

상수관로 탐사에 대한 지중레이더의 적용가능성에 관한 연구

A Study on Applicability of Water Pipe Detecting Using GPR

이원종* · 임성민** · 최윤수*** · 민관식****

Lee, Won-Jong · Lim, Sung-Min · Choi, Yun-Soo · Min, Kwan-Sik

초 록

현대사회에서는 통신·전기·상하수도·가스 등 도시기반 시설물들을 지하에 매설하게 되면서 굴착공사로 인한 많은 사고 위험을 내재하게 되었다. 사고를 방지하기 위해서는 매설된 지하시설물에 대한 정확한 위치와 속성정보가 구축되어야 한다. 하지만 2004년부터 2009년까지 상수관로의 공공측량성과심사를 분석한 결과, 관로매설 전 시행하는 위치측량은 신규관로만을 관측하며 전자유도 탐사는 콘크리트 구간에서 자장간섭으로 인한 탐지 불가와 금속관로만을 탐사하는 한계점으로 인해 52.4%의 저조한 탐사율을 보이고 있다. 따라서 탐사율을 향상할 수 있는 정확하고 효과적인 탐사 기법에 대한 개발과 검증이 필요하다.

본 연구에서는 매설 전 금속관로와 비금속관로에 대한 위치측량 결과를 기준으로 정하여 지중레이더와 전자유도탐사를 통해 얻은 값과 비교·분석하였다. 그 결과 콘크리트구간 100%, 비포장구간 94.7%, 아스팔트구간 60%의 탐사율을 보여 지하매설물 탐사 시에 지중레이더 탐사의 적용가능성을 확인하였다.

주요어 : 지하시설물, 지중레이더, 전자유도탐사, 상수관로

ABSTRACT

In modern society, as to the underground urban infrastructure facilities(communication · electricity · water and sewage · gas etc.) were contained many risks because of excavating. The exact position of underground facilities and the attribute information should be built in order to prevent accidents.

* 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(전자우편 : wonjong2@uos.ac.kr), 주저자.

** (주)디에스정보기술 대표이사(전자우편 : smlim@ds-it.co.kr), 교신저자.

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 정교수(전자우편 : choiys@uos.ac.kr), 공동저자.

**** 한남대학교 건축·토목학과 조교수(전자우편 : geodesy@hnu.kr), 공동저자.

As the result of analyzing the public surveying results from 2004 to 2009, it shows that low detecting rate of water pipeline which is only 52.4%, because the exploration of electromagnetic induction only detect metal pipeline and positioning survey only detect new pipeline before burying. Therefore development and verification of the correct and efficient exploration techniques are needed to improve the detecting rate. In this study, determined based on the location measurement results for the non-metal pipes and metal pipes before burial. It was compared with values that obtained through the ground penetrating radar and electromagnetic induction detecting. As a result, detecting rate of the concrete section showed a 100%, unpaved section showed a 94.7%, asphalt section showed 60%. So it confirmed the applicability of the ground penetrating radar at underground facilities detecting.

KEYWORDS : Underground facilities, Ground Penetrating Radar(GPR), Electromagnetic induction, Water pipes

1. 서론

거대 도시화가 진행되면서 지가의 상승, 넘비 현상 등 지상의 토지이용에 한계에 따른 통신·전기·상수도·가스 등 도시 기반 시설물들을 지하에 매설하게 되었다. 이처럼 지하 공간의 이용이 증가하면서 보수나 또 다른 지하시설물을 매설하면서 굴착공사로 인한 사고가 발생하면 도시기능이 마비되거나 인명 피해, 경제적 손실 등 불편을 초래하게 된다. 이에 대비하기 위해서는 정확한 지하매설물의 위치 및 속성정보의 구축이 필요하다. 또한 국토교통부는 지하매설물, 지하구조물, 지반 등을 통합 구축하는 3차원 지하공간통합지도를 2017년까지 제작할 예정이다.¹⁾ 지하공간통합지도 제작을 위해서는 지하공간에 존재하는 매설물들에 대한 정확한 정보취득이 가장 중요한 부분이며 지하매설물을 탐지하기 위한 방법에는 매설 전·

후 방법이 있다. 매설 전 방법에는 관상단의 위치를 직접 측량하는 매설 전 관로에 대한 위치측량 방법과 매설 후 방법에는 탐지기를 통해 시설물의 위치를 탐지하는 탐사기법이 있다.

특히 많은 지하시설물 중 상수관로의 경우 노후된 상수관로가 많기 때문에 사고가능성이 높아 정확한 매설관의 위치정보를 취득하는 방안 확보가 시급하지만 2004년부터 2009년까지 공공측량성과심사의 결과를 분석한 결과 상수관로의 탐사율이 평균 52.4%로 매우 저조한 탐사율을 보인다.²⁾ 이와 같이 탐사율이 저조함을 보이는 이유는 상수관로에 대한 탐사는 비용이 많이 들어가는 사업이기 때문에 대부분의 지방자치단체에서 비금속관로에 대한 탐사는 시행하지 않고 조사만 시행하며, 매설 전 관로에 대한 위치측량방법의 경우 가장 높은 정확도를 확보할 수 있는 장점이 있으나 신규

1) 국토정보정책과(2013. 9. 25), 「국토부, 제5차 국가공간정보정책 기본계획 수립」, 국토교통부 보도자료, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95072743.

2) 이병윤(2010), 「상수도 지하시설물 탐사율 제고방안」, 서울시립대학교 석사학위논문, p.1.

