정렬된 블록을 LLM에 전달할 때 각 블록의 요약과 청크를 인접하게 배치하는 인터리브 구조를 적용한다.

제안하는 방법론은 요약을 각 블록 앞에 인접하게 배치함으로써, 모델이 청크를 읽기 전에 해당 문서의 핵심 연결 정보를 먼저 접하도록 한다. 또한 요약이 각 블록의 앞쪽에 배치되므로, 위치 편향상 유리한 초반부에 연결 단서가 집중되어 생성 단계에서 소실될 가능성을 줄일 수 있다. 이러한 설계를 바탕으로 향후 요약 품질이 응답에 미치는 영향을 실험을 통해 검증할 계획이다.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))

강의 비디오로부터 지식 품질을 평가하기 위한 LLM 기반 프레임워크 설계

An LLM-Based Framework for Evaluating Knowledge Quality in Lecture Videos

김채은

(동아대학교 소프트웨어대학
컴퓨터공학과)

김태희

(동아대학교 소프트웨어대학
컴퓨터공학과)

천세진

(동아대학교 소프트웨어대학
컴퓨터공학과)

온라인 강의의 확산과 함께, 학습자에게 지식 전달 효율을 높이기 위해 긴 강의 영상을 짧은 학습 클립으로 재구성하여 활용하려는 시도가 늘고 있다. 이에 따라 하나의 강의 영상에서 다수의 후보 구간을 추출하고, 이를 학습 단위로 활용하려는 다수의 연구가 제안되었다. 대부분의 연구는 영상의 주제 전환을 기반으로 의미 단위의 구간을 생성하거나, 특정 구간의 중요도를 예측하는 데 초점을 두어 왔다. 한편, 일부 연구는 자막과 시각 정보를 결합한 멀티모달 접근을 통해 이러한 구간 생성의 정밀도를 높였다.

그러나 주제 분할이 잘 이루어진 구간이라고 해서, 그 구간이 학습자에게 개념을 명확히 전달하는지에 대해서는 별도의 판단이 필요하다. 강의 영상의 특정 구간을 평가할 때는 경계의 자연스러움이나 핵심 키워드의 포함 여부뿐만 아니라, 해당 구간이 실제로 어떤 수준의 지식 전달을 수행하는지도 함께 판단해야 한다.

여기서 ‘지식 전달 품질’은 하나의 구간이 특정 개념을 독립적으로, 그리고 충분한 설명과 맥락 속에서 전달하여 학습 단위로 기능할 수 있는 정도를 뜻한다. 이는 구간 분할 이후에 자연스럽게 이어지는 단계임에도 불구하고, 그 구간이 지식 개념을 얼마나 잘 전달하는지를 직접 평가하려는 시도는 충분히 이루어지지 않았다.

이러한 평가가 어려운 이유는 지식 전달 품질이 단일한 기준만으로 결정되지 않기 때문이다. 어떤 구간이 학습자에게 개념을 명확하게 전달하는지 판단하려면 해당 내용이 교육적으로 의미가 있는지, 설명이 그 자체로 완결되어 있는지, 다른 구간 없이도 이해 가능한지, 정보가 지나치게 희박하거나 과밀하지 않은지, 그리고 설명이 하나의 핵심 메시지에 집중되어 있는지를 종합적으로 살펴야 한다. 이는 단순한 정보 추출이 아니라 의미적 맥락에 대한 이해와 교육적 판단이 공존해야 하는 과제이다. 기존 연구가 주로 다루어 온 주제 분할이나 중요도 예측은 이와 같은 판단을 직접적인 목표로 하지 않기에, 그 방법만으로는 지식 전달 품질을 설명하기 어렵다. 또한, 규칙 기반 접근이나 단순 텍스트 유사도 측정만으로 다루기 어렵다. 반면, 거대 언어 모델(LLM)은 자연어의 의미와 문맥을 함께 해석할 수 있어 이러한 복잡한 판단을 다루는 접근으로 활용될 수 있다.

이에 본 연구는 강의 영상의 자막으로부터 거대 언어 모델을 사용하여 특정 구간의 지식 품질을 측정하는 프레임워크를 제안한다. 첫째, 학습자에게 명확하고 유의미한 개념 전달이 가능한지를 평가하는 지표로서 ‘학습 적합도(Learnability)’를 체계적으로 정의한다. 학습 적합도는 유의미성, 완결성, 독립성, 정보 밀도, 집중도의 다섯 가지 차원으로 구체화된다. 둘째, LLM을 사용해 영상 구간 자막의 지역적·전역적 맥락을 파악하고 제시한 지표에 따라 이를 정량적으로 평가한다. 본 프레임워크는 분할된 구간이 학습자에게 개념을 얼마나 명확하게 전달하는지 평가하여 학습에 유의미한 콘텐츠를 제공하는 데 목적이 있다. 이러한 설계를 바탕으로 향후 실제 강의 영상의 데이터셋을 활용한 실험을 통해 검증할 계획이다.

사사: 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임”(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))

온디바이스 RAG를 위한 질의 복잡도 기반 적응형 검색 및 근거 보정 파이프라인

Query Complexity-Aware Adaptive Retrieval and Evidence Calibration Pipeline for On-Device RAG

이현기

(동아대학교 소프트웨어대학
AI학과)

김아영

(동아대학교 소프트웨어대학
AI학과)

천세진

(동아대학교 소프트웨어대학
AI학과)

개인정보 보호가 필수적인 공공 민원 도메인에서는 데이터의 외부 유출을 방지하기 위해 외부 API에 의존하지 않는 온디바이스(On-Device) RAG 구축이 요구된다. 그러나 종래의 검색 방법론들은 온디바이스 환경에 그대로 적용하기 어려운 구조적 한계를 지닌다. 단일 벡터 기반 방법은 연산 효율이 높지만 토큰 수준의 세밀한 문맥 정보가 소실되어 검색 표현력의 병목으로 작용한다. 반대로 ColBERT와 같은 다중 벡터(Multi-vector) 기법은 문맥 정보를 정밀하게 보존한다. 하지만, 높은 연산 복잡도로 인해 제한된 자원의 온디바이스 환경에는 적용하기 어렵다. 결국 두 방법 모두 온디바이스 환경에서는 연산 효율이 우선시될 수밖에 없어, 표현력을 희생하고 질의 복잡도와 무관한 고정된 단일 연산 방식을 채택하는 한계를 지닌다.

최근 정보 검색(Information Retrieval, IR) 및 RAG 분야에서는 다중 벡터를 단일 공간으로 압축하는 LEMUR(Learned Multi-Vector Retrieval)와 계층적 차원 축소 기반의 MRL(Matryoshka Representation Learning)이 제안되었다. 그러나 이들은 개별 질의의 복잡도나 요구 정보의 세밀함을 고려하지 않고 모든 질의에 동일한 임베딩 차원을 사전에 고정하는 구조적 한계를 지닌다. 이로 인해 단순한 질의에도 불필요한 부동소수점 연산(FLOPs)이 낭비되고, 복잡한 질의에서는 차원 압축으로 인한 문맥 손실이 발생한다. 결국 두 방법 모두 표현 압축은 가능하게 했지만, 질의 복잡도에 따라 검색 연산을 동적으로 제어하는 과제는 여전히 어려움이 존재한다.

더 나아가 검색 단계의 해상도 손실은 단순한 검색 성능 저하에 그치지 않고, 응답 신뢰성 훼손으로 이어질 수 있다. 특히, 온디바이스 RAG는 외부 대규모 언어 모델 대신 경량의 소규모 언어 모델(Small Language Models, SLM)을 생성 모듈로 활용하기 때문이다. 이러한 SLM은 불완전한 문맥을 입력으로 받을 경우 높은 확신도를 가진 오답인 환각(Hallucination)을 생성하는 경향이 있다. 종래의 연구들은 주로 생성 단계의 프롬프트 엔지니어링이나 사후 필터링으로 이를 해결하려 하지만, 검색 단계에서 이미 소실된 정보는 후속 모듈에서 복구되기 어렵다. 따라서 검색 품질을 생성 단계까지 유지하기 위해서는 검색 단계의 불확실성을 생성 단계까지 전달·보정하는 통합 설계가 요구된다.

이런 한계를 해결하기 위해, 본 논문은 질의 복잡도에 따라 임베딩 차원을 동적으로 조절하고 검색 단계의 불확실성을 사후 근거 보정으로 통제하는 온디바이스 통합 파이프라인 ECA-RAG(Evidence-Calibrated Adaptive On-Device RAG)를 제안한다. ECA-RAG는 압축, 검색 그리고 신뢰도 보정을 하나의 파이프라인으로 통합함으로써 검색 단계의 불확실성이 생성 단계에 미치는 영향을 구조적으로 완화한다. 핵심 기여는 다음과 같다:

- 1) 질의의 어휘적·의미론적 복잡도를 정량화하여 검색에 필요한 임베딩 차원 예산을 동적으로 할당하는 적응형 라우팅 메커니즘을 제안한다.
- 2) 차원 예산에 따라 MRL의 절단 차원을 조정하고, LEMUR의 다중 벡터 압축과 결합하여 정보 손실을 최소화하면서 연산 비용을 절감하는 적응형 검색 아키텍처를 설계한다.
- 3) 검색 단계의 불확실성 점수를 생성 모듈의 신뢰도 보정 신호로 활용하여 최종 응답의 신뢰성을 시스템 수준에서 제어하는 계단식 검증 레이어(Cascaded Verification Layer)를 도입한다.

이를 통해 온디바이스 환경에서도 질의 복잡도에 적응적인 검색과 신뢰성 높은 응답 생성을 동시에 달성하는 RAG 구조를 제시한다.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))

MCP 기반 LLM Agent를 활용한 해양 레저 추천 프레임워크

A Framework for Marine Leisure Recommendation Using Model Context Protocol-Based Agents

김법기	박정현	천세진
(동아대학교 소프트웨어대학 컴퓨터공학과, 학부생)	(동아대학교 소프트웨어대학 컴퓨터공학과, 박사과정)	(동아대학교 소프트웨어대학 컴퓨터공학과, 교수)

해양 레저 서비스는 다수의 이질적 플랫폼에 분산되어 제공되며, 사용자의 요구는 지역, 시간, 활동 유형, 예산, 인원, 접근성 등 다차원적 조건을 동시에 수반한다. 예를 들어, "이번 주말에 부산에서 2명에서 10만원 이하로 낚시하고 싶다"와 같은 단일 질의에도 여섯 가지 이상의 조건이 내포된다. 그러나 키워드 기반 검색 시스템은 단어 단위의 매칭에 의존하는 구조적 특성상, 조건 간 우선순위가 문맥적 의미를 반영하지 못한다. 또한, 분산된 플랫폼에 걸친 실시간 정보를 통합하는 데도 본질적 한계를 가진다. 최근 LLM 기반 대화형 인터페이스의 확산으로 사용자는 자연어를 통해 복합 조건을 표현하고 추천을 받는 방식에 익숙해지고 있다. 그러나 LLM 단독으로는 실제 서비스 데이터와의 실시간 연계가 어려워, 외부 데이터 소스를 통합한 추천 시스템의 필요성이 대두된다.

LLM 기반 추천 방식은 자연어 이해 측면에서 강점을 가지나, 실제 서비스 데이터와의 연계 없이는 도메인 외 항목을 생성하거나 추천 결과의 신뢰성이 저하되는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 종래 연구에서는 내부 추천기로 후보군을 사전 생성하고, LLM이 이를 선택 및 재정렬하는 구조를 제안하였다. 그러나 이러한 접근은 내부 데이터에 종속되는 구조적 한계를 가지며, 다수의 외부 플랫폼으로부터 최신 데이터를 수집·통합하는 구조로 확장하기 어렵다.

이에 본 연구에서는 MCP(Model Context Protocol) 기반 에이전트 구조를 활용한 해양 레저 추천 프레임워크를 제안한다. MCP는 LLM 에이전트가 외부 도구 및 데이터 소스를 표준화된 인터페이스로 호출할 수 있도록 지원하며, 기존의 API별 개별 연동 방식과 달리 다수의 이질적 데이터 소스를 일관된 구조로 통합할 수 있다. 이러한 특성을 기반으로, 제안하는 프레임워크는 사용자 자연어 질의를 구조화하고, 외부 API로부터 해양 레저 서비스 및 환경 정보를 수집한 후, 사전 필터링을 통해 후보군을 구성하고, 최종적으로 에이전트가 사용자 의도에 부합하는 항목을 선정·추천하는 구조로 설계되었다.

제안된 프레임워크는 자연어 입력의 비정형성 처리, 분산 외부 데이터의 실시간 통합, LLM 처리 범위의 후보군 제한을 통한 hallucination 억제라는 세 가지 설계 목적 하에 질의 구조화, 데이터 수집, 후보군 구성, 최종 추천의 네 단계로 구성된다. 질의 구조화 단계에서는 다양한 형태의 자연어 입력을 정형화된 데이터로 변환하여 이후 단계에서 일관된 처리가 가능하도록 한다. 데이터 수집 단계에서는 해양 레저 서비스 정보(네이버 쇼핑 API)와 해양 환경 정보(해양수산부·기상청 API)를 외부 API를 통해 수집함으로써, 내부 데이터에 종속된 기존 시스템의 한계를 극복한다. 후보군 구성 단계에서는 수집된 데이터를 공통 스키마로 정형화한 후 사용자 조건에 따라 사전 필터링하여 LLM이 처리할 데이터 범위를 제한함으로써 추천의 효율성과 정확성을 확보한다. 최종 추천 단계에서는 역할 정의(Role Prompt), 작업 지시(Task Prompt), 출력 형식 제한(Format Prompt)으로 구성된 프롬프트를 통해 LLM이 후보군 내 항목을 의미적 적합도(semantic relevance) 기준으로 평가·선택하도록 제한하여 통제된 추천을 수행한다.

본 연구는 MCP 기반 에이전트 구조를 활용하여 분산된 외부 데이터 소스를 표준화된 방식으로 통합하고, LLM의 처리 범위를 후보군으로 제한함으로써 hallucination을 억제하는 해양 레저 추천 프레임워크를 제안하였다. 제안된 구조는 기존 키워드 기반 검색의 문맥 처리 한계와 LLM 기반 추천의 데이터 연계 부족이라는 두 가지 문제를 동시에 해소한다. 나아가 외부 데이터 소스와의 연계가 요구되는 다양한 자연어 기반 추천 시스템으로의 확장 가능성을 가진다.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))

생성형 AI 검색 페이지의 AEO·SEO 간 HTML 구조 차이 분석

Analysis of HTML Structural Differences Between AEO and SEO in Generative AI Search Pages

박소현	박정현	천세진
(동아대학교 소프트웨어대학 컴퓨터공학과, 학부생)	(동아대학교 소프트웨어대학 컴퓨터공학과, 박사과정)	(동아대학교 소프트웨어대학 컴퓨터공학과, 교수)

AI 검색 서비스의 확산은 콘텐츠 최적화 전략의 근본적인 재편을 요구하고 있다. Google AI Overview(AIO)는 2026년 2월 기준 전체 검색의 약 48%에서 노출되며 전년 대비 58% 증가하였고, AIO가 노출된 쿼리에서 유기적 클릭률(CTR)은 최대 61% 감소, 제로클릭 검색 비율은 56%에서 69%로 상승하였다. 이러한 변화는 기존 SEO(Search Engine Optimization) 전략만으로는 AI 검색 환경에서의 노출을 보장할 수 없음을 의미한다.

이에 따라 AIO 인용을 목표로 하는 AEO(Answer Engine Optimization)에 대한 관심이 높아지고 있으나, 실제 AEO 전략을 구현한 마케터 비율은 20%에 불과하다. 핵심 원인은 AEO와 SEO가 동일한 최적화 기준을 공유하는지 여부가 규명되지 않았다는 데 있다. AIO 인용과 SEO의 URL의 겹침 비율은 이미 2024년 76%에서 2026년 38%로 지속 감소하고 있으며, 이는 두 영역이 서로 다른 페이지 집합을 인용하고 있음을 암시한다.

선행 연구들은 AIO 인용 패턴을 주로 URL·도메인 수준에서 분석하는 데 그쳤다. Aggarwal et al.은 SEO 1위 페이지가 AI 검색에서 약 30% 낮은 노출률을 보임을 밝혔으나 HTML 구조는 분석하지 않았다. BrightEdge는 AIO-SEO 겹침 비율을 시계열로 추적하였으나 URL·도메인 수준에 머물렀고, Semrush는 FAQ·헤딩·리스트 요소를 AEO 권장 요소로 제시하였으나 근거 데이터를 공개하지 않았다. 결과적으로 세 가지 연구 공백이 존재한다. 첫째, HTML 구조 수준의 실증 비교 연구가 없다. 둘째, AEO only·공통·SEO only 3그룹 비교 설계를 채택한 연구가 없다. 셋째, 한국어 웹 환경을 대상으로 한 연구가 전무하다.

본 연구는 한국어 쿼리 504개를 대상으로 AIO 인용 URL과 SEO 상위 10위 URL을 자동 수집하고, 수집된 URL을 AEO only(A) · 공통(B) · SEO only(C) 3그룹으로 분류하여 HTML 구조적 특성을 비교 분석하였다. 그룹 간 분포 비교에는 Kruskal-Wallis 검정을 적용하였다($\alpha=0.05$). 주요 실험 결과는 다음과 같다:

- AIO-SEO 겹침: 절반은 다르다: 504개 쿼리 중 501개(99.4%)에서 AIO가 노출되었으며, AIO-SEO 평균 겹침 비율은 0.549(± 0.198)로 나타났다. 카테고리별로는 시사형(0.597)이 가장 높고 추천형(0.484)이 가장 낮아, 쿼리 유형이 겹침 정도를 유의하게 조절함이 확인되었다($p<0.001$). 즉, AEO와 SEO가 인용하는 페이지 집합의 절반이 서로 다르다.
- AEO 전용 소스 생태계: 소스 유형 분포에서 가장 두드러진 차이는 YouTube 비율이었다. AEO only 그룹의 YouTube 비율은 26.9%인 반면 공통 그룹에서는 0.2%로 약 150배의 격차를 보였다. 이는 영상 콘텐츠가 SEO 상위 노출과 무관하게 AIO 인용의 독자적 소스 유형으로 기능하고 있음을 의미한다.
- HTML 구조의 차이: FAQPage 스키마를 제외한 모든 HTML 변수에서 그룹 간 유의한 차이가 확인되었다($p<0.001$). H2·H3 헤딩, 리스트, 이미지 alt 비율은 SEO only > 공통 > AEO only 순으로 나타나 구조적 풍부함 지표가 SEO 상위 노출과 더 강하게 연관됨을 보여준다. 반면 메타 디스크립션 보유율은 AEO only 그룹(74.4%)이 가장 높아 AEO 인용과의 독자적 연관 가능성을 시사한다.

본 연구는 AEO와 SEO가 HTML 구조 수준에서 상이한 최적화 기준을 요구함을 실증하였다. AEO 인용 페이지는 헤딩·리스트 등 구조적 풍부함보다 메타 디스크립션과 YouTube 영상 콘텐츠와의 연관성이 높은 반면, Article 스키마와 헤딩 구조는 SEO 상위 노출과 더 강하게 연관되어 두 전략을 단일 접근법으로 통합하는 데 한계가 있음을 보여준다. 향후 연구에서는 쿼리 카테고리나 콘텐츠 의미 수준 변수를 확장하여 두 영역의 최적화 기준 차이를 보다 정밀하게 규명할 필요가 있다.

사사: 이 논문은 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))

경량화 FCTM의 객체 검출 성능 향상을 위한 표준편차 기반 손실 함수

Standard Deviation-Based Loss Function for Improving Object Detection Performance of Lightweight FCTM

유길경

(동아대학교 컴퓨터공학과)

서정일

(동아대학교 컴퓨터공학과)

기계를 위한 특징 압축 (Feature Coding for Machines, FCM)은 기계 비전 태스크 성능을 유지하면서 중간 특징을 효율적으로 압축하는 기술이다. MPEG에서는 FCTM (Feature Compression Test Model)을 중심으로 Feature Transform 및 Feature Inverse Transform 구조를 지속적으로 고도화하고 있으며, 객체 검출, 객체 추적과 같은 태스크를 대상으로 공통 실험 조건을 마련해 성능을 검증하고 있다.

본 논문은 이러한 배경에서 제안된 저복잡도 특징 변환 구조인 LCFT (Low Complexity Feature Transform)의 객체 검출 성능 저하 원인을 분석하고, 이를 개선하기 위한 손실 함수를 제안한다. LCFT는 기존 FCTMv9.0 대비 인코더 측 약 64.46%, 디코더 측 약 43.67%의 연산 복잡도를 절감하면서도 객체 추적 태스크에서 경쟁력 있는 성능을 달성한 경량 구조이다. 그러나 객체 검출 태스크에서는 복원된 특징 맵의 통계적 분포가 원본 특징 맵과 충분히 일치하지 않아 성능 저하가 발생하였다. 특히, 디코더 네트워크를 통과한 각 레벨별 특징 맵의 표준편차가 원본 특징 맵의 표준편차와 큰 차이를 보였으며, 이러한 분포 불일치가 검출 성능 저하의 주요 원인 중 하나로 분석하였다. 이를 해결하기 위해 기존 MSE 기반 왜곡 손실에 레벨별 표준편차 매칭 항을 추가한 새로운 손실 함수를 제안한다. 제안하는 전체 손실 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$L_{total} = \lambda_q \times \sum_i^N (mse(\hat{x}_i, x_i) + \frac{(std(\hat{x}_i) - std(x_i))^2}{N}) + L_{app} \quad (1)$$

복원 특징 맵이 원본 특징 맵의 분포 특성을 보다 잘 유지하도록 유도함으로써, 단순한 픽셀 단위 오차 최소화를 넘어 검출에 유효한 특징 표현을 복원하도록 설계되었다. 제안 방법은 기존 MSE 기반 왜곡 손실로 학습된 LCFTv9.0을 기준 모델로 설정하고, SFU 데이터셋으로 객체 검출 태스크에서 성능을 평가하였다. 실험 결과, 제안 손실 함수를 적용한 모델은 전체 BD-rate를 31.97%p 개선하였으며, 복원 특징 맵과 원본 특징 맵 사이의 표준편차 불일치를 완화함으로써 객체 검출 성능 저하를 효과적으로 줄일 수 있음을 확인하였다. 본 논문은 LCFT 구조에서 발생하는 특징 맵의 표준편차 차이가 객체 검출 성능 저하의 주요 원인 중 하나임을 분석하고, 이를 보완하기 위한 표준편차 매칭항 기반 손실 함수를 제안한다. 또한 실험을 통해 제안 방법이 기존 모델 대비 SFU 데이터셋 전반에서 성능을 개선함을 확인하였다. 향후에는 데이터 특성 및 실험 조건에 따라 나타나는 성능 편차를 더욱 완화하고, 제안한 손실 함수를 객체 추적 태스크까지 확장하는 연구를 진행할 예정이다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원(No.2020-0-00011, 기계를 위한 영상 부호화 기술, No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))의 지원을 받아 수행된 결과임.

