

GPR 을 이용한 자갈궤도 파울링층 파악을 위한 실내실험적 접근
**Evaluation of Applicability of GPR to Detect Fouled Layer in Ballast Using
 Laboratory Tests**

신지훈*, 최영태**†, 장승엽***

Ji-hoon. Shin*, Yeongtae. Choi**†, Seung Yup. Jang**

Abstract Ballast layer requires continuous maintenance. Fouling would be one of the causes that affect irregular settlement. Among various non-destructive methods to evaluate fouling level, GPR was chosen and evaluated through laboratory tests. Permittivity of clean ballast is calculated 3 and frequencies of 900 and 1600MHz were appropriate to detect reinforced soil layer. Fouled layer could be detected by both the frequency well.

Keywords : Ballast track, Fouling, GPR, Ballast layer, Maintenance

초 록 자갈층의 열화(fouling)가 궤도틀림에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져, 유지관리 합리화를 위하여, 열화층을 검측하기 위한 다양한 기법들이 개발, 적용되고 있다. 이 중, GPR(Ground Penetrating Radar)을 이용하여, 다양한 조건의 실내실험을 수행하여 자갈궤도의 파울링층 검토 가능성을 평가하였다. GPR의 적절한 주파수 대역은 900 MHz 이상, 자갈층의 유전상수는 3으로 평가되었다. 깨끗한 자갈궤도의 경우, GPR로 강화노반과의 경계층을 비교적 정확하게 구별할 수 있었다. 실험실 조건에서 열화층(fouling layer)의 위치도 비교적 정확하게 검측 할 수 있었다.

주요어 : 자갈궤도, 파울링, GPR, 자갈층, 유지관리

1. 서 론

국내 운영중인 고속철도 1단계 구간(광명-동대구)은 자갈궤도로 건설되었다. 자갈궤도는 초기 건설비용이 저렴하고 유지보수가 용이한 범용적 궤도로 알려져 있다. 한편, 국내 연간 철도 이용량, 속도 및 중량 증가로 인한 궤도틀림 유지보수 비용도 증가하고 있고, 원인은 자갈층의 열화(fouling 등)에 따른 침하증가로 알려져 있다. 현재 열화층(fouled layer)을 검측하기 위한 다양한 기법들의 적용이 시도되고 있으며, 본 논문에서는 GPR(Ground Penetrating Radar)을 실내실험에 적용하여, 자갈층 내 열화층의 검토가능성을 평가하였다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 (yeongtae.choi@krri.re.kr)

* 고려대학교 건축사회환경공학과

** 한국철도기술연구원 고속철도연구본부 첨단인프라연구팀

2. GPR의 원리

레이다(Radar) 탐사법의 종류로 전자기파(Electromagnetic wave)를 이용하여 지표연구, 매설물탐사에 응용하는 탐사법을 말한다. 탐사과정은 송신안테나(Transmitter)에서 저주파에서 고주파사이의 전자기파를 방출하여 지표면이나 구조물의 경계에서 반사되는 신호를 수신안테나(Receiver)에서 받아 시간에 따라 저장하는 원리이다. GPR 데이터는 안테나를 탐사 측선에 따라 이동시키면서 측선에 따른 깊이의 정보를 취득하여 2차원 단면을 얻을 수 있다.

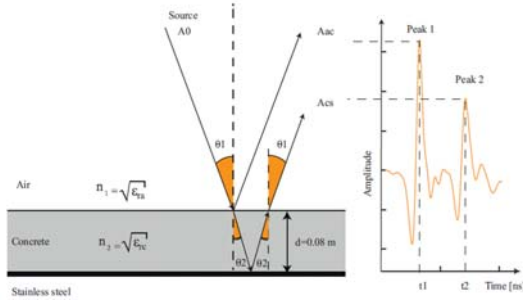


Fig. 1. GPR 원리

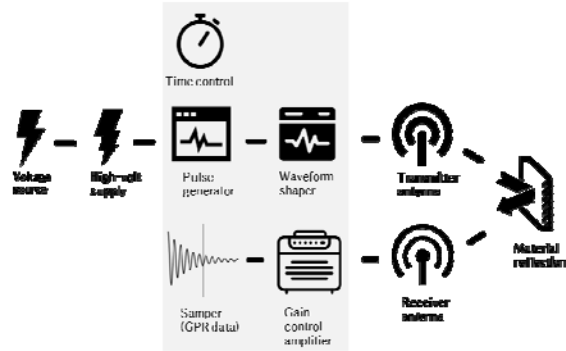


Fig. 2. GPR Process

GPR의 데이터 취득은 다음의 식(1)으로 이루어지며, V 는 전자기파 속도, c 는 빛의 속도 ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), ϵ_r 은 유전율이다. 전자기파의 매질 내 속도는 유전상수에 관계하며 유전율은 공기중의 유전상수에 대한 매질의 유전상수로 정의된다. 식(1)에서 구한 전자기파의 속도와 반사된 전자기파의 도달 시간(t_r)으로부터 대상 매질의 심도(d)에 따른 전자기파의 세기 변화를 구할 수 있다(그림 1 참조). 즉, 매질이 변화하는 구간에서 반사되는 전자기파의 세기 변화, 감쇄특성 등을 이용하여 지중 매설물, 분니층, 공동 등을 검토하는 연구가 진행 중이다.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