관로만을 대상으로 하는 한계점이 있다. 또한 포장재질이 콘크리트인 경우 자장 간섭으로 인해 탐사가 되지 않고 비금속관로 역시 탐사가 되지 않는 등 전자유도 탐사법은 한계가 있기 때문이다. 따라서 기 구축된 지하시설물의 정확하고 효과적인 탐사 기법에 대한 개발과 검증이 필요하게 되었다.

이에 본 연구에서는 상수관로에 대해 지중레이더 탐사법이 적용가능한지 검증하고자 상수관로의 지반상태(아스팔트, 콘크리트, 비포장), 관재질(금속, 비금속) 그리고 관경(소형관로, 중형관로)별로 실험군 및 대조군을 설정하여 도출될 수 있는 다양한 탐사환경을 설계하였다. 상수관로 매설 전 관로에 대한 위치측량을 통해 위치와 심도정보를 취득하고 되메우기 이후 전자유도 탐사와 지중레이더(GPR) 탐사 방법을 이용하여 위치와 심도정보를 취득하였다. 이를 토대로 각각의 탐사환경에서 탐사방법별 정확도를 비교·분석하여 기존의 탐사 방식인 매설 전 관로에 대한 위치측량 방법과 전자유도탐사의 한계를 알아보고 정위치 방법 검증을 통하여 지중레이더 탐사의 적용가능성을 제시하고자 한다.

2. 연구방법 및 실험

2.1. 선행연구

효과적인 도시관리를 위해 매설된 지하시설물의 위치와 속성에 대한 정확한 자료를 필요로 하게 되었고 이에 따라 체계적인 지하시설물의 필요성이 제기되기 시작하였다. 최초의 지하시설물 측량은 1875년 독일의 튜빙겐(Tubingen)에 의해 수행되었고 1881년에는 폴란드의 바르샤바(Warszawa)시, 1915년 스위스의 올텐(Olten)시, 1917년 스위스 바

젤(Basel)시, 1954년 베른(Bern)시 등에서 수행하기에 이르렀다. 당시 지하시설물 측량은 특별한 탐사 장비가 개발되지 않았던 시기였으므로 원초적이면서도 가장 정확한 방법인 굴착을 통해 시행하였고, 이를 기초로 하여 지하시설물도를 작성하였다. 그러나 도시가 복잡해짐에 따라 비경제적이고 비효율적인 굴착보다 간단한 지상에서의 지하시설물 측량을 위한 방법을 강구하고 있다.³⁾

이에 관한 연구에서 박운용(2002) 등은 「GPR과 전자유도탐사장비에 대한 매설깊이의 정확도 분석」에서 동일 재질의 탐지물의 매설 깊이 1.0m, 1.5m, 3.0m에 대해 분석한 결과 지중레이더탐사법은 깊이에 관계없이 비슷한 정확도로 관측되었으며, 전자유도탐사법은 매설심도가 깊을수록 최대 0.16m의 평균오차를 나타낸다고 판단하였다.

박인찬(2006) 등은 「지중레이더를 이용한 상수관로의 누수탐사」에서 누수이력이 있는 신규 배수관로 매설지점에 대하여 지중레이더탐사를 실시하여 상수관망시스템의 효율적인 관리 및 보수에 지중레이더 탐사자료를 유용하게 사용할 수 있고 누수 탐사를 위한 보조적 기능을 수행할 수 있을 것으로 판단하였다.

신윤수(2006)는 「지하시설물의 위치정확도 비교 연구」에서 상수관로의 위치정확도 향상을 위해 기준점 기반 위치측량과 직접 조사·탐사를 실시하지 않는 이상 해결이 불가능할 것으로 판단하였다.

이와 같이 현재까지의 연구는 전자유도 탐사 방법의 한계를 보완하기 위해 지중레이더 탐사 도입에 관한 연구가 진행되었으며, 상수관망의 구축에 있어 지중레이더 탐사를 보조적 기능으로 수행하여 왔다.

3) K.Kraus, H.kager(1994), 「Accuracy of derived data in a GIS」, Computation Environment and Urban Systems, Vol.18, pp.87-94.

특히, 지하시설물의 위치정확도 확보의 중요성을 강조하였으나 정확도에 대한 검증 연구는 상대적으로 부족한 실정이므로 본 연구를 통하여 매설 전 노출 관로를 기준으로 지중레이더 탐사의 정확도 검증을 통한 적용가능성을 제시하고자 한다.

2.2. 실험 및 자료취득

2.2.1. 실험개요

본 연구에서는 상수관로가 설치된 지역에서 매설 전 관로에 대한 위치측량을 기준으로 전자유도 탐사기법과 지중레이더 탐사기법을 비교·분석하고 지중레이더 탐사기법의 적용가능성을 확인하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 두 가지의 탐사방법으로 동일한 지점을 탐사하되, 그 매설물의 관경, 관재질, 포장재질의 세 가지 조건을 달리하여 결과를 추출하고 기준이 되는 매설 전 관로에 대한 위치측량 결과와 비교하여 정확도 분석을 실시하였다.

