

# GPR 기반 교량 포장 및 바닥판 조사 · 분석

김기덕\*, 선종완\*\*, 송재준\*\*\*, 박경훈\*\*\*\*

\*한국건설기술연구원 박사후연구원

\*\*한국건설기술연구원 수석연구원

\*\*\*한국건설기술연구원 연구위원

\*\*\*\*한국건설기술연구원 연구위원

e-mail:paestum3@kict.re.kr

## Investigation and Analysis of Bridge Deck and Pavement Based on Ground Penetrating Radar

Ki-Deok Kim\*, Jong-Wan Sun\*\*, Jae-Joon Song\*\*\*, Kyung-Hoon Park\*\*\*\*

\*Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\*Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\*\*Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

\*\*\*\*Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

### 요약

본 논문에서는 GPR을 활용한 상대유전율 분석방법을 통해 교량 바닥판 콘크리트의 상태를 확인한다. 총 2개 교량에 대하여 GPR 조사를 수행하였고, 반사계수법을 콘크리트 바닥판의 상대유전율을 측정하였다. 상대유전율 정상범위에 따라 교량 바닥판의 손상상태를 평가하였으며 이를 검증 하기 위해 교량 당 4개소의 코어채취를 수행하여 실제 콘크리트의 상태와 비교하였다. GPR 기반 평가 방법은 교량의 바닥판을 평가 및 유지관리를 위한 유용한 도구로 활용될 수 있다.

## 1. 서론

국내 교량의 바닥판 조사는 하면에 대한 육안 점검 방식이 일반적이다. 바닥판 하면 점검 시 백테, 관통 균열, 부식 등이 확인될 경우, 이미 바닥판 콘크리트의 열화가 상당히 진전되었다고 볼 수 있다. 심하게 진전된 바닥판 열화 손상은 편칭 파괴, 교량의 붕괴를 일으켜 교량 이용자의 안전에 심각한 위협이 될 수 있으며, 적절한 유지관리 시점을 놓치게 되므로 전단면 복구, 개축 등 고비용의 복구공법을 적용하여야 만 성능을 다시 회복할 수 있다. 그러므로 교량을 장기간 안전하게 사용하려면 바닥판 열화 손상을 조기에 진단하는 것이 중요하다.

로 상면에서 시작되는데, 제설재, 교통하중, 온도, 강수 등에 직접적으로 영향을 받기 때문이다. 그러나 아스팔트 교면포장이 시공되어 있는 경우, 바닥판 상면 콘크리트의 손상상태를 육안점검 방식으로 진단하기 매우 어렵다. 따라서 국내의 다양한 기관에서는 교량 바닥판 상면의 열화 손상 상태를 파악하기 위해 다양한 비파괴 검사장비를 활용하고 있다. 그 중 특히, 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)는 교량 바닥판 상태를 진단하는 다양한 장비 중 신뢰도가 높은 장비로 평가받고 있다.

본 논문에서는 GPR을 활용하여 아스팔트 교량의 바닥판 상면 열화 손상을 평가하는 방법을 소개하고, 실제 교량 적용 사례를 소개하고자 한다.

## 2. GPR 조사 및 분석방법

### 2.1 GPR 장비

GPR은 전자기파를 하부로 방출하고 다시 반사되어 오는 신호의 세기와 시간을 측정하여 지하, 시설물 등의 상태를 이미지화하는 장비다. GPR 조사를 통해 교량 내부이미지, 반사신호 세기, 왕복시간 등 교량 바닥판의 상태를 평가하기 위한 데이터를 얻을 수 있다.



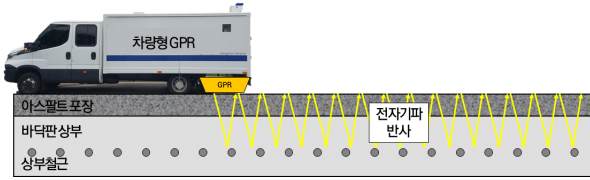
[그림 1] 바닥판 균열



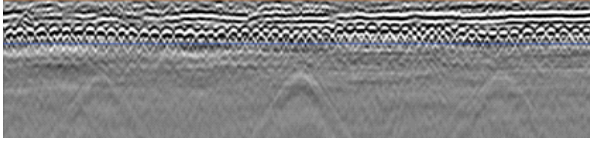
[그림 2] 바닥판 편칭파괴



교량 바닥판 콘크리트의 초기 열화 손상은 일반적인



[그림 3] 교면포장 GPR 조사



[그림 4] 교면포장 GPR 이미지 예시

$$\gamma_1 = \frac{\sqrt{\epsilon_{r,0}} - \sqrt{\epsilon_{r,1}}}{\sqrt{\epsilon_{r,0}} + \sqrt{\epsilon_{r,1}}}$$