$$d = V \times t_r / 2 \quad (2)$$

3. 실험계획 및 결과

본 연구에서는 GPR 전자기파의 특성을 이용해서, 자갈층의 두께 (강화노반층의 위치) 및 분니층의 두께 검측 가능성평가를 위한 실내실험을 수행하였다.

3.1 유전율 선정

고속선에서 사용되는 자갈을 55cm 두께로 아래 그림 3과 같이 조성한 후, 바닥에 알루미늄 호일을 설치하여 전자기파의 반사가 뚜렷하게 나타나도록 실내실험을 수행하였다. 실험결과 열화가 진행되지 않은 깨끗한 자갈층의 경우, 유전율이 3으로 계산되었다. Clark (2001)이 제안한 3.0, Sussmann (1999)이 제시한 3.6과 매우 유사하다.

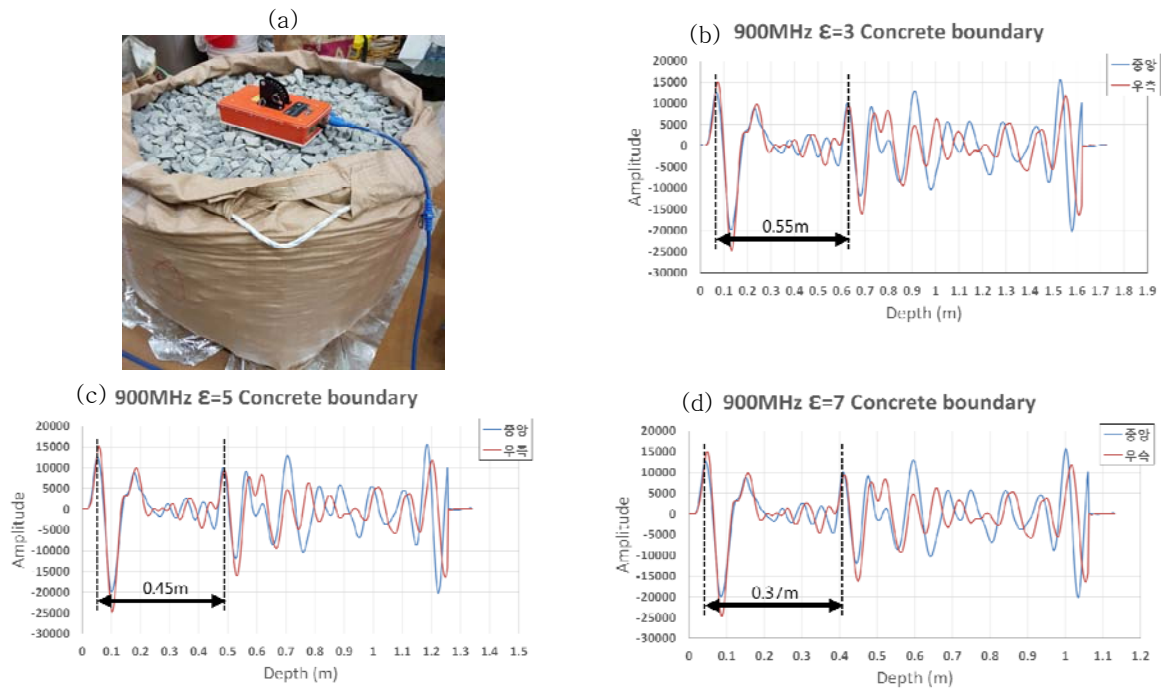


Fig. 3. Determination of Permittivity of Ballast Material used in High-Speed Railway

3.2 주파수 선정

일반적으로 높은 주파수는 해상도가 높지만, 감쇄가 크게 발생하여 탐사심도가 얇은 반면, 낮은 주파수는 낮은 해상도에 비해서 가탐심도가 깊은 장점이 있다. 자갈도상 및 분니층의 검출을 위한 적절한 주파수의 안테나 선정을 위하여, 안테나(270MHz, 400MHz, 900MHz, 1.6GHz) 별로 실험을 실시했다.

