

터널 라이닝 구조별 지표투과레이더 안테나 주파수 적용성 검토 Applicability of Ground Penetrating Radar Antenna Frequency of Tunnel Lining Structure

김선일*, 채덕호*, 박종표**, 박용주***, 송충현***, 김치영***, 이성진*†

Sun Il Kim*, Deok Ho Chae*, Jong Pyo Park**, Yong Ju Park***, Chung Hyeon Song***, Chi Young

Kim***, Sung Jin Lee*†

Abstract The Ground Penetrating Radar(GPR) detection method of the tunnel structure is widely used as an NDT effective for understanding the inside and the behind of tunnel lining, to evaluate the quality control at the completion and maintenance and health at the service. However, it depends on the experience and judgment of the researcher without a systematic standard of Ground Penetrating Radar detection. Therefore, in this study, Penetrating Radar detection was performed in an urban railway tunnel constructed by the NATM method in order to establish a systematic standard for Penetrating Radar detection method inside and behind the tunnel lining. By comparing and analyzing signals of each antenna frequency used, examined the applicability of the frequency of the antenna based on the structure, and derived items that can be analyzed. In addition, it is suggested that the appropriate frequency of antennas for each structure can be used for effective detection.

Keywords : Tunnel Lining, Ground Penetrating radar, NDT, Urban Railway

초 록 터널 구조물에서 지표투과레이더(GPR) 탐사법은 터널 라이닝 내부 및 배면의 상태를 파악하는데 효과적인 비파괴 탐사법으로써 준공시 품질관리와 공용중 유지관리 및 건전도를 평가하기 위하여 널리 활용되고 있다. 그러나 지표투과레이더 탐사법에 대한 체계적인 기준이 없어 탐사 주체의 경험과 판단에 의존하고 있다. 따라서 본 연구에서는 터널 라이닝 내부 및 배면의 지표투과레이더 탐사법에 대한 체계적인 기준 마련을 위하여 NATM공법으로 시공된 도시철도 터널에서 지표투과레이더 탐사를 수행하였으며, 사용한 각 안테나 주파수별 신호를 비교 분석하여 구조에 따른 안테나 주파수의 적용성을 검토하고 분석 가능한 항목을 도출하였다. 또한, 구조별 적절한 안테나 주파수를 제안함으로써 효과적인 탐사에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 터널 라이닝, 지표투과레이더, 비파괴탐사, 도시철도

† 교신저자: 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부(geolsj@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부

** 대전광역시 도시철도공사

*** 서울메트로

1. 서론

터널 라이닝 내에 발생하는 공동은 시공, 유지관리중 다양한 원인에 의하여 발생하여 라이닝에 불균등한 하중이 작용하여 터널 구조물의 안전성에 매우 불리하게 작용한다. 터널의 안전성을 확보하기 위하여 준공 시 품질관리와 공용 중 유지관리 및 건전도 평가를 위한 안전진단 및 정밀안전점검은 필수사항이다. 안전진단 및 정밀안전점검 시 터널 라이닝의 상태 평가에 필요한 철근 배근 상태, 라이닝 내 공동, 두께, 배면공동 등의 상태 정보 확인은 중요한 부분이다.

터널 라이닝의 상태를 파악할 수 있는 비파괴탐사법으로 지표투과레이더 탐사법이 널리 활용되고 있다. 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar;GPR) 탐사법은 전자기파를 이용하여 지반 및 구조물의 이상 상태를 신속하게 탐사할 수 있고 안테나 주파수에 따라 가탐심도의 변경이 용이하며 쉽게 영상화시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 터널 라이닝과 같은 대부분의 콘크리트 구조물은 철근이 배근되어 있어 전자기파가 투과되기 어렵고 탐사 신호 또한 복잡하고, 지표투과레이더 탐사법에 대한 체계적인 기준이 없어 탐사 주체의 경험과 판단에 의존하기 때문에 터널 라이닝의 구조에 따른 적절한 안테나 주파수 선정과 신호 분석의 체계적인 기준정립이 필요하다.

본 연구에서는 터널 라이닝 내부 및 배면의 체계적인 지표투과레이더 탐사 기준을 마련하기 위하여 NATM공법으로 시공된 도시철도 터널에서 지표투과레이더 탐사를 수행하였다. 각 주파수별 신호를 비교 분석하여 터널의 구조에 따른 적용성을 검토하여 적절한 안테나 주파수를 제안하였으며, 분석 가능 항목을 도출하였다.

2. 본론

2.1 탐사 대상

Table 1과 같이 NATM공법으로 시공된 도시철도 터널 4곳을 선정하여 터널 천단부에 대하여 400MHz, 900MHz, 1600MHz의 주파수 안테나를 사용하여 탐사를 수행하였다.

