

NDT 기반 교면포장 및 바닥판 열화손상 점검기술 적용성 평가

송재준*, 김기덕**

*한국건설기술연구원 구조연구본부, **서울특별시 도로관리과
e-mail:jjsong@kict.re.kr

Applicability Evaluation of NDT-Based Inspection Technology for Deterioration in Bridge Deck Pavement and Slabs

Jae-Joon Song*, Ki-Deok Kim**

*Dept. of Structural Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

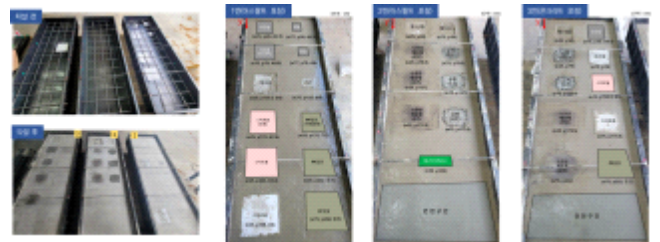
**Road Management Division, Seoul Metropolitan Government

요약

국내 교량의 노후화가 가속화됨에 따라 교면포장 및 바닥판의 열화 손상은 교량 안전성에 중대한 위협으로 부각되고 있다. 이에 본 연구에서는 GPR, 열화상 카메라, 초음파 및 충격파 기반 등 주요 비파괴검사(NDT) 기술의 적용성을 평가하였다. 본 연구는 향후 국내 교면포장 및 바닥판 열화 손상 검출의 정확도 및 신뢰도를 향상시키는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

상 모사검출 성능을 검토할 수 있는 시험체를 제작하였다. 시험체 규모는 폭 1m, 길이 3m이며 아스팔트 포장 시험체 2개와 콘크리트 포장 시험체 1개를 제작하였다.

교량 바닥판에 발생 가능한 공동, 박리, 사질화, 미세균열 등 다양한 형태의 손상을 모사하기 위하여 박리, 박락은 아크릴판, 공동은 스티로폼, 콘크리트 미세균열은 PP섬유를 혼합하였고 채수는 실리콘 물주머니, 사질화는 골재와 모래, 바닥판 강도저하는 속경성 뒤채움재를 사용하였다.



[그림 1] 바닥판 시험체 손상 배치

1. 서론

국내 교량의 약 22%가 30년 이상 경과된 노후 구조물이며, 향후 10년 내 그 비율은 56%까지 증가할 것으로 예상된다. 특히 교량 바닥판은 차량 하중, 강우, 제설제 등에 직접 노출되어 열화가 빠르게 진행되는 핵심 부위이다. 이러한 열화는 내부에서 발생하는 경우가 많아 기존의 육안 점검 방식으로는 조기 발견이 어렵다. 최근 발생한 교량 붕괴 사고에서도 내부 손상이 주요 원인으로 지목되었으며, 이는 기존 비파괴 검사(NDT, Non-Destructive Testing) 기술의 한계를 보여준다. 기존 NDT 기술은 개별 센서 기반으로 수행되며, 결과 해석의 신뢰도가 낮고 분석에 많은 시간과 인력이 요구된다.

이에 본 연구는 다양한 NDT 데이터를 통합하고 AI 기반으로 분석하는 AI-NDT Data Fusion 기술을 통해 교량 바닥판 열화 손상의 검출 정확도 및 신뢰도를 향상시키는 것을 목표로 한다.

2. 교량 바닥판 손상 모사 시험체 제작

다양한 NDT 센서(차량형, 휴대형 포함)의 교량 바닥판 손

3. NDT 기술 적용성 평가

NDT 기술의 적용성을 평가하기 위해서 시험체의 바닥판 손상과 비파괴 검사 데이터 비교를 통한 손상 유형별 민감도를 분석하고 민감도 분석 결과에 따른 적용성 평가를 통해 적합한 센서를 선정하였다. 적합 센서의 선정은 최소 바닥판 상

부철근 깊이까지의 손상 측정 가능 여부와 최소 한 가지 이상의 손상 유형을 탐지할 수 있는지를 판단 기준으로 하였다.



