

# 지하매설물측량의 정확도

## Underground facilities Detecting Accuracy

이재기\*      조재호\*\*      이재동\*\*\*      박경열\*\*\*  
 Lee Jae-Kee, Cho Jae-Ho, Lee Jae-Dong, Park kyung-Yeol

### 要 旨

도시의 급속한 팽창에 따라 지하시설물들이 도시미관, 안정성, 도시교통문제를 야기하므로 점점 지하에 매설되어가고 있지만 그 종류가 다양하고 복잡한 형태로 매설되어 있어 통합체계를 원활히 유지하고 효과적으로 관리하는 것이 매우 중요한 과제가 되었다. 그렇지만 종합관리를 위한 자료의 결여로 지하공간을 무계획적으로 활용뿐만 아니라 지하굴착 공사 등 안전사고를 유발하여 인명 및 재산피해 초래하는 것은 물론 다양한 정보시대에 국가정보가 일시 중단될 때 많은 경제적 손실을 가져오게 되는 것이 현실이다. 이러한 상황에서 지하시설물에 대한 정확한 탐사가 이루어져야만 이에 따른 양호한 도면을 작성할 수 있으므로 여러가지 지하시설물 탐사기법과 여러가지 현장조건에 따른 탐사정확도를 비교, 분석한 결과 다음과 같은 지하매설물 탐사 정확도를 구할 수 있었다.

### 탐사 정확도

재 질	Accuracy	
	Position(cm)	Depth(cm)
금속관로 및 케이블	±20cm	±20cm
비금속 관로	±20cm	±30cm

### ABSTRACT

Rapid development of city has made a lots of urban facilities buried under ground, therefore how to bury underground facilities and how to operate them becomes more and more important. However, due to shortage of composite operation data for burying the facilities under ground, a lots of individual and nation's properties have been destroted and even many people killed. under the circumstances, we need to detect the facilities in detail and in accuracy and we can surgest for underground facilities detecting accuracy as below.

### Detecting Accuracy

Material	Accuracy		Remarks
	Position	Depth	
Metallic pipe & cable	±20cm	±20cm	Induction method Under 3.0 m
Non-metallic pipe	±20cm	±30cm	GPR method Diameter 100 mm under 2.0 m

\* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\*인하공업전문대학 지형정보과 조교수

\*\*\* 충북대학교 대학원 박사과정

## 1. 서론

현재 지하에 매설되어 있는 전기,통신상수도,가스등 여러지하매설물은 우리가도시생활을 영위하는데 필수적인 중요 기반시설물이며 매우 복잡한 형태로 불규칙한 위치에 매설되어 있다. 이와 같이 지하매설물은 그 종류가 다양하고, 매설상태가 획일화되어 있지 않으며, 복잡한 형태로 지하에 묻혀있기 때문에 외관상으로 확인, 점검 등의 신속한 안전관리가 미흡할 뿐만 아니라 적절한 시기에 매설물들을 교체, 보수하기가 곤란하고 예기치 못한 인적,물적인 큰 손실을 가져올 수 있다. 또한, 각종 매설물들의 자료공유 및 통합관리가 이루어지지 않아 도로의 한 지점에서 여러 차례의 굴착 및 보수 공사가 이루어지고 있어 불필요한 교통체증과 중복공사 등으로 인한 국민의 대민서비스 미비 및 경제적인 큰 손실을 초래함에 따라 효율적인 통합관리를 위해 서는 정확한 지하시설물 탐사가 우선 이루어져야한다. 따라서 현재 지하시설물 탐사에 가장 많이 쓰이고 있는 전자유도탐사기법 (Electromagnetic Induction method method)과 지중탐사기법 (Ground Penetrating Radar method)을 이용하여 노상의 기초재질과 포장재질을 달리하여 지하매설물의 탐사정확도를 비교함으로써, 지하매설물의 효율적인 관리에 기여하고자 한다.

## 2. 지하매설물 탐사이론

지하매설물 탐사법은 비굴착으로 지표로부터 지하시설물의 위치와 심도 등을 탐사하는 것으로 종래에는 굴착이 필요한 경우 사전에 시험굴착을 통하여 눈으로 직접 확인한 후 지하시설물을 확인하여 손상을 방지할 수 있었다. 그러나 도시화가 급격히 진행되고 교통량이 많아 도로를 직접 굴착하여 지하매설물을 조사하는 것이 곤란하여 정확도가 높은 탐사기법을 이용하고있다. 일반적으로 지하매설물의 탐사기법에는 주로 전자유도 탐사기법과 지중 레이더 탐사기법 (GPR)이 이용되고 있다.

