

# GPR 장비를 이용한 포장두께 탐상에 관한 연구

## The study on the measurement of pavement thickness using GPR(Ground Penetrating Radar) equipment

박 기 순\*

Park, Key Soon

박 대 현\*\*

Park, Dai Hyun

---

### ABSTRAT

GPR(Ground Penetrating Radar) designed with a digital-based signal processing technology utilizes to identify very easily the location, the thickness and the level of either an underground embedment or an underground structure. Prior to use of this GPR equipment on pavement of about 15cm thick, the equipment should foremost be calibrated on a known sample under known conditions. The purpose of this study is to verify the applicability of the GPR equipment to a model pavement of about 15cm thick. As part of this effort, the general approach of this study is to define the interrelation between the velocity of the signal and density of the pavement, and to identify the applicability of the GPR equipment by various thickness levels and its error ranges thru a statistical analysis.

---

#### 1. 서론

지중매설물을 비파괴기법으로 탐상하기 위한 다양한 기법중 GPR(Ground Penetrating Radar)장비는 모든 신호가 디지털로 처리되고, 현장에서 화상분석으로 통하여 지중매설물이나 지하구조물의 위치 파악 및 층을 구별하는데 매우 유용한 지반투과장비이다. GPR는 개발초기에 군사용으로 사용되어 오다가 현재는 산업전반에 걸쳐 응용되고 있는 첨단기법의 장비로서, 건설분야에서는 주로 지중 매설물 위치파악, 구조물진단의 일환으로 철근위치, 콘크리트구조물의 공동(空洞)탐상, 포장구조물의 연속적인 포장성상 파악등 적용분야가 훨씬 다양화 되어지고 있으며, 이에 따라 신형 첨단 화상처리 기법과 접목하여 응용분야를 확장하고 있는 추세에 있다.

이러한 배경에서 외국의 경우 포장두께 탐상에 응용한 적용결과<sup>(1-5)</sup>도 많이 보고되고 있으나, 국내의 경우 시험방법이 전무한 상태에 있을 뿐 아니라 적용사례도 거의 없어 이에 대한 활발한 연구가 기대되는 분야이다.

ASTM에서 일반적으로 지중탐상장비에 대하여 포장두께 50cm 이상 탐상시 오차범위를  $\pm 0.2in$ 를 두고 있어, 포장체의 두께가 15cm 정도인 경우 본 연구포장체에 GPR 장비를 적용하기 위해서는 그 신뢰성에 대한 연구가 우선되어야 한다. 한편 측정시 레이다 탐상에 영향을 미치는 측정인자(유전율, 전기전도도, 밀도등)로 인하여 측정하고자하는 DATA에 많은 오차가 발생하기 때문에 본 연구에

---

- 1) \* 준회원, 신공항건설공단 공항건설기술연구실 과장
- 2) \*\* 준회원, 신공항건설공단 공항건설기술연구실 사원

서는 여러가지 영향인자를 검토하였다.

본 연구는 인천국제공항건설지역내의 아스콘포장구간을 대상으로 GPR장비를 이용한 포장두께 측정 결과와 실제 코아두께와의 상관성을 파악하고, 아울러 두께탐상의 정밀도 확보를 위해 아스콘 코아밀도와 두께오차와의 상관성을 통하여 오차범위를 규명하고자 하였으며, 또한 본 실험결과를 토대로 활주로 포장공사의 포장두께 관리에 적극 활용하고자 하였다.

## 2. 지중탐상의 이론적 배경

### 2.1 지하레이더 탐사법의 개요

지하레이더 탐사법은 그림 1과 같이 송신 안테나를 통해 전자기파를 펄스(pulse) 형태로 지하로 반사시킨 후, 되돌아오는 반사파를 수신 안테나로 수신하여 지중상태를 파악하는 원리를 이용하며, 대부분의 장비는 그림 2와 같이 구성되어 있다.