270MHz의 경우, 알루미늄 호일을 바닥에 설치한 경우에도 자갈층의 두께인 55cm를 제대로 검출해 내지 못하였다. 400MHz의 안테나는 호일을 설치한 경우 자갈의 두께를 검출하였으나, 낮은 해상도로 인하여 두께 산정에 오차가 큰 것으로 나타났다. 900, 1600MHz의 주파수인 경우, 자갈층과 강화노반의 경계를 비교적 정확하게 구분하였다. 900MHz 안테나가 오염되지 않은 자갈층과 강화노반의 경계를 1600MHz 보다 정확하고 뚜렷하게 구분하여, 강화노반의 위치 검출에는 900MHz의 주파수가 적절할 것으로 사료된다. 이와 더불어 1600MHz의 상대적으로 높은 해상도를 이용하여 분니층의 위치를 검출 할 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 900과 1600MHz의 안테나를 동시에 활용하면, 강화노반층과 분니층의 위치를 보다 정확하게 구별해낼 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 강화노반층 및 분니층 검측 가능성

자갈층이 세립분 등으로 오염되지 않았을 때, 자갈층과 강화노반층의 경계를 900MHz나 1600MHz의 안테나를 이용하여 비교적 정확하게 검측해 낼 수 있었다.

그러나 본 연구의 목적은 분니층의 위치나 두께를 GPR 장비와 분석기법을 이용하여 검측하는 것이므로, 실내에서 분니층을 모사하여 GPR 실험을 수행하였다. 강화노반에 10cm 자갈층 중량(172kg)를 조성한 후, 세립분(과울링 재료) 34kg(20% 중량비)을 상부에서 흩뿌리는 방식으로 분니층을 조성하였다. 이 위에 48cm의 오염되지 않은 자갈층을 조성한 후, GPR 실험을 수행하였다. 아래 그림 4에서 보여지는 바와 같이, 자갈층의 두께 약 48cm (900MHz)와 약 47cm (1600MHz)에서 전자기파의 세기가 증가하였다. 즉, 이 부분이 자갈층과 분니층의 경계임을 나타내었다. GPR (900이나 1600MHz)을 이용하여, 실내에서 조성된 분니층과 자갈층의 경계를 비교적 정확하게 구별해 낼 수 있었다.

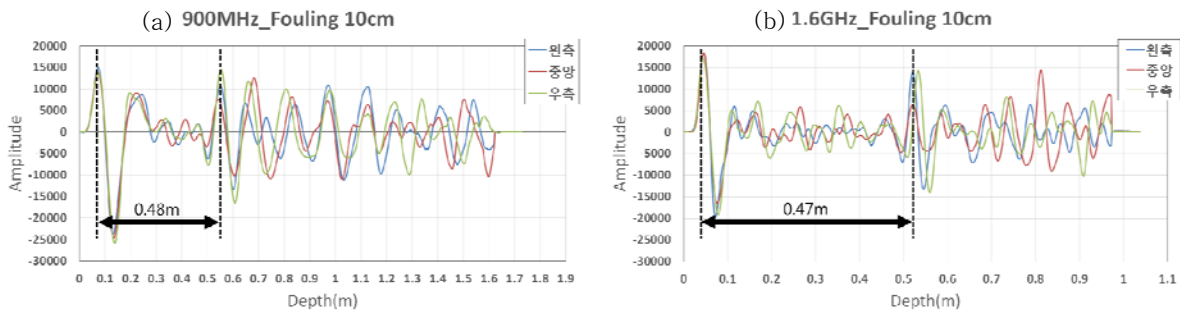


Fig. 4. Detection of Fouled Ballast Layer

이 실험은 GPR의 적용성 평가를 위한 실내실험으로 자갈층과 분니층의 경계가 뚜렷하게 조성된 실험체로부터 얻은 결과이다. 그러나 운영중인 자갈궤도의 경우, 분니층과 오염되지 않은 자갈층의 경계가 뚜렷하지 않고, 점진적으로 변화할 것으로 예상된다. 이러한 현장조건을 고려한 추가 실험을 통하여, GPR의 현장적용성 검토를 추가로 수행하여야 할 것이다.

4. 결론 및 향후 연구계획

자갈궤도 분니층의 존재유무 및 분니정도를 파악을 위한 GPR의 적용성 검토를 목적으로 실내실험을 수행하였다. 오염되지 않은 자갈층의 유전율은 3으로 산정되었으며, 900와 1600MHz의 주파수를 이용할 경우, 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 나타났다. 또한, 자갈층하부의 분니층도 GPR을 이용하여 검측이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 이 결과는 잘 제어된 제한된 조건에서 얻어진 것으로, 현장여건을 고려한 추가실험을 수행하여, 적용성을 평가하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구개발사업의 연구비지원(15RTRP-B065581-03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] H.M. JOL (2010) Ground Penetrating Radar Theory and Applications, pp. 44-46
- [2] M.R. Clark (2001) Electromagnetic Properties of Railway Ballast, *NDT&E International* 34, pp. 305-311.
- [2] T.R. SUSSMANN JR. (1999) Application of GPR to Railway Track Substructure Maintenance Management, *UMI* 9932349