〈표 1〉 매설조건에 따른 탐사대상 분류

매설조건에 따른 분류		
관경	관종류	포장재질
소형관로	금속관로	아스팔트
중형관로	비금속관로	콘크리트
		비포장

2.2.2. 대상지 선정

실험 대상지역은 경기도 광주시 일대로 2013년도부터 2015년도까지 상수도 급수공사를 실시한 지역으로 포장상태가 다양하고(포장, 비포장) 금속관로, 비금속 관로가 다양하게 매설되어 있으며, 측량이(GPS, 토털스테이션) 용이한 지역을 선정하

였다. 비교대상 연구개소는 오포읍 신현리 1개소, 오포읍 능평리 3개소, 오포읍 문형리 2개소, 초월읍 신대리 1개소, 도척면 상림리 2개소, 도척면 방도리 3개소로 총 12개소이며, 물량은 금속관로 구간 약 1.2km, 비금속관로 구간 약 1.3km이다.

2.2.3. 실험 결과 비교 근거

본 연구에서는 각각의 탐사환경에서 탐사방법별 정확도를 비교·분석하기 위해 공공측량 작업 규정 제140조 7항을 참고하였다. 내용은 다음 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 시설물 탐사 오차 허용 범위

기기		성능	판독범위
시설물 탐사 오차 허용 범위	금속관로	평면위치 ±20cm, 깊이 ±30cm	관경 80mm이상, 깊이 3m 이내의 관로를 기준으로 한 것
	비금속관로	평면위치 ±20cm, 깊이 ±40cm	

또한 평균제곱근오차를 사용하여 위치정확도를 분석하였는데 평균제곱근오차란 측정치와 잔차와의 차이를 제곱하여 평균을 구해준 값에 제곱근을 취하는 것으로 요구되는 측정치의 불균형 상태를 수량적으로 나타내는 요소이다. 평균 제곱오차가 작을수록, 그 측정 정확도가 높다고 할 수 있으며 평균제곱오차는 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$m = \sqrt{[\alpha^2]/(n-1)} \quad (1)$$

(단, α =교차, n =측점수)

3. 실험 및 결과

3.1. 매설 전 관로에 대한 위치측량 실험

3.1.1. 매설 전 관로에 대한 위치측량

매설 전 관로에 대한 위치측량이라 함은 상수 관로의 신규 및 교체 공사 시 관로가 노출된 상태를 실시간으로 측량하는 것을 말한다. 2010년 관련 법규 개정에 따라 지하시설물의 신설·교체 시에 지하시설물도 작성이 의무화되었고 되메우기 이전에 측량을 실시하여 탐사 시 발생될 수 있는 오류 또는 불탐 구간을 해소할 수 있는 최선의 방법이다. 이러한 매설 전 관로에 대한 위치측량의 방법은 지하시설물의 위치정확도 향상에 큰 기여를 할 수 있으나 시공지연에 따른 측량업무 비효율을 초래하며, 신규 관로를 대상으로 한다는 한계점이 있다.



[그림 1] 노출관로 위치측량 광경

3.1.2. 매설 전 관로에 대한 위치측량

연구 대상지역의 관로 시공 시에 매설 전 관로의 상단을 직접 측량하는 관로에 대한 위치측량을 통하여 검증의 기준값으로 사용하기 위해 토털스테이션과 GPS를 이용하여 위치와 심도 정보를 금속관로 34지점, 비금속관로 14점을 취득하였다. 이렇게 취득한 좌표는 관로의 상단에 대한 높이

값을 가지고 있으며 지표면의 측량을 추가로 실시한 후 지반고를 취득하고, 그 지반고로부터 관상단고를 차감하여 심도를 계산, 추출하였다. 그 결과는 전자유도 탐사와 지중레이더 탐사 비교표에서 제시하였다.

3.2. 전자유도 탐사 실험

3.2.1. 전자유도 탐사 및 장비

전자유도탐사는 전도체에 전기가 흐르면 도체 주변에 자장이 형성되는 원리를 이용한 것으로써 전류가 흐르는 도선은 동심원의 형태로 자장을 형성하여 수신기로 증폭시켜 음향이 검류계에 나타나도록 하여 지하시설물을 탐사하는 원리이다. 탐사법의 종류는 직접법, 간접법, 클램프 접속법, 탐침법에 의한 방법 등으로 구분되며 그중 직접법은 탐지하고자 하는 지하시설물에 두 개의 단자 중 송신기 단자를 한쪽에 연결시키고 다른 한쪽 단자를 지하시설물과 직각 방향으로 약 5~7m지점의 땅에 접지시키는 방법으로써 정확도는 높으나 작업조건이 까다로운 단점이 있다. 본 연구에 사용한 전자유도탐사 장비는 일본의 다카치요(高千穂) 산업주식회사의 MPL(Micro-Computerize Pipe Locator) 시리즈 중 MPL-10S 장비를 사용하여 관로탐사를 진행하였다.

3.2.2. 전자유도 탐사

아래 <표 3>은 관경 80mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 11.7cm, y 평균제곱근오차 43.3 cm, 심도 평균제곱근오차 5.3cm를 얻었다.

여기서 평균제곱근오차란 편차의 제곱의 합을 총 개수 -1 로 나눈 값의 평방근을 뜻한다. 편차가

크거나 아예 없는 것을 보아 탐사 시 간섭 등으로 인해 나타난 결과 값이라고 판단된다.

