

도로 유지관리의 새로운 패러다임: 리뉴얼과 디지털 전환

김광호 | 국토연구원 연구위원

도로의 전반적인 기능 저하 및 노후화는 유지관리의 패러다임 전환을 요구한다. 도로의 핵심 시설인 교량의 예를 들어보면, 전국의 도로 교량 중 준공 후 30년 이상 지난 개소 수는 2040년에는 현재보다 5.7배 증가하여 약 29,000개소에 달하게 된다(기반시설관리시스템, 2024년 자료 기준). 이와 같은 교량의 노후화 추세에 선제적으로 대응하지 못하면, 시설의 폐쇄 및 붕괴 등으로 인한 인명 피해, 도로 네트워크 단절 등의 막대한 사회적 비용을 감수해야 할 수 있다. 교량뿐만 아니라 포장, 비탈면 등 다른 시설물 공중에 대해서도 기후변화, 중(重)차량 교통량 등의 영향으로 발생하는 심각한 기능 저하에 대비하여 적절한 성능 개선이 필요하다. 이를 고려하여 국내·외적으로 대규모 갱신 및 대수선을 통한 고속도로의 리뉴얼(renewal)을 추진하거나, 유지관리 업무에 IoT(사물인터넷), AI(인공지능) 등의 기술을 적용하는 디지털 전환이 확대되고 있다.

본문에서는 이와 관련된 정책 및 사례에 대한 개괄적인 검토를 통해 도로 유지관리의 패러다임이 어떤 양상으로 바뀌고 있는지를 살펴보고자 한다.

1. 고속도로의 리뉴얼

일본에서는 도로를 장기적으로 보존하고, 주요 시설의 생애 주기 비용을 절감할 목적으로 대규모 갱신 및 대수선을 추진하는 것을 ‘도로의 리뉴얼’이라고 규정하고 있다. 특히 2005년 고속도로의 민영화 시행 이후, 교량 등 시설물의 상태 평가 및 점점의 필요성이 대두되면서 2011년 종합적인 조사가 이뤄진 것이 ‘고속도로 리뉴얼 프로젝트’의 계기가 되었다고 볼 수 있다.

또한, 2012년 사사고(笹子) 터널 붕괴 사건은 선제적인 도로 유지 관리의 필요성을 확인해 주었으며, 이에 따라 2015년부터 고속도로 리뉴얼 프로젝트가 본격적으로 착수되었다. 이 프로젝트로 NEXCO 3사 등 6개 사(社)가 추진한 사업의 계약 금액은 2024년 기준으로 약 5.6조 엔(한화 약 46.5조 원)에 달하며, 리뉴얼에 대한 지속적인 수요로 인해 신규 사업이 추가될 계획이다.

일본의 고속도로 관리회사는 리뉴얼 프로젝트의 계획 및 추진 과정에서 전문가 협의체의 협조를 받아 사업의 선정 기준, 실시 시기 및 주요 대책을 마련하는 등 유지관리 체계를 전반적으로 개선했다.

일본 정부도 민간 관리 회사에서 추진하는 리뉴얼 프로젝트를 지원하기 위해 「도로법」을 개정하여 도로시설 점검 기준을 강화하고, 「도로정비특별조치법」을 개정하여 고속도로 요금 징수기간을 연장하는 방식으로 사업 추진을 위한 자원 확보의 근거를 마련해 주었다.

주목할 점은 고속도로 리뉴얼 프로젝트가 사회에 미치는 부정적인 영향을 최소화하는 것을 지향한다는 것이다. 이를 목표로 고속도로 관리 회사는 관련 사업을 시행하는 동안 이용자들의 불편을 최소화하기 위해 공사기간을 단축하고, 교통 우회를 줄이는 방식을 적용하고자 하였다. 예를 들면, 공사 구간에 도로 Zipper 시스템을 활용하여 방호 시설의 설치 및 철거에 수반되는 기간을 단축하거나, 프리캐스트 콘크리트 공법을 활용하여 교량 상판을 시공함으로써 공사 기간을 줄이는 방식이다.

