

도로포장 통합유지관리를 위한 조사장비 및 디지털기반 정보시스템

김현욱 | (주)아이리스테크놀로지 전무



1. 서론

도시화가 진행되면서 도로포장과 관련된 인프라의 노후화가 심각한 문제로 부각되고 있다. 현재 우리나라 도로의 약 15%는 건설된 지 30년 이상 경과한 낙후된 상태이며, 이는 향후 더욱 증가할 전망이다. 특히 1970년대 경제개발계획을 통해 집중적으로 건설된 도로들이 내구연한을 초과하면서 노후화 현상이 가속화되고 있다.

도로포장의 파손 원인은 교통환경, 기후환경, 관리부족 등 다양한 요인에서 비롯된다. 이로 인해 도로상태가 악화되어 교통사고 위험도 높아지고 있다. 그러나 현재 도로관리 체계는 주로 표면적인 보수에 집중된 탓에, 근본적인 구조개선이나 장기적 관리 전략은 부족한 실정이다. 앞으로 도로포장의 안전을 확보하고 성능을 유지하기 위해서는 구조적인 대응과 함께 지속가능한 디지털 기반의 유지관리 체계 구축이 절실히 요구된다. 서울시는 도로 파손의 주요 원인으로 교통량 증가를 지목하고 있다. 실제로 국내 교통량은 2011년 대비 2020년 약 10% 증가했으며, 매년 6만 대 이상의 차량이 증가하고 있다.

기후환경 또한 도로 파손에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 2010년부터 2014년까지 5년간 시내에서 발생한 도로 파손 건수는 하루 평균 168건, 연간 약 5만 258건으로 집계되었다. 이는 지속적인 유지보수가 필요함을 보여준다.

그러나 현재 도로관리 방식은 도로 파손의 근본적인 원인을 분석하고 해결하기보다는 표층 보수에 집중된 상태이다. 이러한 방식으로는 도로의 장기적인 성능 유지가 어렵기 때문에 보다 체계적인 관리 방안이 필요하다. 본 기술기사는 도로포장 유지관리의 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위한 최신 조사장비 및 디지털

기반 정보시스템과 관련된 국토교통부의 기획 연구 내용을 소개하고자 한다.

2. 도로포장 유지관리 현황과 문제점

국내 도로의 노후화 문제는 도로포장 연령이 높아지면서 점점 심각해지고 있다. 현재 전체 도로 중 약 15%가 건설 후 30년 이상 경과된 상태이며, 향후 10년 내 46%, 20년 후에는 87%까지 증가할 것으로 예상된다. 이러한 노후화는 포트홀과 같은 도로 파손 문제의 주요 원인이 된다.

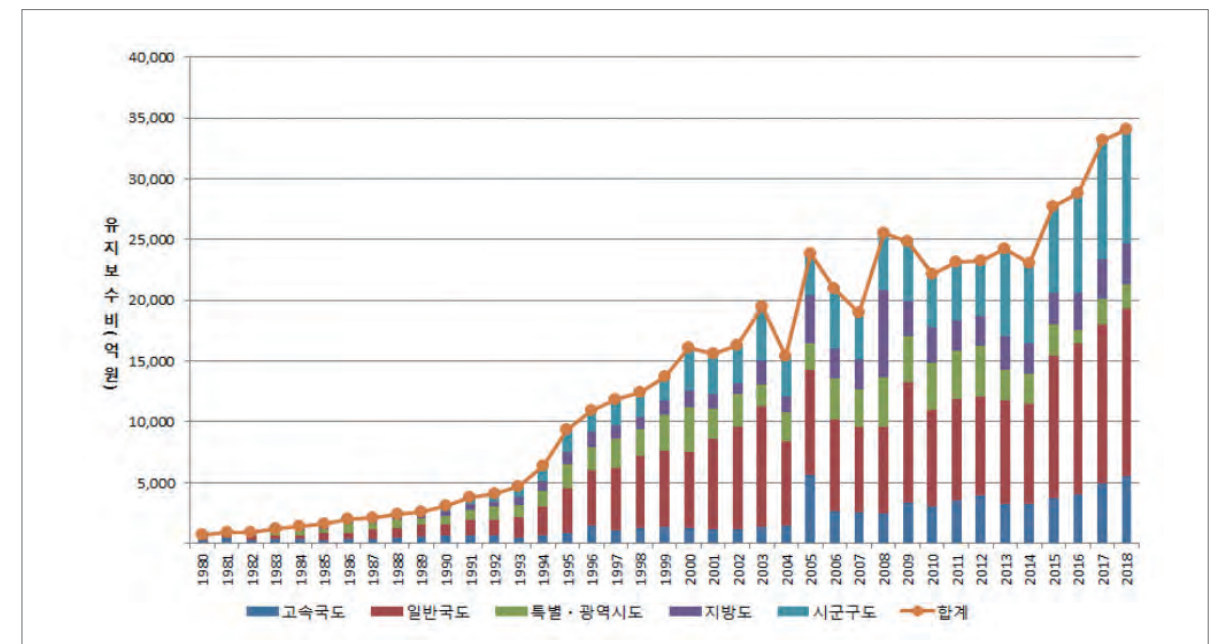
도로 유지관리에서도 여러 문제가 드러나고 있다. 도로 유지관리가 표면적 보수 위주로 진행되어 근본적인 구조개선이 부족하고, 도로포장 상태를 평가하는 국가적