### 2.1 전자유도탐사기법

전자유도 탐사기법은 전도체에 전기가 흐르면 도체 주변에 자장이 형성된다는 전기장 법칙을 이용하는 방법으로 전류가 통하는 물체는 동심원적인 자장을 형성하며, 그 크기는 전류의 강도 및 거리에 따라 좌우된다. 그러므로 이 자장을 수신기로 증폭시켜 음향을 검류계에 나타나도록 함으로써 탐사할 수 있다. 지반의 전자 현상을 이용하여 탐사하는 방법으로 송신기로부터 송신된 전류를 수신기에 유도하여 전류를 탐지함으로써 매설된 관로와 케이블의 위치 및 심도를 측정하는 방법으로 대단히 편리하나 비금속관로 (non-metallic pipe) 탐지가 불가능한 단점이 있으며, 다만 탐침(sonde)을 이용하면 부분적으로 비금속 관로나 공관로를 탐지할 수 있다. 전자유도 탐사법은 지하매설물을 지표면으로부터 위치와 심도를 탐지하고 장비 조작이 용이하고 비교적 가격이 저렴하고 운반이 용이하여 지하매설물 탐사기법중 가장 많이 이용되고 있다. 전자유도 탐사법에 의한 깊이측정의 경우 지하에 매설되어있는 단일 전도체를 탐사하는 경우에는 단일 안테나(single aerial antenna)을 사용하여 쉽게 찾을 수 있지만, 매설된 파이프나 케이블은 보통 다른 전도체와 인접해 있는 경우가 많이 있고, 그 위에 전력선이 놓이거나 다른 전원에 의해 전파를 간섭받게 된다. 전자유도탐사 수신기는 동일신호를 탐사하기 위해서 두개의 수평안테나가 약 400mm정도 떨어져 있는 이중 안테나(twin aerial antenna)를 사용하여 탐사하며 그 반응도 및 심도 측정은 그림1.1과 같다.