여기서,  $\gamma$ 는 반사계수,  $\epsilon_r$ 은 매질의 유전율, 아래첨자는 각 매질 번호를 나타낸다. 상기 식에서 공기(진공) 상대유전율에  $\epsilon_{r,0}=1.0$ 을 대입하면 첫 번째 매질의 상대유전율을 아래 식과 같이 산정할 수 있다.

$$\epsilon_{r,1} = \left( \frac{1 - \gamma_1}{1 + \gamma_1} \right)^2 = \left( \frac{1 + A_0/A_p}{1 - A_0/A_p} \right)^2 = \left( \frac{A_p + A_0}{A_p - A_0} \right)^2$$

여기서,  $\epsilon_{r,1}$ 는 첫 번째 층의 유전율,  $A_0$ 는 아스팔트 콘크리트 경계면에서 반사파의 크기,  $A_p$ 는 금속판에서 반사파의 크기로 입사된 전자기파의 강도를 나타낸다. 금속판에서는 GPR 전자기파가 완전하게 반사되기 때문에 두 반사파의 크기의 비율로( $A_0/A_p$ ) 반사계수를 측정할 수 있다.  $A_p$ 를 측정하는 방법은 GPR 시험 전 금속판을 표면에 놓고 측정한다. 이러한 관계를 통해 교량 바닥판 콘크리트 층(2번째 층)의 상대유전율( $\epsilon_{r,2}$ )은 다음 식으로 산정할 수 있다.

$$\epsilon_{r,2} = \epsilon_{r,1} \left[ \frac{1 - \left( \frac{A_0}{A_p} \right)^2 + \frac{A_1}{A_p}}{1 - \left( \frac{A_0}{A_p} \right)^2 - \frac{A_1}{A_p}} \right]^2$$

상기 식에 따라 GPR 바닥판 콘크리트 상대유전율이 측정되고 값이 정상범위를 벗어날 경우 열화 손상으로 추정한다. 콘크리트 상대유전율의 정상범위는 문헌, 기관에 따라 일부 다르나 일반적으로 6~12를 적용하고 있다. 보통 상대유전율 6이하는 들뜸, 12이상은 체수 또는 열화 손상으로 추정한다.

## 2.2 GPR 데이터 분석방법

### 2.2.1 상대유전율

유전율(Permittivity)란 매질이 전기장에 미치는 영향을 나타내는 물리적 단위이다. 즉, 상대유전율(Dielectric Constant)은 전자가 진공상태를 통과하는 속도(광속) 대비 특정 매질을 통과하는 속도의 상대적인 값을 의미한다. GPR이 방출하는 전자기파의 속도는 매질의 상대유전율에 따라 느려진다. 일반적으로 아스팔트는 3~5, 콘크리트의 상대유전율은 5~12 정도를 정상범위로 보고 있다. 물의 경우 상대유전율이 81로 매우 높다. 만약, 건조한 바닥판 콘크리트가 열화로 사질화될 경우, 상대유전율이 일반 콘크리트 정상범위보다 낮으며, 손상 위치에 체수가 존재하면 상대유전율이 정상범위보다 높게 측정된다. 이와 같이 GPR 기반 바닥판 콘크리트 열화손상의 평가방법은 조사데이터를 분석하여 상대유전율을 측정하는 방식을 사용하고 있다.

[표 1] 매질의 상대유전율(Reynold, 1997)

매질	상대유전율
공기	1
물	81
콘크리트	5~16
아스팔트	3~5

### 2.2.2 반사계수법

반사계수법은 GPR 조사데이터를 활용하여 조사대상 매질의 상대유전율을 측정하는 방법이다. GPR 전자기파는 서로 다른 매질의 경계면에서 일부는 반사되고 나머지는 투과된다. 이때 반사파의 크기는 반사계수에 비례하게 되며, 반사계수는 두 매질의 유전상수의 제곱근의 차이에 비례한다. 반사계수를 산정하는 식은 다음과 같다.

## 3. GPR기반 교량평가 사례

### 3.1 GPR 조사

본 논문에서는 차량형 GPR을 활용하여 국내 모처에 있는 교량을 조사한 뒤 바닥판 콘크리트 상대유전율을 추정한 결과를 소개하고자 한다.