표준이나 평가 방법론이 일관되지 않아 관리 수준이 제각각이다. 특히 지방도, 시도, 군도 등은 관리 시스템조차 제대로 갖추어지지 않아 도로관리가 체계적으로 이루어지지 못하고 있다.

또한 도로의 상태를 표면뿐 아니라 내부까지 정확히 진단할 수 있는 다목적 조사장비가 부족한 실정이다. 인프라 진단에 대한 인식이 높아지며 조사장비 수요는 늘고 있지만, 신뢰성 있는 유지관리를 위한 표준화된 데이터 분석체계가 마련되지 않아 도로 유지보수 효율성과 신뢰성이 떨어지고 있다.

이에 따라 국가적으로 표준화된 평가체계와 통합관리 시스템 구축이 시급하며, 다목적 조사장비의 확보와 유지관리 예산 확대가 필요하다.

[그림 1] 도로 유형별 유지보수비 추이



출처: 국토교통부(2022), 국토교통 통계누리

3. 해외 도로포장 유지관리 첨단 조사장비 적용 사례

해외에서는 도로 유지관리를 보다 효율적으로 수행하기 위해 다양한 첨단 기술을 적극적으로 도입하고 있다. 미국, 영국, 독일, 핀란드, 호주, 일본, 덴마크 등 여러 국가에서는 도로포장의 성능 평가와 유지보수를 체계적으로 관리하기 위해 유지관리 표준화, 첨단 장비 도입, 통합 조사체계 구축에 집중하고 있다. 이를 통해 도로의 상태를 정확히 진단하고, 효율적인 유지보수 체계를 마련하여 도로의 수명을 연장하고 관리의 신뢰성을 높이고 있다.

3.1 미국

미국에서는 RDD(Rolling Dynamic Deflectometer)와 GPR(Ground Penetrating Radar)을 결합한 장비를 활용해 도로포장의 지지력을 평가하고 있다. 이를 통해 도로의 구조적 성능을 정확하게 진단하고, 유지보수의 효율성을 높이고 있다. 특히, 아이다호주 교통부에서는 기존의 FWD(낙하 중량식 변형 측정 장비) 테스트가 시간이 오래 걸리고 교통 통제가 필요해 적용이 제한적이라고 판단했다. 이에 따라 차량 이동형 장비인 TSD(트레일러형 처짐 측정장비)와 GPR(지표투과레이더)을 결합한 방식으로 도로포장 상태를 평가하고 있다. 또한 무인 비파괴 검사로봇(RABIT)을 활용해 도로와 교량 상태를 신속하게 분석함으로써 유지관리 시간을 단축하고 보다 체계적인 관리가 가능하도록 하고 있다.