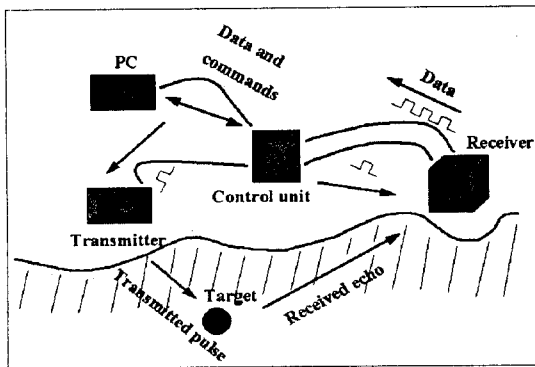


그림 1 GPR 장비 측정원리

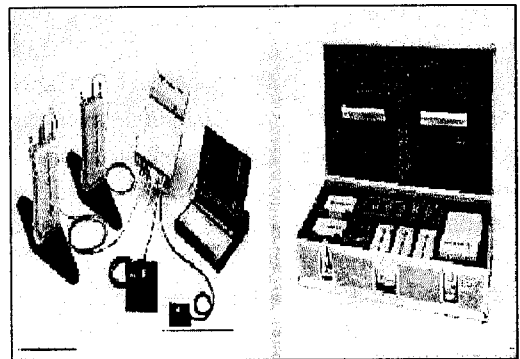


그림 2 GPR 장비구성 확보

GPR 장비는 통상 사용되고 있는 레이더와 같은 원리이지만, 대기중을 전파하는 것이 아니라 여러 매질로 구성된 복잡한 지중을 전파하기 때문에 수신안테나로 수신된 전자기파에는 지하정보 뿐만 아니라 각종 잡음도 포함되는 문제점이 발생한다. 또한 이 전자기파는 복잡한 지하구조에 의하여 왜곡되는 경우가 많기 때문에, 필수적으로 일련의 자료처리 과정을 거쳐야 한다. 송신원의 성격으로 볼 때 지하레이더 탐사는 전자탐사의 범주에 들지만, 고주파대역(수십 MHz~수GHz)의 전자기파는 송수신파형의 형태가 탄성파(지진파, seismic wave)와 비슷하다. 전자기파를 이용하여 지구물리탐사를 할 수 있는 방법에는, 저주파수영역탐사(Low Frequency Window)와 고주파수영역탐사(High Frequency Window)가 있는데 저주파수 영역탐사라는 것은 전자기 유도현상을 이용한 종래의 전자탐사법을 말한다. 전자기파는 일반적으로 빛이나 음파와 같이 전파하며, 속도, 반사, 굴절, 회절, 간섭, 감쇠, 발산, 흡수 등의 일반적인 파동의 성질을 가지고 있다. 지하에서의 전자기파의 전파에 영향을 미치는 지하매질의 특성은 주로 매질의 유전율(dielectric permittivity), 투자율(magnetic permeability), 그리고 전기전도도(electrical conductivity)등이 있다.

전자기파의 속도는 유전율과 투자율에 의해 영향을 받는데 투자율은 자철석 같은 강자성 물질을 제외한 대부분의 유전체에서 거의 1.0에 가까운 값을 가지므로 중요한 것은 유전율이 된다. 이 유전율은 암석 재질공극(rock matrix porosity( $\phi$ ))와 간극 액체속도(pore fluid velocities)에 따라 변한다. pore fluid velocities는 대부분의 물질에서 일정하며, 전자기파의 왕복시간에서 지하 불균질면까지의 거리를 계산할 수 있으므로 전자기파의 속도는 매우 중요한 요소가 된다.

## 2.2. 지중탐상에 영향을 미치는 요인

### 2.2.1. 송수신 안테나의 주파수

GPR 시스템의 송,수신 안테나의 중심 주파수는 50, 100, 200, 400, 1000MHZ의 5종류로 반파장 쌍극자 안테나에 기본원리를 두고 있고 또한 공진현상에서 야기되는 안테나 자체의 반향파(ringing)현상을 최소화 하기 위하여 저항부하 쌍극자 안테나를 채택하고 있다. 다음의 표 1은 선택되는 안테나 주파수에 따라 탐상 적용범위를 정리한 것이다.