그림1.1에서

$$E_t = \frac{I}{d+x} \quad \text{-----} \quad (2.1)$$

$$E_b = \frac{I}{d} \quad \text{-----} \quad (2.2)$$

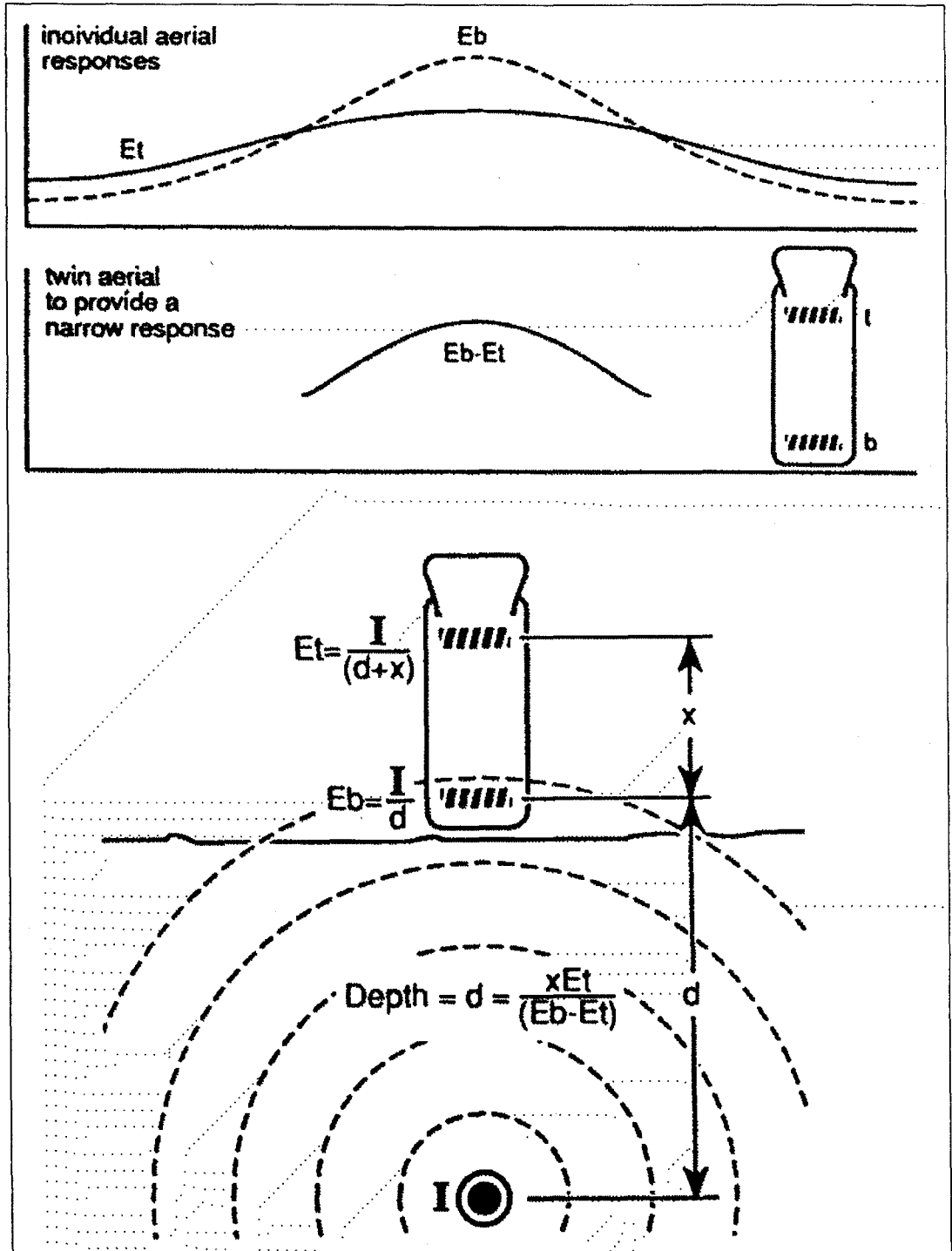


그림1.1 Twin Aerial Antenna & Depth Estimation

$$\begin{aligned}
 E_b - E_t &= \frac{I}{d} - \frac{I}{d+x} \\
 &= \frac{I(d+x) - I \cdot d}{d(d+x)} \\
 &= \frac{I \cdot x}{d(d+x)} \quad \text{----- (2.3)}
 \end{aligned}$$

- $b, t$  : 수평감지기
- $d$  : 전도체로부터 수평감지기  $b$  까지의 심도
- $E_b$  : 수평감지기  $b$ 에서의 반응도
- $E_t$  : 수평감지기  $t$ 에서의 반응도
- $x$  : 수평감지기  $t$ 와  $b$ 사이의 거리
- $I$  : 전도체에 흐르는 전류

식(2.1)과 식(2.3)으로부터

$$\begin{aligned}
 E_b - E_t &= \frac{E_t(d+x) \cdot x}{d(d+x)} \\
 &= \frac{E_t \cdot x}{d} \quad \text{----- (2.4)}
 \end{aligned}$$

따라서, 매설 심도  $d$ 는 식(2.5)과 같이 구할 수 있다.

$$d = \frac{E_t \cdot x}{E_b - E_t} \quad \text{----- (2.5)}$$

## 2.2 지중탐사법

지중레이다 탐사법(Ground Penetration Radar method : GPR)은 전자파의 전파와 반사성질을 이용

하여 지중의 각종 현상을 밝히는 것으로서 레이더파의 특성과 같다. 레이더는 원래 고주파의 전자파를 공중으로 방사시킨 후 대상물에서 반사되어 온 전자파를 수신하여 대상물의 위치를 알아내는 시스템이다.

이와 같이 전하를 저장할 수 있는 물질의 능력인 유전상수(dielectric constant)가 다른 매질의 경계면에서 전자기파는 반사되고, 강도 또한 달라지므로 이를 실험적으로 검측·분석함으로써 다른 매질간의 경계면 두께, 공동 존재여부, 위치와 심도측정을 할 수 있다. 이것은 전자파의 공기중 전파속도가 빛의 속도인  $3 \times 10^8 \text{m/sec}$ 이므로 전자파를 반사시키는 대상물의 거리는 전자파의 왕복 시간에 비례한다는 사실을 이용하는 것이다.

지중 레이더 탐사법은 전자파를 짧은 폭의 펄스형태로 지하에 전파시킨 후 전파경로중 물리적 성질이 다른 매질의 경계에서 반사해 오는 전자파를 수신·분석하여 지중의 정보를 얻는 물리 탐사법의 한 방법이다. 이방법은 전자파가 지하매질을 전파해 나아가도록 되어 있는데 전파해 나가던 전자파는 반사를 하게 되고 반사되어 온 전자파를 수신하여 전자파의 경로 시간과 전자파의 속도로 반사가 일어난 곳의 위치를 확인하는 원리이다.