[그림 2] 아이다호주의 TSD 장비(좌), 아이다호주의 FWD 장비(우)



출처: 아이다호 교통부 NRR Conference(2017)

[그림 3] 무인 비파괴 검사로봇 RABIT



출처: 미국 교통부 홈페이지 및 Rutgers 공식 홈페이지

3.2 영국

영국의 Roads Liaison Group은 도로 유지관리의 표준화를 시행하며, 보다 효율적인 관리 체계를 구축하고 있다. 또한 Fugro사와 협력하여 트레일러 장착식 도로 변형 측정 장비(TSD)를 개발해 도로의 성능을 정밀하게 평가하고 있다. 이를 통해 도로의 변형 상태를 실시간으로 측정하고, 유지보수 계획을 더욱 체계적으로 수립할 수 있도록 지원하고 있다.

[그림 4] The United Kingdom's Highways Agency의 TSD 장비



출처: 영국 고속도로청 홈페이지(2015), The UK Highways Agency engages Fugro for Doppler laser surveying

3.3 독일

독일은 차량 운행을 통해 도로 상태를 5단계로 평가하는 시스템을 구축하여 체계적인 도로 유지관리를 실시하고 있다. 또한 레이저 스캐너와 영상 촬영 기술을 활용해 도로 상태를 정밀하게 분석하고 있으며, 이를 통해 도로의 손상 정도를 효율적으로 평가하고 있다.

[그림 5] 차량 운행을 통한 데이터 수집(좌), 도로상태평가 등급(우)

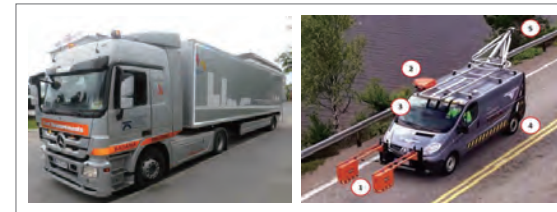


출처: 국회입법조사처(2019), 독일 연방교통인프라계획

3.4 핀란드

핀란드는 TSD(트레일러 장착식 도로변형 측정 장비), GPR(지표투과레이더), 로드스캐너의 데이터를 결합한 다용도 데이터 수집 시스템을 운영하고 있다. 이 시스템은 대량의 데이터를 쉽고 저렴하며 안전하게 수집할 수 있는 것이 장점이다. 특히 TSD를 활용하면 교통량이 많은 도로에서도 안전하게 데이터를 확보할 수 있으며, 최신 데이터 수집 기법과 공동 분석을 조합해 복잡한 도로 상태 진단이 가능하다는 장점이 있다.

[그림 6] 핀란드에서 사용한 폴란드의 TSD장비(좌), GPR과 로드스캐너를 결합한 장비(우)



출처: 국제 심포지엄 NDT-CE(2015), Experiences with Integrated Analysis of TSD, GPR and Laser Scanner Data

3.5 호주

호주의 Australian Road Research Board(ARRB)는 TSD(트레일러 장착식 도로변형 측정 장비)와 FWD(낙하 중량식 변형 측정 장비)를 비교 분석하며, TSD의 실용성을 높이기 위해 지속적인 현장 테스트를 수행해

왔다. 또한 노이즈 변조 지표투과레이더(NM-GPR, Noise-Modulated Ground Penetrating Radar)와 TSD를 결합해 상호 보완적인 기술을 발전시키며, 결합 기술의 가능성을 강조하고 있다.

ARRB사의 2세대 TSD 장비는 4개의 도플러 레이더, 5개의 고속 카메라, 자동 균열 감지 시스템, 도로 이미징 및 레이저 프로파일링 기능을 갖추고 있다. 또한 TSD, FWD 및 NM-GPR 측정 데이터를 시각적으로 비교할 수 있는 지리 공간 디스플레이 시스템을 개발하여, 주 정부 시스템과 연계해 데이터를 자동으로 정렬 및 분석할 수 있도록 지원하고 있다.