〈그림 1〉 도로 리뉴얼의 비용 절감 및 공사 기간 단축을 위한 공사 방식의 예



출처: 中・西日本高速道路株式会社. 2024. 中・西日本高速道路の更新計画について(案)

국내에서도 한국도로공사가 노후 고속도로에 대한 “대규모, 장구간, 선제적 보수”를 통해 고속도로 리모델링을 추진하는 ‘새-로(路) 프로젝트’를 착수하여, 2025년부터 본격적으로 사업을 확대할 계획이다. 이를 위해 교통량, 공용 연수, 시설물 상태 등의 정량적인 자료를 기반으로 리모델링 대상을 선정하고, 예산 여건 등을 고려하여 중장기 투자계획이 마련될 예정이다. 이 프로젝트는 일본의 ‘리뉴얼 프로젝트’와 유사하게 고속도로의 장기 보전과 기능 개선을 목적으로 하고 있지만, 구간 단위(예: JCT-JCT)로 우선순위를 산정하여 고속도로 네트워크 차원에서 사업을 확대해 나간다는 점에서 차별성을 갖는다. 또한, ‘새-로(路) 프로젝트’는 고속도로의 시설물 공종별로 수명이 상이하다는 점을 고려하여 ‘포장 리모델링’, ‘구조물 리모델링’, ‘통합형 리모델링’으로 사업 유형을 구분하여 추진될 예정이다.

2. 도로 유지관리의 디지털 전환

‘디지털 전환’은 민간 기업이 첨단화된 디지털 기술 환경에 적응하기 위해 조직의 업무 프로세스를 기존과 다르게 변모시키는 것을 지칭하는 용어로 주로 사용된다. 또한, 공공 부문에서도 ‘디지털 정부’ 등의 용어가 사용되고 있으며, 최근에는 도로 유지관리에서도 디지털 전환 개념이 적용되고 있다. 이런 맥락에서 디지털 기술을 활용하여 도로 유지관리 업무를 개선하는 것을 총칭하여 ‘도로 유지관리의 디지털 전환’이라고 규정할 수 있으며, 그 주요 특징으로 ‘무인화·자동화’, ‘시각화’, ‘빅데이터 기반의 플랫폼화’를 들 수 있다.

특히, ‘무인화·자동화’는 도로 시설물의 상태에 대한 점검·평가 업무에서 로봇, 드론 등이 적용되는 것에서 확인할 수 있다. 기존에 육안으로 확인하기

〈그림 2〉 AI 탑재 드론을 활용한 노후 터널의 안전성 점검

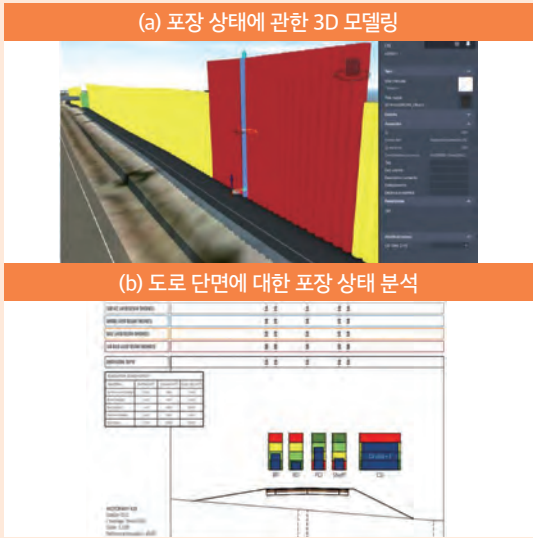


출처: 한국건설기술연구원 보도자료, 2025년 1월 15일.

힘든 교량의 취약 지점을 이동 로봇 등을 활용하여 점검하거나, AI를 이용하여 구조물의 손상을 검지하는 사례가 이에 해당한다.

한편, 디지털 기술을 이용하여 시설의 기하구조나 기능을 실물 정보를 토대로 ‘시각화’하는 방식은 BIM(Building Information Modeling) 등의 디지털 트윈(Digital Twin) 기술을 통해 구현된다. BIM은 “시설물의 물리적 및 기능적 특성을 디지털로 재현하는 것을 말하며, 해당 시설물의 생애 주기 동안 요구되는 의사결정을 위해 신뢰성 있는 근거로 활용될 수 있도록 공유되는 지식 자원(knowledge resource)”으로 정의된 바 있다(Davis, 2007). 이 정의를 따른다면, BIM은 도로의 계획, 설계, 건설, 유지 관리 등 시설물의 생애 주기에 걸쳐 요구되는 관련 정보를 시각화하기 위한 핵심적인 도구로 활용될 수 있다. 현재까지는 BIM이 국내에서 주로 고속도로의 설계 단계에서 많이 활용되고 있지만, 향후 유지 관리 단계에서도 포장 상태 점검과 같은 업무의 효율성을 향상시키기 위해 활성화될 필요가 있다.