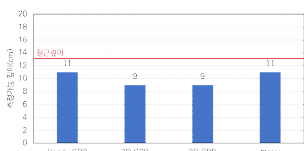
[그림 2] NDT 기술 적용성 평가

GPR은 에어 커플드, 그라운드 커플드, 핸디형 3가지를 사용해서 시험을 수행하였으며 지표면에 밀착할수록 많은 손상을 검출할 수 있었다. 초음파와 충격반향 장비는 예상한 것과는 다르게 아스팔트 포장 시험체에 대해서는 손상 검출이 불가하며 콘크리트 포장 시험체에 대해서만 손상을 검출 할 수 있었으나, 열화상 카메라의 경우 기대 이상으로 다양한 손상을 검출할 수 있었다. 센서 적용 시험 결과를 그림 3에 정리하였다.

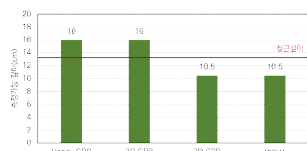
NDT 센서	시행체	손상 유형	검출 결과
Air-coupled 3D GPR	아스팔트	공동, 박리, 강도저하, 사질화	검출 불가
Ground-coupled 3D GPR	아스팔트	공동, 박리, 강도저하, 사질화	검출 불가
Handy GPR	아스팔트	공동, 박리, 강도저하, 사질화	검출 불가
UPE	아스팔트	공동, 박리, 강도저하, 사질화	검출 불가
IE	아스팔트	공동, 박리, 강도저하, 사질화	검출 불가
IT	아스팔트	공동, 박리, 강도저하, 사질화	검출 불가

[그림 3] NDT 센서 적용 시험 결과

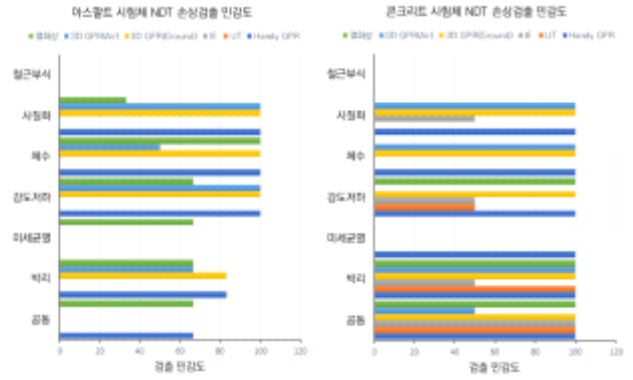
NDT 센서별 열화 손상 민감도(재현율, %) 분석과 센서별 열화 손상 탐지 가능 깊이(d) 분석을 통하여 시험체의 바닥판 손상과 비파괴검사 데이터 비교를 통한 민감도 분석을 수행하였으며 NDT 센서에 대한 손상 유형별 민감도 분석 결과를 그림 6에 나타내었다.



[그림 4] 공동 최대 측정 깊이



[그림 5] 박리 최대 측정 깊이



[그림 6] NDT 센서별 손상 검출 민감도 분석

충격반향과 초음파의 경우 아스팔트 교면포장에 대해서는 손상 검출이 불가하고, 콘크리트 교면포장에 적합하다는 것을 확인할 수 있었으며, GPR과 열화상 카메라는 아스팔트와 콘크리트 교면포장 모두 검출이 가능하였다. 상부철근 아래의 박리와 공동의 경우 핸디형 GPR과 그라운드 커플드 GPR에서 제한적으로 검출이 가능하였으며 철근부식과 미세균열의 경우는 모든 NDT 센서에서 검출이 불가능하였다. 본 연구에서 사용한 NDT 센서에 대한 적용성 평가 결과를 표 1에 정리하였다.