[그림 7] ARRB사 2세대 TSD장비(좌), 3D NM-GPR 트레일러(우)



출처: 국제 심포지엄 NDT-CE(2015), A comparison of TSD, FWD and GPR field measurements

3.6 일본

일본은 도로 유지관리 업무를 담당하는 민간기업이 증가하는 가운데, 국토교통성을 중심으로 도로포장 유지관리 시스템을 체계적으로 운영하고 있다. 현재 국토교통성은 직할 국도의 포장 유지관리를 위해 점검-평가-계획-실시 단계로 구성된 체계를 적용하고 있다.

점검 단계에서는 민간기업이 보유한 노면 손상 측정차량을 활용해 휨, 차바퀴 패임, 평탄성 등의 노면 상태를 측정한다. 평가 단계에서는 수집된 데이터를 분석해 사전에 도로 열화를 진단하고, 계획 단계에서 이를 바탕으로 차년도 공사량과 예산을 산정한다. 최종적으로, 일본 전역에 분포한 8개의 지방정비국과 북해도

개발국, 오키나와 종합사무국에서 실제 유지관리 공사를 실시하고 있다.

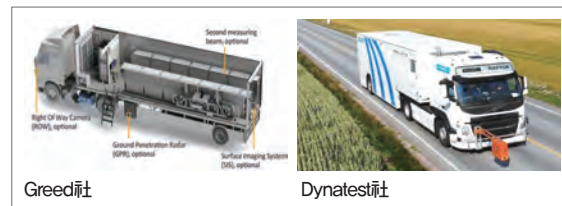
3.7 덴마크

덴마크 Greenwood社は 세계 최초로 도로포장의 동적 지지력 측정장비를 상용화했으며, 이를 기반으로 다양한 포장 상태 조사장치를 추가해 복합 조사장비를 개발했다. 이 장비는 도플러 레이저(250kHz)를 이용해 도로포장의 미세한 처짐을 동적으로 측정하며, 지표투과레이더(GPR), 포장 표면 상태 조사, 중단 평탄성 조사장비를 함께 탑재해 도로포장의 표면 및 하부 지지력을 동시에 분석할 수 있도록 설계되었다.

Dynatest社は 덴마크 기술대학(Technical University of Denmark)과 공동으로 2011년부터 동적 지지력 조사장비 개발을 시작해 2018년 시제품을 완성했다. 이 장비는 12개의 3차원 고속 변위 측정(4kHz) 레이저를 사용하여 동적 포장 표면 변위 및 지지력, 포장 조면 조직(MPD)을 동시에 측정할 수 있다. 또한 GPR을 추가하여 포장 하부 상태도 파악이 가능하다.

이처럼 다목적 센서를 탑재한 복합 조사장비는 현재 독일을 포함한 유럽 여러 국가, 호주, 미국, 남아프리카공화국 등에서 도로 유지관리 목적으로 활발히 활용되고 있다.

[그림 8] 도로포장 동적지지력 조사장비



출처: 한국건설관리학회(2019), 도로공사 유지관리 표준화 절차 개발을 위한 벤치마킹

4. 도로포장 통합유지관리를 위한 조사장비 및 디지털 기반 정보시스템

최근 도로포장 유지관리의 국제적인 흐름과 국내 수요에 맞춰 도로포장 통합 유지관리 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 연구는 센서퓨전 기술을 활용한 데이터 취득을 기반으로 도로포장의 노후도를 측정하고, 구조적 성능을 평가하는 조사장비 및 디지털 유지관리 정보 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다.

노후도는 도로의 균열 상태와 열화도를 종합적으로 나타내는 지표로, 이를 활용하면 도로포장의 유지보수 시점을 보다 정밀하게 예측할 수 있다. 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

(중점 1) 도로포장 유지관리 조사·분석 및 인증 체계를 갖춘 통합 플랫폼 개발

(중점 2) 도로등급별 전수조사가 가능한 다목적 통합장비 및 노후도 평가기법 개발

(중점 3) 도로포장 공용성 향상을 위한 유지보수 의사결정 최적화

이 연구는 도로의 안전성과 내구성을 강화하고, 유지관리의 효율성을 높이기 위한 체계적인 접근법을 제시하고 있다.