Random Camera Sampling 기반 3D Human Reconstruction 모델의 일반화 성능 개선

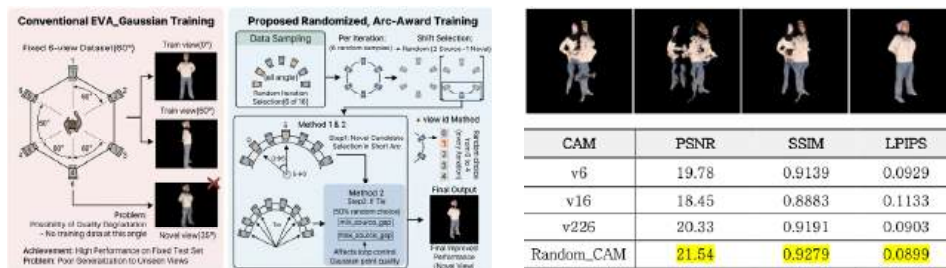
Generalization Improvement of 3D Human Reconstruction using Random Camera Sampling

조수빈
(동아대학교 컴퓨터공학과)

서정일
(동아대학교 컴퓨터공학과)

최근 3D Human Reconstruction 기술은 메타버스, 디지털 휴먼, 가상 현실 등 다양한 분야에서 활용되며 높은 재구성 품질과 다양한 시점 환경에서의 안정적인 일반화 성능이 요구된다. EVA Gaussian 모델은 Neural Encoder와 Gaussian Decoder 구조를 결합한 feed forward 기반 3D reconstruction 모델로, multi view 이미지로부터 3D human 구조를 재구성하는 방법이다. 그러나 기존 EVA Gaussian 학습 방식은 동일한 각도로 배치된 고정 카메라 기반 6 view 구성을 반복적으로 사용하는 구조로 설계되어 있다. 이로 인해 validation dataset과 동일한 카메라 분포 환경에서는 높은 재구성 성능을 보이지만, 학습 과정에서 관측되지 않은 새로운 시점 환경에서는 일반화 성능이 저하되는 문제가 발생한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 학습 단계에서 카메라 조합을 고정하지 않고 랜덤 카메라 선택 기반 학습 전략을 적용하였다. 구체적으로 매 iteration마다 한 subject에서 6개의 카메라를 랜덤하게 선택하고, 이 중 2개를 source view로 설정하고, 나머지 카메라 중 하나를 novel view로 선택하여 학습을 수행하였다. 또한 source view 간 거리와 novel view 선택 과정에서 발생할 수 있는 품질 저하 문제를 완화하기 위해 카메라 간 원호 거리 기반 선택 전략을 추가로 적용하였다. 이를 통해 source view 사이의 구간에서 novel view가 선택되도록 제한하여 시점 차이 따른 재구성 품질 저하를 방지하였다. 또한 source view 간 동일한 거리 조건이 발생하는 경우 랜덤 선택 방식을 적용하여 학습 데이터 분포의 편향을 최소화하였다.



실험은 THuman 2.0 데이터셋을 이용하여 수행하였으며 PSNR, SSIM, LPIPS 지표를 이용하여 재구성 성능을 평가하였다. 실험 결과 랜덤 카메라 기반 학습 전략은 기존 고정 카메라 기반 학습 방식 대비 novel view 환경에서 보다 안정적인 재구성 품질을 보였으며 PSNR 및 SSIM 지표에서 성능 향상을 확인하였다. 또한 시각적 비교 결과에서도 기존 random cam 전략 모델에서는 객체 경계와 세부 질감에서 일부 블러 현상이 나타나는 반면, 제안한 전략을 적용한 모델에서는 인체 윤곽선과 의상 주름 등 세부 구조가 보다 안정적으로 복원되는 결과를 보였다. 이러한 결과는 multi view 기반 3D reconstruction 모델에서 카메라 샘플링 전략이 모델의 일반화 성능에 중요한 영향을 미칠 수 있음을 보여준다.

본 연구는 EVA Gaussian 기반 3D human reconstruction 모델의 일반화 성능 개선을 목표로 랜덤 카메라 기반 학습 전략을 제안하였으며, 실험을 통해 novel view 환경에서의 재구성 성능 향상 가능성을 확인하였다. 이는 복잡하고 다양한 시점 환경에서도 일관된 3차원 정보 복원이 가능하도록 하여, 실제 응용 환경에서의 활용성을 높이는 데 기여할 수 있을 것이다. 향후 연구에서는 다양한 카메라 배치 환경과 대규모 데이터셋을 활용한 추가 실험을 통해 모델의 일반화 성능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원(No.2020-0-00011, 기계를 위한 영상 부호화 기술)의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

열차 중심 그래프 신경망을 활용한 다단계 철도 지연 예측 모델 연구

Train-Centric Graph Neural Networks for Multi-Step Railway Delay Prediction Model

홍충교

(한국과학기술원, 석사과정)

김인희

(한국과학기술원, 부교수)

운행 밀도가 높고 엄격한 정시성이 요구되는 고속철도 네트워크에서 발생하는 지연은 개별 열차의 단순한 도착 지연에 그치지 않는다. 이는 선로 용량 경합, 평면교차 점유 경쟁, 중련 열차의 결합 및 분리 등 현재 운행 중인 여러 선형·후속 열차 간의 물리적 상호작용을 통해 네트워크 전반으로 빠르게 확산되는 특성을 지닌다. 따라서 철도 관제 업무에서 열차 간격 조정, 대체 편성, 우회 경로 확보 등 핵심적인 의사결정을 지원하기 위해서는, 현재 운행 중인 각 열차가 향후 방문할 미래 경유역들에 순차적으로 언제 도착할 것인지를 정확히 예측하는 것이 필수적이다. 그러나 기존 연구들은 열차가 아닌 역이나 선로 등 고정된 인프라 중심으로 지연 수준을 단순히 집계하는 데 그치는 경우가 많아, 철도 운영에서 가장 중요한 열차 간의 동적 상호작용을 온전히 포착하지 못하는 한계가 있었다.

이에 본 연구는 실제 열차 운행 로그를 통해 관측된 이산적 운영 상태에 기반한 열차 중심 그래프를 구축하여, 열차 간의 상호작용을 학습하고 향후 지연을 예측하는 모델을 제안하고자 한다. 역을 노드로, 선로를 엤지로 정의하는 전통적인 방식과 달리, 본 연구는 특정 시점에 운행 중인 '열차' 자체를 노드로 정의하고 열차 간의 선행 및 경로 중첩 관계를 엤지로 갖는 열차 중심 그래프 프레임워크로 공간적 상호작용을 인코딩한다. 이후 시간적 디코더를 통해 각 열차의 미래 경유역 도착 지연 시간을 직접 예측한다. 이를 위해 2025년 1년간의 대한민국 고속철도 실제 운영 데이터와 철도 통계 연보 상의 구간별 선로 용량 등 인프라 정보를 결합하여 학습 모델을 구성하였으며, 향후 방문할 6개의 미래 경유역 도착 시간 시퀀스를 쿼리로 구성하여 예측 단계(Horizon) 및 지연 규모(Delay-bin)별로 예측 성능을 평가하였다.

실험 결과, 평가된 모델들은 일상적인 운영 조건과 극단적인 대형 지연 상황에서 뚜렷한 예측 성능의 차이를 보였다. 이는 각 모델이 가지고 있는 예측 메커니즘의 구조적 특성이 철도 지연의 과급 양상에 대해 각각 다르게 반응하는 것으로 분석된다. 이는 철도 다단계 지연 예측 모델의 개발은 단순히 전반적인 성능이 가장 우수한 단일 모델을 선택하는 문제가 아니라, 네트워크의 운영 상태 및 지연 규모에 따라 핵심 아키텍처가 유연하게 변경되어야 하는 상태 의존적 예측 문제임을 의미한다. 결론적으로 본 연구의 결과는 지연 예측 모델을 실제 관제 업무에 적용할 때 단일 모델에 맹목적으로 의존하기보다는, 지연 심각도에 따라 유연하게 디코더를 전환하는 이중 모형 시스템 구축이 필수적임을 시사한다.

사사: 본 연구는 '한국철도-카이스트 철도표준모빌리티 프로그램'을 통해 카이스트 석사과정 재학 중 수행한 연구입니다.

방향 가시성 빈도 기반 중요도 Pruning과 복셀 병합을 통한 2D Gaussian Splatting 경량화

Directional Visibility Frequency-based Importance Pruning and Voxel Merging for
Efficient 2D Gaussian Splatting

안정우

(조선대학교 인공지능공학전공, 학부생)

김원열

(조선대학교 인공지능공학전공, 조교수)

최근 실시간 3D 장면 재구성 기술이 발전함에 따라 자율주행, VR/AR, 실내 스캔 및 디지털 트윈 등 다양한 응용 분야에서 고속·고정밀의 3D 재구성 기술에 대한 수요가 증가하고 있다. 현재 3D 재구성 기술 연구들은 정밀한 장면 재구성, 실시간 렌더링, 메모리 효율화 등에 초점을 맞추어 진행되고 있다. 3D Gaussian Splatting(3DGS)은 이러한 요구를 충족하며 최근 주목받고 있는 기술로, 위치, 방향, 크기, 불투명도, 색상 등의 속성을 가지는 3차원 Gaussian primitive를 장면 내에 배치하고 이를 카메라 시점에 따라 투영함으로써 재구성하는 방식이다. 이는 기존의 신경망 기반 3D 장면 재구성 기법인 Neural Radiance Field(NeRF)보다 최소 10배 이상 빠른 렌더링 속도를 통해 고품질 장면을 100FPS 이상으로 렌더링할 수 있는 장점을 지닌다. 2D Gaussian Splatting(2DGS)은 3DGS를 발전시킨 기법으로, 3차원 타원체 대신 2차원 디스크 형태의 primitive를 활용하여 표면 재구성 정확도를 높이고 법선 백터 추정 및 기하학적 일관성을 개선하였다. 그러나 2DGS는 장면을 표현하기 위해 수백만 개에 달하는 Gaussian primitive를 사용하여 메모리 사용량 증가 및 저장 비용 증대라는 문제를 야기한다. 특히 렌더링에 실질적으로 기여하지 않는 불필요한 primitive가 다수 존재함에도 불구하고, 이를 효율적으로 식별하고 제거하는 압축 기법에 대한 연구는 아직 충분히 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해, 방향 인식 가시성 빈도(Directional Visibility Frequency)와 복셀 기반 유사도 병합(Voxel-Guided Similarity Merging)을 결합한 2DGS 효율적 압축 기법을 제안한다. 제안 방식은 학습 과정에서 각 Gaussian primitive가 24방향으로 분할된 구면 공간(6×4 spherical bin partition) 상의 어느 방향에서 얼마나 자주 렌더링에 기여하였는지를 누적하여 중요도를 정량화한다. 학습 완료 후에는 중요도 합산값이 낮은 primitive를 우선적으로 제거하고, 공간적으로 인접한 복셀 내에서 Spherical Harmonics(SH) 특징 거리와 중요도 차이가 임계값 이하인 primitive들을 위치 가중 평균으로 병합한다. 이를 통해 시각적으로 중요한 Gaussian은 보존하면서 중복되거나 기여도가 낮은 primitive를 효과적으로 제거한다. 또한, 복셀 단위 그룹핑을 통해 전체 Gaussian 간 전수 비교($O(N^2)$)를 복셀 내 지역 비교($O(N \cdot K)$)로 축소함으로써 압축 과정의 계산 효율성을 확보하였다. Mip-NeRF360 데이터셋을 기반으로 한 실험에서, 제안된 기법은 기존 2DGS 대비 저장 용량을 평균 495MB에서 약 96MB로 81%를 절감하였다. 렌더링 품질 측면에서는 평균 PSNR 24.27dB, SSIM 0.738, LPIPS 0.335를 기록하여 대폭적인 압축에도 불구하고 기존 2DGS 대비 소폭의 품질 저하만으로 시각적 품질을 유지함을 확인하였다. 본 연구는 렌더링 기여도 기반의 중요도 측정과 공간·외관 유사도 기반 병합을 결합하여, 품질 손실을 최소화하면서도 메모리 효율적인 2DGS 압축을 실현하는 기법을 제안하였으며, 실시간 렌더링이 요구되는 다양한 응용 환경에서 경량화된 3D 장면 표현을 가능하게 할 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구결과로 수행되었음(2024-0-00062)

AI 알고리즘 기반 렌터카 운전자 최적경로 제공을 위한 교통방송 설계

AI Algorithm-Based Traffic Broadcasting Design for Providing Optimal Routes to Rental Car Drivers

김중호

(한국도로교통공단 tbn제주교통방송, 방송지원국장)

제주도는 국내 대표적인 관광지로서 연간 1,000만 명 이상의 관광객이 방문하는 지역이다. 그러나 높은 방문객 수는 제주도의 교통환경 전반에 다양한 방식으로 작용하고 있으며, 지역 주민의 교통안전에 부정적인 영향을 초래하고 있다. 특히 관광객들이 주로 이용하는 렌터카의 교통사고는 지역 내 교통안전지수에서 큰 비중을 차지하고 있고 렌터카는 사업용 자동차 중 가장 낮은 등급으로 분류되고 있어 이에 대한 교통안전 대책이 필요하다. 제주도의 교통환경은 독특한 특성과 교통경로 패턴을 형성하고 있으며, 해안도로를 중심으로 한 도로망의 순환 구조와 중간 지역 급경사 도로, 관광지 주변의 복잡한 교차로, 운전자의 안전운전 불이행 등이 사고 발생의 주요 요인으로 작용하고 있다.

한편 제주도의 교통사고는 일반적으로 계절별로 뚜렷한 패턴을 나타내고 있으며, 관광 성수기와 비수기의 교통량 변화, 기상 조건의 차이, 도로 환경의 계절적 특성이 복합적으로 작용한 결과로 분석된다. 본 연구는 제주도 교통사고 통계자료를 기반으로 계절별 사고 발생 패턴을 체계적으로 비교하고, 각 계절의 고유한 사고 요인과 운전자의 심리·행동 특성을 고려하여 도로상에서 실시간 경로정보 제공을 통한 교통방송 설계(안)를 제시하고자 하였다. 또한 인공지능 알고리즘을 활용하여 교통 혼잡, 사고, 공사 등 다양한 도로 상황을 반영함으로써, 렌터카 운행 중 교통상황이 변화할 경우 실시간 교통방송을 통해 안전한 주행 경로를 안내하고, 제주도 내 교통안전 수준을 향상시키는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에 적용된 인공지능 신경망 이론은 과거 자료의 입·출력 패턴으로부터 정보를 추출하여 지식 형태로 저장하고, 이를 기반으로 새로운 상황에 대한 해답을 제시하는 학습기법 중 하나이다. 인간의 두뇌가 경험과 학습을 통해 지식을 단계적으로 축적하듯이, 시스템은 입력과 출력에 따른 훈련을 통해 연결 강도를 최적화하고 스스로 구조를 조직화한다. 이에 따라 별도의 위험도 예측모형을 설정하지 않더라도, 입·출력 패턴에 기반하여 모형 구조에 적합한 최적의 매개변수를 추정할 수 있다. 해당 모형은 실시간 교통상황, 기상 변화, 도로 상태를 종합적으로 고려하여 최적의 이동 경로를 제시할 수 있으며 운전자는 보다 빠르고 정확한 교통안내 서비스를 제공받을 수 있다. 또한 인공지능 시스템을 통해 교통혼잡 구간을 사전에 회피하고, 가장 효율적인 이동 경로를 선택할 수 있다. 본 연구는 도로상의 안전 및 소통에 영향을 미치는 주요 요인을 분석하고, 이를 바탕으로 교통사고 감소를 위한 효과적인 방안을 제시하고자 하였다. 또한 2022년부터 2024년까지의 제주도 렌터카 교통사고 데이터를 활용하여 사고에 영향을 미치는 변수를 규명하고, 인공지능 알고리즘을 적용한 실시간 안전 경로 예측모형을 개발함으로써 렌터카 이용자의 안전을 확보하고 제주도의 교통안전 수준 향상에 기여하고자 하였다. 더불어 교통사고 감소 방안의 일환으로 사고가 집중되는 도로지점 및 구간을 중심으로 사고예측 정보를 제공하여 제주도 도민의 교통방송 청취도를 높이고 실질적인 교통방송 효과를 확보하고자 하였다. 이를 통해 실시간 교통방송을 통한 경로정보 제공과 다양한 교통운영 전략의 교통안전 효과를 높이는 데 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

자율주행차 수용성에 대한 인지된 신뢰와 경험적 신뢰의 차별적 영향분석

A Structural Analysis of the Differential Effects of Perceived and Experiential Trust on Automated Vehicle Acceptance

김은영

(한국도로교통공단,
책임연구원)

육동형

(강릉원주대학교
도시계획·부동산학과, 조교수)

이성원

(강릉원주대학교
도시계획·부동산학과, 부교수)

1. 연구 배경 및 목적

자율주행차는 교통 효율성 및 안전성 향상을 기대할 수 있는 기술이나, 기술적 불확실성과 위험 인식으로 인해 대중 수용이 제한되고 있다. 기존 기술수용모형은 이러한 특성을 충분히 설명하지 못하는 한계를 가지며, 특히 신뢰와 위험의 역할이 충분히 반영되지 못하고 있다. 이에 본 연구는 신뢰와 위험을 핵심 변수로 설정하고, 지식과 경험이 이들 변수와 상호작용하여 행동의도에 미치는 영향을 구조적으로 분석하고자 한다.

2. 연구 모형 및 방법

본 연구는 지식-위험-신뢰-행동의도로 이어지는 구조적 관계를 가정하고, 이를 검증하기 위해 다집단 구조방정식모형(Structural Equation Model, SEM)을 구축하였다. 연구모형은 위험이 존재하는 불확실한 상황에서 신뢰가 형성된다는 관점에 따라 위험이 신뢰에 부(-)의 영향을 미치는 구조로 설정하였다.

데이터는 전국 17개 시·도의 인구 비율을 반영하여 수집되었으며, 불성실 응답을 제외한 963명의 표본이 최종 분석에 활용되었다. 응답자는 ADAS 사용 경험 유무에 따라 경험 집단(73.1%)과 무경험 집단(26.9%)으로 구분되었다.

측정 변수는 행동의도, 신뢰, 위험, 지식으로 구성되었으며, 행동의도·신뢰·위험은 5점 리커트 척도, 지식은 3점 척도로 측정되었다. 분석 과정에서는 확인적 요인분석(Confirmatory Factor Analysis, CFA)을 통해 측정모형의 신뢰성과 타당성을 검증하고, 이후 구조방정식모형을 통해 변수 간 인과관계를 분석하였다.

3. 주요 연구 결과

구조모형의 적합도는 RMSEA=0.093, SRMR=0.079, CFI=0.923으로 나타나 수용 가능한 수준을 보였다. 분석 결과, 지식과 위험은 행동의도에 직접적인 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 반면, 지식은 위험을 유의하게 감소시키고 ($\beta = -0.334$), 신뢰를 증가시키는 경로를 통해 간접적으로 행동의도에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 또한 위험은 신뢰에 부(-)의 영향을 미치며, 신뢰는 행동의도에 유의한 정(+)의 영향을 미치는 핵심 변수로 나타났다.

집단 간 비교 결과, ADAS 경험 유무에 따라 신뢰 형성에 차이가 존재하였다. 무경험 집단은 상대적으로 높은 수준의 초기 신뢰를 보이는 반면, 경험 집단은 기술의 한계를 인지한 보다 현실적인 신뢰 수준을 나타냈다. 또한 지식이 행동의도에 미치는 총효과는 무경험 집단(0.206)에 비해 경험 집단(0.337)에서 더 크게 나타나, 경험이 지식과 행동의도 간 관계를 강화하는 조절 변수로 작용함이 확인되었다.

4. 결론 및 정책적 시사점

본 연구는 자율주행차 수용에 있어 지식, 경험, 위험, 신뢰 간의 구조적 관계를 실증적으로 분석하였다. 분석 결과, 지식은 직접적으로 행동의도에 영향을 미치지 않으나 위험을 완화하고 신뢰를 형성하는 간접 경로를 통해 수용 의도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 경험은 신뢰 형성 과정에 중요한 영향을 미치며, 신뢰를 보다 현실적이고 안정적인 형태로 조정하는 역할을 수행하는 것으로 확인되었다.

따라서 자율주행차의 수용을 촉진하기 위해서는 단순한 정보 제공 중심의 접근을 넘어, ADAS 기능에 대한 직접적인 체험 기회를 확대함으로써 현실 기반의 신뢰 형성을 유도할 필요가 있다. 이는 자율주행 기술의 사회적 수용성 제고에 기여할 것으로 판단된다.

LDA 기반 자율주행차 운영 시나리오 개발에 관한 연구

Development of LDA-Based Operational Scenarios for Autonomous Vehicles

박재홍	임기원	윤덕근	이호윤
(한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부 수석연구원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임연구위원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부 석사후연구원)

자율주행차(Autonomous Vehicle, AV)는 영상 센서, 인지 센서 등 첨단 기술을 활용하여 운전자의 개입 없이 도로 환경을 인식하고 주행하는 차량으로써, 비자율주행차(Human-Driven Vehicle, HDV)와는 차간거리 유지, 가속 및 감속 패턴 등에서 상이한 주행 특성을 나타낸다. 특히, 자율주행 수준이 높아질수록 자동주행 시스템이 차량의 운영 제어에 관한 모든 권한을 담당하므로, 비자율주행차와 혼재된 교통 환경에서 다양한 상호 작용과 교통 흐름의 변화가 발생할 가능성이 높다. 특히, 이러한 기술 발전은 단순한 차량 성능 향상을 넘어 도로 인프라 설계 및 운영 전략에 대한 전반적인 변화를 요구한다. 특히, 자율주행차와 비자율주행차가 혼재하는 과도기적 단계에서는 예기치 못한 교통 혼잡과 안전 문제가 발생할 가능성이 높으므로, 자율주행차의 안정적인 도입을 위한 정책적·기술적 검증이 필요한 시점이다. 이러한 관점에서, 다양한 도로 이용자가 혼재된 복합 교통 환경에서 안전하고 효율적인 운영 방안을 도출하는 연구가 요구된다.

자율주행차와 비자율차가 혼재된 구간의 운영 전략을 수립하기 위해서는 실제 발생 가능한 시나리오를 구현하는 것이 중요하다. 그러나 차종, 자율주행차 보급률(Market Penetration Rate, MPR), 운전자 행태 등 다양한 불확실성이 존재하여 모든 상황을 포괄하는 시나리오를 구성하는 데에는 한계가 존재하고, 다양한 시나리오를 실험적으로 검증하는 데에도 현실적인 제약이 따른다. 따라서, 본 연구에서는 자율주행차 도입 환경을 고려하여 Latent Dirichlet Allocation (LDA)을 활용한 운영 시나리오를 개발하고, 이를 교통류 시뮬레이션에 적용하여 교통 효율성 측면에서의 효과를 분석하는 연구를 수행하였다.