〈표 3〉 관경 80mm 아스팔트 구간 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
214462.761	528410.017	1.0
214462.862	528390.873	0.8
214462.114	528384.774	0.7
214460.374	528374.170	0.8
214462.686	528366.478	0.9
전자유도 탐사		
x	y	심도(m)
214462.596	528409.709	0.9
214462.502	528390.219	0.9
214462.071	528384.078	0.8
214460.374	528374.170	0.9
214462.369	528366.985	0.9
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.165	0.308	0.1
0.360	0.653	0.1
0.043	0.696	0.1
0.000	0.000	0.1
0.317	0.507	0.0



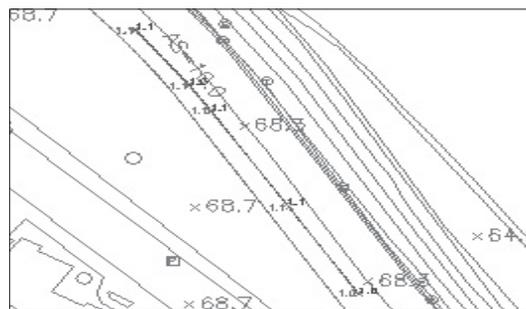
[그림 2] 아스팔트 구간의 금속관로 80mm 전자유도 탐사구간

아래 〈표 4〉는 관경 100mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 12.9cm, y 평균제곱근오

차 17.9 cm, 심도 평균제곱근오차 2cm를 얻었다. 이는 공공측량작업규정에 부합하며, 관경 80mm 구간보다 간섭 등이 적기 때문에 정확도가 높은 결과 값을 나타냈다.

〈표 4〉 관경 100mm 아스팔트 구간 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
228987.186	528771.728	1.1
228993.991	528762.124	1.0
228996.726	528757.555	1.1
229006.369	528741.320	1.1
229015.508	528725.816	1.0
전자유도 탐사		
x	y	심도(m)
228987.286	528771.494	1.1
228994.075	528761.948	1.1
228996.810	528757.471	1.1
229006.697	528740.922	1.1
229015.558	528725.813	1.0
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.100	0.234	0.0
0.084	0.176	0.1
0.084	0.084	0.0
0.328	0.398	0.0
0.050	0.003	0.0

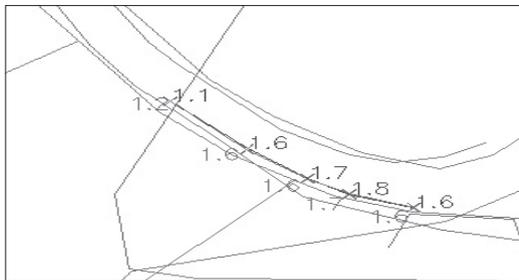


[그림 3] 아스팔트 구간의 금속관로 100mm 전자유도 탐사구간

아래 <표 5>는 관경 150mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 3.2cm, y 평균제곱근오차 4.1 cm, 심도 평균제곱근오차 6cm를 얻었다. 이는 공공측량작업규정에 부합하며, 가장 높은 정확도를 나타냈다.

<표 5> 관경 150mm 아스팔트 구간 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
229536.149	524633.428	1.1
229540.572	524629.369	1.6
229544.082	524626.831	1.7
229546.450	524625.486	1.8
229550.168	524624.346	1.6
전자유도 탐사		
x	y	심도(m)
229536.145	524633.380	1.2
229540.559	524629.282	1.6
229543.994	524626.839	1.6
229546.458	524625.529	1.7
229550.217	524624.366	1.6
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.004	0.048	0.1
0.013	0.087	0.0
0.088	0.008	0.1
0.008	0.043	0.1
0.049	0.020	0.0

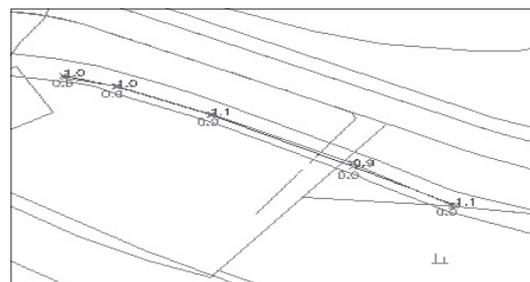


[그림 4] 아스팔트 구간의 금속관로 150mm 전자유도 탐사구간

다음 <표 6>은 관경 80mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 20.8cm, y 평균제곱근오차 17.4 cm, 얻었으며 심도 평균제곱근오차는 얻지 못했다. 이는 콘크리트 구간에서는 상수관로가 철근 아래에 매설되어 자장 간섭과 다른 매설물(통신선)으로 인하여 전자유도 탐사로 위치만 가늠할 뿐 심도 탐사가 어렵다는 것으로 판단된다.

<표 6> 관경 80mm 콘크리트 구간 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
224590.910	531569.898	1.0
224596.728	531568.255	1.0
224607.141	531563.765	1.1
224622.883	531555.642	0.9
224634.170	531549.472	1.1
전자유도 탐사		
x	y	심도(m)
224591.037	531569.667	불탐
224596.949	531568.285	불탐
224607.338	531563.792	불탐
224622.759	531556.157	불탐
224633.800	531549.405	불탐
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.127	0.231	불탐
0.221	0.030	불탐
0.197	0.027	불탐
0.124	0.515	불탐
0.370	0.067	불탐

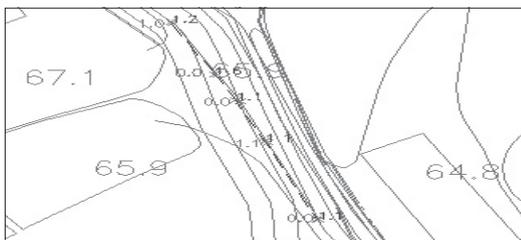


[그림 5] 콘크리트 구간의 금속관로 100mm 전자유도 탐사구간

다음 <표 7>은 관경 100mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 25.9cm, y 평균제곱근오차 9.1 cm, 얻었으며 심도 평균제곱근오차는 얻지 못했다. 이는 콘크리트 구간에서는 상수관로가 철근 아래에 매설되어 자장 간섭과 다른 매설물의 간섭(통신선)으로 인하여 전자유도 탐사로 위치만 가늠할 뿐 심도 탐사가 어렵다는 것으로 판단된다.