4.1 도로포장 유지관리 조사분석 및 인증 체계 기반 통합 플랫폼 개발 분야

도로포장의 체계적인 유지관리를 위해 포장 조사 및 분석 방법을 표준화하는 연구가 진행되고 있다. 이 연구는 도로포장 유지관리체계 지원과 유지관리 데이터베이스(D/B) 시스템 표준화를 목표로 하며, 보다 효율적인 유지보수 전략을 수립하는 데 초점을 맞추고 있다.

[그림 9] 도로포장 통합유지관리 개념도



출처: 국토교통과학기술진흥원(2023), 도로포장 통합유지관리를 위한 조사장비 및 디지털 기반 정보시스템 개발

4.1.1 포장 상태 조사 및 분석 방법 표준화

도로포장의 상태를 객관적으로 평가할 수 있도록 포장 조사 방법, 조사자료 분석 기준 및 유지관리 D/B 시스템을 표준화한다. 고속국도, 일반국도, 지방도 등 도로 등급과 관리 주체별 차별화된 표준 항목을 설정하여 맞춤형 유지관리 체계를 지원한다.

4.1.2 지속가능한 기반시설 관리기본법 제정에 따른 유지관리 체계 도입

도로연장이 지속적으로 증가하면서 기존 공공기관 소유의 조사장비 및 분석 프로그램만으로는 도로 유지관리 수요를 충족하기 어려운 상황이다. 이에 따라 민간기업이 도로포장 상태 조사 및 분석에 참여할 수 있도록,

객관적인 평가가 가능한 조사장비 및 분석 프로그램에 대한 인증 시스템을 마련하는 연구가 진행되고 있다. 이 연구는 체계적인 준비과정을 거쳐 2025년 법정계획인 도로건설관리계획에 포함될 예정이며, 향후 도로포장 유지관리의 신뢰성과 효율성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

4.2 기반시설의 효율적 관리를 위한 도로등급별 전수조사 실시 가능한 다목적 통합장비 및 노후도 평가기법 개발 분야
도로 서비스 수준을 향상시키고, 도로 운영 주체별 유지관리 목적에 적합한 다목적 통합장비 및 데이터 기반 유지관리 기술이 개발되고 있다. 이 연구는 도로망 전체를 통합적인 데이터 체계로 유지관리할 수 있도록 요소 기술을 개발하는 것을 목표로 한다.

4.2.1 센서퓨전 기반의 고속 이동식 다목적 조사 기법 개발
도로등급별 성능 평가를 위해 고속 이동식 조사 장비를 활용하는 기술을 개발한다. 도로 이용자의 편리성과 안전성 관점에서, 교통통제 없이 도로포장의 기능, 안전 요소, 구조적 지지력을 동시 조사 및 자동 분석하는 기술을 적용하여 보다 정밀한 성능 평가가 가능하도록 한다.

4.2.2 도로포장 성능 평가 및 노후화 분석 체계 구축
기존에는 도로 관리 주체별로 도로포장 상태 평가지수만을 고려하는 방식이었으나, 앞으로는 도로 등급별 구조적 성능 저하, 표면균열, 소성변형, 평탄성 불량 및 노후화 원인을 종합적으로 분석하는 체계를 마련한다. 분석된 데이터를 바탕으로 도로 성능을 체계적으로 등급화하고, 데이터를 시각적으로 표출하는 기술을 개발하여 보다 효율적인 유지관리가 가능하도록 한다.

4.2.3 도로포장의 복합 성능평가 및 관리 기법 개발
도로의 노면 상태, 구조적 성능 및 노후도를 종합적으로 고려한 평가체계를 구축하고, 이를 기반으로 복합 성능 평가지수 체계를 개발한다. 다양한 도로 성능 데이터를 효율적으로 관리할 수 있도록 통합 관리 시스템을 구축하여 도로 유지보수의 신뢰성과 지속가능성을 높인다.

이 연구를 통해 도로 유지관리가 보다 과학적이고 체계적으로 이루어질 수 있으며, 데이터 기반의 유지관리 혁신을 통해 도로포장의 성능과 안전성이 크게 향상될 것으로 기대된다.