GPR 조사는 다채널 GPR을 탑재한 조사차량을 활용하였다. 가변주파수를 사용하며, 21개 채널을 가진 비접촉식 GPR 장비를 사용하였다. 조사 폭은 1.5m로 1차로 당 좌, 우 2회의 조사를 수행한다. 반사계수법 적용을 위해 교량 전 금속판을

두고 조사를 수행하였다.



[그림 5] 다채널 GPR



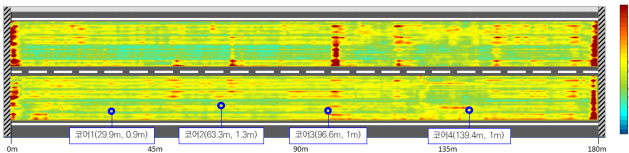
[그림 6] 다채널 GPR 탑재차량

### 3.2 GPR기반 평가사례

총 2개 교량에 대한 차량형 GPR 기반 교량 바닥판 상태평가를 소개하고자 한다. 조사결과를 검증하기 위해 코어채취를 수행하였다.

#### 3.2.1 A교량

A교량은 180m 2개 차로를 가진 교량이다. 아래 [그림 7]에 교량 바닥판 콘크리트의 상대유전율을 도식화하였다. GPR 평가 결과 전체적으로 바닥판의 상태가 건전한 것으로 나타났으며, 코어채취 결과 아스팔트 포장에서는 층분리, 손상이 발견되었으나 콘크리트 상태는 비교적 건전하였다.



[그림 7] A교량 바닥판 콘크리트 상대유전율 맵

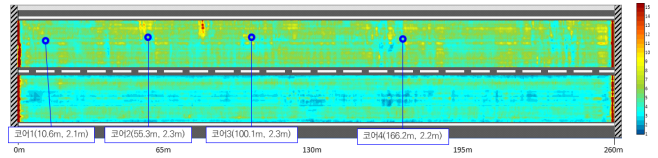
[표 2] A교량 코어채취 및 포장두께 결과

코어 1	코어 2
코어 3	코어 4

#### 3.2.2 B교량

B교량은 260m 2개 차로를 가진 교량이다. 아래 [그림 8]에 교량 바닥판 콘크리트의 상대유전율을 도식화하였다. GPR 평가 결과 전체적으로 상대유전율이 낮게 측정(6 미만 구간)되어 바닥판에 열화손상이 추정

하였다. 코어채취 결과에서도 콘크리트의 열화손상, 들뜸이 관찰되는 것을 볼 수 있다.



[그림 8] B교량 바닥판 콘크리트 상대유전율 맵

[표 2] B교량 코어채취 및 포장두께 결과

코어 1	코어 2
코어 3	코어 4

## 4. 결론

본 논문에서는 GPR을 통해 교량 포장 및 바닥판 조사 및 분석하는 방법과 2개 교량에 대한 평가결과를 소개하였다. A, B 두 교량에서 4개의 코어샘플을 채취하여 GPR 기반 상대유전율 분석결과와 비교하였다. 분석결과 바닥판 콘크리트의 상대유전율이 정상범위에 있는 교량(A교량)의 경우 코어 상 콘크리트가 건전한 것을 확인하였다. 바닥판 콘크리트 상대유전율 정상범위보다 낮게 측정된 B교량의 경우 코어채취 결과 콘크리트에 실제 열화 손상, 들뜸 등이 확인되었다. GPR 기반 상대유전율 분석방법이 교량 바닥판의 상태를 잘 나타내고 있는 것으로 판단되며, GPR 기반 평가 방법은 교량 바닥판의 상태를 평가하고 적절한 유지관리 공법 적용하는 과정에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

향후 GPR 기법의 검증하고 신뢰도를 높이기 위해 아스팔트 포장 절삭을 통해 바닥판의 전면상태와 비교하는 과정이 필요하다.

### 참고문헌

- [1] 송재준, 박경훈, 이용준, 박희문, “다채널 GPR 시험을 통한 교량 콘크리트 바닥판 상태 평가 연구”, 한국도로학회 논문지, 제 25권 5호, pp. 21-25, 2023
- [2] 마경훈, 이진욱, 오한진, 이상엽, 김기덕, “GPR 시스템 기

- 반 교면포장의 콘크리트 바닥판 상태 평가방법에 대한 연구”, 한국도로학회 논문지, 제 24권 1호, pp. 9-15, 2022
- [3] 이지영, 콘크리트 교량 바닥판의 손상 특성 분석 및 지표 투과레이더(GPR)에 의한 상태평가법 연구, 공주대학교 대학원, 2017
- [4] John M. Reynolds, Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 1997