<표 7> 관경 100mm 콘크리트 구간 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
219363.167	527717.055	1.2
219366.880	527709.639	1.6
219368.696	527705.922	1.1
219371.195	527700.015	1.1
219375.638	527688.859	1.1
전자유도 탐사		
x	y	심도(m)
219363.324	527717.020	불탐
219367.134	527709.556	불탐
219369.123	527705.734	불탐
219371.483	527699.894	불탐
219375.807	527688.885	불탐
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.157	0.035	불탐
0.254	0.083	불탐
0.427	0.188	불탐
0.288	0.121	불탐
0.169	0.026	불탐

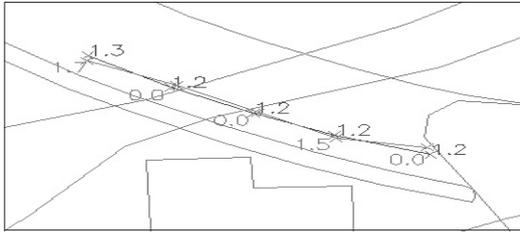


[그림 6] 콘크리트 구간의 금속관로 100mm 전자유도 탐사구간

다음 <표 8>은 관경 150mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 21cm, y 평균제곱근오차 35.9 cm, 얻었으며 심도 평균제곱근오차는 얻지 못했다. 관경 150mm 구간에서는 2점에서 측정이 가능했는데 관경이 크면 자장이 크기 때문에 탐사가 잘되며, 자장 간섭이 약한 지점으로 사료된다. 하지만 다른 3점이 측정이 되지 않았으며 이는 콘크리트 구간에서는 상수관로가 철근 아래에 매설되어 자장 간섭과 다른 매설물의 간섭(통신선)으로 인하여 전자유도 탐사로 위치만 가늠할 뿐 심도 탐사가 어렵다는 것으로 판단된다.

<표 8> 관경 150mm 콘크리트 구간 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
234826.914	527904.147	1.3
234832.225	527901.053	1.2
234837.594	527898.532	1.2
234842.791	527896.379	1.2
234848.965	527894.490	1.2
전자유도 탐사		
x	y	심도(m)
234826.851	527903.619	1.7
234832.633	527901.247	불탐
234837.863	527898.593	불탐
234842.890	527896.098	1.5
234848.753	527895.221	불탐
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.063	0.528	0.4
0.408	0.194	불탐
0.269	0.061	불탐
0.099	0.281	0.3
0.212	0.731	불탐



[그림 7] 콘크리트 구간의 금속관로 150mm 전자유도 탐사구간

기준으로 우측면에서 좌측면 또는 좌측면에서 우측면으로 일정한 간격으로 약 4~5회 탐사를 실시하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.



[그림 8] 포장재질별 지중레이더 탐사 시행

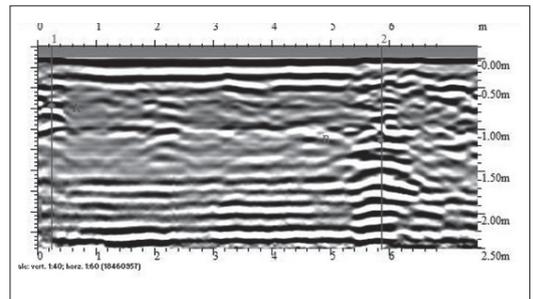
3.3. 지중레이더 실험

3.3.1. 지중레이더 탐사 및 장비

지중레이더 탐사는 1~1,800MHz 사이의 전자기파를 짧은 폭의 펄스 형태로 매질에 전파시킨 후, 전파 경로 중 전기적 성질이 다른 매질의 경계에서 반사해 오는 전자파를 수신하여 매질에 대한 정보를 얻는 물리탐사법의 한 방법이다. 전자기파가 지하의 어떤 두 매질의 경계에서 반사되어 돌아온 신호를 받아 지하의 구조를 영상화하여 포물선 반사 이벤트를 생성하게 된다. 영상화 된 자료를 판독하여 기준점에서 몇 m지점에 포물선 반사 이벤트가 생성되었는가를 확인하여 탐사하고자 하는 대상의 매설된 위치(영상의 횡축)와 심도(영상의 종축)를 알 수 있다.

본 연구에 사용된 지중레이더 장비는 Logis사의 GeoRadar 장비를 사용하였다. 이 장비는 고성능의 비전도 광섬유케이블을 사용하여 Signal Noise를 최소화하고 안테나의 구성이 매우 다양하며 단독탐사가 가능하다.

아래 [그림 9]는 아스팔트 포장구간의 관경 100mm인 금속관로 탐사결과이다. 우측 도로면을 기준으로 좌측도로면까지 횡단으로 탐사를 실시한 결과, 우측도로면에서 0.2m의 지점에 심도 0.5m인 포물선 반사 이벤트 'A'와 5.9m의 지점에 심도 1.1m인 포물선 반사 이벤트 'B'가 형성되었다. 그 지점을 지상에 표시한 후 위치 측량을 실시하고, 전방 약 5m 지점에서 위와 같은 방법으로 총 4회~5회를 실시하였다. B의 포물선 반사 이벤트는 가로등선으로 확인 되었다.