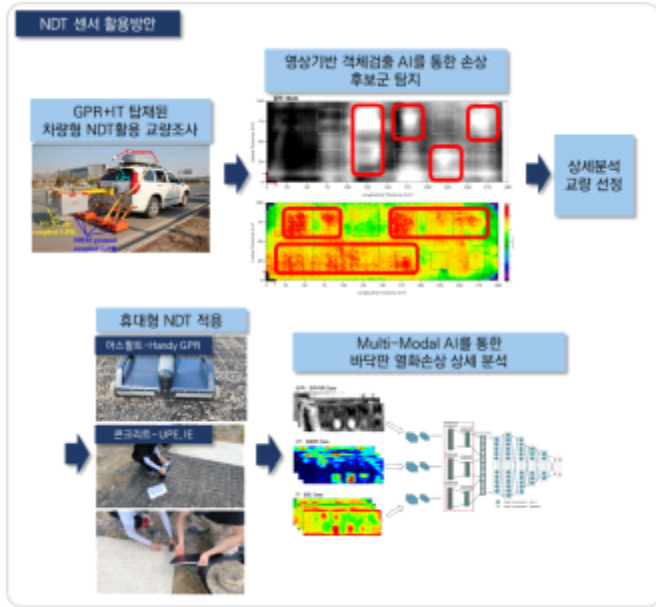
[표 1] NDT 센서에 대한 적용성 평가 결과(1)

NDT	조사형태	적용형식	적용성 평가 결과
IE	휴대형	콘크리트	- 공동/박리, 콘크리트 강도저하, 사질화 측정 가능
UPE		콘크리트	- 공동/박리, 콘크리트 강도저하, 사질화 측정 가능
Handy GPR		콘크리트, 아스팔트	- 공동, 깊은 박리, 콘크리트 강도저하, 사질화 측정, 체수 측정 가능
3D GPR	차량형	콘크리트, 아스팔트	- 깊은 박리, 콘크리트 강도저하, 사질화, 체수 측정 가능
IT		콘크리트, 아스팔트	- 공동, 얇은 박리 측정 가능

4. 결론

차량형 NDT 센서의 넓은 면적을 한 번에 조사 가능하며 다수의 바닥판 손상 검출이 가능하다는 장점과 휴대형 NDT 센서의 검출 데이터 해상도가 높아 손상의 판별이 정확하다는 장점을 활용해서, GPR과 열화상 카메라가 탑재된 차량형 NDT를 사용하여 다수의 교량 바닥판을 조사한 결과를 분석하여 상세조사 대상 후보군을 선정한 후에 손상이 발생한 것으로 예상되는 교량을 대상으로 휴대형 NDT 장비를 적용해서 상세조사를 수행하는 방법으로 노후교량 바닥판의 손상을 검출하는데 필요한 시간과 비용을 절감하고 분석결과의 신뢰

도를 높일 수 있다고 판단되며, 그림 7에 NDT 센서의 활용방안을 나타내었다.



[그림 7] NDT 센서의 활용방안

감사의글

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다. (과제번호 20250303-001, (25주요-대1-목적) AI-NDT Data Fusion 기반 노후교량 바닥판 손상 검출 기술 개발 (1/2))

참고문헌

- [1] 도로 교량 및 터널 현황조사 (2025), 국토교통부
- [2] 이일근, 안승길, 하정선, 김기환, 윤성환, 고속도로 교량 노후바닥판 보수 및 보강 매뉴얼, 한국도로공사 도로교통연구원, 2023년
- [3] 유장렬, 이연수, 오태근 (2013), 콘크리트 교량 바닥판 평가를 위한 비접촉 충격반향기법, 2013 가을학술발표회 논문집, 한국구조물진단유지관리공학회, pp. 19~21
- [4] 정진덕, 이진호, 신동훈, 김주연, “3D GPR 및 인공지능을 활용한 교량 바닥판 상태평가체계 구축”, 한국도로공사 도로교통연구원, 2023년
- [5] 최현호, 신유성, 유혁진, “교량 보수·보강 장기공용성 구축을 위한 기획연구“, 한국도로공사 도로교통연구원, 2024년
- [6] 송재준, 김기덕, 이정훈, 박경훈, 선종완, 박영수, 김남규, “AI-NDT Data Fusion 기반 노후교량 바닥판 손상 검출 기술개발“, 한국건설기술연구원, 2025년