지하 매질은 레이더에서의 전파 경로인 공기보다 물리적으로 매우 불균질하므로 지하에서 반사되어 온 신호는 물리적 불균성에서 비롯된 많은 잡음(noise)을 포함하고 반사체의 형태와 위치가 매우 복잡하다. 그러므로 지중 레이더 탐사법의 자료는 적절한 처리를 거친 자료로부터 고 분해능의 연속적 지중 단면 영상을 얻어야만 한다. 지중 레이더 탐사법은 지표에서 전자파를 지하에 반사시켜 탐사를 수행하는 것으로 전자파가 일차적으로 통과하게 되는 표토층의 전기전도도가 비교적 높아 이 표토층에서 전자파의 감쇠가 많이 일어나므로 재해매설물탐사인 경우 약 3m 미만의 경우 측정이 가능하다.

## 3. 관측 및 결과분석

본 연구에서는 지하매설물 측량의 정확도를 분석하

지하매설물측량의 정확도

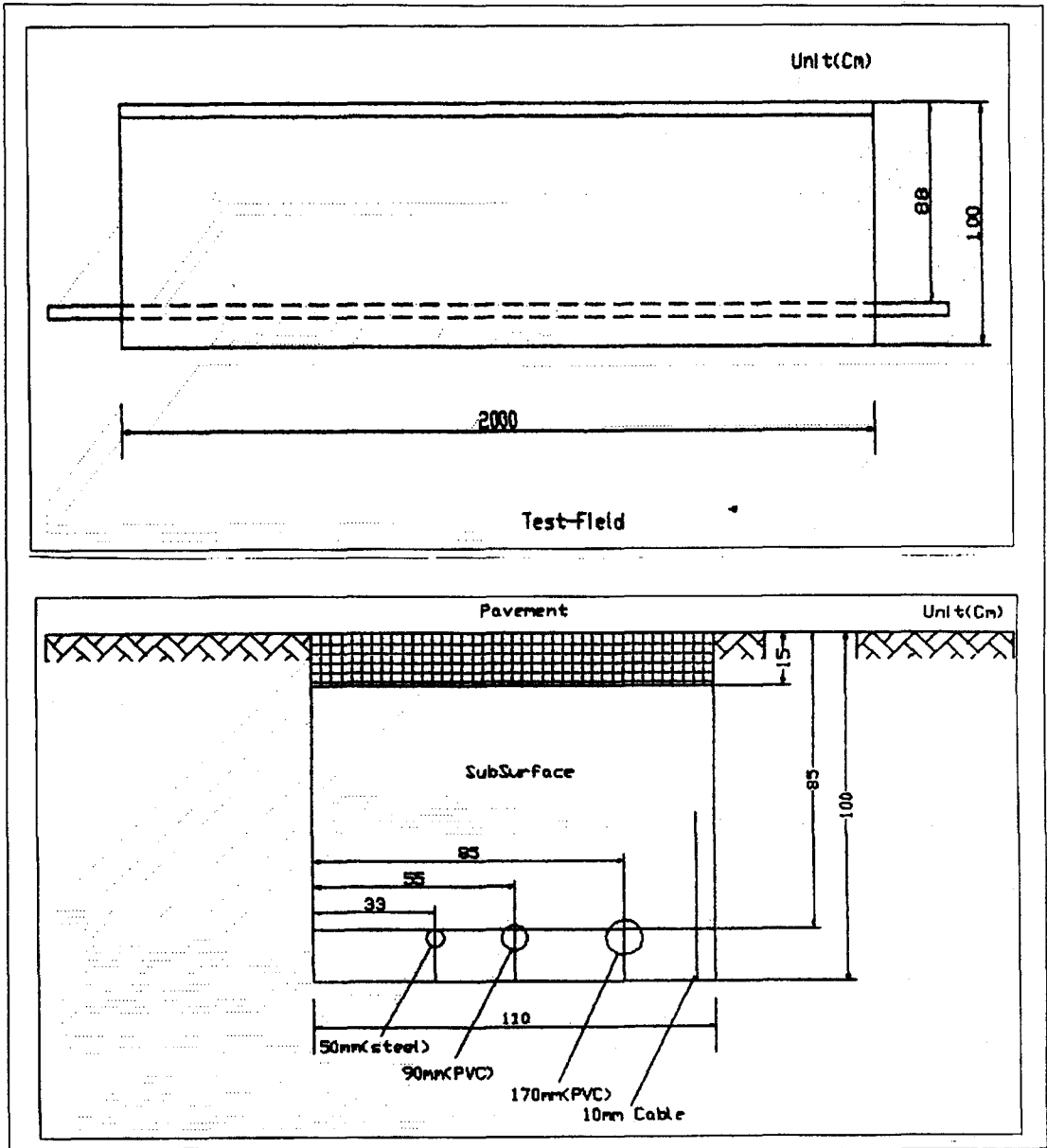


그림3.1 Test-field

기 위하여 청주시 산남지구를 검정대상지역(Test field)으로 선정하였다. 선정된 검정 대상지역의 개요 도는 그림 3.1과 같다. 본 연구의 검정지역은 우리나라에 일반적으로 많이 존재하며 입도분포가 양호하고

모래성분이 많은 마사토로 이루어졌으며 깊이 2.0m, 폭 1.1m, 길이 20.0m를 백호우(back hoe)로 파고 50mm 강철관과 90mm와 170mm의 PVC비금속관, 10mm의 케이블을 매설하였다. 매설된 관로에 대해 본

<표 3.1> 전자유도탐사기법의 탐사정확도

( 기초재질 : 마사토 포장재질 : 마사토 )

(unit : cm)

	STEEL PIPE (d=50mm)		CABLE	
	Depth	Position	Depth	Position
DIRECT				
PEAK	-6.6	3.0	-15.0	6.0
NULL	-7.9	-6.0	-11.7	-8.0
INDIRECT				
PEAK	-	5.0	-	2.0
NULL	-	12.0	-	2.0

<표 3.5> 전자유도탐사기법의 탐사정확도

( 기초재질 : 일반토사 포장재질 : 콘크리트 )

(unit : cm)

	STEEL PIPE (d=50mm)		CABLE	
	Depth	Position	Depth	Position
DIRECT				
PEAK	-6.0	0.0	-9.4	-3.0
NULL	-7.1	-5.0	-8.4	-10.0
INDIRECT				
PEAK	-	-1.0	-	-6.0
NULL	-	-8.0	-	-14.0

<표 3.2> 전자유도탐사기법의 탐사정확도

( 기초재질 : 마사토 포장재질 : 콘크리트 )