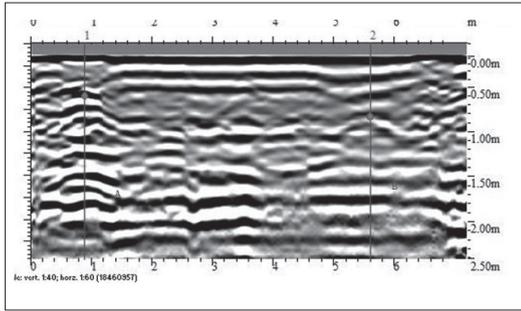
[그림 9] 아스팔트 포장구간 지중레이더 탐사결과

3.3.2 포장재질별 탐사

지중레이더 탐사는 [그림 8]과 같이 아스팔트, 콘크리트, 비포장 순으로 실시하였으며, 도로를

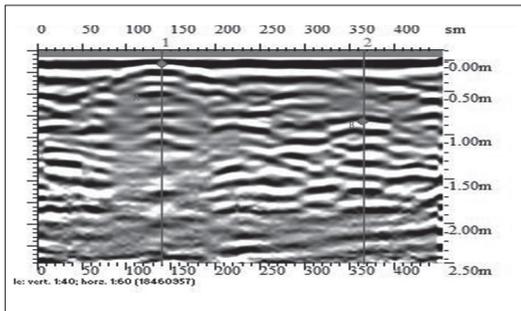
다음 [그림 10]은 콘크리트 구간으로 우측면을 기준으로 좌측면으로 횡단탐사 결과 우측면에서 0.9m의 지점에 심도 0.6m인 포물선 반사 이벤트

‘A’와 5.6m의 지점에 심도 0.8m인 포물선 반사이벤트 ‘B’가 형성되었다. 포물선 반사이벤트 A는 지선 통신선로로 확인하였다.



[그림 10] 콘크리트 구간 지중레이더 탐사결과

아래 [그림 11]은 비포장 구간으로 좌측도로면을 기준으로 우측도로면으로 횡단 탐사 결과 좌측도로면에서 1.4m의 지점에 심도 0.1m인 포물선 반사이벤트 ‘A’와 3.7m의 지점에 심도 0.9m인 포물선 반사이벤트 ‘B’가 형성되었다. 포물선 반사이벤트 A는 지하시설물이 아닌 잔상으로 확인하였다.



[그림 11] 비포장 구간 지중레이더 탐사결과

3.3.3. 관의 크기별 탐사

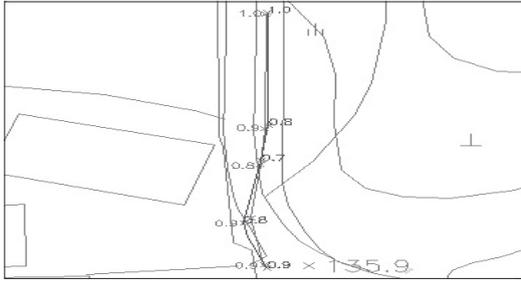
포장재질별 탐사에 이어 관로의 관경에 따른 분류를 하여 탐사를 실시하였다. 관경은 80mm, 100mm, 150mm의 3가지 크기로 분류하여 실시하였다.

청색은 대조군인 매설 전 관로에 대한 위치측량이며 적색은 실험군인 지중레이더 탐사 결과를 나타내고 있다.

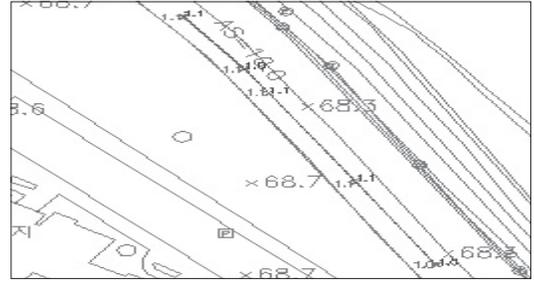
아래 <표 9>는 관경 80mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 14.8cm, y 평균제곱근오차 26.7cm, 심도 평균제곱근오차 2cm를 얻었다. 공공측량 작업규정에 20cm 이내로 규정되어 있으나 이는 dx, dy의 오차일 뿐 두 가지 비교대상 선형의 정확도는 오차범위 내에 있음을 의미한다.

<표 9> 관경 80mm 구간 매설 전 관로에 대한 위치측량과 지중레이더 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한관로 위치측량		
x	y	심도(m)
214462.761	528410.017	1.0
214462.862	528390.873	0.8
214462.114	528384.774	0.7
214460.374	528374.170	0.8
214462.686	528366.478	0.9
지중레이더 탐사		
x	y	심도(m)
214462.762	528410.017	1.0
214462.961	528390.000	0.9
214462.180	528384.366	0.7
214460.684	528374.149	0.8
214462.421	528366.513	0.9
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.000	0.000	0.0
0.099	0.873	0.1
0.066	0.408	0.0
0.310	0.021	0.0
0.265	0.035	0.0



[그림 12] 관경 80mm 지중레이더 탐사구간



[그림 13] 관경 80mm 지중레이더 탐사구간

다음 <표 10>은 관경 100mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 6.9cm, y 평균제곱근오차 17 cm, 심도 평균제곱근오차 2cm를 얻었다. 이는 공공측량작업 규정에 부합하며 관경 80mm 보다 정확한 결과를 나타냈다.