LDA 분석 결과, Perplexity와 Log-Likelihood를 검토하여 최적 토픽 수를 2개로 도출하였으며, $\alpha=1$ 을 적용하여 Relevance를 중심으로 상위 주요 단어를 선정하였다. 우선 순위가 높은 단어로는 ‘HDV’, ‘AV’, ‘Lane design’, ‘Penetration’, ‘Operational’ 등이 선정되었으며, 이를 기반으로 시나리오를 구성하였다. 진출입 차량의 차로 변경을 위한 적정 차로 길이, 본선에서 차로 변경을 위한 적정 차로 변경 길이, 본선 구간의 길이를 조정하는 시나리오를 구성하여 분석하였다.

본 연구의 결과는 자율주행차가 혼재된 시대에서 자율주행차의 운영 시나리오 및 전략을 수립하는 연구에 활용될 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 국가연구개발사업인 “자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발(RS-2021-KA160881)”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

자율주행 Lv.4 상호호환성 확보를 위한 데이터 표준 및 표준적합성 시험방법 개발

Development of data standards and conformity test method standards
to secure mutual compatibility for automated driving Lv,4

황정운	양승규	신영섭	차태영	김상헌	김경환	조용성
(ITS Korea, 선임연구원)	(ITS Korea, 선임연구원)	(ITS Korea, 선임연구원)	(ITS Korea, 책임연구원)	(ITS Korea, 적합성평가실장)	(ITS Korea, 표준인증본부장)	(ITS Korea, 상임이사)

자율주행 기술의 고도화와 함께 차량, 도로 인프라, 그리고 관제 센터 간(V2X) 실시간으로 교환되는 모빌리티 데이터의 규모와 복잡성이 기하급수적으로 증가하고 있다. 특히 다양한 인프라와 플랫폼에서 생성되는 방대한 데이터의 원활한 처리는 자율주행의 신뢰성과 직결되는 핵심 과제로 대두되고 있다. 실제로 글로벌 자율주행 표준(ISO 등)의 과반수가 데이터 연계 및 호환성에 집중되어 있을 만큼, 데이터의 체계적인 관리와 표준 적합성 검증은 미래 모빌리티 생태계 구축의 필수 전제조건이다. 이러한 배경에서 본 연구는 급증하는 자율주행 데이터를 통합적으로 수용하고 처리할 수 있는 '표준 데이터 관리시스템'을 구축하고, 수집된 데이터가 표준 규격에 부합하며 상호운용성을 보장하는지 검증하는 '표준적합성 시험시스템'을 개발하는 것을 목표로 한다.

성공적인 시스템 구현을 위해 본 연구는 중장기적인 2단계 추진 전략을 채택하였다. 앞선 1단계 연구에서는 데이터 체계 및 시험방법을 규격화하기 위한 기초 기반 연구를 바탕으로, 핵심 요소기술인 자율주행 데이터 규격 정립, 메타데이터 및 데이터 카탈로그 설계하고 표준적합성 시험방법을 개발하는 데 집중하였다. 나아가 2단계 연구는 1단계 연구 결과의 고도화에 집중한다. 최종적으로는 본 연구의 성과가 자율주행 데이터 분야의 실질적인 가이드라인으로 자리 잡고, 관련 기술의 조기 상용화를 견인할 수 있도록 도모하고자 한다.

현재 진행 중인 4차년도 연구는 메타데이터, 데이터 카탈로그, 표준적합성 시험방법의 본격적인 표준화에 중점을 둔다. 이를 위해 표준실무팀을 운영하여 데이터 규격, 메타데이터, 데이터 카탈로그, 표준적합성 시험방법 등 표준 데이터 체계 전반에 대한 의견을 수렴하고, 이를 바탕으로 완성도 높은 데이터 관리 시스템 및 표준적합성 시험시스템을 제공하는 것을 목적으로 한다.

또한, 상호호환성 테스트 행사를 개최하고 자율주행 리빙랩 협의체를 운영하여, 자율주행 데이터 규격에 대한 국토교통부 소관 과제 및 타 부처 연구기관의 의견을 폭넓게 수렴하고 관련 이슈사항을 공유하고자 한다. 특히, 리빙랩 협의체를 통해 필수 준수 표준과 권고 표준을 명확히 전달함으로써, 타 연구진이 보다 수월하게 자율주행 기술을 연구하고 개발할 수 있도록 지원하고자 한다. 나아가 표준적합성 시험방법과 시스템을 활용해 자율주행 연구과제, C-ITS 시범사업 등 기존 사업들과의 상호호환성을 확보하고, 테스트 행사 종료 후 참여기관별 시험 결과 피드백을 반영해 개발 시스템의 고도화를 추진한다.

추가적으로, 데이터 관리 플랫폼의 통합 관리(보안·운영) 체계를 개발하여 데이터 유실 및 유출을 방지하고 안정적인 플랫폼 운영을 지원할 것이다. 또한, 국제표준(ISO 17065)에 기초하여 본 연구에서 도출된 표준적합성 시험방법 기반 인증체계를 마련하여 시스템 전반의 신뢰성과 안전성을 확보한다.

결론적으로 본 연구는 자율주행 환경의 방대한 데이터를 표준 기반으로 관리하고 검증하는 체계를 구축하고자 한다. 이를 통해 향후 레벨 4 자율주행차 상용화의 핵심 기반을 다지고, 안전하고 신뢰할 수 있는 자율주행 생태계 조성에 기여할 것으로 사료된다.

사사: 이 연구는 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00245915)

도로교통 인프라 모니터링 및 긴급복구 지원 서비스 기술 개발 연구

Road traffic infrastructure monitoring and emergency recovery support service technology development

황정운	양승규	신영섭	차태영	김상현	김경환	조용성
(ITS Korea, 선임연구원)	(ITS Korea, 선임연구원)	(ITS Korea, 선임연구원)	(ITS Korea, 책임연구원)	(ITS Korea, 적합성평가실장)	(ITS Korea, 표준인증본부장)	(ITS Korea, 상임이사)

자율주행 차량은 카메라, 라이다, 레이더 등 다양한 센서를 통해 주변 환경을 인식하고 이를 기반으로 자율주행을 수행하며, 이러한 과정에서 수집된 데이터는 차량의 주행 판단과 제어에 활용된다.

그러나 도로 환경의 복잡성과 불확실성으로 인해 센서 기반 인지 성능이 저하될 수 있다. 복잡한 기하구조의 도로, 급격한 노면 변화, 다양한 교통 객체의 혼재, 돌발상황 등은 인지 성능 저하를 유발하는 주요 요인으로 작용하며, 이는 판단 및 제어 결과에도 영향을 미친다. 또한 악천후, 조도 변화, 통신 음영지역과 같은 환경적 요인은 센서 인식 성능을 저하시켜 자율주행 시스템의 안정적인 주행을 제한하는 요소로 작용한다. 이러한 조건은 운행가능영역(Operational Design Domain, ODD) 내에서도 자율주행 차량이 정상적인 주행 상태를 유지하기 어렵게 만들 수 있으며, 결과적으로 자율주행 시스템의 적용 범위와 서비스 신뢰성 확보에 제약이 된다.

이러한 인지 한계를 보완하기 위해 본 연구에서는 도로 환경에서 위험요인이 될 수 있는 도로교통 인프라 수준을 정상(normal), 추적관찰(caution), 일반복구(warning), 긴급복구(critical)로 구분하고, 해당 위험요인을 실시간으로 모니터링 및 진단하여 자율주행 차량과 센터에 정보를 제공하며, 위험요인에 대한 긴급복구를 지원할 수 있는 서비스 기술을 개발하고 이를 실증하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해 Lv.4/4+ 수준의 자율주행 시스템과 다양한 센서 및 측정장비를 탑재한 모니터링 차량을 활용하여 도로 인프라 상태 및 변화 여부를 판별하고, V2X-RSU 등 여러 도로교통 인프라를 대상으로 모니터링 및 긴급복구 지원 서비스 연계 실증 시나리오를 수행한다. 이 과정에서 센서로부터 수집되는 데이터를 통해 도로 환경 인프라 상태 판단이 가능하도록 하고, 차량과 인프라 간 정보 연계를 통해 위험 상황 발생 시 신속한 대응이 이루어질 수 있는 기반을 구축하고자 한다.

또한 개발된 기술의 성능 검증 및 고도화를 위해, 단순한 기하구조를 갖는 시험도로에서 초기 성능 검증을 완료하였으며, 현재는 실제 도로 환경과 유사한 리빙랩 구간 설정 후 주행 실증 및 결과 분석 작업을 수행하고 있다. 실제 도로 환경과 유사한 리빙랩 실증을 통해 시인성 저하, 통신 음영지역, 도로 인프라 파손 및 변화 등 다양한 환경 조건에서의 실증 데이터를 확보한다. 또한 시험도로에서 사용했던 단순화된 시나리오 보단 리빙랩 환경에 적합한 핵심 요소로 링크 정확도, 판단 정확도, 음영 구간 탐지, 시스템 연계 성능을 중심으로 실증 시나리오를 재구성하여, 도로환경을 반영한 인프라 이상탐지 기능과 정밀 도로 지도를 활용한 도로 변화 탐지 기술을 적용하여 인프라 상태 변화에 대한 정밀한 판단이 가능하도록 한다.

아울러 도로교통 인프라 모니터링 및 긴급복구 서비스 요구사항 정의와 정보 연계 표준화 작업을 통해 수집되는 교통정보의 효율적인 전달과 체계적인 관리가 가능하도록 연구를 수행하고자 한다. 특히 센터, 서비스, 통신 인프라 모니터링 모듈에 대한 요구사항 표준 제정, 차량과 시스템·센터 간 정보연계 인터페이스 및 데이터 규격 등 정보연계에 표준 제정으로, 이를 통해 향후 자율주행 기반 도로 인프라 관리 체계 구축 및 관련 서비스 확산에 기여하고자 한다.

사사: 이 연구는 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2021-KA160853)

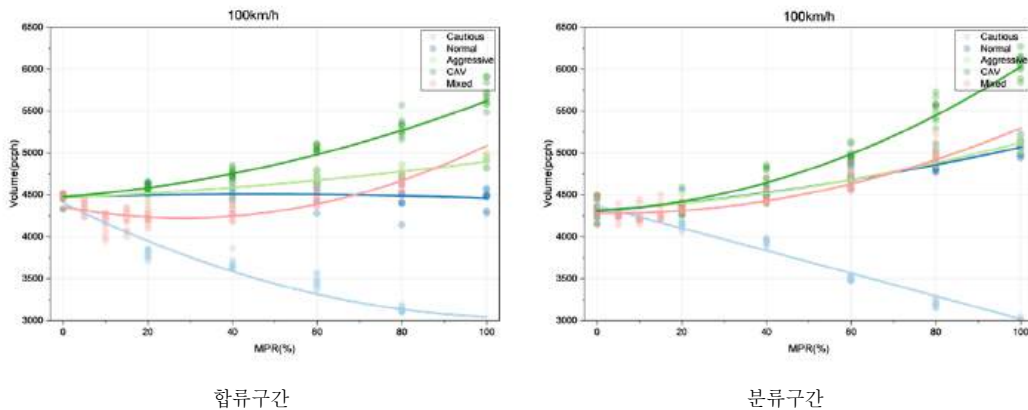
자율주행 혼합교통환경 고속도로 합류·분류구간 용량 영향분석

Capacity Impact Analysis of Highway Merge and Diverge Segments in a Mixed Autonomous Traffic Environment

백성채	최세령	오주석	박제진
(전남대학교, 건축토목공학과)	(전남대학교, 건축토목공학과)	(전남대학교, 공업기술연구소)	(전남대학교, 토목공학과)

본 연구는 자율주행자동차(AV) 기술 도입에 따른 고속도로 혼합교통류(Mixed Traffic)의 전환기에 대비하여, 기존 비자율차(HDV) 중심의 도로용량편람(KHCM) 체계가 가지는 한계를 분석하고자 수행되었다. 특히 본선과 연결로 간 상충 및 차로변경이 빈번한 고속도로 합류·분류구간을 대상으로 미시교통시뮬레이션을 활용하여 AV 혼입률에 따른 용량 변화를 정량적으로 규명하였다. AV의 주행행태를 4단계(Cautious, Normal, Aggressive, CAV)로 세분화하고, 본선 2차로 및 연결로 1차로로 구성된 가상 네트워크를 구축하였다. 시뮬레이션의 신뢰도 확보를 위해 본선 설계속도(90~120km/h) 및 연결로 속도(60km/h) 조건에서 KHCM 용량 기준(합류 4,600pcph, 분류 4,400pcph)을 충족하도록 CCI 파라미터와 유출입 비율을 정산(Calibration)하였다. 분석 결과의 일반화를 위해 설계속도와 혼입률을 독립변수로 하는 다항 다중회귀모형($C = \beta_0 + \beta_1 V + \beta_2 M + \beta_3 (V \times M) + \beta_4 M^2$)을 도출하여 상관관계를 분석하였다.

분석 결과, 설계속도 100km/h 구간에서 AV 혼입률 100% 도달 시, 주행행태에 따라 기존 용량 대비 -31%에서 +40%까지 큰 편차의 용량 변화가 관측되었다. CAV 형태는 합류구간 최대 27.7%, 분류구간 최대 40.0%의 용량 증대 효과를 보이며 가장 우수한 운영 효율을 나타낸 반면, Cautious 형태는 보수적 주행 특성으로 인해 합류 및 분류구간 모두에서 약 31% 수준의 용량 감소를 초래하는 것으로 분석되었다. 특히 감속 및 차로변경이 수반되는 물리적 특성상, 분류구간에서의 용량 증대 효과가 합류구간보다 상대적으로 높게 산출되었다. 본 연구는 향후 자율주행 혼합교통 관리 전략 수립 시 구간 기하구조 및 AV 주행행태를 고려한 도로용량 보정계수(f_{AV}) 적용이 필수적임을 시사한다. 향후 연구에서는 가상 네트워크의 한계를 극복하기 위해 실도로 주행 데이터를 기반으로 한 파라미터 재정산과 도로 기하구조 변수를 확장한 고도화된 분석이 요구된다.



<그림 1> 구간·주행행태별 자율차 용량 보정계수

사사: 본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 『자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발(RS-2021-KA160881)』에 의하여 수행되었으며, 본 연구를 지원해 준 국토교통부에 감사드립니다.

Alpamayo VLA 모델을 활용한 추론 기반 End-to-End 자율주행

Inference-based End-to-End Autonomous Driving using Alpamayo VLA Model

정재철

(국립한국교통대학교, 석사과정)

박만복

(국립한국교통대학교, 교수)

본 논문에서는 거대 비전언어행동 모델인 Alpamayo VLA (Vision-Language-Action)를 활용하여 시뮬레이션 환경에서의 추론 기반 End-to-End(E2E) 자율주행 시스템을 제안하였다. 기존의 자율주행 알고리즘은 정형화된 시나리오에서는 안정적인 성능을 보이나, 예기치 못한 사고 상황이나 동적인 환경 변화가 빈번한 복잡한 도로 환경에서는 한계를 보여왔으며, 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 100억 개의 파라미터를 보유한 Alpamayo 모델의 사전 학습된 모델을 자율주행 도메인에 이식하는 전이 학습 전략을 채택하였다.

실험을 위해 오픈소스 자율주행 시뮬레이터인 CARLA를 기반으로 구축된 대규모 벤치마크 데이터셋인 Bench2Drive (B2D)를 활용하였다. 본 연구는 B2D 데이터셋 내 1,000개의 시나리오와 24만여 프레임의 멀티뷰(6-View) 카메라 데이터, 차량 동역학 상태 정보 및 내비게이션 명령을 Alpamayo 백본에 입력하여 학습을 수행하였다. 특히 모델이 단순히 시각 정보를 제어값으로 매핑하는 것을 넘어, 사전 학습 단계에서 습득한 논리적 추론 능력을 바탕으로 도로 위 객체 간의 인과관계를 파악하고 조향, 가속, 제동을 직접 결정하는 단일 단계 제어 구조를 설계하였다.

본 시스템은 거대 VLA 모델의 구조적 복잡성을 해소하기 위해 최적화된 4-bit 양자화 기법을 도입하여, 모델의 성능 저하 없이 연산 효율과 메모리 사용량을 개선하였다. 실험 결과, 제안된 시스템은 다양한 기상 조건 및 돌발 사고 시나리오에서 기존의 모듈형 시스템 및 일반적인 Transformer 기반 모델 대비 우수한 주행 강건성과 경로 추종 능력을 확인하였다. 본 연구는 CARLA 시뮬레이션 환경을 통해 거대 VLA 모델이 자율주행의 판단 최적화와 안전성 향상이 가능한 것을 확인하였으며, 이는 향후 실전 도로 데이터로의 확장 및 Vision 기반 Transformer 모델의 문제점인 지연시간에 대한 문제를 Alpamayo의 특징 추출 방식을 활용하여 지연시간이 적은 모델의 backbone으로 사용하면, 실시간으로 E2E 제어 시스템을 제어 할 수 있을 것으로 예상된다.

사사: 논문은 산업통상자원부가 지원한 ‘자율주행기술개발혁신사업’의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제명: Lv.4 자율주행시스템의 FailOperational 기술개발 / 과제번호: 20018055]. 또한, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA160501).

인프라 LiDAR를 이용한 엣지 피팅 기반 목표차량 속도 추정

Target Vehicle Speed Estimation Based on Edge Fitting Using Infrastructure LiDAR

홍인준

(한국교통대학교, 박사과정)

박만복

(한국교통대학교, 공학박사)

자율주행의 안전한 주행에 있어 핵심 요소 중 하나는 주변 객체의 정확한 인식과 상태 추정이다. 특히 도로 환경에서 목표 차량의 속도를 추정하는 것은 교통 흐름의 안정성과 차선 변경 등의 판단 성능에 큰 영향을 끼친다. 본 연구에서는 도로변에 설치된 인프라 라이더 센서를 활용하여 목표 차량의 속도를 추정하는 알고리즘을 제안하였다.

본 논문에서는 인프라 시스템에 설치된 40채널 LiDAR를 이용하여, Association 이후 목표 차량의 속도를 추정하기 위한 트래킹 알고리즘을 제안하였다. 일반적으로 속도 추정에는 필터 기반 방법이 널리 사용되지만, 중심점 또는 대표점이 프레임마다 흔들릴 경우 큰 추정 오차가 발생할 수 있다는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 흔들림 가능성이 큰 대표점 대신, 차량이 직사각형 형상과 유사하다는 점에 착안하여 차량 PCD(Point Cloud Data)를 직사각형으로 정밀하게 피팅하고, 연속 프레임 간 직사각형을 매칭하여 이동량을 계산하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 객체 PCD의 대표점 대신 직사각형의 기준점을 이용하므로 위치 흔들림에 더욱 강건하며, 객체 형상을 직사각형으로 단순화함으로써 매칭 연산량을 효과적으로 줄일 수 있었다. 또한 특정 상황에서 속도 추정값이 발산하는 현상이 관측되었으며, 이러한 현상은 LiDAR 설치 높이가 높아질수록 더 자주 나타났다. 우리는 이를 LiDAR 각 링이 객체에 투영되는 위치 변화에 따른 측정값 왜곡으로 판단하였고, 이를 보정하기 위한 필터를 추가하여 속도 추정의 안정성을 향상시켰다.

본 연구에서는 높은 설치 위치를 갖는 인프라 시스템에 40채널 라이더가 설치된 환경에서 감지영역을 주행하도록 실험을 진행하였다. 실험결과는 <Fig. 1>에 나타나 있으며 목표 차량이 평균 30kph 정도의 속도로 주행할 때 약 차량의 속도 계산에 따라 0.8~1.4kph 정도의 오차가 발생함을 확인하였다.

본 연구에서는 라이더 기반 속도 추정에서 정확도를 개선하기 위해 직사각형 피팅 기반의 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통해 40채널 라이더 및 30kph의 환경에서 0.8~1.4kph의 좋은 정확도를 보였다. 향후에는 다른 환경에서 설치된 센서를 이용한 추가 실험을 통해 알고리즘의 적용 범위를 확인하고, 정확도를 높일 예정이다.

사사: 논문은 산업통상자원부가 지원한 ‘자율주행기술개발혁신사업’의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제명: Lv.4 자율주행시스템의 FailOperational 기술개발 / 과제번호: 20018055]. 또한, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA160501).

자율주행 혼재 시 통합교통관제를 위한 표준적합성 검증시스템 개발 및 실증 시험

Development and Field Testing of a Standards Conformity Verification System for Integrated Traffic Management in Mixed Autonomous Driving Environments

변민우 (한국지능형교통체계협회, 선임연구원)	손승녀 (한국지능형교통체계협회, 본부장)	강원평 (한국지능형교통체계협회, 실장)	한경희 (한국지능형교통체계협회, 선임연구원)
--------------------------------	------------------------------	-----------------------------	--------------------------------

AI, 빅데이터, 자율주행 기술 등의 급격한 발전으로 인해 도로교통체계는 단순 모니터링 중심에서 능동적·지능적 교통관제 체계로의 패러다임 전환이 필요하다. 자율주행 혼재 환경에서는 차량, 도로 인프라, 교통센터 등 다양한 주체 간의 실시간 정보 공유가 필수적이며, 이를 위한 상호운용성 확보 및 표준 준수는 시스템 안정성의 핵심 요건이다. 그러나 다수의 연계 표준이 존재함에도 불구하고, 실제 시스템 연동 전 적합성 여부를 사전에 검증하기 어려워 현장 적용 시 기술적 제약과 운영 비효율이 발생하고 있다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 경찰청 소관 업무에 특화된 자율주행 통합관제 상호연계 표준 규격을 제안하고, 웹(Web) 기반으로 상시 검증할 수 있는 표준적합성 검증 플랫폼을 개발하여 신뢰성있는 관제체계를 구현하고자 한다.

본 연구에서는 자율협력주행 시스템에 적용 가능한 기술 기준을 도출하기 위해 ISO 14827(센터 간 정보교환), SAE J2735(V2X 메시지 사전), KS R 1600(협력형 자율주행 시나리오 및 BSM) 등 국내외 주요 표준 체계를 고찰하였다. 이를 통해 메시지 셋, 통신 프로토콜, 데이터 포맷 등 이기종 시스템 간 실시간 정보 공유를 위한 핵심 요소들을 분석하였으며, 이는 본 연구에서 제안하는 통합교통관제 상호연계 규격의 기술적 근거 및 적용 표준 범위로 고려하였다.