(unit : cm)

	STEEL PIPE (d=50mm)		CABLE	
	Depth	Position	Depth	Position
DIRECT				
PEAK	-11.6	4.0	-19.1	4.0
NULL	-8.6	-8.0	-16.4	-12.0
INDIRECT				
PEAK	-	7.0	-	1.0
NULL	-	12.0	-	-12.0

<표 3.6> 전자유도탐사기법의 탐사정확도

( 기초재질 : 일반토사 포장재질 : 아스팔트 )

(unit : cm)

	STEEL PIPE (d=50mm)		CABLE	
	Depth	Position	Depth	Position
DIRECT				
PEAK	-3.8	6.0	-9.0	-2.0
NULL	-4.1	-2.0	-11.7	-4.0
INDIRECT				
PEAK	-	7.0	-	-7.0
NULL	-	1.0	-	-9.0

<표 3.3> 전자유도탐사기법의 탐사정확도

( 기초재질 : 마사토 포장재질 : 아스팔트 )

(unit : cm)

	STEEL PIPE (d=50mm)		CABLE	
	Depth	Position	Depth	Position
DIRECT				
PEAK	-8.8	4.0	-19.1	-3.0
NULL	-7.7	-5.0	-16.4	-7.0
INDIRECT				
PEAK	-	5.0	-	20.0
NULL	-	-2.0	-	12.0

<표 3.7> 지중레이다탐사법의 탐사 (unit : cm)

종 류	P V C (80mm)		P V C (170mm)	
	Depth	Position	Depth	Position
기초재질 / 포장재질				
마사토 / 마사토	-2.9	18.9	7.9	19.1
마사토 / 콘크리트	12.6	21.6	15.6	16.4
마사토 / 아스팔트	5.5	18.5	12.5	19.5
일반토사 / 일반토사	-2.5	18.5	7.5	19.5
일반토사 / 콘크리트	15.4	21.4	17.4	16.6
일반토사 / 아스팔트	-5.9	15.1	9.1	22.9

<표 3.4> 전자유도탐사기법의 탐사정확도

( 기초재질 : 일반토사 포장재질 : 마사토 )

(unit : cm)

	STEEL PIPE (d=50mm)		CABLE	
	Depth	Position	Depth	Position
DIRECT				
PEAK	-8.4	1.0	-18.4	-8.0
NULL	-6.4	-10.0	-17.7	-12.0
INDIRECT				
PEAK	-	-6.0	-	-6.0
NULL	-	-13.0	-	-12.0