표1. ANTENNA의 선택기준

Antenna frequency(MHz)	Suitable* target size(m)	Approx. depth range(m)	적용 대상
50	0.5 이상	20~30	지반상태, 지하수탐지
100	0.1~1.0	15~25	지반상태, 지하수탐지
200	0.05~0.50	5~15	지하매설물
400	0.05	1~5	지하매설물
1000	cm단위 탐상	0.05~2	철근, 공동구, 포장두께

\* 지중매설구조,공동(空洞) 등 탐상하고자 하는 부위의 크기

### 2.2.2. 유전율의 영향

레이다탐상을 시작할 때 우선적으로 고려해야 할 요소가 전자파가 투과하는 매질의 유전율이다. 유전율은 전자파의 투과깊이를 결정한다. 전자파는 전기저항이 큰(유전율이 낮은) 매질에서 더 깊이 투과된다. 그림 3는 전자파의 발생현상, 그림. 4는 매질의 차에 따른 층분리현상을 보여주는 그림이다.

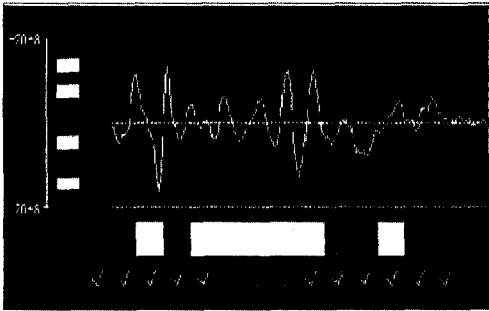


그림 3 파의 현상

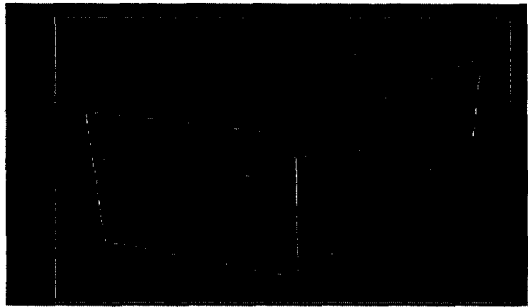


그림 4 매질의 차에 따른 층분리현상

### 2.2.3 전기전도도의 영향

전자파의 감쇠에는 공간으로 에너지가 확산됨에 따른 진폭의 감쇠와 매질의 전기전도도에 의한 감쇠가 있다. 따라서 매질의 전기전도도 또한 중요한 요소가 된다. 지하레이더 탐사법에서 이용하는 주파수대역(10~1000MHz)에서 대부분의 물질은 매우 낮은 전기전도도를 나타내지만, 반면에 점토 또는 해수에서는 전기전도도가 높아 지하레이더탐사법을 적용하기 어렵게 된다.

### 2.2.4 함수량의 영향

일반적으로 건조한 모래성분이 있는 매질은 레이더 측정에 가장 좋은 반면, 습기가 있거나 점토

질 성분의 매질은 레이더 측정의 정도가 저하되어 적용성이 떨어진다.

### 3. 실험개요

#### 3.1 개요

본 실험은 인천국제공항건설지역내 현장진입도로, 남·북측방조제 도로포장공사, 외곽도로공사의 아스콘포장구간을 대상으로 GPR장비를 이용한 포장두께 측정결과와 실제 코아두께와의 상관성을 파악하고, 아울러 두께탐상의 정밀도 확보를 위해 아스콘 코아밀도와 두께오차와의 상관성을 통하여 오차범위를 규명하고자 하였다.

#### 3.2 실험조건

- (1) 대상구역은 포장체 두께 100mm 이상구역, 100mm 이하구역으로 나누어 실시한다.
- (2) 고해상도를 위하여 비교적 높은 1GHz 고주파를 사용한다.
- (3) 시속 3Km의 속도로 이동하며 DATA를 수집한다.
- (4) 측정결과는 실제 Core채취를 통하여 확인한다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4.1 포장체 두께 100mm이상에서의 시험DATA 분석

GPR장비의 일정 안테나 탐상속도(90m/μs)에서의 포장두께를 구한 후, 그 부위에서 채취된 코아 공시체의 포장두께 및 밀도와의 관계를 각각 표 2 및 그림 6, 7에 나타내었다.