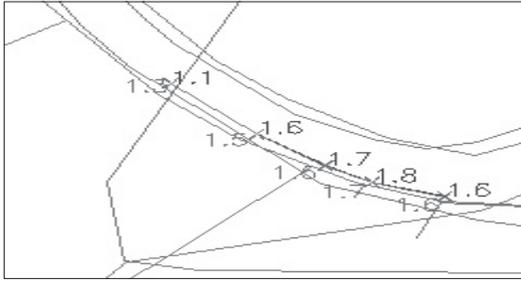
다음 <표 11>은 관경 150mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 1cm, y 평균제곱근오차 4.4 cm, 심도 평균제곱근오차 10cm를 얻었다. 이는 공공측량작업 규정에 부합하며 정확도가 가장 높은 결과를 나타냈다.

<표 10> 관경 100mm 구간 매설 전 관로에 대한 위치 측량과 지중레이더 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
228987.186	528771.728	1.1
228993.991	528762.124	1.0
228996.726	528757.555	1.1
229006.369	528741.320	1.1
229015.508	528725.816	1.0
지중레이더 탐사		
x	y	심도(m)
228987.205	528771.575	1.1
228994.022	528761.913	1.1
228996.738	528757.471	1.1
229006.452	528740.994	1.1
229015.309	528725.893	1.0
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.019	0.153	0.0
0.031	0.211	0.1
0.012	0.084	0.0
0.083	0.326	0.0
0.199	0.077	0.0

<표 11> 관경 150mm 구간 매설 전 관로에 대한 위치 측량과 지중레이더 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
229536.149	524633.428	1.1
229540.572	524629.369	1.6
229544.082	524626.831	1.7
229546.450	524625.486	1.8
229550.168	524624.346	1.6
지중레이더 탐사		
x	y	심도(m)
229536.171	524633.426	1.3
229540.570	524629.331	1.5
229544.077	524626.791	1.6
229546.446	524625.425	1.7
229550.156	524624.267	1.6
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.022	0.002	0.2
0.002	0.038	0.1
0.005	0.040	0.1
0.004	0.061	0.1
0.012	0.079	0.0



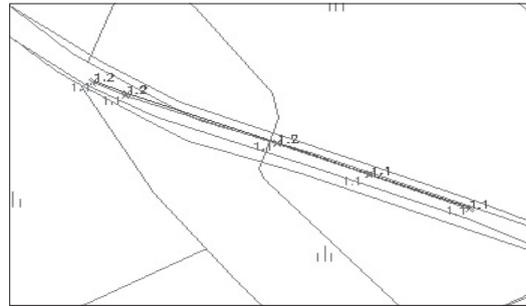
[그림 14] 관경 150mm 지중레이더 탐사구간

편차		
dx	dy	심도차(m)
0.105	0.280	0.1
0.107	0.258	0.1
0.066	0.212	0.1
0.221	0.097	0.0
0.159	0.121	0.0

3.3.4. 비금속관로 탐사

전자유도 탐사의 경우 비금속관로는 비전도성 물질로 탐사가 불가능하지만 지중레이더 탐사의 경우 비금속관로도 탐사가 가능하다.

아래 <표 12>는 관경 80mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 13.2cm, y 평균제곱근오차 19.4 cm, 심도 평균제곱근오차 6cm를 얻었다. 이는 공공측량작업 규정 20cm 내에 부합한다.

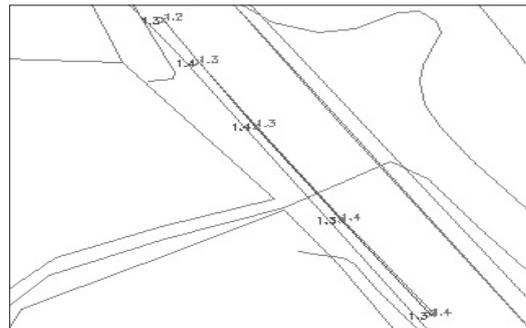


[그림 15] 비금속관로 관경 80mm 지중레이더 탐사구간

<표 12> 관경 80mm 구간 매설 전 관로에 대한 위치 측량과 지중레이더 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
226319.413	530070.683	1.2
226323.104	530068.943	1.2
226340.015	530062.225	1.2
226350.473	530057.944	1.1
226361.699	530053.308	1.1
지중레이더 탐사		
x	y	심도(m)
226319.308	530070.403	1.1
226322.997	530068.685	1.1
226339.949	530062.013	1.1
226350.252	530057.847	1.1
226361.540	530053.187	1.1

다음 <표 13>은 관경 100mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 12.3cm, y 평균제곱근오차 1cm, 심도 평균제곱근오차 7.5cm를 얻었다. 이는 공공측량작업 규정에 부합하며 관경 80mm 보다 더 정확한 결과를 나타냈다.