자율협력주행 통합교통관제시스템과 외부 시스템 간의 원활한 호환성을 확보하기 위해 서비스 요구사항, 데이터 규격, 정보연계 규격을 체계적으로 정립하였다. 이에 본 연구는 각 연계 시스템 간의 상호호환성 및 확장성 확보를 위해 표준 준용 여부를 검증하기 위한 시험규격을 정의하였다. 해당 표준적합성 시험규격에서는 타 연계 시스템 간 정보교환 시 통신 연결에 필요한 정보요청시험, 정보제공 시험 등에 대하여 시험방법 및 평가방법에 대해 정의하고, Open API, DATEX, 토픽 기반 메시지 브로커(MQTT), TCP Socket 등 4대 정보연계방식을 정의하였으며, 각 방식별로 정보 요청·제공 시험 항목과 구체적인 평가 기준을 세분화하여 실질적인 검증 기반을 마련하였다.

본 연구에서는 전용 컴파일러, 메타데이터 관리 시스템, 시나리오 엔진 및 연동 시스템을 통합한 웹 기반 표준검증플랫폼을 구축하였다. 피시험 시스템의 규격 준수 여부를 판별하기 위해 수신된 시험 데이터를 실시간으로 분석·검증하고 체계적인 결과 리포트를 생성하는 기능을 구현하였으며, 표준 프로토콜 기반의 인터페이스 최적화를 통해 운영 안정성을 확보하였다. 데이터 관리 측면에서는 보안 및 무결성을 고려하여 시험 전 과정을 데이터베이스에 자동 저장하고, 검색 및 접근 관리 기능을 통해 데이터 활용성을 높임으로써 지능형 교통체계의 복합적인 검증 요구사항을 충족하도록 하였다.

표준적합성 검증 시스템의 성능을 확인하기 위해 통합관제시스템 및 시나리오 엔진 간 내부 연동 시험을 수행하였다. 시험 결과, 기초 통신 상태를 점검하는 기본 기능 시험부터 실제 운영 환경을 가정한 시나리오별 상세 시험까지 모든 항목에서 '연동 성공' 판정을 받아 표준 적합성을 입증하였다.

도출된 연구 결과를 바탕으로, 본 플랫폼은 자율주행 혼재 환경에서 시스템 간 상호 호환성을 사전에 확보하고 통합관제시스템의 안정적 확장 기반을 마련하는 데 기여할 것으로 기대된다. 다만, 현재 플랫폼은 특정 시스템 아키텍처 및 기 정의된 표준 규격(ITSK-00143-3)에 최적화되어 있다는 한계가 존재한다. 향후 연구에서는 자율주행 기술 변화를 반영하여 센터-차량 간 MQTT 기반 통신 방식을 포함한 표준 개정안을 반영하고, 테스트베드 실증을 통해 플랫폼의 범용성과 신뢰성을 지속적으로 고도화할 계획이다.

사사: 본 연구는 경찰청 자율주행기술개발혁신사업의 “자율주행 혼재 시 도로교통 통합관제시스템 및 운영 기술 개발(RS-2021-PT000176)” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

도로주행 시뮬레이터와 운전자 모니터링 시스템을 연계한 자율주행차 제어권 전환 분석 체계 개발: 고속도로 공사구간 사례 분석

Integrated Driving Simulator and Driver Monitoring System for
Takeover Analysis in Automated Vehicles: A Case Study on Expressway Work Zones

현석규	박수연	박상경	이현석	김형주	가동주
(한국도로공사 도로교통연구원, 대리)	(차세대융합 기술연구원, 연구원)	(한국도로공사 도로교통연구원, 대리)	(한국도로공사 도로교통연구원, 연구위원)	(차세대융합 기술연구원, 연구실장)	(한국도로공사 도로교통연구원, 책임연구원)

자율주행 기술이 빠르게 발전하고 있으나, 법적·기술적 책임 문제로 대다수 완성차 제조사는 SAE Level 3 이상을 공식 표방하지 않고 있으며 자율주행차 상용화는 ADAS(Advanced Driver Assistance System) 기능의 점진적 확대를 통해 이루어질 전망이다. 이에 따라 향후 상당 기간 자율주행차와 일반차가 혼재하는 과도기가 지속될 것이며, 차량과 운전자 간 제어권 전환(Takeover)은 교통안전의 핵심 요소로 부각될 것이다.

특히 고속도로 공사구간과 같은 비정형적 도로 환경에서는 사전에 입력된 정밀지도 정보와 실제 도로 상황 간의 불일치가 발생할 수 있어, 자율주행 시스템의 운행설계영역(Operational Design Domain, ODD)을 벗어나게 된다. 이러한 상황에서는 운전자가 제어권을 넘겨받는 것이 불가피하며, 제어권 전환 과정에서 상황 인식 지연, 부주의 행동 등이 사고 위험으로 이어질 수 있다. 따라서 제어권 전환 시 운전자의 반응 특성을 면밀히 분석하고, 안전한 제어권 전환을 위한 적정 시점 및 조건에 대한 기준 정립이 요구된다.

그러나 이러한 분석을 실험·실차 실험 기반으로 수행하는 것은 안전 문제와 실험 조건 통제 측면에서 현실적인 한계가 있다. 이에 본 연구는 가상환경 기술을 적용한 도로주행 시뮬레이터(Driving Simulator, DS)와 운전자 안면상태를 인식하는 운전자 모니터링 시스템(Driver Monitoring System, DMS)을 연계하여, 차량 거동과 운전자 상태를 통합 분석할 수 있는 체계를 구축하였다. 개발된 분석 체계는 DS·DMS 이중 데이터를 병합하여 분석용 데이터셋을 구축하고, 주행 영상, 시계열 그래프, 차량 및 운전자 상태 지표를 동기화하여 시각적으로 제시한다. 이를 통해 특정 이벤트 발생 시점 전후의 차량 거동 변화와 운전자 반응 양상을 다차원적으로 관찰할 수 있으며, 기술통계 산출 및 집단 간 비교 검정 기능을 통해 정량적 분석을 지원한다.

본 연구는 개발된 분석 체계를 활용하여 고속도로 공사구간 진입 상황에서 자율주행차가 운전자에게 제어권을 이양하는 시나리오를 구성하고, 운전자의 반응 특성과 차량 거동의 안전성을 분석하였다. 구체적으로, 수동 주행 조건과 자율주행 중 제어권을 인수받는 조건을 비교하여, 제어권 전환 시 시선 이탈, 반응 지연, 차로 편차 증가 등의 위험 요인을 분석하였다. 이를 통해 공사구간에서의 안전한 제어권 전환을 위해 고려해야 할 운전자 순응 시간 및 적정 전환 시점에 대한 시사점을 도출하였다.

자율주행자동차 시범운행지구의 주요 운영 성과

Key Achievements from Autonomous Vehicle Pilot Operation Zones

김거중

(한국교통연구원, 부연구위원)

미래 모빌리티 산업을 선도하기 위해 자율주행자동차 시범운행지구 제도를 도입하고 다양한 실증 사업을 추진하고 있다. 본 연구는 국내 시범운행지구 운영을 통해 도출된 주요 성과를 분석하고, 자율주행 기술의 상용화 가능성과 정책적 함의를 검토하는 것을 목적으로 한다. 시범운행지구는 자율주행자동차를 활용한 유상운송 실증을 촉진하기 위해 일부 규제를 완화하고, 실제 도로 환경에서 다양한 서비스 모델을 시험할 수 있도록 설계된 제도이다.

현재 시범운행지구에서는 자율주행버스·셔틀, 로보택시 등 여객운송 서비스 중심의 다양한 모빌리티 서비스가 실증되고 있다. 이러한 실증사업은 자율주행 차량의 기술적 안정성과 운영 효율성을 향상시키는 데 중요한 역할을 하고 있다. 실증 과정에서 수집된 운행 데이터와 교통 환경 정보는 자율주행 알고리즘 개선과 차량 안전성 검증의 핵심 기반이 되며, 도심형 셔틀 서비스와 라스트마일 이동 서비스는 시민들의 실제 이동 수요와 결합되어 자율주행 기술의 사회적 수용성을 높이는 데 기여하고 있다.

제도적 측면에서도 시범운행지구는 규제 샌드박스 역할을 수행하며 자율주행 관련 법·제도 정비를 촉진하였다. 또한 안전관리 기준, 원격 관제 체계, 면허 체계 등 자율주행 상용화에 필요한 정책적 기반 마련에도 기여하고 있으며, 지방자치단체와 기업 간 협력 모델 확대에도 긍정적인 영향을 미치고 있다. 이러한 과정은 기술 개발뿐만 아니라 산업 생태계 형성과 지역 기반 모빌리티 혁신에도 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 예상된다.

종합적으로 볼 때 자율주행자동차 시범운행지구는 기술 실증, 제도 개선, 서비스 모델 개발 측면에서 의미 있는 성과를 창출하고 있다. 향후에는 실증 범위 확대, 안전성 검증 고도화, 시민 수용성 제고를 통해 자율주행 모빌리티의 상용화를 더욱 가속화할 필요가 있다. 또한 데이터 기반 정책 설계와 지속적인 규제 혁신을 통해 미래 교통체계 전환에 대응하는 전략적 접근이 요구될 것이다.

사사: 본 연구는 국토교통부의 2025년 자율차 시범운행지구 운영성과 평가업무 위탁사업의 지원을 받아 수행되었음.

자율주행차 판단 기능의 이기종 이중화 기반 이상 검출

Detection of heterogeneous redundancy-based anomalies in autonomous vehicle judgment functions

박상빈

(한국교통대학교, 석사과정)

박만복

(한국교통대학교, 공학박사)

자율주행차는 주변 차량, 보행자, 도로 형상, 교차로 상황을 종합적으로 해석한 뒤 주행 방향과 속도를 결정한다. 이 과정에서 위험 판단이나 조향 판단이 잘못되면, 차량은 잘못된 방향으로 움직이거나 필요한 감속·정지를 수행하지 못할 수 있다. 특히 충돌까지 남은 시간 계산, 위험도 판단, 목표 조향각 계산은 실제 차량 거동에 직접 영향을 주므로 높은 신뢰성이 요구된다. 그러나 하나의 알고리즘만으로 모든 상황을 안정적으로 처리하는 데에는 한계가 있다. 따라서 동일한 기능을 서로 다른 원리의 두 알고리즘으로 병렬 수행하고, 두 결과의 차이를 감시하여 이상 여부를 판단한 뒤 더 안전한 결과를 선택하는 구조가 필요하다.

본 연구에서는 조향 판단, 충돌시간 판단, 위험도 판단에 이기종 이중화를 적용하였다. 먼저 조향 판단에서는 기존 Pure Pursuit 조향각과 감시용 Stanley 조향각을 동시에 계산한다. 시스템은 두 조향각의 차이값, 조향 방향 불일치, 속도 및 곡률을 고려한 허용 오차 초과 여부를 검사한다. 시스템은 이 불일치가 일정 시간 이상 반복되면 이상으로 판정한다. 이상이 작으면 시스템은 조향 변화율을 제한하고 속도를 낮춘다. 이상이 크면 시스템은 더 보수적인 조향각을 적용한다. 충돌시간 판단에서는 기존 계산값과 단순 상대거리·접근속도 기반 계산값을 병렬 산출한다. 시스템은 두 시간값의 차이와 경고 발생 여부를 비교하였다. 특히 시스템은 짧은 시간 구간에서의 불일치를 중요 이상으로 판단하였다. 위험도 판단에서는 기존 위험 평가 결과와 규칙 기반 감시 결과를 함께 계산한다. 시스템은 위험 수준, 경고 여부, 위험 대상으로 선택한 객체가 서로 일치하는지 확인한다. 또한 시스템은 감시 결과보다 기존 결과가 더 낮은 위험을 내는 경우를 위험 과소평가로 판단하였다. 이상이 발생하면 시스템은 더 높은 위험 수준과 더 보수적인 경고 결과를 채택하였다.

본 방안은 자율주행차의 핵심 판단 기능에 대해 서로 다른 원리의 알고리즘을 병렬 적용하고, 그 결과를 정량적·의미적으로 비교하여 이상을 검출한 뒤, 더 보수적인 결과를 선택하는 구조를 제안하였다. 특히 조향각은 차이값, 방향 불일치, 속도·곡률 기반 허용 범위, 반복 여부로 비교하고, 충돌 시간은 짧은 시간 구간의 불일치와 경고 상태 차이를 중심으로 감시하며, 위험 평가는 위험 수준·경고 여부·대상 객체·과소평가 여부를 중심으로 검출하였다. 이를 통해 잘못된 조향, 위험 누락, 과소평가 문제를 조기에 발견하고, 속도 저감·차선 변경 제한·정지 우선 동작으로 연결할 수 있다. 따라서 본 방안은 자율주행 판단의 신뢰성을 높이고, 판단 오류가 실제 사고로 이어질 가능성을 줄이는 실질적 안전 강화 방안이라 할 수 있다.

사사: 논문은 산업통상자원부가 지원한 ‘자율주행기술개발혁신사업’의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제명: Lv.4 자율주행시스템의 FailOperational 기술개발 / 과제번호: 20018055]. 또한, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA160501).

스마트 공장 환경에서의 드론 자율 탐사 성능에 대한 3D SLAM 알고리즘의 안정성 분석

Stability Analysis of 3D SLAM Algorithms for Autonomous Drone Exploration Performance in Smart
Factory Environments

태현철

(생산기술연구원, 수석연구원)

유영준

(생산기술연구원, 수석연구원)

스마트 공장 및 물류 창고 환경에서 드론 기반 자율 탐사 시스템의 도입이 확대됨에 따라, 동적 장애물이 존재하는 복잡한 실내 환경에서의 정밀한 위치 추정 및 지도 작성 기술의 중요성이 높아지고 있다. 그러나 다양한 SLAM 알고리즘이 존재함에도 불구하고, 실내 공장 환경에서의 드론 자율 탐사 성능에 미치는 영향을 체계적으로 비교한 연구는 부족한 실정므로, 실용적인 시스템 설계를 위한 알고리즘 선택 기준 마련이 요구된다. 본 연구에서는 공장 창고 환경을 모사한 동일한 시뮬레이션 환경을 기반으로, FAST-LIO, LIO-SAM, KISS-ICP, rtabmap의 4종 3D SLAM 알고리즘이 드론 자율 탐사 성능에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 드론은 3D Frontier Exploration을 통해 탐사 목표를 자율 설정하고, EGO Planner 기반 B-spline 궤적 최적화를 통해 실시간 장애물 회피 및 경로 추종을 수행하는 계층적 구조로 구성하였으며, 각 SLAM 알고리즘의 성능은 탐사율, 충돌 횟수 등의 지표를 통해 평가하였다. 분석 결과, 4종 SLAM 알고리즘 간 드론 자율 탐사 운용 안정성에서 유의미한 차이가 나타났다. rtabmap은 LiDAR ICP 기반의 루프 크로저 보정을 통해 누적 위치 오차를 억제함으로써 초기화 안정성 및 충돌 회피 측면에서 상대적으로 우수한 성능을 보였다. 본 연구의 결과는 스마트 공장 환경에서의 드론 자율화 시스템 설계 시 운용 환경에 적합한 SLAM 알고리즘 선택 기준을 제시하는 데 기여할 것으로 기대된다.

Key Words: 자율드론, 3D SLAM, 경로 계획, Frontier Exploration

사사: 이 논문은 한국생산기술연구원EH260002 과제의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

자율주행 차량을 위한 실시간 객체 탐지 기반 차선 변경 계획 연구

A Real-Time Object Detection-Based Lane Change Planning for Autonomous Driving

안혜주

(국립한국교통대학교, 석사과정)

박만복

(국립한국교통대학교, 교수)

자율주행 차량에서 차선 변경은 주변 차량과의 상호작용으로 인해 충돌 위험이 높은 대표적인 주행 상황이다. 특히 주변 차량의 위치, 속도, 차선 상태 등을 고려하지 않고 차선 변경을 수행할 경우 충돌 위험이 증가한다. 최근 연구에서는 카메라 및 다양한 센서를 이용한 객체 탐지 기술을 활용하여 주변 차량 정보를 실시간으로 인식하고 이를 기반으로 차선 변경 위험도를 판단하는 알고리즘이 연구되고 있다.

본 연구에서는 라이다, 카메라, 레이더 센서를 이용하여 자율주행 차량의 객체를 인식하고, 센서 융합 기반으로 주변 차량의 위치와 속도 정보를 추정한다. 또한 이러한 정보를 기반으로 차선 변경 여부에 따른 충돌 위험도를 계산하고, 안전한 차선 변경이 가능하도록 정밀지도(HD Map)의 차선 및 경로 정보를 활용하여 경로 생성 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 경로, 좌우 차선 범위, 주변 차량과의 거리, 상대 속도 및 TTC(Time-to-Collision) 등을 고려하여 위험도를 평가하며, 위험도가 최소화되는 방향으로 차량의 차선 변경 여부를 판단하고 안전한 주행을 가능하도록 최적의 경로를 생성하였다.

제안된 방법은 ROS 1 환경을 기반으로 국립한국교통대학교 교내 실제 도로에서 검증을 진행하였다. 이를 통해 다양한 교통 환경에서 주변 차량과의 동적 관계를 효과적으로 반영함으로써 보다 신뢰성 높은 차선 변경 의사결정이 가능함을 확인하였다.

사사: 본 논문은 산업통상자원부가 지원한 '자율주행기술개발혁신사업'의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다[과제명: Lv.4 자율주행시스템의 FailOperational 기술개발 / 과제번호: 20018055]. 또한, 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA160501).

자기차량 계획을 위한 자율주행 월드모델의 인과 모델링

Causal Modeling in Driving World Models for Ego Planning

김부건

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 석사과정)

장기태

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 교수)

자율주행 환경에서 최근 annotation-free latent Driving World-Model(DWM)은 수작업 perception annotation 없이 vision foundation model의 출력을 활용한 self-supervised 학습만으로 경쟁력 있는 planning 성능을 달성하며 주목받고 있다. 그러나 DWM의 future prediction은 scene 표현에 포함된 주변 agent 정보를 종합적으로 활용하는 반면, 이 중 어떤 agent의 정보가 ego의 prediction에 인과적으로 기여하는지를 명시적으로 구분하는 연구는 DWM 영역에서 현재까지 매우 제한적이다. 이로 인해 모델이 non-causal agent의 통계적 패턴에도 의존할 가능성이 있으며, 이는 domain shift 시 robustness 저하와 planning 결정에 대한 해석 가능성 부재로 이어질 수 있다.

한편, inter-agent causal relevance 연구는 trajectory prediction 영역에서 Granger causality 기반 causal discovery와 attention gating의 조합이 robustness 및 cross-domain generalization을 의미있게 개선함을 보고한 바 있다. 그러나 이러한 접근의 DWM ego planning 내부에서의 적용은 현재까지 매우 제한적이며, 기존 연구들은 공통적으로 GT trajectory 등 수작업 annotation을 요구하여 annotation-free DWM 환경과 양립하기 어렵다.

이에 본 연구는 annotation-free latent DWM의 연장선상에서, 추가적인 수작업 annotation 없이 주변 agent의 causality를 추정하고 이를 DWM의 future prediction에 반영하는 프레임워크를 제안한다. 본 연구의 핵심 아이디어는 세 가지이다. 첫째, annotation-free DWM이 생성하는 vision foundation model의 중간 산출물을 재활용하여, agent별 pseudo-trajectory를 추가 annotation 없이 구성한다. 둘째, 구성된 pseudo-trajectory를 Causal Discovery Network(CDN)에 입력하여, Granger causality 원리에 기반한 agent별 causality score를 실제 주행 데이터셋 수준에서 추정한다. 셋째, 추정된 causality score를 DWM의 future prediction module 내 attention 구조에 spatial gating으로 반영하여, causality score가 높은 agent의 정보는 보존하고 낮은 agent의 기여는 감쇠시킨다. 이를 통해 DWM의 future prediction이 causal agent의 정보에 집중하도록 유도한다.

해당 방법론은 nuScenes 데이터셋 기반 실험을 통해 planning 성능(L2 displacement error, collision rate), non-causal agent perturbation 시 성능 유지 정도(robustness), 그리고 agent별 causality attribution의 해석 가능성(interpretability)을 정량적·정성적으로 검증한다.

사사: 본 연구는 국토교통부 국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 육성사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2022-00156089)에 의해 수행되었습니다.

도심환경의 차량 궤적 예측 영향인자 분석을 위한 이중요인 시나리오 분류

Two-factor Scenario Classification for Analyzing Factors Affecting Vehicle
Trajectory Prediction in Urban Environments

박범진	송채원	윤진원	오시몬
(고려대학교 컴퓨터정보학과, 석박사과정)	(고려대학교 미래모빌리티학과, 학사과정)	(고려대학교 미래모빌리티학과, 조교수)	(고려대학교 미래모빌리티학과, 부교수)

본 연구는 도심 환경에서의 궤적 예측 모델의 성능 편차를 체계적으로 분석하기 위해 시나리오 기반 평가 방법을 제안한다. 기존 궤적 예측 연구들은 평균적인 예측 정확도 향상을 목적으로 하지만 복잡한 도심 교통 환경에서는 다양한 요인에 의해 성능 분산이 크게 발생하며 차량과 환경 중 일부 조건에서 모델의 취약성이 두드러지는 문제가 존재한다. 이러한 한계를 보완하기 위해 본 연구에서는 시나리오를 agent 기반 요소와 geometry 기반 요소의 두 축으로 구조적으로 분류하고, 각 조건이 예측 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석한다.

Agent 측면에서는 예측 대상 객체와 주변 객체의 관측 시간(Exposure time)을 기반으로 상호작용 구조를 정의하며, 이를 통해 관측 객체 간 상호작용의 복잡성이 모델 성능에 미치는 영향을 분석한다. Geometry 측면에서는 HD map 정보를 활용하여 교차로 존재 여부와 차선 복잡도를 기준으로 도로 환경의 난이도를 계층적으로 구분한다. 특히 차선 복잡도는 도로의 기하 구조를 반영하여 정의되며, 이를 통해 단순 도로 환경과 복잡한 도심 구조를 구분할 수 있도록 한다.

실험은 Argoverse2 데이터셋과 VAE+LSTM 기반의 기준 모델을 활용하여 수행되었으며, 모델 구조의 개선보다는 같은 모델을 다양한 시나리오에 적용함으로써 시나리오 조건에 따른 성능 변화를 비교하는 데 초점을 둔다. 실험 결과, 보행자 중심 시나리오 및 교차로와 도로복잡도가 높은 환경에서 예측 성능의 분산이 증가하고 일부 경우에서 큰 오차가 발생하는 경향이 확인되었다.

또한 본 연구는 특정 시나리오 조합에서 발생하는 성능 저하를 분석함으로써 모델이 충분히 학습하지 못하는 영역을 식별하고, 시나리오 불균형이 예측 안정성에 미치는 영향을 확인하였다. 이러한 결과는 향후 특성 별 학습 불균형을 해소하기 위한 후속 연구가 필요함을 이야기하며, 시나리오 유형에 따른 모델의 선택 적용, 시나리오 인식 및 적응 기반 예측 구조 설계가 향후 연구 방향이 될 수 있을 것으로 기대한다.