<표 3.8> 지하매설물 탐사 정확도

대 상 물 재 질	오 차		비 고
	평면위치	깊 이	
금속관로 및 케이블	±20cm	±20cm	전자유도법이용 깊이 3.0m이하
비금속 관로	±20cm	±30cm	지중레이다법 이용 관경 100mm이상 깊이 3.0m이하

연구에서는 수준측량과 거리측량을 통해 지하매설물의 위치와 심도를 최확값(most probable value)으로 정하고 기초재료인 흙의 재질과 포장재료를 달리 하여 전자유도탐사기법인 RD400PXL2 와 지중 레이더 탐사법인 PULSE EKKO를 이용하여 지하매설물의 위치와 심도를 측정하여 각각의 탐사정확도를 비교분석 하였다.

기초재료 및 포장재질에따른 전자유도탐사기법의 탐사정확도는 표3.1 ~ 표3.6과 같으며 지중레이더 탐사기법의 정확도는 표3.7과 같다. 표3.1 ~ 표3.6에서 나타난 전자유도탐사법의 정확도를 비교분석한 결과 직접탐사인 경우 기초재료나 포장재료에 관계없이 ±3.0 ~ 20.0 cm의 오차가 발생하였고 간접탐사인 경우 깊이측정이 불가능하였는데 이는 매설물의 배치간격이 밀집되어 있고 검정 대상지역 길이가 20m로 전자유도시키는데 한계가 있기 때문인 것으로 사료되며 표3.7은 지중탐사법에 의한 정확도로서 ±2.9 ~ 22.9 cm를 측정할 수 있었다. 따라서 지하매설물측량에 있어서 탐사정확도로 표3.8과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

노상의 기초재질과 포장재질을 달리하여 전자유도탐사기법과 지중탐사기법을 이용하여 지하매설물의 정확도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 노상의 기초재질과 포장재질은 지하매설물 탐사의 정확도에 영향이 없었다.
2. 금속관로탐사인 경우의 탐사정확도는 ±3.0 ~ 20.0cm, 비금속관로 탐사정확도는 ±2.9 ~ 22.9cm를 얻을 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. Gates, D. C., R. A. Armistead, "The use of advanced technologies for location underground obstacles", Stanford Research Institute, 1974, pp.1-14.
2. Copeter F. Ulriksen, "Application of Impulse Radar to Civil Engineering", pp.1-25.
3. Teodor J. Blachut, Adam Chrzanowsk I, Jouko H. Saastamoinen, Urban Surveying and Mapping, 1979. pp.221 - 234.
4. 이재기, 최석근, 이현직, 이재동, " UTIC System을 이용한 지하매설물 자료기반 구축에 관한 연구 ", 한국측지학회, Vol. 13, No, 2, 1995.
5. 서울특별시, " 도로시설물 유지관리지침 및 규정 ", 1992.
6. 대한지적공사, " 지하시설물 지적측량에 관한 연구 ", 1982, pp.13 - 15.
7. 강태석, " 지적측량학 ", 형설출판사, 1994, pp.649650.
8. 이재기, 이재동, 최석근, 조재호, " 지중 RADAR를 이용한 지하시설물 측량에 관한 연구 ", 충북대학교 산업기술연구소, Vol.7 No.2, 1993.
9. " 지하 매설물 사고방지 입문", 원기술. 1992.
10. " GPS, CNS, 지하매설물에 관한 워크샵 ", 한국지형공간정보학회1995.10, pp.54-61.
11. 柳福模, " 측량학 원론(II)", 博英社, 1995.4, pp.245 - 249.
12. 이재기, 이재동, 박경열, 배재신, " 지하시설물 자료기반 구축", 충북대학교 산업기술연구소, Vol.9, No.2, 1995. 12, pp.125 - 144.
13. 강영옥, 조태영 " 지하매설물의 효율적 관리를 위한 데이터베이스 구축방안 ", 서울시정개발연구원 1996.
14. 이재동 " 전자유도방식에의한 지하매 설물 측량", 제3회 지리정보(GIS/GPS) 기술강좌3, 1996.3.
15. Lee, Jae-Dong, Lee, Hyun-Jik, Choi, Seok-Geun, Lee, Jae-Kee," UNDERGROUND FACILITIES DETECTING ACCURACY ", GIS AISA PACIFIC CONFERENCE, 1997.5