〈그림 3〉 포장 상태의 가상 점검을 위한 BIM 적용 사례



출처: Bosurgi 외, 2024.

도로에 관한 정보시스템을 ‘빅데이터 기반의 플랫폼’ 형태로 운영하는 것도 도로 유지관리의 디지털 전환에서 중요한 특징이다. 클라우드 컴퓨팅 기술의 발달로 고성능 센서 등을 통해 수집된 빅데이터를 실시간으로 업데이트할 수 있는 환경이 가능해졌다. 예를 들면, 한국도로공사는 ‘도로통합플랫폼’을 구축하였으며, 이 플랫폼에는 포장, 구조물 등의 현황 및 유지 관리와 관련된 정보 시스템이 포함되어 있다.

도로 유지관리의 디지털 전환 사례를 살펴보면, ‘무인화·자동화’, ‘시각화’, ‘빅데이터 기반의 플랫폼화’의 특징이 통합적으로 나타나는 경우가 빈번하다. 예를 들면, ‘AI를 활용한 도로 유지관리 의사결정 시스템’의 경우, AI라는 자동화 기술뿐만 아니라 빅데이터 플랫폼에 기반하여 운용되는 것이 효과적이며, 도로 관리자나 정책 의사결정자의 이해를 돕거나 업무를 지원하기 위해 도로의 유지관리 상태, 보수이력 현황 등을 디지털 매체를 통해 시각화하여 재현할 필요가 있기 때문이다.

〈표 1〉 도로통합플랫폼의 유지관리 관련 정보시스템 및 주요 기능 (일부 발췌)

정보시스템명	주요 기능	
포장	포장현황	포장형태, 재료, 연약지반 등 현황
	조사현황	포장상태조사보고서, 본선·IC·JC별 조사현황 등
	보수개량	포장보수현황, 포트홀 관리 등
	의사결정지원	중장기투자계획, 사업우선순위관리, 포장노후예측모델 등
	포장파손자동탐지	탐지결과 통계, 전자지도 표출, 응력완화줄눈 탐지 등
	기타기능	통계분석, 기술정보공유 등
구조물	구조물 현황	교량·암거·터널·교면포장 등 현황
	점검/진단	점검/진단계획, 결과, 통계 등
	보수/보강	보수/보강계획, 실적, 통계 등
	FMS연계	시설물현황·점검계획·점검진단·보수계획·보수진단 FMS전송
	기타기능	IoT 모니터링, 영상분석 등

출처: 한국도로공사, 2024.

3. 맺음말

리뉴얼과 디지털 전환이 도로 유지관리의 ‘주류(Main)’ 패러다임으로 자리매김하여 사회적 편익을 증대하기 위해서는 공공과 민간 부문을 불문하고 지속적인 투자와 노력이 요구된다.

특히, 공공 또는 민간의 도로관리기관에서는 통상적인 수준을 넘어서는 디지털 기반의 유지관리 업무를 효율적으로 처리하기 위해 조직 체계를 바꾸거나 전문 인력을 확충해야 할 것이다. 또한, 도로 유지관리 분야의 민간 업체는 이러한 패러다임 변화에 부응하여 새로운 공법 및 기술을 도입해야만 경쟁에서 도태되지 않을 수 있다. 무엇보다도, 국토교통부 등 중앙정부의 관련 부처는 도로 관리기관과 산업계의 요구 사항 및 여건을 고려하여 지원 정책을 추진하거나, 관련 제도를 개선 또는 신설

하여 도로 유지관리에 대한 패러다임 변화를 선도할 필요가 있다. 

참고 문헌

1. 기반시설관리시스템 홈페이지. <https://www.inframanage.go.kr/> (검색일 2024년 8월 15일)
2. 한국건설기술연구원 보도자료. “사람 대신 AI 드론이 노후 터널 안전 지킨다.” 2025년 1월 15일
3. 한국도로공사, 2024. 노후 고속도로 새-로(路) 프로젝트 관리계획 수립(1차)
4. 한국도로공사, 2024. 도로통합플랫폼 관련 내부자료
5. 中·西日本高速道路株式会社, 2024. 中·西日本高速道路の更新計画について(案)
6. Bosurgi G, Pellegrino O, Ruggeri A, Rustica N, Sollazzo G. Customized Approaches for Introducing Road Maintenance Management in I-BIM Environments. Sustainability. 2024; 16(15):6530.
7. Davis. 2007. National Building Information Model Standard NBIMS