사사: 이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제고유번호: 2710078394, No.2023-00244929, 레벨4 자율주행 차량의 커넥티드 기반 인지 증강화 및 협력 자율주행 기술 개발).

실외이동로봇 신호 인식 한계 및 실시간 교통신호정보 연계 필요성 연구

Analysis of Signal Recognition Limitations of Outdoor Mobile Robots and the Need for Real-Time Traffic Signal Information Integration

우동혁

(한국도로교통공단, 연구원)

권민수

(한국도로교통공단, 연구원)

이승철

(한국도로교통공단, 수석연구원)

최근 도심 내 치안 및 교통안전 확보를 위한 순찰 업무는 경찰 인력에 의존하여 수행되고 있으나, 물리적 인력만으로는 광범위한 지역을 지속적으로 관리하는 데 한계가 있다. 이에 따라 이를 보완하기 위한 대안으로 자율주행 기술을 적용한 실외이동로봇(자율주행 순찰로봇)이 개발되고 있다. 이러한 실외이동로봇은 보도 및 횡단보도를 이용하여 주행해야 하므로, 교차로에서의 신호 인식은 주행 안전성과 직결되는 핵심 요소이다.

현재 대부분의 실외이동로봇은 카메라 기반 영상 인식을 통해 신호를 판단하고 있으나, 실제 환경에서는 플리커(Flicker) 현상, 시야 가림, 조도 변화 등으로 인해 신호 인식의 신뢰도가 저하되는 문제가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 한계를 분석하기 위해 횡단보도 보행신호등 영상을 대상으로 점멸 진입 이후 5초 동안 수집된 프레임(총 150프레임)에 대해 프레임 단위 분석을 수행하고, 신호 인식 가능 여부를 평가하였다. 분석 결과, 전체 프레임 중 정상적으로 신호를 인식한 프레임은 단 2프레임으로 1.3%에 불과한 것으로 나타났으며, 이는 대부분의 구간에서 신호 인식이 불완전하게 이루어짐을 의미한다.

이와 같은 프레임 단위의 인식 실패는 일정 비율의 신호 정보 누락으로 이어지며, 로봇의 횡단 판단 오류 및 주행 안정성 저하의 원인이 될 수 있다. 이러한 결과는 카메라 기반 신호 인식 방식만으로는 안정적인 주행 판단이 어려움을 시사하며, 신호의 현시 상태뿐만 아니라 잔여시간 정보를 포함한 확정적 데이터 활용의 필요성을 보여준다.

이에 본 연구에서는 교통신호제어기에서 생성된 신호정보를 도시교통정보센터(UTIC) 등 중앙 시스템을 통해 수집·가공하여 제공하는 방식의 필요성을 제시하였다. 향후 연구에서는 실외이동로봇에 실시간 신호정보를 제공하기 위한 구체적인 연계 방식과 활용 방안을 검토하고자 한다.

사사: 본 연구는 정부(경찰청)의 재원으로 과학치안진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00403630으로, 능동적 교통사고 예방 및 대응을 위한 자율주행 순찰 서비스 개발)

혼합 셀 보정을 포함한 GroundGrid 기반 LiDAR 지면 분할

GroundGrid-based LiDAR ground segmentation with mixed cell calibration

이중윤

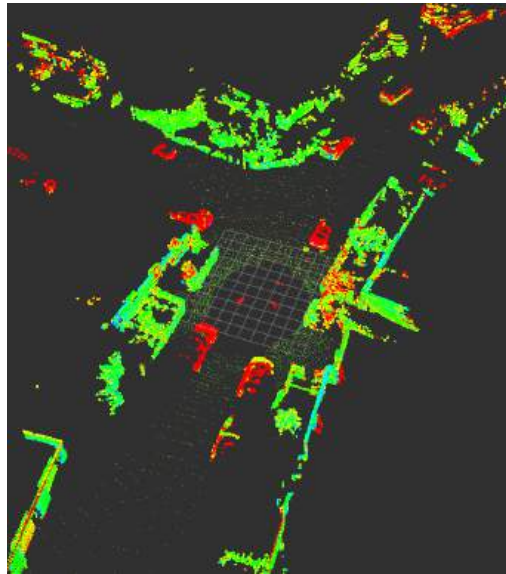
(한국교통대학교, 석사과정)

박만복

(한국교통대학교, 공학박사)

LiDAR 기반 지면 분할은 자율주행 환경에서 장애물 검출, 주행 가능 영역 추정, 환경 인지를 위한 중요한 전처리 단계이다. 그러나 grid 기반 지면 분할 방식은 하나의 셀 내에 지면과 비지면 포인트가 동시에 포함되는 혼합 셀 (mixed cell) 상황에서 오분류가 발생할 수 있으며, 이는 지면 분할 성능 저하의 원인이 된다. 본 연구에서는 GroundGrid 기반의 셀 단위 지면 분류 구조를 바탕으로 혼합 셀 보정을 추가한 LiDAR 지면 분할 기법을 제안한다. 제안한 방법은 입력 포인트클라우드를 2차원 grid로 투영하고, 각 셀의 높이 통계 정보를 이용하여 초기 지면 후보를 선정한 뒤 인접 셀 기반 확장을 통해 지면 영역을 분류했다. 이후 셀 내부 높이 분포를 이용하여 지면과 장애물 포인트가 함께 포함된 혼합 셀을 보정하였고 단순 셀 단위 분류에서 발생할 수 있는 오분류를 줄이고자 하였다.

본 연구에서 제안한 방식의 성능 검증하기 위해 지면 및 비지면 포인트를 시각적으로 확인하고 정량적으로 평가하였다. 또한 지면과 비지면이 합쳐진 셀 분류에 초점을 맞춘 GroundGrid 기반 프레임워크를 제시하였다. 향후 연구에서는 지면 분할 성능 향상 및 경사 지점에 초점을 맞추어 추가적인 연구를 수행할 예정이다.



<그림 1> Result of ground segmentation

사사: 2026년 국립한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음

인프라 중심 협력 인지를 위한 의미 기반 특징 강화 방법론

Enhancing Infrastructure-Centric Collaborative Perception via Semantic-aware Feature Modulation

엄새안

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 위촉연구원)

장기태

(한국과학기술원 조천식모빌리티대학원, 교수)

자율주행 환경에서 협력 인지(Collaborative Perception, CP)는 다수의 에이전트가 센서 정보를 공유하여 개별 차량의 시야 제한과 occlusion 문제를 극복하는 핵심 기술이다. 이 중 중간 단계 협력(Intermediate Collaboration) 방식은 압축된 특징 맵을 교환함으로써 통신 효율과 인지 정확도 간의 균형을 달성한다. 한편 V2X 환경에서 인프라 센서는 높은 위치에서 넓은 시야와 안정적인 관측을 제공하며, 차량 움직임에 의한 노이즈가 없어 교차로와 같은 복잡한 도심 환경에서 차량 탑재 센서보다 우수한 독립 인지 성능을 보인다. 그럼에도 기존 연구들은 인프라를 보조 데이터 소스로만 활용하는 차량 중심 접근에 머물러, 인프라 고유의 장점이 충분히 활용되지 못하고 있다. 이에 본 연구는 인프라를 주 인지 에이전트로 설정하는 인프라 중심 협력 인지 프레임워크를 채택한다.

그러나 기존 중간 단계 협력 방법론은 주로 class-agnostic 방식으로 전송할 특징을 선별하기 때문에, 클래스별 신뢰도 분포 차이에 따라 불균형하게 데이터가 삭제될 수 있다. 이는 교차로와 같이 보행자 탐지가 안전에 직결되는 인프라 중심 환경에서 특히 치명적인 한계이다.

따라서 본 연구에서는 인프라 중심 방법론에서 이러한 한계점을 보완하기 위해 의미론적 정보를 융합할 것을 제안한다. 본 연구는 데이터 융합 이후 단계에서 의미론적 정보를 활용해 class-agnostic pruning으로 약화된 특징을 보정하는 Post-Semantic Fusion 기법을 제안한다. 먼저 각 에이전트의 Bird's Eye View(BEV) 특징 맵에 경량 합성곱을 적용하여 픽셀 단위 클래스 확률 분포인 Semantic Map을 생성한다. 이때 별도의 세그멘테이션 헤드 없이 기존 탐지 분류 헤드를 재활용하여 추가 파라미터를 최소화한다. 다음으로 클래스별 학습 가능한 중요도 가중치를 정의하고 탐지 손실로 학습함으로써, 취약 클래스에 자동으로 높은 가중치가 부여되도록 유도한다. 마지막으로 어텐션 기반 융합을 마친 특징 맵에 Semantic Map과 클래스 가중치를 결합한 공간 중요도 맵을 곱하여 특징을 변조한다. 이를 통해 의미론적으로 유의미한 객체 영역의 특징만 선택적으로 강화되고 배경 노이즈 증폭은 억제된다.

해당 방법론은 V2X-REAL 데이터셋 기반 실험에서 제안 기법은 기존 모델 대비 Vehicle AP@0.5에서 1.7%p, Pedestrian AP@0.5에서 0.8%p 향상을 달성하였으며, 방향각 오차 0.5° 조건에서도 비교 기법 중 최고 수준의 강건성을 유지함을 확인하였다.

사사: 본 연구는 국토교통부 국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 육성사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2022-00156089)에 의해 수행되었습니다.

자율차량 혼재 시 개별차량 고위험 예측 모델 개발

Development of High Risk Prediction Model for Individual Vehicles in Mixed Autonomous Vehicles

정정호 (한국교통연구원, 연구원)	이승봉 (한국교통연구원, 부연구위원)	한효림 (한국교통연구원, 연구원)	김진재 (한국교통연구원, 연구원)	박준영 (한양대학교, 교수)	이송하 (한양대학교, 석박사통합과정)
---------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------	-----------------------------------

최근 통신기술의 발달 및 자동차기술의 발달로 인하여 향후 감지, 인지, 제어기술 등이 탑재된 자율주행차량이 등장할 것으로 보이며, 이로 인해 도로 네트워크에 많은 변화가 있을 것으로 보인다. 향후 자율주행차량이 도입되었을 경우 일반적으로 운전자가 주행하는 차량과의 주행특성의 차이로 인해서 기존과는 다른 형태의 위험상황이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 자율차량과 비자율차량이 혼재하는 환경에서 발생할 수 있는 자율차-일반차 사이의 고위험 요인을 도출하고, 고위험 요인들을 기반으로 한 고위험 상황을 시뮬레이션에 구현하여 사전에 해당 고위험 정보를 예측하고 정보를 생성하는 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 문헌고찰, 전문가세미나, 사고 및 영상데이터 분석을 통해 향후 자율차가 혼재하는 교통네트워크에서 발생할 것으로 보이는 대표적인 고위험상황을 신호교차로에서 선행차량의 급정지로 인한 후미추돌의 상황을 고위험상황으로 정의하고, 해당 상황을 Driving Simulator에 구현하여 선행차량과 후행차량간의 궤적 정보를 기반으로 다음 스텝의 대체안전지표(SSM : TTC, MTTC)를 예측하는 인공지능 기반의 LSTM 모델을 개발하고 검증하였다.

분석 결과 현 시점 기준 3.2초 전의 정보를 모델에 학습하고 3.2초 후의 TTC 및 MTTC를 예측했을 경우

RMSE가 각각 0.239초 및 0.160초으로 도출되어 가장 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 선행차량의 급정지에 따라 급격하게 감소하는 TTC 및 MTTC의 패턴이 유사하게 예측되는 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 향후 자율차량이 국내 도로네트워크에 도입되어 일반차와 혼재하는 환경에서 발생할 수 있는 고위험상황을 사전에 예측하고 정보를 제공함으로써 교통안전증진에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 과학치안진흥센터의 지원(과제번호: RS-2024-00405603)에 의해 수행되었습니다.

LLM 기반 자율주행 혼재 시 고위험 상황 시나리오 분석 프레임워크 개발

Development of an LLM-based High-Risk Scenario Analysis Framework for Autonomous Vehicles in Mixed Traffic Environments

나성은	박수연	이응주	임동현	전재원	김형주
(차세대융합기술 연구원)	(차세대융합기술 연구원)	(차세대융합기술 연구원)	(차세대융합기술 연구원)	(차세대융합기술 연구원)	(차세대융합기술 연구원)
첨단교통체계 연구실, 연구원)	첨단교통체계 연구실, 연구원)	첨단교통체계 연구실, 연구원)	첨단교통체계 연구실, 연구원)	첨단교통체계 연구실, 연구원)	첨단교통체계 연구실, 실장)

자율주행 기술의 발전으로 자율주행차(AV)와 일반 차량이 혼재하는 교통 환경이 현실화됨에 따라, 복잡한 상호작용에 대비하여 자율주행차의 안전성 기준을 강화하고 고위험 상황에 대한 선제적인 검증 체계를 마련할 필요성이 대두되고 있다. 기존의 선행연구는 주로 캘리포니아 DMV 사고 보고서의 구조화된 변수(충돌 유형, 과실, 상해 정도 등)를 활용해 사고 결과 중심의 통계분석을 수행해 왔으며, 사고가 전개되는 구체적인 메커니즘을 설명하는 데 한계가 있었다.

이에 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고자 대형 언어 모델(LLM)을 도입하여, 비정형 데이터인 사고 서술 텍스트(자율주행차 및 타 객체의 주행 기동 등)에 포함된 사고 맥락 정보를 정형화한다는 점에서 기존 연구와 차별성을 갖는다. 이를 바탕으로 본 연구는 LLM을 활용한 사고 정보 추출과 군집 분석을 통해 자율주행차 혼재 상황에서의 고위험 상황 시나리오 분석 프레임워크를 개발하는 것을 목적으로 한다. 분석을 위해 Transport Research Centre에서 캘리포니아 DMV 보고서, 언론 보도 등 공개 기록을 수집·구조화한 데이터셋(2014.10-2026.03) 965건을 기반으로, 캘리포니아 도심부 도로에서 발생한 자율주행차 사고 데이터를 추출하여 적용하였다.

본 연구에서 제안하는 분석 프레임워크는 크게 세 단계로 구성된다. 첫째, 기존의 제한적인 정형 변수를 보완하기 위해 LLM을 활용하여 사고 서술 텍스트로부터 총 5개의 핵심 변수(도로 유형, 자율주행차 및 타 객체의 주행 기동, 충돌의 상황적 원인, 취약 도로 이용자 개입 여부)를 정형 데이터로 추출하였다. 둘째, LLM으로 구조화한 명목형(Nominal) 변수 특성상 발생할 수 있는 거리 왜곡을 방지하고자 최빈값(Mode) 기반의 K-Modes 군집 분석을 적용하여 사고 전개 패턴을 체계적으로 유형화하였다. 셋째, 도출된 각 사고 패턴과 사고 심각도(상해 수준 및 차량 파손 정도) 간의 연관성 분석을 수행하여 자율주행차 혼재 상황에서 치명적인 결과를 초래하는 고위험 상황 시나리오를 최종 도출하였다.

본 연구는 기존 통계 분석에서 누락되었던 사고 맥락과 상호작용 정보를 반영하여 고위험 상황 시나리오를 식별하는 종합적인 프레임워크를 구축했다는 점에서 의의가 있다. 도출된 고위험 시나리오 체계는 향후 자율주행차 안전성 검증을 위한 가상 시뮬레이션 및 실도로 테스트 케이스 설계의 실증적 근거로 활용될 수 있다.

사사: This work was supported by Korea Institute of Police Technology (KIPoT) grant funded by the Korea government(KNPA) (No.RS-2024-00405603, Development of prediction technology for high-risk collision factors and dangerous situation and enforcement technology in the autonomous era)

잡음에 강인한 비접촉식 고정밀 지하차도 침수 감시 기술 연구

Research on Noise-Robust, Non-Contact, High-Precision
Flood Monitoring Technology for Underpasses

장봉주

(한국건설기술연구원
미래스마트건설연구본부,
수석연구원)

박동현

(한국건설기술연구원
미래스마트건설연구본부,
수석연구원)

정인택

(한국건설기술연구원
미래스마트건설연구본부,
수석연구원)

최근 기후변화의 영향으로 단시간에 집중되는 국지성 폭우와 극한 강우가 빈번하게 발생하고 있으며, 이에 따른 지하차도 등 도시 저지대 침수로 인해 교통사고, 차량 고립, 인명 피해 등이 지속적으로 보고되고 있다. 특히 지하차도의 경우 주변 지형보다 낮은 구조적 특성으로 인해 우수가 집중적으로 유입될 수 있으며, 도로 포장으로 인해 자연적인 침투나 배수가 제한적인 구조적 한계가 있다. 따라서 배수시설의 용량이나 관리 상태에 따라 짧은 시간 내에 급격한 침수가 발생할 수 있어 실시간 감시와 신속한 대응 체계의 구축이 매우 중요하다.

기존의 도로 침수 감시는 주로 접촉식 수위 센서, 레이저 거리 센서, 초음파 센서 등을 이용하여 특정 지점의 수위를 측정하는 방식이 활용되어 왔다. 그러나 이러한 방식은 대부분 단일 지점(point-based)의 수위 정보만을 제공하여 침수의 공간적 분포와 동적 특성을 파악하는 데 한계가 있다. 실제 지하차도 전체 구간에서 발생하는 침수의 공간적 분포나 우수 유입 상황을 충분히 반영하기 어렵다는 한계가 있다. 또한 센서가 물과 직접 접촉하거나 특정 지점을 향해 측정하는 구조적 특성으로 인해 차량, 보행자, 적치물, 쓰레기, 토사 등의 장애물에 의해 측정값이 쉽게 교란될 수 있으며, 이로 인해 관측 정확도가 저하되는 문제가 발생할 수 있다.

최근에는 교통 모니터링용 영상과 인공지능 기반 영상 분석을 활용하여 도로 침수를 탐지하거나 예측하려는 연구도 활발히 이루어지고 있다. 그러나 영상 기반 방식은 조도 변화, 기상 조건, 카메라 시야 제한 등의 영향을 크게 받으며, 실제 침수 수위나 유입 유량과 같은 정량적 관측 데이터 확보가 어려워 AI 학습 데이터 구축에도 제약이 존재한다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 포인트 기반 침수 감시 방식의 한계를 극복하기 위하여 비접촉식 레이더 센서를 활용한 지하차도 침수 감시 기술을 제안한다. 제안하는 기술은 레이더 기반 관측을 통해 특정 지점의 수위만을 측정하는 방식에서 벗어나 지하차도 공간을 면적 단위로 관측하여 침수위 분포와 우수 유입 속도를 실시간으로 계산할 수 있도록 설계하였다. 또한 레이더 신호 처리 알고리즘을 적용하여 지하차도 내부에서 발생하는 차량 이동, 보행자 통과, 적치물, 쓰레기, 진흙 등 다양한 외란 요소로부터 발생하는 잡음을 효과적으로 제거함으로써 관측 신뢰도를 향상시키고자 하였다.

이를 통해 기존 센서 기반 시스템이 가지는 장애물 영향, 국지적 관측 한계, 측정 불안정성 등의 문제를 최소화하고, 지하차도 침수 상황을 보다 정확하고 안정적으로 모니터링할 수 있는 고정밀 침수 감시 기술을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 기술은 향후 도시 침수 대응 체계 및 스마트 도로 안전관리 시스템 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비 지원사업(주요사업)으로 수행되었습니다 (20260239-001, R-V(Radar-Vision) 융합 센서 기반 지하 건축물 내부 익수위험 사전 인지 및 대응 핵심기술 개발).

Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) 기반 강우 데이터 증강 및 성능 분석에 관한 연구

Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE)-based Rainfall Data Augmentation and Performance Evaluation

박재홍	윤천주	김영록	진민수
(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 수석연구원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 수석연구원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 연구위원)	(한국건설기술연구원 도로교통연구본부, 수석연구원)

최근 기후 변화로 인해 국지성 집중호우의 발생 빈도가 증가하고 있으며, 도시 홍수의 발생 가능성이 높아지고 있다. 도시 홍수가 발생하면 도로 차단 등으로 인해 교통 소통에 직접적인 영향을 미치며, 이는 교통 혼잡을 유발할 수 있다. 따라서 이러한 문제에 선제적으로 대응하기 위해서는 강우에 따른 교통류가 변화되는 특성을 분석하는 연구가 필요하다. 특히, 실측 데이터를 기반으로 한 교통류 분석은 현실적인 대응 방안을 마련하는 데 중요한 역할을 한다.

교통류의 특성을 분석하기 위해서는 강우, 비강우 조건에서의 차량이 주행한 실데이터를 취득해야하며, 본 연구에서는 경상남도 진주시를 대상으로 46개 교차로와 453개의 도로 링크에서 차량 주행 속도 데이터를 수집하였다. 또한, 외부 요인의 영향을 최소화하기 위해 동일한 요일 및 시간대를 기준으로 데이터를 선정하였으며, 교통 흐름의 연속성을 확보하기 위해 강우 조건과 비강우 조건 각각에 대해 연속된 3일(총 72시간)의 데이터를 구축하였다. 강우 조건에 따른 교통류의 변화를 비교 분석하기 위해서는 그룹 간 데이터 수의 균형이 필요하다. 그러나 실데이터에서는 강우일에 해당하는 샘플 수가 비강우일에 비해 상대적으로 부족한 문제가 나타났으며, 이를 해결하기 위한 목적으로 강우량에 따라 데이터를 그룹화한 후, 부족한 샘플에 대해 데이터 증강 기법을 적용하였다. 데이터 증강에는 Synthetic Minority Over-sampling Technique(SMOTE)를 활용하였으며, 소수 클래스에 해당하는 강우 조건 데이터를 중심으로 합성 데이터를 생성하였다. SMOTE는 k-최근접 이웃(k-nearest neighbors) 기반으로 새로운 데이터를 생성하는 기법으로, 데이터 분포의 왜곡을 최소화하면서 클래스 간 불균형을 완화할 수 있는 장점이 있다. 이를 통해 강우량 구간별 데이터의 균형을 확보하고 분석의 신뢰도를 높였다.

본 연구에서는 강우량에 5 mm/h 단위로 그룹을 구분하였으며, 5 mm/h ~ 35 mm/h 구간으로 세분화하였다. 이를 기반으로 일반 강우(normal rain)와 강한 강우(heavy rain) 상태를 구분하여 분석을 수행하였다. 또한, 요일 효과의 영향을 고려하기 위해 두 가지 분석 방법을 병행하였다. 첫째, 요일을 구분하지 않고 전체 데이터를 통합하여 강우량 수준에 따른 전반적인 교통류 속도 변화를 분석하였다. 둘째, 동일 요일 간 비교를 통해 요일에 따른 외생적 영향을 통제하고, 강우 여부가 주행 속도에 미치는 영향만을 분석할 수 있도록 하였다. 특히, 데이터 증강 이후에는 강우 조건에 따른 주행 속도의 차이를 비교 분석하였다. 교통류 속도의 분포 특성을 시각적으로 비교하기 위해 커널 밀도 추정(Kernel Density Estimation, KDE)을 활용하였으며, 각 분포 간 비교 가능성을 확보하기 위해 확률 밀도 함수의 면적이 1이 되도록 정규화하여, 강우 조건별 교통류 속도 분포의 차이를 정량적·시각적으로 분석하였다.

