교통사고 유발 도로노면 위험요소 저감기술 개발

양성린 KICT 도로교통연구본부 수석연구원

들어가며

기후변화로 인한 폭우와 폭설, 급격한 기온 저하는 도로 노면 환경을 빠르게 악화시키고 있다. 특히 야간 강우와 겨울철 결빙 구간에서의 교통사고는 일반 사고 대비 사망률이 두 배 이상 높게 나타나며, 최근 5년간 결빙 교통사고는 4,932건, 사망자 122명에 달한다. 결빙 사고의 치사율은 전체 평균보다 약 1.5배 높고, 서리·블랙아이스 사고는 적설 사고보다 2.84배 높은 치사율을 보인다.

이러한 통계는 도로노면 상태가 단순한 유지관리 문제가 아니라, 국민 생명과 직결되는 핵심 안전 인프라임을 보여준다. 그러나 현재 대응 방식은 여전히 제설·염화칼슘 살포 중심의 사후 조치에 머물러 있으며, 체계적인 진단과 예측 기반 관리 시스템은 미흡한 상황이다. 도로노면 위험요소를 상시적으로 감지하고, 발생을 사전에 지연·저감하는 능동형 기술 체계로의 전환이 요구된다.

연구단은 이러한 문제를 해결하기 위해 도로노면 위험요소 저감을 위한 전주기 기술 체계를 구축하고 있다. 목표는 단순 기술 개발이 아니라, 위험요소를 상시·능동적으로 관리할 수 있는 통합 시스템을 완성하는 것이다.

연구는 크게 세 개의 구성기술로 체계화되어 있다. 첫 번째는 도로노면 위험요소의 정밀 진단과 평가, 두 번째는 결빙 저감을 위한 기능성 포장 기술 개발, 세 번째는 실증 및 제도화 기반 구축이다. 이는 단일 기술이 아니라, 진단에서 현장 적용까지 연결되는 구조적 접근이라는 점에서 의미가 있다.

첨단 조사차량과 AI 기반 통합 플랫폼을 활용한 도로노면 위험요소 진단 및 관리 기술

도로노면 위험요소를 효과적으로 저감하기 위해서는 위험요소의 위치와 상태를 정확하게 진단하고, 이를 체계적으로 관리할 수 있는 기술이 필수적이다. 기존에는 인력 중심의 현장 조사 방식에 의존하여 노면 상태를 평가해 왔으나, 조사 범위와 정확도, 데이터 활용 측면에서 한계가 있었다.

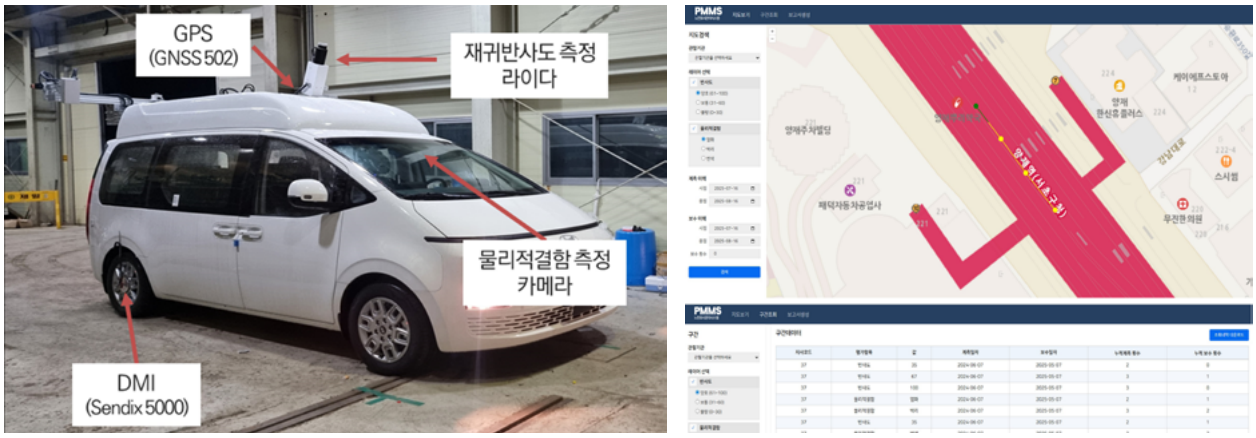
이를 해결하기 위해 연구단은 첨단센서를 탑재한 이동형 조사차량 기반 도로노면 위험요소 조사 기술을 개발하고 있다. 조사차량은 주행 중 노면표시 재귀반사도, 표면 손상 상태, 위치 정보 등 다양한 노면 상태 데이터를 실시간으로 수집할 수 있으며, 다차로 동시 측정이 가능한 복합 조사 기술을 통해 기존 대비 조사 효율성과 정확도를 크게 향상시킬 수 있다.