Table 1. Detection of Tunnel

District	Tunnel type	Structure type	Length(m)
A Tunnel	Double track	Reinforced concrete	480
B Tunnel	Double track	Plain/reinforced concrete	520
C Tunnel	Single track	Reinforced concrete	510
D Tunnel	Single track	Plain/reinforced concrete	200

2.2 탐사결과분석

2.2.1 철근 콘크리트 라이닝

터널 A와 C는 Fig. 1에서 보이는 신호와 같이 철근에서 발생한 회절 및 다중반사 신호로 철근콘크리트 구조로 시공된 것으로 분석되었다. 그러나 철근에서 발생한 신호로 인하여 배면의 공동, 들뜸 등의 이상신호와 라이닝 두께, 강지보공 등의 라이닝 내부의 상태파악이 어려운 것으로 파악되었으나, 고주파수 안테나에서 철근 피복두께, 배근 간격에 대한 상태는 확인 가능하였다.

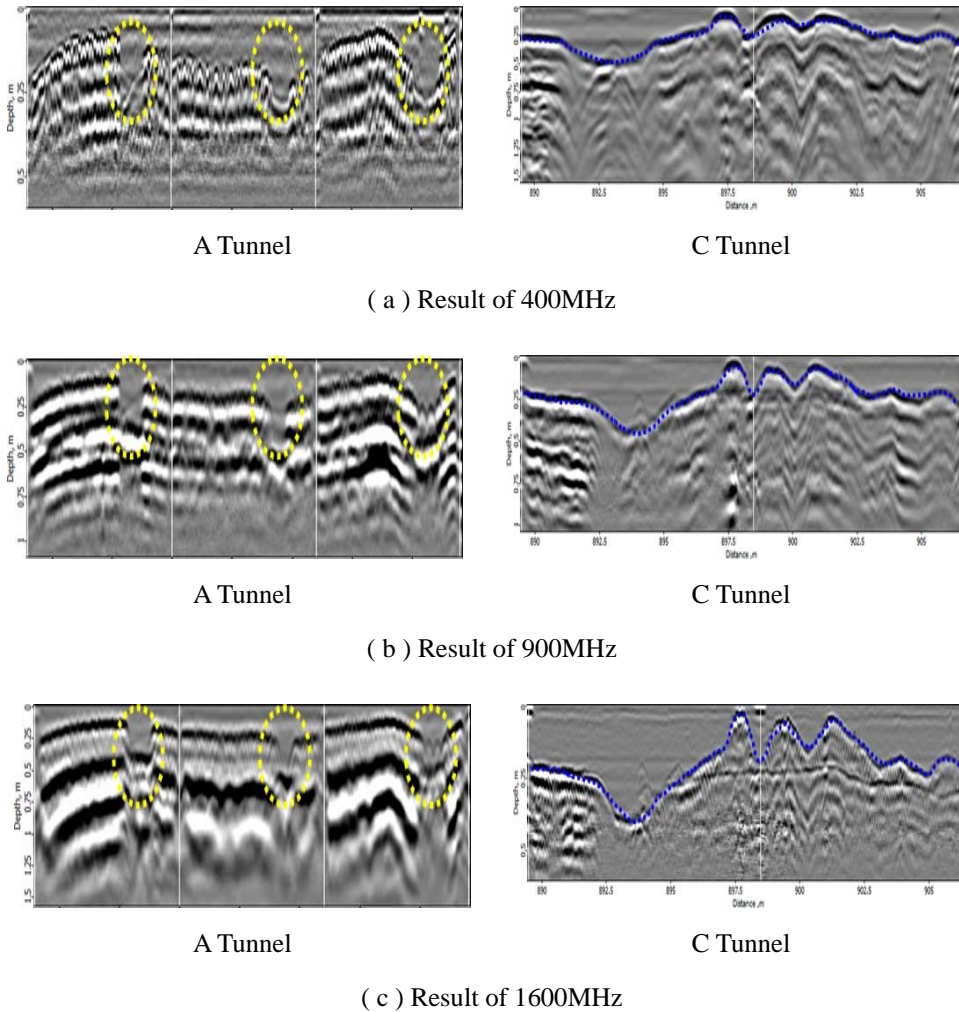


Fig. 1 GPR detection signal of reinforced concrete lining

2.2.2 무근 콘크리트 라이닝

Fig. 2와 같이 터널 B와 D는 역사와 터널 접속부의 일부 구간을 제외하고 철근 신호가 탐사되지 않아 무근콘크리트 구조로 시공된 것으로 분석되어, 라이닝 내부의 공동, 들뜸, 라이닝 두께, 강지보 등의 상태파악이 가능하였다. 그러나 1600MHz 안테나의 가탐심도의 한계 때문에 40cm이상에 대하여 공동, 라이닝 두께 등이 확인 불가능 하였고, 400MHz, 900MHz 안테나는 가탐심도의 한계가 40cm 이상으로 원지반까지 탐사가 가능하였다.

1600MHz 안테나는 가탐심도까지 공동, 라이닝 두께의 신호가 명확히 확인 가능하였으며, 900MHz 안테나의 경우에도 다소 분해능은 떨어지나 공동, 라이닝 두께의 신호를 확인 가능하였다. 그러나 400MHz 안테나의 경우 공동, 라이닝 두께의 신호가 명확히 구분되지 않는 것으로 분석되었다.