본 연구는 도시 홍수 상황에서 교통류 변화 특성을 정량적으로 분석하고, 향후 시뮬레이션 기반 교통 예측 모형의 학습 데이터로 활용 가능한 기초 데이터를 구축하는 데 활용될 수 있다. 특히, 실제 도시 홍수 상황을 직접적으로 재현하는 데 한계가 존재하는 점을 고려하여, 강우 및 비강우 조건에서 수집된 실측 데이터를 기반으로 교통류 변화를 분석함으로써 보다 현실적인 교통류 분석에 활용하고자 한다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원사업으로 수행되었습니다.

(26주요-대1-임무, 홍수 안심도시 실현을 위한 디지털 도시홍수 제어 기술개발)

소규모 건설현장의 ICT 기반 안전장비 도입에 따른 안전관리 실효성 및 경제적 효용 분석

An Empirical Analysis on the Effectiveness and Economic Utility of ICT-Based Safety Equipment in Small-Scale Construction Sites

최세령

신우현

박제진

(전남대학교, 건축토목공학과)

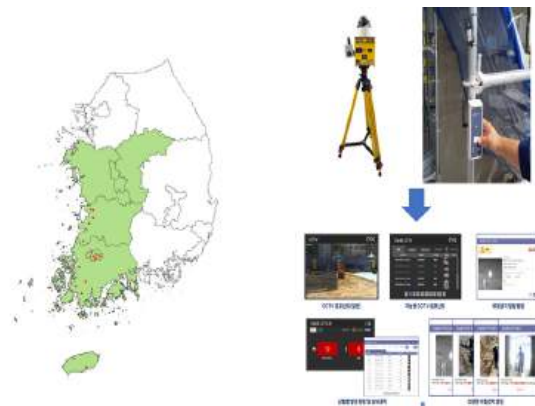
(전남대학교, 도시방재안전협동과정)

(전남대학교, 토목공학과)

최근 건설산업의 안전관리 패러다임은 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 드론 등 첨단 ICT 기술을 중심으로 급격하게 전환되고 있는 실정이다. 이러한 기술적 진보는 건설현장의 사고 예방과 관리 효율성을 획기적으로 향상시키고 있으나, 관련 성과는 대규모 현장에 편중되어 보고되는 한계가 있었다. 특히 공사비 300억 원 미만의 소규모 건설현장은 높은 초기 도입 비용, 전문 운용 인력의 부재, 그리고 가변적인 설치 환경 등으로 인해 ICT 안전장비의 실질적인 적용 효과에 대한 의문이 지속적으로 제기되어 왔다. 따라서 소규모 현장 특유의 환경적·구조적 특수성을 반영하여 ICT 기반 안전관리 시스템의 실효성을 실증적으로 검증해야 할 필요성이 매우 높은 상황이다.

본 연구는 소규모 건설현장에서 ICT 기반 안전장비의 활용이 실제 안전 성과와 경제적 효용에 미치는 영향을 분석하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 공사비 300억 원 미만의 현장을 대상으로 AI 기반 영상감시 시스템(CCTV), 구조물 붕괴변위 위험경보 장치, 스마트 위험알림 센서 등을 시범 적용하였다. 연구방법론으로는 장비 도입 전후의 사고발생 건수, 위험 상황 감지빈도, 작업자 위험 노출시간 등 핵심 안전지표를 정량적으로 수집하였으며, 대응표본 비교분석(Paired Comparison Analysis)을 통해 통계적 유의성을 검증하였다. 또한, 현장 관리자와 작업자를 대상으로 구조화된 설문조사와 반구조화 심층 인터뷰를 병행하여 현장 활용도와 운용상의 문제점, 개선 요구사항 등 정성적인 데이터를 체계적으로 도출하였다.

연구의 결과는 소규모 건설현장에 최적화된 ICT 안전장비 도입의 사고 예방 효과와 비용 편익에 관한 객관적인 근거를 제시함으로써, 향후 정부 및 지방자치단체의 실효성 있는 건설안전 정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 나아가 본 연구는 건설산업의 고질적인 과제인 숙련 인력 부족 문제를 완화하고 재해율을 실질적으로 저감하는 데 기여할 것으로 보인다. 궁극적으로는 제4차 산업혁명 기술의 현장 접목을 통해 더욱 안전하고 지속 가능한 건설 작업 환경을 조성하기 위한 정책적·실무적 시사점을 제공하고자 한다.



<그림 1> 연구대상지 및 연구 방법론

도시 재난형 교통위기 대응을 위한 교통네트워크 회복력 평가 연구

A Study on Disaster Vulnerability Assessment and Optimal Route Planning

김강현

(계명대학교, 박사과정)

홍정열

(계명대학교, 교수)

재난·재해는 피해 범위와 영향력이 광범위하여 막대한 인명 및 재산 피해를 발생시키며 재해의 유형과 강도에 따라 국가 전반의 대규모 재난의 형태로 확대될 수 있다. 이러한 재난 재해는 도로 인프라의 물리적 손상과 도로 기능 저하를 넘어 도로 네트워크 단절, 물류 공급망 장애, 긴급 대응 및 구조 지원 등을 초래하여 도로 시스템 전반의 운영 안전성과 효율성을 크게 저하시킬 수 있다. 이에 따라 재난·재해 상황에 대해 사전에 인지하여 예방하고 발생 이후에 즉각적 대응을 지원할 수 있는 교통 시스템 기반의 재난·재해 대응 솔루션이 필요하다. 이를 위해서는 재난·재해 발생 시 사회 인구, 경제, 환경적 피해가 집중되는 공간적 취약 구간을 사전에 진단하고 도로 구간 불능 시 도로의 회복 및 복구 가능성을 고려한 대체 경로를 탐색하는 통합적 연구가 선행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 첫째, 2000년부터 2023년까지 24년간 자연재해(태풍, 호우, 산사태 등) 현황 데이터를 활용하여 시·군·구별 과거에 발생한 자연재해로 인한 인명, 재산, 환경 피해 수준을 분석하고 과거 재난·재해 발생 이력에 기반한 자연재해 취약지역을 진단하고자 하였다. 둘째, 취약지역 내 도로네트워크 구간을 대상으로 노출, 기상·계절, 구조·시설, 운영·복구, 수요, 네트워크 중심성 등 다양한 요소를 반영하여 재난·재해의 도로네트워크의 취약성을 정량적으로 분석하고자 하였다. 셋째, 지역 단위와 도로네트워크 구간의 재난·재해 진단을 기반으로 고취약성 구간에 대해 기능 저하와 마비가 되었을 때를 가정하여 교통량, 속도, 차로수 등의 변화를 반영하여 우회 및 대체경로를 탐색하고자 하였다. 경로 탐색을 위한 비용함수로는 취약성 지수, 통행시간, 구조대 도착시간을 반영하였다. 본 연구의 결과는 향후 시·군·구별 재난·재해 발생 위험 수준을 진단하고 더 나아가 우회 및 대체 경로 수립까지 단계적으로 지원할 수 있는 재난·재해 대응 프레임워크 개발에 기여할 수 있다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No.RS-2025-25416050)

자율주행 및 모빌리티 지원을 위한 방송·통신 하이브리드형 HP-GNSS 서비스 아키텍처 제안 및 TTA 표준 기반 성능 실증

Proposal of a Hybrid Broadcasting-Communication HP-GNSS Service Architecture and Performance Validation based on TTA Standards for Autonomous Driving and Mobility

서영우
(KBS, 국장)

이용준
(현대모비스, 책임연구원)

본 논문은 자율주행차와 도심항공교통(UAM) 등 차세대 모빌리티의 필수 인프라인 고정밀 위치 결정 서비스를 위해, 방송망과 통신망을 결합한 하이브리드형 HP-GNSS(High-Precision GNSS) 서비스 아키텍처를 제안하고 이에 대한 기술 표준화 및 실증 결과를 제시한다.

기존의 통신망 기반 보정정보 서비스는 전국 단위 전송 시 발생하는 통신 비용 부담, 네트워크 혼잡에 따른 지연 시간, 그리고 대규모 단말 동시 접속 시의 가용성 제한이라는 기술적 한계를 지니고 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 광역 커버리지와 동시 수신성이 우수한 지상파 방송망(DMB 및 UHD)을 통신망과 상호 보완적으로 운영하는 하이브리드 전송 체계를 설계하고, 국내 최초의 HP-GNSS 종합 규격 체계인 TTA 표준을 통해 그 기술적 완성도를 확보하였다.

제안하는 아키텍처의 핵심은 방송망의 물리 계층과 통신망의 데이터 계층을 효율적으로 연동하는 IP 터널링 기술이다. RTCM 표준 보정정보를 UDP/IP 패킷으로 캡슐화하여 지상파 UHD(ATSC 3.0) 전송망에 삽입하는 기술을 표준화함으로써, 단말이 별도의 통신 연결 없이도 방송 수신만으로 실시간 보정 데이터를 복원할 수 있는 비연결형 고속 데이터 전송 구조를 구현하였다. 특히, 저속·광역 전송에 유리한 DMB와 고속·대용량 전송에 적합한 UHD 방송망의 특성을 계층적으로 구성하여, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou 등 다중 위성군(MSM) 정보를 지원하는 OSR 및 SSR 메시지 전송 체계를 정립하였다. 또한, 게이트웨이 및 인코더를 포함한 기준국 네트워크 시스템 구성을 정의하여 방송국 송신 인프라와의 실시간 연동 구조를 최적화하였다.

실증 실험은 제주도 제주테크노파크의 실제 방송 인프라를 활용하여 수행되었으며, 제주테크노파크 인근지역의 필드 테스트 환경에서의 실험을 통해 cm급 정밀도의 위치 보정 성능을 성공적으로 검증하였다.

실험 결과, 제안된 하이브리드 아키텍처는 도심지의 신호 차단이나 통신망 혼잡 상황에서도 안정적인 보정정보 가용성을 유지하였으며, 이는 통신망 단독 운영 대비 방송망 기반 시스템이 가지는 우수한 서비스 일관성과 경제적 이점을 입증하는 결과였다.

본 연구는 단순한 시스템 구현을 넘어, 국내 HP-GNSS 서비스의 전국 단위 확장을 위한 표준 규격을 정립하고 방송-통신 융합형 고정밀 위치 서비스의 실질적인 가이드라인을 제시했다는 점에서 학술적·산업적 의의가 크다. 향후 본 표준 기술은 자율주행차, UAM뿐만 아니라 스마트항만, 정밀농업 등 다양한 산업 분야로의 확산이 기대되며, 특히 한국형 위성항법시스템(KPS) 및 전국 방송망과의 연계를 통해 국가 차원의 차세대 고정밀 위치 인프라로 고도화될 예정이다. 이러한 연구 성과는 향후 모빌리티 생태계의 안전성과 신뢰성을 보장하는 핵심 기술로 자리매김할 것이며, 지속적인 필드 검증을 통해 하이브리드 전송 최적화 연구를 이어갈 계획이다

사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00141819)

공공-민간 교통데이터 융합 기반 도로구간 온실가스 배출량 산정 방법론 개발

Development of a Methodology for Estimating Greenhouse Gas Emissions on Road Segments Based on Public-Private Traffic Data Fusion

고민지 (한국지능형교통체계협회, 선임연구원)	손승녀 (한국지능형교통체계협회, 본부장)	김주애 (한국지능형교통체계협회, 선임연구원)	강원평 (한국지능형교통체계협회, 실장)
------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------

현재 수송부문 국가 온실가스 감축목표(NDC) 달성을 위해 다양한 정책이 추진되고 있으나, 이를 뒷받침할 정밀한 데이터 기반의 배출량 산정 및 관리 체계는 부족한 실정이다. 기존 도로부문 온실가스 배출량 산정은 주로 자동차 등록 정보와 정기검사 기반의 총주행거리(VKT)를 활용하는 하향식(Top-down) 접근을 취하고 있다. 그러나 이러한 방식은 해당 행정구역에 등록되지 않은 외부 및 통과 차량의 배출량이 누락되며, 데이터 집계에 1~2년의 시간 차이가 발생하여 즉각적인 정책 이행 점검이 어렵다는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 등록지와 무관하게 실제 도로구간을 통행하는 모든 차량의 데이터를 기반으로 하는 '도로구간별 온실가스 배출량 산정 방법론'을 제안하고, 이를 구현한 통합관리플랫폼(TEMP)을 구축하는 것을 목표로 한다.

제안하는 방법론은 공공과 민간의 모빌리티 데이터를 융합하여 링크 단위의 정밀한 VKT를 산출하는 것에서 시작한다. VDS, 스마트교차로 등 공공 ITS 인프라 데이터와 Tmap 내비게이션 궤적, 통신데이터, 대중교통(BIS), 화물(DTG) 등 공공-민간 운행 데이터를 통합하여 교차로 간 도로구간별 속도와 교통량을 도출한다. 특히 인프라가 미설치된 구간의 공간적 한계를 극복하기 위해, 수집된 실측 데이터를 참값으로 삼아 기계학습 기반의 교통량 전수화 모델을 적용하였다. 또한, CCTV 영상에 AI 객체 탐지 기술을 적용하여 차종 구성 비율을 추론하고, 이를 지자체 차량 등록 통계와 결합하여 구간별 차종 및 유종 비율을 추정함으로써 배출량 산정의 정확도를 대폭 높였다.

이러한 전처리 자동화를 통해 산출된 구간별 주행거리와 환경부 고시 국가 온실가스 배출계수(속도, 차종, 유종 반영)를 결합하여 링크 단위의 온실가스 배출량을 연산하며, 우리는 이를 엠큐닉의 '탄소중립 수송부문 온실가스 통합관리플랫폼' 프로토타입으로 구현하였다. 이 플랫폼은 유종별 차량 등록 현황 및 에너지 판매량 등을 표출하는 종합 관제 대시보드와 함께, CCTV AI 영상을 통한 실시간 차종 구성 변화 모니터링 기능을 제공한다. 가장 핵심적으로는 지도 기반 인터페이스를 통해 도로구간별 주행 특성 및 온실가스 배출량 증감 현황을 직관적인 그라데이션으로 시각화하여 표출한다.

본 연구에서 제안된 공공-민간 데이터 융합 산정 방식과 플랫폼은 기존 행정구역 중심 방식이 갖는 시공간적 한계를 극복할 수 있다. 실제 도로구간 링크 기준의 상향식(Bottom-up) 접근을 통해 공간적·시간적(1시간 단위) 정밀도를 획기적으로 향상시켰으며, 이를 통해 국가 및 지자체의 탄소저감 정책 효과를 미시적으로 모니터링하고 신속한 수요관리 의사결정을 지원할 수 있는 강력한 도구가 될 것으로 기대한다. 향후 부천시 등 실증도시 리빙랩을 대상으로 데이터 연계를 고도화하여 플랫폼의 실효성과 대규모 도로 환경 적용 가능성을 평가할 예정이다.



사사: 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 「탄소중립 수송부문 감축전략 고도화 기술개발」 과제(RS-2023-00245871)의 지원을 받아 수행되었습니다.

자율주행 이동식 로봇 충전기를 이용한 동적 전기 자동차 충전 방안

Dynamic Electric Vehicle Charging with Autonomous Mobile Robotic Chargers

서문정

(서울시립대학교 교통공학과,
박사과정)

이승현

(서울시립대학교 교통공학과,
부교수)

변지혜

(서울시립대학교 교통공학과,
부교수)

This study proposes priority-based charging strategy for autonomous mobile robotic chargers serving electric vehicle users. Our objective is to ensure the most possible number of accepted charging requests within dynamic charging environments and under time constraints. To achieve this objective, we determine the optimal visiting order for charging using a Dynamic Vehicle Routing Problem with Stochastic Requests. There are three primary contributions in the proposed charging strategy. Using data that contains binary integer variables, we first decide to accept or reject real-time dynamic charging requests. Next, the urgency of charging requests determines the priority of each electric vehicle for allocating the multiple autonomous mobile chargers. Lastly, mobile robotic chargers are examined for their battery levels and operational status, whether active or idle, before charging requests are accepted. The actual network of Vienna, Austria, is carried out to verify the generalization and applicability of the proposed charging strategy. Durability and Adaptiveness of the proposed framework to changes in the number of chargers and charging requests are demonstrated by the validation results. The validation results demonstrate the durability and adaptability of the proposed framework to changes in the number of chargers and charging requests. We also demonstrate that the more robot chargers there are, the more calculations are needed to assess charging possibilities. The proposed optimized charging strategy is expected to enhance user satisfaction by efficiently prioritizing and processing charging requests, while also supporting decision-makers in managing charger operational efficiency.

사사: This project has been funded by Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA, RS-2025-16066665) under the Driving Urban Transitions Partnership, which has been co-funded by the European Commission.

전기차 전환과 도시 미세먼지의 공간적 분포: 감가속 및 대기확산을 고려한 링크단위 분석

Electric vehicle adoption and the spatial distribution of urban particulate matter:
A link-level analysis incorporating acceleration dynamics and dispersion

조항훈

(한양대학교 도시공학과,
박사후연구원)

김성아

(한양대학교 도시공학과,
박사후연구원)

최성택

(한양대학교 도시공학과, 부교수)

전기차(EV)의 확산은 교통부문의 탈탄소화를 위한 핵심 전략으로 간주되며, 운행 과정에서 배기가스를 배출하지 않는다는 점에서 도시 대기질 개선에 기여할 것으로 기대된다. 그러나 이러한 평가는 주로 배기가스에 초점을 맞추고 있으며, 타이어 마모, 브레이크 마모, 도로 재비산 먼지와 같은 비배기가스 미세먼지는 상대적으로 충분히 고려되지 못하고 있다. 특히 전기차는 내연기관 차량보다 높은 차량 중량을 가지며, 이는 타이어 마모 및 재비산을 증가시킬 가능성을 내포한다. 따라서 전기차 전환은 대기오염을 단순히 감소시키는 것이 아니라, 오염원의 구성을 변화시키는 과정으로 이해될 필요가 있다. 또한, 도시 대기질은 일반적으로 도시 전체를 평균화한 지표로 제시되지만, 실제 미세먼지 농도는 공간적으로 균일하지 않다. 특히 교통량이 집중된 도로변에서는 평균 수준을 크게 상회하는 농도가 나타나며, 많게는 5배에서 20배까지 증가하기도 한다. 이러한 차이는 도시 대기오염이 단순한 평균값으로 설명될 수 없으며, 교통 흐름과 공간 구조에 따라 국지적으로 집중된다는 점을 보여준다. 따라서 전기차 전환의 효과 또한 도시 평균이 아니라 실제 노출이 발생하는 도로변 공간을 중심으로 재평가될 필요가 있다.

비배기가스 미세먼지는 교통량이나 평균속도와 같은 정적 지표만으로 설명되기 어렵고, 차량의 주행 행태, 특히 감속과 가속이 반복되는 동적 주행 패턴에 크게 의존한다. 도시 도로 네트워크에서는 신호체계, 교차로 밀도, 혼잡 등의 영향으로 감가속이 빈번하게 발생하며, 이 과정에서 타이어 마모 및 재비산이 증가한다. 이러한 메커니즘은 동일한 교통량을 가지는 도로라 하더라도, 감가속 패턴에 따라 미세먼지 발생이 크게 달라질 수 있음을 의미한다. 그러나 실제 도시 대기질은 단순한 배출량만으로 결정되지 않으며, 도로 주변의 대기확산 과정과 도시 미기후 조건에 의해 크게 영향을 받는다. 바람의 속도와 방향, 도로 주변 건물의 밀도 및 형태, 그리고 도로 구조는 미세먼지의 확산 및 축적 양상을 결정하는 핵심 요인으로 작용한다. 특히 도시 협곡(street canyon) 환경에서는 대기 정체로 인해 동일한 배출량이라 하더라도 더 높은 농도로 나타날 수 있다. 그럼에도 불구하고 기존 연구들은 배출량 추정에 집중하거나 확산을 단순화하여 처리함으로써 실제 노출 수준의 공간적 차이를 충분히 반영하지 못하였다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 감가속 기반 비배기가스 미세먼지 발생과 대기확산 과정을 통합적으로 고려한 링크 단위 분석 프레임워크를 제안하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 먼저 도로 네트워크 상의 각 링크에 대해 평균속도, 속도 변동성, 교차로 및 신호 밀도, 혼잡 수준 등을 활용하여 감가속 강도를 재구성하고, 이를 기반으로 링크 단위의 상대적인 미세먼지 발생 수준을 산출한다. 이후 도시 미기후 조건을 반영한 확산 모델을 적용하여, 각 링크에서 발생한 미세먼지가 주변 공간으로 어떻게 확산되고 축적되는지를 추정한다. 이 과정에서 전기차 전환 시나리오를 반영하여, 차량 중량 증가에 따른 타이어 마모 효과가 감가속 환경에서 어떻게 변화하며, 이러한 변화가 대기확산 과정과 결합되어 최종적인 미세먼지 농도에 어떠한 영향을 미치는지를 분석한다. 이를 통해 단순한 배출량 비교를 넘어, 실제 도시 공간에서 체감되는 대기질 변화를 평가하고자 한다. 이러한 분석을 통해 본 연구는 전기차 전환이 도시 대기질을 균일하게 개선하는 것이 아니라, 교통 동역학과 도시 공간 구조의 상호작용에 따라 공간적으로 상이한 영향을 미칠 수 있음을 규명하고자 한다. 나아가, 감가속을 최소화하는 교통 운영 전략과 함께, 대기확산을 고려한 도로 및 도시 설계가 필요함을 제시한다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2026-25492164)과 기후환경에너지부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원(RS-2022-KE002102)을 받아 수행된 연구임

다중 기기와의 실시간 무선 통신을 위한 한국형 DDS(int2DDS) 개발

Design and Implementation of int2DDS for Real-time Wireless Connectivity across Multi-device Environments

이정섭 (인텔렉투스, 수석)	박가희 (인텔렉투스, 수석)	권병현 (인텔렉투스, 책임)	이상웅 (인텔렉투스, 대표이사)
---------------------------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------

1. 서론

자율협력주행 및 스마트 교차로 등 지능형 교통 체계(ITS) 환경에서는 분산 노드 간의 통신 효율성과 신뢰성 확보를 위해 DDS(Data Distribution Service)가 널리 도입되고 있으나, 기존 상용 DDS는 무선 다중 접속 시 막대한 멀티캐스트 탐색 트래픽을 유발해 라우터의 패킷 차단 및 통신 단절을 초래하며 주류인 C/C++ 기반 미들웨어는 메모리 안전성에 취약하다는 한계를 지닌다. 이러한 통신 방해 및 소프트웨어 결함 문제를 동시에 해결하기 위해, 본 연구는 Rust 언어의 소유권 및 빌립 검사기 규칙을 도입해 오버헤드 없이 데이터 경합을 사전 차단하는 독자적 미들웨어 'int2DDS'를 제안한다. int2DDS는 안전한 멀티스레딩 구조를 기반으로, 라우터의 멀티캐스트 차단을 우회하는 브로드캐스트 탐색 아키텍처와 2.4GHz 대역의 간섭을 최소화하는 하이브리드 네트워크 설계를 적용하여 극심한 부하 상황에서도 100%에 가까운 탐색 성공률과 극대화된 실시간 통신 안정성을 확보하였다.