수집된 데이터는 AI 기반 분석 기술을 통해 자동으로 처리되며, 노면표시의 시인성 저하, 열화 상태, 위험구간 등을 정량적으로 평가하는 데 활용된다. 이러한 분석 과정을 통해 도로노면 위험요소를 신속하고 객관적으로 식별할 수 있으며, 유지관리 필요 구간을 효율적으로 도출할 수 있다.

또한 분석된 데이터는 도로노면 위험요소 통합 관리 플랫폼으로 전송되어 체계적으로 저장 및 관리된다. 관리자는 플랫폼을 통해 위험요소의 위치와 상태를 직관적으로 확인할 수 있으며, 시간에 따른 변화 추이 분석과 유지관리 계획 수립에 활용할 수 있다. 이러한 디지털 기반 관리체계는 기존의 사후 대응 중심 방식에서 벗어나, 위험요소를 사전에 파악하고 대응할 수 있는 예방 중심 도로 유지관리 환경을 가능하게 한다.

이와 같이 조사차량, AI 분석, 통합 관리 플랫폼으로 연계되는 기술은 도로노면 위험요소를 체계적으로 진단하고 관리할 수 있는 핵심 기반 기술로, 향후 스마트 도로 인프라 구축과 자율주행 환경 대응을 위한 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

[그림 1] 도로 노면 위험 요소 조사/검지 차량 및 통합 플랫폼



기능성 첨단소재 기반 도로노면 결빙 저감 및 능동형 대응 포장 기술

겨울철 도로노면 결빙은 차량의 제동력과 조향 안정성을 저하시켜 교통사고를 유발하는 주요 원인으로, 기존의 염화칼슘 중심 제설 방식은 시설 부식, 환경오염, 유지관리 비용 증가 등의 한계를 가지고 있다. 이에 따라 도로노면 자체의 온도 특성과 결빙 특성을 제어할 수 있는 기능성 포장 기술과 친환경 결빙 저감 기술의 개발이 요구되고 있다.

연구단은 캡슐화 상변화물질(ePCM)을 활용하여 외기온도 변화 시 열에너지를 저장하고 방출함으로써 노면 온도 저하를 완화하고 결빙 발생을 지연시키는 기능성 포장 기술을 개발하고 있다. 또한 염화물 사용을 최소화한 친환경 저염화물 기반 결빙 저감 소재를 적용하여 기존 제설 방식의 환경적 영향을 줄이면서도 결빙 억제 성능을 확보할 수 있도록 하고 있다.

이와 함께 전기 인가 방식의 면상발열모듈을 도로포장 내부에 적용하여 필요시 노면 전반에 균일한 열을 공급함으로써 결빙을 능동적으로 저감할 수 있는 기술을 개발하고 있다. 특히 도로노면 상태 정보와 기상 데이터를 기반으로 한 AI 진단 및 결빙 예측 알고리즘을 활용하여 결빙 발생 가능성을 사전에 판단하고, 필요한 구간에 면상발열모듈을 선택적으로 작동시킴으로써 에너지 효율성을 확보하면서 효과적인 결빙 대응이 가능하도록 설계하고 있다.

또한, 환경 부담을 최소화하기 위해 염화물 사용을 줄인 친환경 저염화물 기반 결빙 저감 소재를 기능성 포장체에 적용하여 기존 제설 방식의 환경적 영향을 줄이면서도 안정적인 결빙 지연 성능을 확보하고 있다.