4.3 도로포장 공용성 증진을 위한 유지보수 의사결정 최적화 분야

도로포장의 성능을 정확하게 예측하고, 이를 바탕으로 최적의 유지보수 전략을 수립할 수 있는 의사결정 시스템 개발이 추진되고 있다. 이 연구는 외부환경 요인을 반영한 도로포장 성능 변화 예측 모델을 구축하고, 이를 기반으로 도로포장의 수명을 연장하는 유지보수 공법을 최적화하는 것을 목표로 한다.

4.3.1 외부환경 특성을 고려한 도로포장 성능 변화 및 예측 모델 개발

시간, 기후, 교통량 등 다양한 외부환경 요인을 반영해 도로포장의 공용수명을 예측하고, 성능 변화를 분석하는 모델을 개발한다. 기존에는 신설 도로포장을 중심으로 성능 모델이 개발되었으나, 앞으로는 아스팔트 덧씌우기(Overlay) 및 공법별 맞춤형 유지보수 특성을 고려한 공용 성능 예측 모델을 구현할 예정이다.

4.3.2 도로 하중 변화 및 환경 요인을 반영한 성능 예측 및 유지보수 최적화

기존 설계보다 교통량 증가 및 차량 대형화로 인해 도로 하부구조 지지력이 저하되는 문제가 발생하고 있으며, 이를 반영한 유지보수 전략이 필요하다. 폭우, 폭설 등 기후 환경 변화로 인한 도로함몰, 포트홀 증가 등 도로포장 파손 원인을 분석하고, 표층 위주의 기존 정비 방식에서 벗어나 보다 구조적인 유지관리 방식을 도입할 필요가 있다.

4.3.3 도로포장 공용수명 연장을 위한 최적의 의사결정 시스템 구축

기존의 노면 열화 중심의 의사결정 시스템에서 벗어나, 도로 하부구조 지지력을 보강하여 도로포장의 공용수명을 연장할 수 있는 최적의 유지보수 전략을 제시하는 시스템을 개발한다. 이를 통해 도로별 특성과 성능 변화 데이터를 활용하여 맞춤형 유지관리 방법을 제안하고, 장기적인 도로포장 성능 개선과 비용 절감을 실현할 계획이다.

이 연구를 통해 도로포장의 내구성과 안정성을 높이고, 유지보수 비용을 최적화하는 데이터 기반 유지관리 체계가 구축될 것으로 기대된다.

5. 결론 및 향후 과제

도로포장의 유지관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 최신 조사 장비와 디지털 기반 정보시스템의 도입이 필수적이다. 이를 위해 유지관리 기준을 국가적으로 표준화하고, 첨단 기술을 활용한 유지보수 최적화 시스템을 구축해야 한다.

또한, 해외 선진국들의 도로 유지관리 사례를 참고하여 지속적인 연구개발을 추진하고, 이를 국내 실정에

맞게 적용함으로써 보다 체계적이고 효율적인 유지보수 체계를 마련할 필요가 있다. 이를 통해 도로포장의 수명을 연장하고 유지보수 비용을 절감하는 동시에, 보다 안전하고 쾌적한 도로 환경을 조성할 수 있을 것이다.

최근 들어, 도로포장의 효율적 관리를 위해 첨단 장비와 디지털 기반 정보시스템 개발이 추진되고 있다. 인공지능(AI) 및 빅데이터를 활용한 의사결정 지원 기술을 통해 도로포장의 상태를 신속하고 정확하게 분석하여 유지보수 시점을 선제적으로 결정할 수 있다. 특히, 도로포장 상태평가를 표면적 관리에서 벗어나 입체적이고 통합적으로 수행할 수 있어 유지보수의 정확성과 신속성을 크게 높일 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해 아스팔트 포장의 지지력, 두께, 노면 상태 등 개별적 평가 항목을 종합적으로 관리하고, 유지보수의 효율성을 극대화할 수 있다.

아울러 디지털로 축적된 도로 유지관리 정보는 첨단 관리기술 확보의 핵심 기반이 되며, 국가적으로 통일된 관리 기준을 마련하여 선제적 유지관리를 지원하는 핵심기술로 자리 잡을 전망이다. 