표 2 측정결과치

시설명 (공종)	다짐기준치	다짐도 (Core채취)	두께 (Core 채취)	두께 (GPR)	오차
Ascon 기층	96% 이상	99.6%	143.0mm	145.0mm	+2.0mm
		99.4%	164.4mm	163.0mm	-1.4mm
		99.3%	158.0mm	160.0mm	+2.0mm
		98.6%	145.0mm	148.0mm	+3.0mm
		98.6%	123.1mm	130.0mm	+6.9mm
		98.5%	144.0mm	147.0mm	+3.0mm
		98.1%	136.5mm	141.0mm	+4.5mm
		97.4%	144.0mm	148.0mm	+4.0mm
		97.3%	143.9mm	148.0mm	+4.1mm
		97.1%	154.5mm	159.0mm	+4.5mm
96.8%	151.0mm	156.0mm	+5.0mm		

아래 그림 6의 결과로부터 CORE와 GPR 측정두께 비교 DATA의 상관계수는 0.953으로서 높게 나타났으며, 오차발생의 요인으로는 그림 7에서 나타나는 바와 같이 CORE의 다짐도가 오차에 영향을 미치는 것으로 나타났다(상관계수 0.721). 표.2 측정결과치와 같이 다짐도 또는 포장체 두께가 작을수록 오차범위가 크게 나타난다는 결과를 토대로 안테나 탐상속도 계산시 다짐도의 영향을 고려한다면 오차의 신뢰도는 화상분석시 검사자의 측정오차(3m/μs)내에서 두께측정이 가능할 것으로 판단된다. 그림 8,9은 실제 GPR 탐상분석을 위한 화면의 예이다.