2. int2DDS 시스템 설계 및 구현

int2DDS는 Rust 언어의 소유권 규칙과 빌립 검사기를 적용하여 가비지 컬렉터 없이 메모리 누수 및 데이터 경합을 컴파일 단계에서 원천 차단하고, 제로 비용 추상화를 통해 C/C++ 수준의 고성능과 오버헤드 없는 안전한 멀티스레딩 환경을 구현하였다.

또한, 무선 트래픽 부하 시 공유기가 멀티캐스트 패킷을 차단하여 통신이 단절되는 기존 DDS의 구조적 한계를 극복하기 위해 노드 탐색(Discovery) 단계에 브로드캐스트 방식을 도입함으로써, 2.4GHz 대역의 극심한 환경에서도 라우터의 차단 정책을 우회하여 100%에 가까운 탐색 성공률을 보장하는 무선 맞춤형 아키텍처를 완성하였다.

3. 결론

기존 상용 DDS가 무선 환경의 멀티캐스트 차단으로 인해 30대 다중 기기 통신에 실패한 반면, int2DDS는 유일하게 실시간 데이터 송수신에 성공하며 그 우수성을 입증했습니다. 이어진 정량 평가에서 int2DDS는 유선(LAN) 환경 지연시간을 타 미들웨어 대비 43% 단축(0.08ms)하였고, 무선(Wifi) 환경에서는 최대 87% 낮은 지연시간(13.18ms)과 모든 조건에서 0%의 메시지 손실률을 기록하는 압도적인 성능을 보였습니다. 결론적으로 본 연구에서 제안한 int2DDS는 Rust 기반의 메모리 안전성과 무선 맞춤형 브로드캐스트 탐색 구조를 통해 다중 무선 접속 환경의 치명적인 단절 한계를 완벽히 극복하였으며, 실증된 초저지연성과 높은 신뢰성을 바탕으로 향후 지능형 교통 체계(ITS) 및 소프트웨어 중심 자동차(SDV) 인프라 발전에 핵심적인 역할을 할 것입니다.

사사: 이 논문은 2026년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2023-00277078, 자율주행을 위한 다중다중 센서 융합의 인공 신경망 구동 최적화 및 통합 인지 SW 기술 개발)

OcuSync 텔레메트리 신호의 복조 및 프레임 해석

Demodulation and Frame Structure Analysis of OcuSync Telemetry Signals

오기석

(국립한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정)

김정창

(국립한국해양대학교 전자전기정보공학부 교수)

OcuSync는 DJI 드론에서 영상, 제어, 상태 정보를 전송하는 데 사용되는 무선 통신 프로토콜이다. 이 가운데 텔레메트리 신호에는 기체의 위치, 속도, 고도와 같은 다양한 운용 정보가 포함된다. 드론 통신 프로토콜의 특성을 이해하고 비협조적으로 수집된 무선 신호로부터 의미 있는 정보를 추출하기 위해 이러한 텔레메트리 신호의 구조를 분석하는 것은 중요하다. 본 연구에서는 OcuSync 기반 드론 텔레메트리 RF 신호를 대상으로 물리 계층 복조부터 최종 프레임 해석까지의 전 과정을 수행하고 복원된 텔레메트리 프레임의 구조와 주요 필드를 분석한다.

전체 복조 과정은 크게 동기화(Synchronization) 단계와 복조 및 복호(Demodulation & Decoding) 단계로 나뉜다. 연구에서 대상으로 하는 OcuSync 프로토콜의 텔레메트리 신호는 총 9개의 OFDM 심볼로 이루어져 있다. 이 중 4번과 6번 심볼에는 Zadoff-Chu 시퀀스가 포함되어 있으며 이는 신호 검출 및 동기화 그리고 채널 추정 등에 기준 신호로 활용된다. 먼저 OcuSync 텔레메트리 프레임의 시작 위치를 추정하기 위해 입력 신호에 대해 Zadoff-Chu 시퀀스를 이용하여 타이밍 동기화를 수행한다. 이후 관심 신호 대역 외 불필요한 대역 성분을 억제하기 위해 Low-Pass Filter(LPF)를 적용한다. 그 후 반송파 주파수 불일치로 인해 발생하는 공통 위상 회전과 부반송파 간 간섭 영향을 줄이기 위해 주파수 오프셋을 보정한 뒤 OFDM 심볼을 분리한다.

복조 및 복호 단계에서는 무선 채널을 통과하는 과정에서 생기는 진폭과 위상에 대한 왜곡을 보정하기 위해 기준 심볼인 Zadoff-Chu 시퀀스를 이용하여 채널 추정 및 등화를 수행한다. 이후 등화 된 데이터 심볼에 대해 Quadrature Phase Shift Keying(QPSK) 복조를 수행하여 비트열로 변환한다. 변환된 데이터 비트열은 디스크램블링을 적용하여 송신단에서 부여된 스크램블링 효과를 제거한다. 이어서 rate de-matching을 수행하여 채널 부호화 이전의 비트 배열 구조에 맞도록 재배열한 뒤, turbo decoding을 통해 오류정정부호가 적용된 전송 비트열을 복원한다.

복호가 완료된 결과에 대해서는 Cyclic Redundancy Check(CRC)를 수행하여 프레임의 유효성을 판단한다. CRC를 통과한 프레임에 한해서는 frame parsing을 수행하며 이를 통해 메시지 타입, 버전, 시퀀스 번호와 같은 제어 정보뿐 아니라 위치, 속도, 고도, 시간 정보 등 실제 텔레메트리 필드를 추출한다. 이러한 과정을 통해 OcuSync 텔레메트리 신호로부터 유효 프레임을 복원하고 프레임 내부의 주요 정보 구조를 해석할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 비협조 드론 신호에 대해서도 물리 계층 복조와 상위계층 메시지 분석이 연계 가능함을 보였다는 점에서 의의가 있으며, 향후 드론 프로토콜 분석 및 텔레메트리 정보 추출 연구의 기반으로 활용될 수 있다.

참고문헌

- 1) 박세훈, 노영채, 이예철, 한태준, 김하진, 박미경, 정성훈, 최재혁, 김정창. (2024-06-26). "OcuSync 프로토콜 기반 드론 신호 검출에 관한 연구", 대한전자공학회 학술대회, 제주.
- 2) Bender, C. (2022). "DJI drone IDs are not encrypted", arXiv preprint arXiv:2207.10795.

사사: 이 성과는 정부의 재원으로 부산광역시의 지원을 받아 수행된 연구임(B0080324003866).

자기 상관 기반 LoRa 신호 파라미터 후보군 검출

Autocorrelation-Based Detection of LoRa Signal Parameter Candidates

노석현

(국립한국해양대학교
전자통신공학과, 석사과정)

오기석

(국립한국해양대학교
전자통신공학과, 석사과정)

김정창

(국립한국해양대학교
전자전기정보공학부, 교수)

영상 촬영 드론 관련 분야가 발전하며 이에 대한 관심이 늘어나고 있다(International Olympic Committee, 2026). 영상 촬영 용도로 사용되는 드론 중에는 First Person View(FPV) 드론이 있는데 일부 드론은 Long Range(LoRa) 프로토콜을 사용한다. 일반적으로 LoRa 프로토콜을 사용하는 드론은 다른 프로토콜을 사용하는 드론에 비해 적다. 그래서 LoRa 프로토콜을 사용하는 드론을 탐지하는 방법은 다른 드론에 비해 적게 다루어졌기에 LoRa 프로토콜 드론이 악용될 경우 이를 탐지하기 위한 방법이 부족하다. 이를 보완하고자 LoRa 신호의 자기상관 특성을 이용하여 탐지 방법을 보조하고자 한다.

LoRa 프로토콜은 시간에 따라 주파수가 선형적으로 변하는 chirp 신호를 이용하는 Chirp Spread Spectrum(CSS) 기반의 무선 통신 방식이다(Semtech, 2015). 대역폭(Bandwidth, BW)과 확산 계수(Spreading Factor, SF)에 따라 신호의 시간-주파수 구조가 결정되며, 이 값의 조합에 따라 시간축과 주파수축에서 관측되는 특성이 달라진다. 일반적으로 LoRa 프레임은 수신기 동기화를 위한 프리앰블 구간과 실제 데이터가 포함된 페이로드 구간으로 구성된다. 이 중 프리앰블 구간은 동일한 chirp 심볼이 반복되는 구조를 가지므로, 다른 구간에 비해 규칙성이 크고 뚜렷한 주기적 특성을 나타낸다. 이러한 반복 구조는 블라인드 환경에서 파라미터를 유추하는 데에 도움이 될 수 있다.

LoRa 프로토콜로 생성 가능한 모든 조합의 SF와 BW로 생성한 chirp 신호를 교차 상관 연산하여 신호를 탐지할 경우 많은 연산량이 요구되어 처리 효율이 저하될 수 있다. 하지만 SF와 BW 비율이 같은 경우 다른 파라미터임에도 불구하고 생성한 심볼 주기가 같다. 이 심볼 주기는 자기상관 연산을 통해 프리앰블 단으로부터 획득할 수 있는데 수신 받은 LoRa 신호의 파라미터 후보군을 줄일 수 있다.

이러한 방법은 LoRa 프레임의 프리앰블 반복성을 이용하여 자기상관 기반으로 한 심볼 주기를 추정하고, 이를 통해 BW와 SF 후보군을 효과적으로 축소한다. 이러한 방법은 LoRa 신호에 대한 파라미터 탐색 범위를 줄이고, 전체 신호 처리 효율을 높일 수 있는 전처리 방법으로 활용될 수 있다.

참고문헌

- 1) International Olympic Committee (IOC), "Innovative broadcast coverage bringing fans closer to action than ever before at Milano Cortina 2026," Feb. 2026. [Online]. Available: <https://www.olympics.com/ioc/news/innovative-broadcast-coverage-bringing-fans-closer-to-action-than-ever-before-at-milano-cortina-2026>
- 2) Semtech, "LoRa Modulation Basics," Application Note AN1200.22, pp. 1-7, May 2015. [Online]. Available: <https://www.semtech.com>

사사: 이 성과는 정부의 재원으로 부산광역시의 지원을 받아 수행된 연구임(B0080324003866).

양자-고전 통합 V2X 네트워크 제어/관리를 위한 환경 적응형 도로 유형 분류 및 링크 품질 분석 연구

A Study on Environment-Adaptive Road Type Classification and Link Quality Analysis for Integrated Quantum-Classical V2X Network Control and Management

김진욱

(한국자동차연구원, 책임연구원)

5G 및 차세대 6G 기반의 V2X(Vehicle-to-Everything) 기술은 차량 간(V2V), 차량-인프라(V2I) 등 다양한 시나리오에서 자율주행의 안전성을 극대화하는 필수 기술이다. 특히 최근 자율주행 차량의 제어권 탈취 방지 및 최고 수준의 보안 확보를 위해, 양자 암호 키 분배(QKD) 기술을 V2X 통신망에 융합하는 양자-고전 통합 네트워크 제어 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 양자 신호는 물리적 매질과 외부 환경 변화에 극도로 민감하여, 도심 건물이나 수목에 의한 전파 회절 및 차량 밀집도에 따른 동적 간섭은 양자 네트워크의 안정적인 세션 유지를 방해하는 가장 큰 난제이다. 본 연구는 이러한 복잡한 도로 환경에서 양자-고전 네트워크 슬라이싱 자원을 효율적으로 관리하고 최적의 라우팅 경로를 산출하기 위한 선행 단계로서, 환경 적응형 도로 유형 분류 기법과 실측 기반 데이터베이스 구축 방법론을 제안한다. 본 연구의 방법론은 도로의 지형적 특성과 실시간 교통 상황을 정량적 지표로 환산하는 데 초점을 맞춘다. 전파 회절 및 반사를 유발하는 '건물 및 나무 존재 비율'과 무선 자원 간섭을 유발하는 '차량 밀집도'를 핵심 지표로 선정하고, 이를 각각 '상, 중, 하' 3단계로 세분화하여 총 9가지의 표준 도로 환경 유형을 정의하였다. 수집된 방대한 실측 데이터를 직관적이고 효율적으로 저장하기 위해 도로, 차선, 순서 인덱스가 결합된 위치 기반의 'A-Index' 규칙을 새롭게 도입하였으며, 차량의 정차 및 주행 상태를 구분하여 도플러 효과 등 동적 채널 변화 특성까지 분리 관리하도록 설계하였다. 나아가, 본 연구는 각 도로 유형별 대표 지역에서 신뢰성 높은 링크 품질 데이터를 수집하기 위해 구체적인 송수신 프레임 포맷과 세 가지 실측 측정 모드를 제안한다. 송신 프레임에는 위치, 송신 출력, 안테나 각도(Boresight) 정보를 포함하고, 수신 프레임에는 도출된 수신 감도(RSRP) 및 Pathloss를 기록하도록 정의하였다. 효율적인 측정 수집을 위해 제어 장비가 통제하는 '중앙집중식 모드', 개별 차량 간 임의로 송수신하는 '분산식 모드', 지정된 영역에서 송신을 시작하는 '독립형 모드'를 제안하여 데이터 확보 유연성을 극대화하였다. 이러한 세밀한 환경 적응형 링크 품질 데이터베이스는 향후 소프트웨어 정의 네트워크(SDN) 기반 양자 네트워크 컨트롤러가 각 도로 구간의 물리적 환경 신뢰도를 실시간 파악하는 데 활용된다. 이는 양자 채널의 품질 저하가 예상되는 구간에서 고전 채널로 신속하게 경로를 전환하는 지능형 제어 알고리즘의 핵심 판단 근거가 된다. 제안된 분류 기법과 실측 체계를 통해 V2X 서비스 제공자는 전수 실측에 필요한 막대한 비용과 인력 소모를 획기적으로 절감할 수 있으며, 궁극적으로 본 연구는 「한미 전략기술 선행표준화 공동연구사업」의 핵심 목표인 고신뢰 양자 네트워크 라우팅 및 제어/관리 기술의 표준 모델을 정립하는 중요한 기술적 토대가 될 것이다.

사사: 본 연구는 과학기술정보통신부(한국연구재단)의 「한미 전략기술 선행표준화 공동연구사업」 지원을 받아 수행되었습니다(과제번호: RS-2025-16067207, 양자 네트워크 라우팅 및 제어/관리 핵심 기술과 표준 개발). 해당 과제는 고려대학교 세종산학협력단 주관, 한국자동차연구원 공동 참여로 진행되었습니다. 또한, 본 연구는 산업통상자원부의 산업기술국제협력 사업(2024년도 한-미 국제공동기술개발) 지원을 받아 수행되었습니다(과제명: AI 기반 다이나믹 B5G/6G 네트워크 슬라이싱 기술을 이용한 원격제어차량 기술 개발). 해당 과제는 한국자동차연구원 주관으로 진행되었습니다.

일반화 비용 기반 소존 단위 도심항공교통 수요추정 방법론 개발

Development of a generalized cost based Urban Air Mobility demand estimation methodology at Small sized zones

방태원

(계명대학교, 석·박사통합과정)

도우석

(계명대학교, 조교수)

권오훈

(계명대학교, 부교수)

도심항공교통(Urban Air Mobility, UAM)은 도심 내 주요 거점을 연결하고 사람 또는 화물을 운송하는 수직 이착륙 항공 운송 수단으로 고속성, 공간효율성, 환경친화성 등의 이점을 통해 미래형 교통체계의 핵심 기술로 주목받고 있다. 국토교통부는 '한국형 도심항공교통(K-UAM) 기술로드맵'을 발표함에 따라 국가 R&D 사업의 성과 및 효율성 증대를 목적으로 UAM 상용화를 추진하고 있다. 대구광역시도 5대 신 산업에 미래 모빌리티를 포함하고, UAM 시스템 구축을 위해 다양한 R&D 사업과 프로젝트에 투자하고 있으며, 2030년 개항을 목표로 하는 대구-경북 통합 신공항의 접근수단으로 UAM 도입을 추진하고 있다. 이에 UAM 시장 규모가 성장하고 있는 현시점에서 초기 인프라 구축에 소요되는 투자비용 대비 경제성을 확보하고 성공적인 UAM 상용화를 도모하기 위해서는 정확한 UAM 수요 예측 및 최적 버티포트(Vertiport) 위치 결정에 대한 선제적 연구가 필수적이다.

UAM 수요 추정의 중요성과 함께 국내·외의 다양한 연구는 잠재선호(Stated preference, SP) 조사와 로지스틱 회귀모형을 활용하여 UAM 수요를 추정하고 있다. SP 조사는, 실제 이용자료가 부족한 신교통수단의 잠재수요와 수단선택 특성을 파악하기 위해 잠재수요자의 선택 의향을 조사하는 방법이다. 그러나, 응답자의 UAM 서비스에 대한 이해도 차이, 가상 상황에서의 응답 편향, 조사설계의 영향 등으로 인해 SP 조사 결과는 실제 선택 행태와 차이를 보일 수 있으며, 이러한 이유로 UAM 도입 이후 이용자의 실제 선택 행태에 대한 예측 정확성이 떨어질 수 있다.

따라서, 본 연구는 SP 조사를 활용하지 않고 국가교통DB(Korea Transportation Database, KTDB) 기반의 대구시 소존 체계와 통행시간, 통행비용, 통행자의 시간가치 등의 실증 데이터, 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 활용하여 통행수단 및 경로별 일반화 비용(Generalized cost)을 추정하고, 이를 기반으로 소지역 단위의 UAM 수요를 분석한다. 통행 시나리오는 대구시에서 발표한 도심 내 버티포트 후보지와 신공항을 연결하는 에어셔틀 형태의 UAM 서비스를 대상으로 각 행정동의 통행자가 활용할 수 있는 기존 교통수단과 UAM 간 통행시간 및 일반화 비용을 비교한다. 기존 교통수단은 승용차, 택시, 버스를 포함하고 UAM 버티포트 접근수단 또한 기존 교통수단과 동일하게 고려하여 분석을 수행한다. 본 연구는 UAM 수단전환에 필요한 기대 시간가치를 추정한 후, 통행자가 효용을 극대화하는 수단을 선택한다는 효용이론(Utility theory)에 기반하여 확률밀도함수(Probability density function, PDF)를 활용하여 개별 통행자가 기대 시간가치 이상을 가질 확률, 즉 UAM 선택 확률을 추정한다. 이때 PDF는 지역별 소득 차이를 반영하기 위해 토지지가, 주거지 특성 및 인구수 등의 데이터를 활용하여 대구시 월소득분포를 행정동 단위로 세분화하여 추정한다.

UAM 버티포트 접근수단의 경제성을 분석한 결과, 통행시간 및 비용 절감을 위해 택시를 이용하여 버티포트로 이동하는 것이 경제적인 것으로 나타났다. 승용차는 주차비, 유류비 등 추가 비용으로 인해 택시 대비 높은 통행비용을 요구한다. 버스는 버티포트 접근시간이 오래 걸려 UAM으로 줄이는 통행시간을 상쇄하여 경쟁력이 없는 것으로 나타났다. 국토교통부에서 제시한 UAM 상용화 중기 시나리오의 UAM 통행비용인 2,000원/km를 적용했을 때, 대구시의 기존 승용차 이용자는 평균 45만원/시간, 기존 택시 이용자는 평균 28만원/시간, 기존 버스 이용자는 평균 12만원/시간 이상의 시간가치를 가져야 UAM으로 수단전환을 고려할 수 있다. 이를 활용하여 UAM 선택 확률을 도출한 결과, 대구시는 UAM 잠재수요자의 기대 시간가치가 높아 전반적인 UAM 수요가 낮을 것으로 예상된다. 버티포트별 이용자가 가정 범위 외곽 지역은 택시 요금 및 접근시간 증가로 인해 UAM 수요가 감소하는 결과를 보였으며, 버티포트 인접 존은 접근 편의성에도 불구하고 충분한 UAM 수요를 확보하기에는 한계가 존재한다.

본 연구는 대구시 도심과 신공항 연계형 UAM 수요추정 시 활용할 수 있는 기초데이터를 활용하여 기존 UAM 수요추정 연구에서 사용한 SP 조사를 사용하지 않고 일반화 비용 기반의 수요 추정 방법론을 개발했다. 본 연구의 수단별 수요자의 UAM 활용을 위한 최소 기대 시간가치와 개별 UAM 접근성 결과는 향후 UAM 노선 및 버티포트 위치 결정 시 중요한 지표가 될 것으로 기대한다.

사사: 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(RS-2025-24913021)

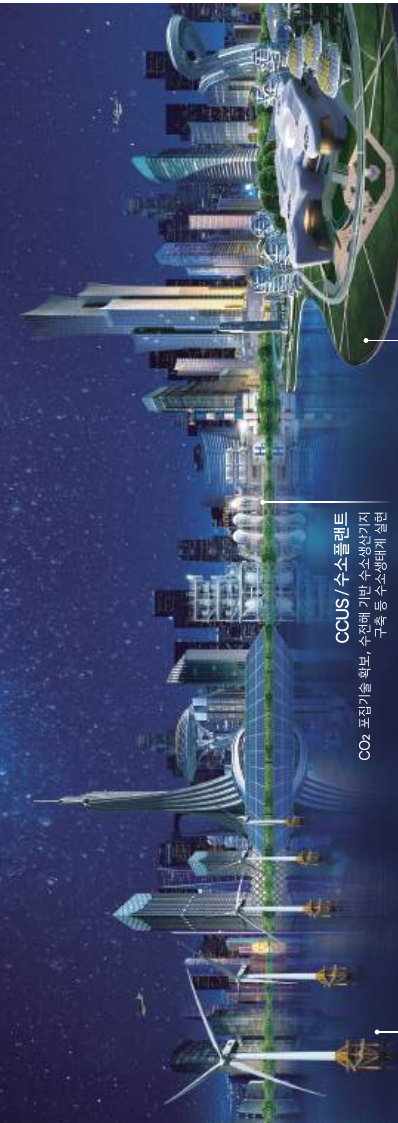
별이 빛나는 밤, 현대건설로부터

태양과 바람이 에너지를 만드는
미래 스마트 도시

탄소 발자국은 점점 사라지고
별빛이 드러납니다.