숏크리트 내부의 강지보는 400MHz, 900MHz 안테나는 강지보의 시공이 확인 가능하였으나 1600MHz 안테나는 가탐심도의 한계로 확인이 불가능 하였고, 강지보 상부에 공동, 보강 철근 등이 존재할 경우 확인이 어려운 것으로 분석되었다.

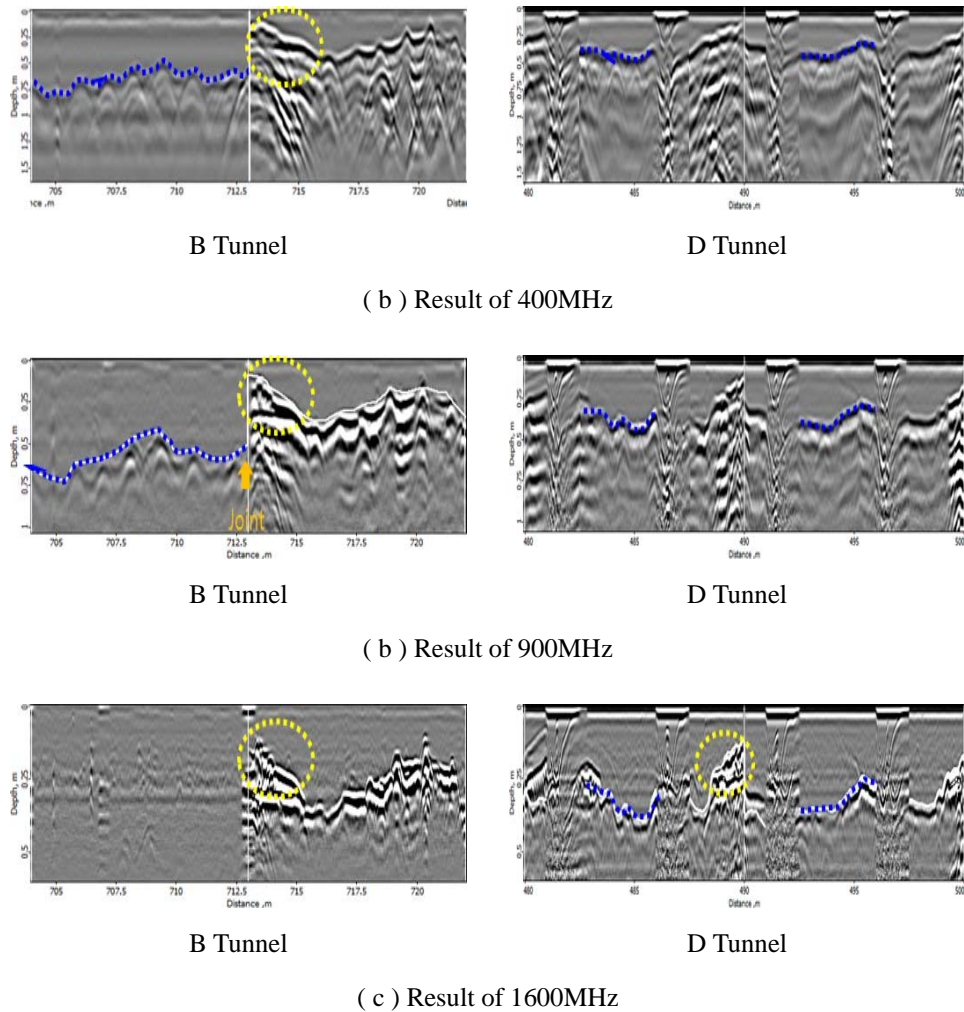


Fig. 2 GPR detection signal of plain concrete lining

3. 결론

본 연구에서는 터널 구조에 따른 안테나 주파수의 적용성을 검토하고 적절한 안테나 주파수를 제안하고자 공용중인 터널에 대하여 지표투과레이더 탐사를 수행하여 각 주파수 별 라이닝 내 공동, 두께, 강지보, 철근 등에 대한 신호패턴을 확인 할 수 있었다.

철근콘크리트 구조 탐사에 사용된 세 가지 주파수 모두 라이닝 내부의 공동, 들뜸, 강지보 등의 상태 파악이 어려웠으며, 철근의 배근 상태, 피복두께와 같은 철근상태 파악만 가능하였다. 반면 무근콘크리트 구조는 철근콘크리트 구조와 달리 라이닝 내부 공동, 들뜸, 강지보공 등의 상태파악이 가능하였으나, 1600MHz 주파수 안테나의 경우 가탐심도의 한계로 인하여 일부 상태파악이 불가능하였다.

지표투과레이더를 활용한 터널 라이닝 탐사 시 철근콘크리트 구조 탐사는 철근 배면의 상태 파악이 어려우므로 1600MHz의 고주파수 안테나를 사용하여 철근의 배근간격, 피복두께 등의 상태를 파악하는 것이 효율적이며, 무근콘크리트 구조에 대하여 가탐심도, 분해능 등 종합적인 면에서 900MHz 주파수 안테나를 활용하는 것이 효율적인 탐사를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 미래창조과학부 및 국가과학기술연구회의 융합연구사업의 일환으로 수행하였음.
[융합연구단-14-2-ETRI, 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발]