이와 같은 도로포장 기술은 기존의 사후 대응 중심 제설

[그림 2] 친환경 결빙 지연 포장 실내 융설 시험 및 현장 시험시공 (경기도 여주 중부내륙선)

[그림 3] 도로노면 결빙 환경 모사 소형 실험시설 및 통합 T/B 구축(안)

방식에서 벗어나, 결빙 발생을 사전에 지연하고 능동적으로 대응할 수 있는 차세대 도로 안전 기술로 활용될 것으로 기대된다.

실환경 재현 기반 테스트베드 구축 및 현장 실증 기술

도로노면 결빙 저감기술의 실용화를 위해서는 다양한 환경 조건에서 기술의 성능과 적용성을 검증할 수 있는 단계적 실증 체계가 필요하다. 연구단은 결빙 발생 환경을 정밀하게 재현하고 실제 도로 적용성을 평가하기 위해 실험실 수준부터 실도로까지 연계된 테스트베드 기반 검증 체계를 구축하고 있다.

우선, 도로 노면 결빙 환경 구현 소형 및 중대형 실험시설을 구축하여 저온 및 습도 조건에서 노면의 결빙을 모사한 뒤 기능성 포장 소재와 결빙 저감 기술의 기초 성능을 정량적으로 평가하고 있다. 이를 통해 결빙 지연 효과 및 노면 온도 유지 특성 등 핵심 성능을 검증하고 기술의 적용 가능성을 확인하고 있다.

아울러, 연천 SOC 실증센터에 통합 테스트베드를 구축하여 개발된 기술을 실제 도로 환경에 적용하기 전 장기 모니터링을 수행할 계획이다. 현재는 이를 위한 통합 테스트베드 구축을 준비 중이며, 2026년 9월 구축 완료를 목표로 시험 구간 조성, 계측 시스템 설치, 운영 환경 구축 등을 추진하고 있다. 구축 완료 이후에는 실환경 조건에서 기능성 결빙 저감 포장, 면상발열모듈, 노면 상태 진단 기술 등을 통합 적용하여 기술의 적용성과 성능을 검증할 예정이다.

또한 향후 시범사업을 통해 실제 도로 구간에 개발 기술을 적용하고 결빙 저감 효과 및 유지관리 효율성을 종합적으로 평가함으로써, 도로노면 위험요소 저감기술의 실용화 및 확대 적용을 위한 실증 기반을 마련할 계획이다.

이와 같은 소형 실험시설, 중대형 실험시설, 통합 테스트베드 및 시범사업으로 이어지는 단계적 실증 체계는 도로노면 결빙 저감기술의 현장 적용성과 신뢰성을 확보하고, 실용화를 촉진하기 위한 핵심 기반으로 활용될 것으로 기대된다.

맺음말

기후변화로 인해 도로노면 위험요소는 더욱 빈번하고 복합적인 형태로 발생하고 있으며, 이에 대응하기 위한 기술 또한 사후 대응 중심에서 사전 예방 중심으로 전환되고 있다. 본 연구는 도로노면 위험요소를 정밀하게 진단하는 기술, 결빙 발생을 지연하고 능동적으로 대응할 수 있는 기능성 포장 기술, 그리고 실환경 검증을 위한 테스트베드 및 실증 체계를 통합적으로 구축함으로써 도로 안전 기술의 새로운 패러다임을 제시하고 있다.

특히 첨단 조사차량과 AI 기반 진단 기술, 기능성 첨단소재 및 면상발열모듈 기반 결빙 저감 기술, 그리고 실환경 테스트베드 기반 실증 체계는 도로노면 위험요소를 사전에 감지하고 대응할 수 있는 통합적 관리 기반을 제공한다는 점에서 중요한 의미를 가진다. 이는 기존의 유지관리 중심 대응 방식에서 벗어나, 위험요소를 사전에 예측하고 예방하는 능동형 도로 인프라 구축의 핵심 기반이 될 것으로 기대된다.

향후 본 기술이 실제 도로 환경에 적용되고 제도적으로 확산될 경우, 결빙 및 노면 위험요소로 인한 교통사고 저감은 물론, 도로 유지관리 효율성 향상과 친환경 도로 인프라 구축에도 크게 기여할 수 있을 것이다. 나아가 자율주행 및 스마트 모빌리티 시대에 요구되는 안전하고 신뢰성 높은 도로 환경을 구현하는 핵심 기반 기술로 활용될 것으로 기대된다. KICT