우주에서 가장 반짝이는 지구,
현대건설이 만듭니다.

| 지구의 Green Creator 현대건설 |



신재생 에너지
해상풍력, 태양광 등 친환경 재생에너지
사업 및 전력중개사업 추진

CCUS/수소플랜트
CO₂ 포집기술 확보, 수전해 기반 수소생산기지
구축 등 수소생태계 실현

자세히 원전사업
국내 건설사 최초 소형모듈원전(SMR) 상용화
세계 및 원전 발류제인 확장

세계로 나아가는 평택항

안전하고 신속하게 평택·당진항으로 인도합니다



평택 · 당진항도선사회

회장 박원배

- 도선사-

- 함병주 전복연 장진수 최병선 권혁길 김승범 권영호
- 문종일 김호석 김동욱 곽 훈 문태림 전현철 박형진
- 천도선 송두현 김현수 임창수 조준오 장성욱 성 준
- 서형주 박주석 안요한 김현승 이승협 황진호

The road to AX of the transport system

SONGAM SYSCOM



Created by Songam with AI



지능형 교통 시스템

스마트교차로, 자율주행시스템



버스정보시스템

스마트벨터, BIT, OBE



교통안전시스템

스마트스쿨존, 스마트횡단보도



Network Switch

산업용 L2스위치, 제어함체부장비



Wireless Solution

PS-LTE 기지국, LTE 라우터

송암시스콤주식회사

본사: 충청 권원특별자치도 원주시 문익음 동화공단로 32
연 구 소 경기도 성남시 분당구 판교로228번길 17 천교세븐백리 2단지 1층 8층



사람을 잇다 기술을 잇다 시간을 잇다

기술을

이

기술

고객과 함께 성장하는 회사,
최상의 IT서비스 구축

변화의 중심에서 고객의 가치창출을 위한
시스템과 서비스를 지속적으로 개발하는 IT 전문기업

ITS, BIS, GIS, GREEN IT, R&D 관련분야의 특화된 전문기술, 인력,
실적을 바탕으로 공공 솔루션 개발 및 시스템 통합에 주력하고 있습니다.

주식회사 트라콤, 경기도 안양시 동안구 시민대로 401(관양2동 224-5) 대륭테크노타운 15차 1501호, 14057
T E L : 031.399.8877 | F A X : 031.399.8878
Homepage : www.tracom.co.kr | Contact us : tracom@tracom.kr



앞선 기술로 세상의 기준이 된다

건설 Convergence 4.0

나만을 이끌어 갈 첨단 산업과 세계 일류를 선도하는 GS건설의 완벽한 운영/미래를 향한 GS건설만의 앞선 기술이 인류의 위대한 역사를 창조하고 있습니다



- Infra
- Eco
- Plant
- Architecture
- Leisure

여름방학 & 추석 특집 크루즈

벨리시마호 부산 출발-도착

5박 6일

일자	항구	도착	출발
8월 11일 (화)	부산	-	21:00
8월 12일 (수)	후쿠오카	07:00	21:00
8월 13일 (목)	해상	-	-
8월 14일 (금)	상해	07:00	17:00
8월 15일 (토)	제주	14:30	22:00
8월 15일 (토)	부산	10:00	-

4박 5일

일자	항구	도착	출발	
8월 21일	9월 2일	9월 10일	부산	21:00
8월 22일	9월 3일	9월 11일	해상	-
8월 23일	9월 4일	9월 12일	상해	07:00
8월 24일	9월 5일	9월 13일	제주	14:30
8월 25일	9월 6일	9월 14일	부산	10:00

추석 5박 6일

일자	항구	도착	출발
9월 23일 (수)	부산	-	20:00
9월 24일 (목)	해상	-	-
9월 25일 (금)	상해	07:00	17:00
9월 26일 (토)	해상	-	-
9월 27일 (일)	후쿠오카	07:00	20:00
9월 28일 (월)	부산	10:00	-

내륙 179만원 ~ / 오션북 199만원 ~
/ 북포니 239만원 ~

부산 출발 / 속도 도착

부산항 - 후쿠오카 - 가나자와 - 전원해상 - 속조항
2026년 8월 8일 - 12일

일자	항구	도착	출발
1일차 (08/8)	부산항	-	21:00
2일차 (08/9)	후쿠오카	08:00	15:00
3일차 (08/10)	가나자와	15:00	22:00
4일차 (08/11)	전원해상	-	-
5일차 (08/12)	속조항	07:00	-

내륙 139만원 ~ / 오션북 149만원 ~
/ 북포니 179만원 ~

크루즈 전문기업
주식회사 부산티엔씨
010-2127-9334
busancruise@naver.com
https://www.goerulise.kr/

☆문의☆

MSC Bellissima



아시아 최고의 크루즈
MSC 벨리시마호
2026년 8월 ~ 2026년 9월 | 부산 > 상해 > 부산

Asia Best Cruise Ship MSC Bellissima
2024 & 2025 ASIA CRUISE AWARDS

171,598GT 315m x 65m 19~ 2,217# 5,665# 1,596#

무게(톤) | 길이(미터) | 폭(미터) | 객실수 | 승객수 | 승무원수



ITS 학회 회원
20만원 할인 찬스!!

어버이날 특별 크루즈

COSTA CRUISE
코스타 세레나호
COSTA



작품이 되는 여행, COSTA SERENA

미식과 예술, 낭만이 흐르는 신상 위 여행

트루(GT) | 길비/폭 | ← → | 114,500GT | 200m/35.5m | 17중 | 1,500인 | 3,789인 | 1,100명

승무원수 | 승객수 | 객실수 | 중수 | 승무원수

데이터 기반 교통·물류 정책과 전략의 해답

SP 조사 분석(CE·CVM) × STP 분석·전략 | 교통·물류 부문 공공정책 전문

교통·물류

학술연구

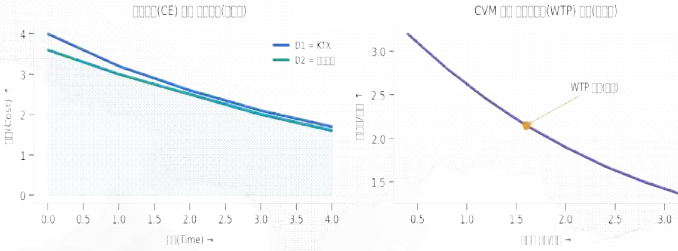
SP(CE·CVM)

STP 전략·분석

교통·물류 연구를 위한 설문조사 및 데이터 분석을 '차원이 다르게' 설계·제공합니다

SP 조사 분석 (CE · CVM)

- 선택실험법(CE)·조건부가치추정법(CVM) 기반 수요·가치 추정
- 교통수단 선택행태 분석, 시간가치(Value of Time)·탄력성 검증
- 정책·신교통수단·요금체계·서비스 도입 타당성 평가



STP 분석 및 전략

Segmentation

행태·태도·이용 목적 기반 시장/이용자 세분화
Factor analysis, Cluster analysis, Conjoint analysis 등 활용

Targeting

전략성 평가 기반 핵심 타겟 정의
Decision Tree 등 활용

Positioning

정량 근거로 정책·서비스·브랜드 전략 도출

- 시장·제품·서비스 기회 탐색 및 전략 과제 도출
- 세분시장별 포지셔닝과 실행(마케팅 믹스/정책 패키지) 제안

데이터로 교통을 읽고, 전략으로 미래를 설계합니다.

(주)GRI리서치

서울시 강남구 논현로 543(역삼동) 은주빌딩 2층 (06126)
T. 02-6263-7000 | M. 010-6263-4444 | E. donald@grikorea.co.kr

GRI Research
Global Revolutionary Insight

INTERNATIONAL
CONVENTION
DAEJEON

Your Next Convention Destination.

글로벌 과학 MICE 중심도시, 대전

원스톱(One-Stop)
국제회의 지원제도

중부권 최대규모
국제회의 복합지구

행사별 맞춤형
관광 프로그램 운영

전문성 있는
MICE 인력 지원

대전광역시
DAEJEON METROPOLITAN CITY

대전관광공사

대전관광공사 MICE부로팀

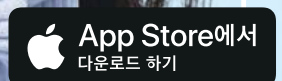
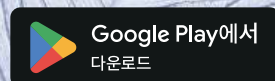
전화: 042-250-1320~9

이메일: micedaejeon@djto.kr

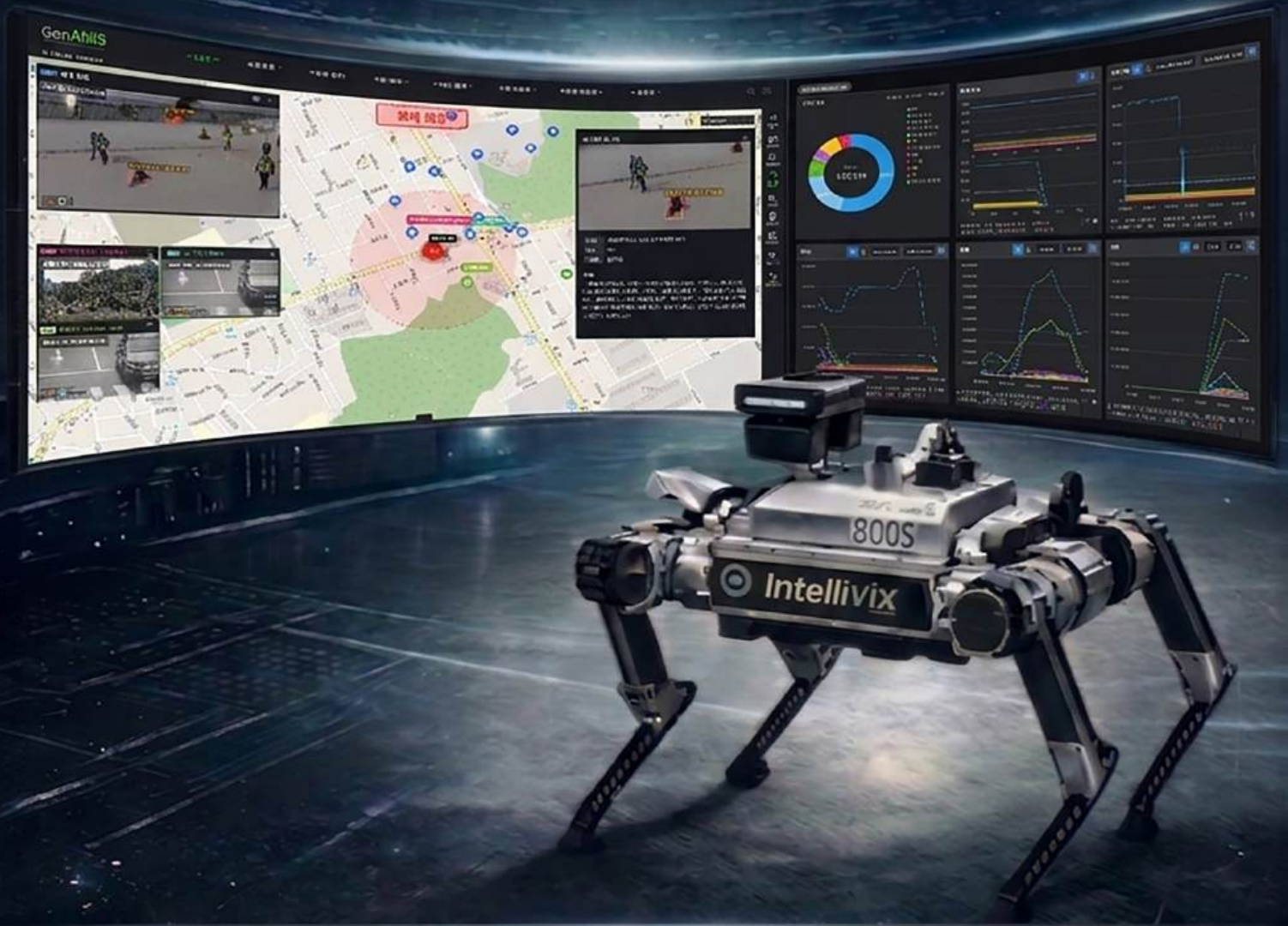


낮선 도시, 교통카드 걱정없이

모바일 하나로
전국 이동·결제 끝



저희 인텔리빅스는 AI 안전 딥테크 기업입니다



AI 영상 관제 플랫폼 “GenAMS”
Physical AI “ARGOS”

AI 영상분석 · GIS · 생성형 AI 리포트

공공안전 · 스마트시티 · 산업 모든 분야 안전 AI 솔루션 제공

업계 1위
풍부한 수행실적

+

A+등급
안정적 신용평가

+

상위 0.001%
기술력 보유

30여년의 지속적인 성장 노하우로 다양한 IT 솔루션 통합 구현을 선도

미래형 ITS

AI 스마트 교차로
기반



차세대 ITS

V2X 통신 기반
미래형 자율협력주행



첨단형 BIS

ICT & IoT & GNSS
융복합 기술 적용



스마트시티

IoT & 알고리즘
기술 융합



SINCE 1989

30년 이상 업력의
강소기업

사회적 공헌

LED 이해를 돕기위한
LED스퀘어 개관

산학 클러스트

서강대, 한성대, 부산대,
인덕대 등 25개 대학교

ITS 기업유일

산업융합선도기업 지정
산업융합 대통령 표창
(2019년 수상)

문의 스마트 SI본부 김현구 이사 (010-9770-5080) | 스마트 SI본부 박은희 차장 (010-9509-9878)

서울본사 서울시 영등포구 경인로 775, 1동 119호 (문래동 3가, 에이스하이테크시티)

파주사옥 경기도 파주시 회동길 521, 4층 (문발동, ST빌딩) | 파주공장 경기도 파주시 소라지로 195번길 113 (신촌동)

MyEcoTrip서비스
탄소중립 실천을 위한 Sustainable MaaS Service

K-패스
The 경기패스, 인천 I패스 등



Autonomous Traffic

교통관제, 교통약자 지원, 혼잡도 판단
AI기반 교통 분석 및 운영

대중교통 환급 정책 지원
교통 마이데이터 서비스

교통 데이터 기반 **SOLUTION** 전문 기업

SOUL (주)소울인포테크
INFORMATION TECHNOLOGY



LEADING Business Transformation

고객의 Business Transformation을 Leading하는 서비스 기업,
롯데이노베이트입니다.



롯데이노베이트



Technology & Service

품질과 신뢰를 제일로 하는 기업

기술제일주의, 사람중심주의 정신을 바탕으로
끊임없는 기술혁신을 통해 고객의 가치를 창조하는 기업이 되겠습니다



사업영역 엔지니어링 사업은 물론 교통시스템 개발 및 운영유지를 수행하는 토탈 엔지니어링 기업



교통계획
도시계획



교통R&D



교통신호운영



교통안전시설
설계/감리



모빌리티
ITS[C-ITS]



스마트시티



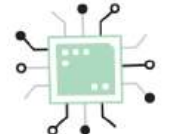
센터 유지관리



공공디자인



정보통신공사



소프트웨어 사업

☎ 02-3431-3703

☉ **지사** 서울시 강동구 고덕비즈밸리로26 (강동U1센터 B동 1101~7호)

☉ **본사** 울산시 남구 월평로48번길 17-1(신정동,5층)

동림TNS 바로가기



AI전환을 지원하는 AI Transformation Partner

SKT Enterprise

제조

강력한 Connectivity와 최첨단 반도체 공장에 적용한 AI/Big Data 기반의 제조환경을 만들어 드립니다.

물류

Digital Infra와 AI/Big Data 기반의 솔루션과 이적재 로봇으로 효율은 올리고 비용은 줄이며 사고는 방지해드립니다.

금융

Hybrid Cloud와 통신 Data 기반의 초개인화 기술을 적용한 AI컨택센터 등 금융서비스를 지원합니다.

미디어/게임

방대한 Data 전송 처리가 가능한 Connectivity와 미디어/게임에 최적화된 Cloud와 AI 기술을 제공합니다.

공공

국가/사회가 필요로 하는 유무선 기반의 NSI 사업 뿐만 아니라, AI 기반의 Digital 서비스 구현으로 사회문제 해결을 위해 노력합니다.

Data Center

AI 기반 DCIM, 최신 냉각 솔루션 기반의 Global Top 수준의 최첨단 무중단 Data Center 서비스를 제공합니다.

고객사 진단 및
솔루션 제안

기업 특화
솔루션 설계 및 구축

AI 기반
서비스 운영

AI로 당신의 비즈니스를 바꾸는 AIX Partner,
SKT Enterprise와 함께 하세요.

SKT
Enterprise
AIX Service

큐레이터와 전화상담을 하시면
더욱 상세한 상담을 받으실 수 있습니다.



"처음이어도 안심할 수 있는
크루즈 전문가들의 세심한 큐레이션 서비스"

새로운 삶의 가치와 경험을 만들어드립니다.

세계일주 크루즈

한국어 공식 언어 채택, 유일한 세계일주 크루즈
1년에 100명 이상의 대한민국 크루즈 여행자가
저희와 함께 세계일주 크루즈를 경험하십니다.

정통 알래스카 크루즈

150년의 오랜 역사로 알래스카 항로를 최초 개척한
프리미엄 크루즈 선사와 함께
진정한 알래스카 크루즈를 경험하세요.

스페셜 테마 크루즈

- 남태평양 타히티 크루즈
- 동·서부 지중해
- 글로벌 프렌드-쉽 크루즈
- 디즈니 크루즈
- 럭셔리 익스페디션(탐험) 크루즈

한국 출 · 도착 크루즈

항공편 이용 없이, 가볍게 시작하는 크루즈!
크루즈 여행에 입문하기 딱 좋은 상품
가족여행으로 추천드립니다.



마이크루즈북
MYCRUISEBOOK

크루즈 전문 기업 (주) 위플릿 | Weefleet

1551-5378

www.mycruisebook.com



플랫폼화된 통합 교통서비스와 디지털트윈 기반 시뮬레이션으로

Unmanned Mobility 시대를 열어가는



Agent + Biz Platform

AI Agent 기반 업무 자동화와
협업 시스템을 통해 기업의 생산성과
의사결정 효율을 극대화합니다

AI Data Platform

다양한 데이터를 수집·정제·관리하여
AI 활용을 위한 안정적인 데이터
기반을 제공합니다.

Industrial Safety AI

산업 현장의 위험 요소를 실시간으로 감지하여
사고를 예방하고 안전한 작업 환경을
제공합니다.

Vision Intelligence Platform

영상 분석 기반 객체 인식 및 이상행동
탐지를 통해 안전 관리와 운영 효율을
동시에 향상시킵니다.

Enterprise AI Platform

LLMOps, RAG, AI Agent 기반의
생성형 AI 플랫폼으로 기업 맞춤형
AI 서비스 구축과 운영을 지원합니다

Mobility Intelligence Platform

교통·위치·공간 데이터를 기반으로
시공간 분석 및 예측을 수행하여
스마트시티, 자율주행,
차세대 모빌리티 서비스를 구현합니다.

Smart Infrastructure for Autonomous Future

단순히 차량 기술을 넘어, 자율주행차가 안전하게 달릴 수 있는 도로 환경(C-ITS)과 이를 관리하는 통합 관제 플랫폼의 리더



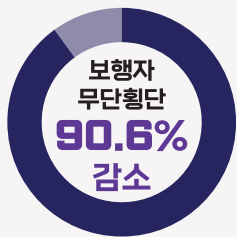
엔제로 자율주행 표준 관제 플랫폼(NZero C-ITS)

기술적 자긍심 (Technological Pride)

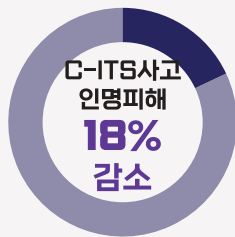
- K-City(자율주행 실험도시) 통합관제시스템 유지보수 및 환경 구축
- 자율협력주행 표준 관제 기술 선도
- 공인된 기술 신뢰도 및 R&D역량



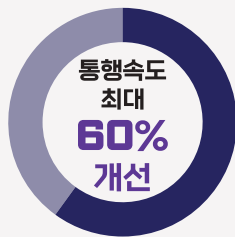
데이터로 증명된 가치 (Proven Results)



강릉시
AI기반 보행자 검지로 시간내 건너지 못하는 보행자 65.4% 감소를 통한 교통약자 안전확보



서울시
서울시 C-ITS 구축 구간 노선버스 인명피해 18% 감소 및 사고 심각도(EPDO) 22% 감소 달성



경주시
스마트 신호 최적화 기술 적용으로 통행시간을 단축하여 APEC 정상회의 기간 쾌적한 이동 환경 완성

글로벌 표준의 중심 (Global Standards)



2025경주 APEC정상회의 완벽 지원
VIP 이동 편의 및 자율주행 셔틀의 안정적인 운행관제를 통해 APEC 성공 지원



2026강릉 ITS세계총회 핵심 파트너
중소도시형 ITS 모델의 표준을 제시하여 강릉시 ITS세계 총회 완벽 준비 및 대응 체계 유지

비전 및 정보 (Vision & Info)

Noise Zero, 결점 없는 데이터로 미래를 그린다

사고 없는 도로와 완벽한 플랫폼 기술로 글로벌 모빌리티 파트너로 도약하겠습니다.

DESIGNING SPACES, BUILDING TRUST

아이엘아이앤디(주)

VISION | 공간가치창조

사람과 자연을 고려한 설계와 신뢰 기반의 시공을 통해 공간의 기능적·감성적 가치를 지속적으로 높여가는 기업

MISSION | 신뢰받는 솔루션 제공

합리적인 설계, 우수한 자재 선정, 숙련된 기술력을 바탕으로 고객에게 만족과 신뢰를 주는 공간을 구현한다.



DESIGN

공간기획 · 인테리어 · 설계

→ 효율성과 감성을 동시에 고려한 공간 창출



ENGINEERING

기계설비(HVAC) 통합설계 및 시공

→ 공간과 설비의 최적화 구현



PROCUREMENT

자재조달 · 품질관리

→ 프로젝트 맞춤형 공급 및 관리

단순 이동에서 통합 서비스(MaaS)로 모빌리티 패러다임의 대전환

서울시내버스가 첨단 교통 기술 활용으로
대중교통의 새로운 표준을 제시합니다.



버스 정보시스템(BIS)

- GPS 기반 실시간 버스 위치 정보 수집 및 가공
- 승객에게 정확한 도착 예정 정보 제공



태그리스 결제 시스템

- 36개 노선 597대 시범 운행 중
- 멈춤 없는 이동 (Seamless Mobility)



수요응답형 교통 서비스(DRT)

- 이용자 기반 심야수요 맞춤형 배차
- 대중교통 사각지대 해소(안심귀가)



자율주행버스 운행

- 'K-자율주행 생태계 상생발전' 업무협약(MOU) 체결
- 새벽동행 자율주행버스 운행 협업

기술로 잇고, 신뢰로 움직입니다.
대한민국 ITS의 중심, 서울시내버스가 함께합니다.



가이드하우스 2025 자율주행 리더보드 세계 7위 달성

가능성을 현실로 만드는 기업 오토노머스에이투지

자율주행 분야 최초 '국가핵심기술 UAE 수출' 승인
일본 '무인택시' · 싱가포르 '무인배송·물류' 실증 착수



CONNECTING, SHARING & SHOWING

공간정보로 연결하고, 공유하고, 볼 수 있는 세상



← **하늘 - 땅 - 바다 - 지하 - 메타버스 공간** →