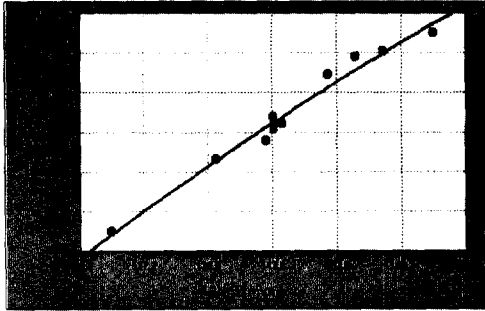


그림 6 일정속도에서의 CORE와 GPR 측정 두께 신뢰도 곡선

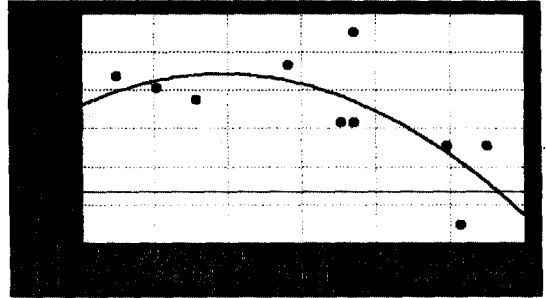


그림 7 일정속도에서의 CORE의 다짐도와 오차에 의한 신뢰도

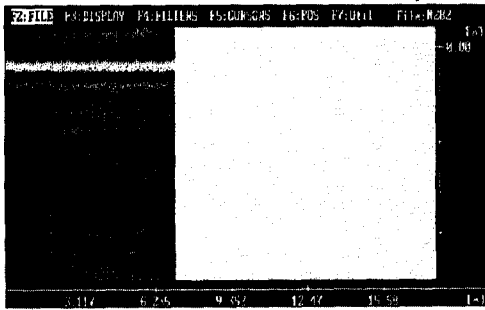


그림 8 측정DATA①

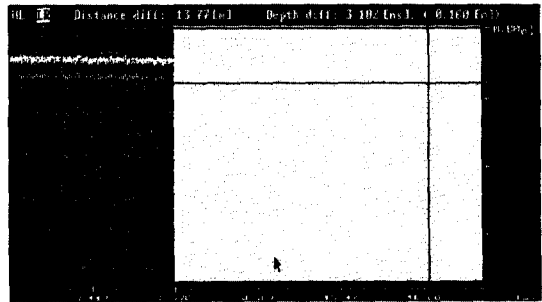


그림 9 측정DATA②

#### 4.2 포장체 두께 50mm-100mm에서의 시험DATA 분석

표.3는 포장체 두께 50mm-100mm에서의 측정DATA로서 4.1항의 방법과 동일하게 실시하여 속도와 다짐도에 대한 상관관계를 추정하였다

표 3. 측정결과치

시설명 (공종)	다짐기준치	다짐도 (core 채취)	두께 (core 채취)	두께 (GPR)	오차
Ascon 표층	96% 이상	97.6%	53.8mm	58.0mm	4.2mm
		97.4%	64.2mm	50.0mm	-10.2mm
		97.1%	51.6mm	75.0mm	23.4mm
		96.8%	55.8mm	63.0mm	7.2mm
		96.7%	59.5mm	67.0mm	7.5mm
		96.5%	61.3mm	70.0mm	8.7mm
		96.6%	70.4mm	83.0mm	12.6mm
		96.2%	59.7mm	69.0mm	9.3mm
		96.9%	57.8mm	65.0mm	7.2mm
		97.4%	60.3mm	50.0mm	-10.3mm
		98.6%	65.7mm	60.0mm	-5.7mm
		98.8%	69.4mm	75.0mm	5.6mm

포장두께가 50-100mm 범위에서의 측정오차는 100mm 이상의 결과와 비교시 최대 23mm로서 큰 것으로 나타나, 포장체 두께 100mm이하에서는 GPR에 의한 포장두께 검출능력이 저하함을 알 수 있다. 그림.10,11은 화상분석 예이다.

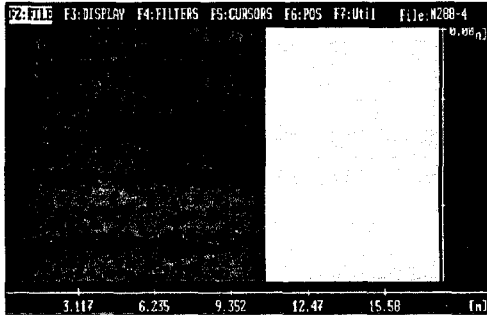


그림 10 측정DATA①

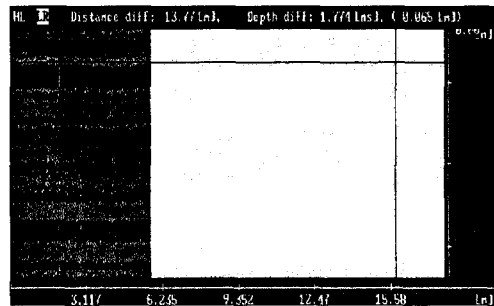


그림 11 측정DATA②

## 5. 결론

이상의 연구로부터 지중 탐상범위 50cm 이하의 포장두께 측정시 GPR 장비 적용성을 확인하기 위한 코아공시체와의 비교실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다

- 1) GPR 장비를 사용할 경우, 연속된 포장두께의 변화를 기기에 연결된 컴퓨터화면을 통하여 신속하게 시공결과를 검측할 수 있는 장점이 있다.
- 2) 탐상목적에 따라 탐상깊이에 맞는 ANTENNA를 사용하고 다짐도가 높을 경우 포장두께가 10cm 이상에서는 GPR 탐상두께와 실제코아 두께와의 상관관계가 0.953으로 높게 나타나 정밀도 높은 결과 도출 가능함을 확인하였다.
- 3) 포장두께 5cm~10cm정도에서는 밀도와 상관없이 GPR 장비의 화상분석의 한계(커서 1m/μs당 두께 변화)때문에 검출 정도가 현격히 저하하였다.

## 참 고 문 헌

1. E. G. Fenanda, K. P. Maser and B. Dietrich " Implementation of Ground penetrating radar for network-level pavement evaluation in Florida " Proceeding of the GPR '94 Fifth International Conference on Ground penetrating Radar, Ontario, CANADA. June 1994.
2. K. R. Maser " Ground penetrating radar studies to characterize pavement layer thickness variations at GPS site " Strategic Highway Research Program. Report SHRP-P-397 Washington, D.C.1994
3. K. R. Maser and T. Scullion " Automated pavement subsurface profiling using radar case studies of four experimental filed sites " Transportation Research Record 1344. Transportation Research Board National Research Council Washington, D.C.1992
4. K. R. Maser, "Evaluation of bridge decks and pavement at highway speed using ground penetrating radar" Proceeding of the SPIC Conference on Nondestructive Evaluation of aging Infrastructure, 6-8 June, Oakland, CA, SPIE Publication2456
5. R.Gabillard, Pierre Degauque and James R. Wait : Subsurface Electromagnetic Telecommunication IEEE Transactions on Communication Technology, December 1971