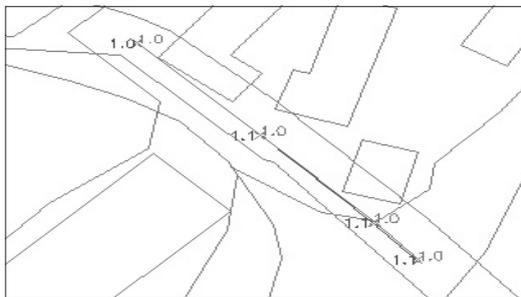


[그림 16] 비금속관로 관경 100mm 지중레이더 탐사구간

〈표 13〉 관경 100mm 구간 매설 전 관로에 대한 위치 측량과 지중레이더 탐사 비교표

매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
225789.101	523414.127	1.0
225800.115	523403.122	1.1
225810.226	523392.646	1.1
225814.201	523388.178	1.1
지중레이더 탐사		
x	y	심도(m)
225789.155	523414.134	1.0
225800.229	523403.135	1.0
225810.440	523392.647	1.0
225814.311	523388.197	1.0
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.054	0.007	0.0
0.114	0.013	0.1
0.214	0.001	0.1
0.110	0.019	0.1

다음 〈표 14〉는 관경 150mm 탐사구간의 결과 값으로 x 평균제곱근오차 11.5cm, y 평균제곱근오차 11.1 cm, 심도 평균제곱근오차 10cm를 얻었다. 이는 공공측량작업 규정에 부합한다.



〈그림 17〉 비금속관로 관경 150mm 지중레이더 탐사구간

〈표 14〉 관경 150mm 구간 매설 전 관로에 대한 위치 측량과 지중레이더 탐사 비교표

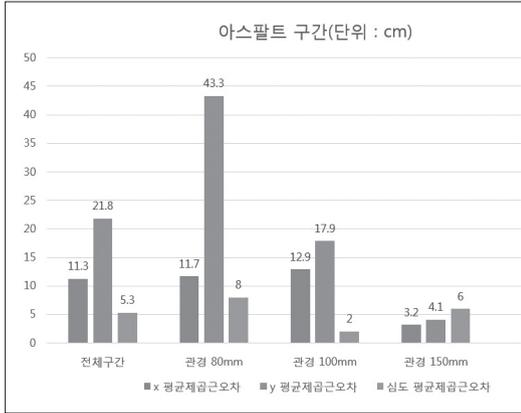
매설 전 관로에 대한 위치측량		
x	y	심도(m)
229758.434	520660.788	1.3
229762.759	520653.944	1.4
229769.689	520643.831	1.4
229780.074	520628.982	1.3
229791.085	520613.883	1.3
지중레이더 탐사		
x	y	심도(m)
229758.504	520660.794	1.2
229762.796	520654.056	1.3
229769.846	520643.813	1.3
229780.253	520628.919	1.4
229791.217	520614.240	1.4
편차		
dx	dy	심도차(m)
0.070	0.006	0.1
0.037	0.112	0.1
0.157	0.018	0.1
0.179	0.063	0.1
0.132	0.357	0.1

3.4. 취득결과 비교

3.4.1. 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도 탐사결과 비교

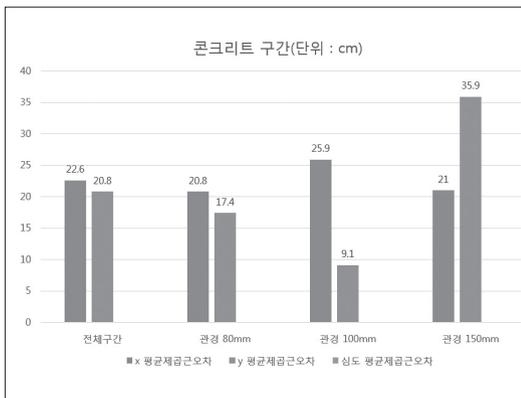
지반상태(아스팔트, 콘크리트, 비포장), 관재질(금속, 비금속) 그리고 관경(소형관로, 중형관로)별로 매설 전 관로에 대한 위치측량과 전자유도탐사를 통해 취득한 결과를 비교한 결과는 다음과 같다.

아스팔트 구간의 평균 제공근오차는 다음 [그림 18]과 같이 결과 값을 얻었으며, 관경이 커질수록 정확도가 높아진다는 것으로 사료된다.



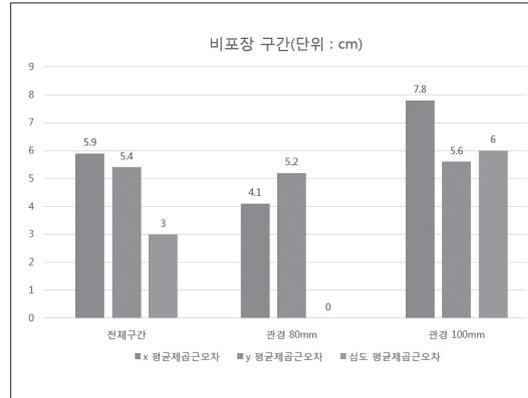
[그림 18] 전자유도탐사의 아스팔트 구간
평균제공근 오차

콘크리트 구간의 평균 제공근오차는 다음 [그림 19]와 같이 결과 값을 얻었으며, 콘크리트 구간에서는 전자유도 탐사가 대략적인 위치만 가능할 뿐 심도탐사는 불가능하다는 것을 보여주어 정확한 탐사가 어렵다는 것을 보여준다.



[그림 19] 전자유도탐사의 콘크리트 구간
평균제공근 오차

비포장 구간의 평균 제공근오차는 다음 [그림 20]과 같이 결과 값을 얻었으며, 이는 공공측량작업 규정에 부합하며 정확도가 높은 탐사라고 판단된다. 또한 탐사율은 아스팔트 구간 60%, 콘크리트 구간 20%, 비포장 구간 100%를 나타냈다.

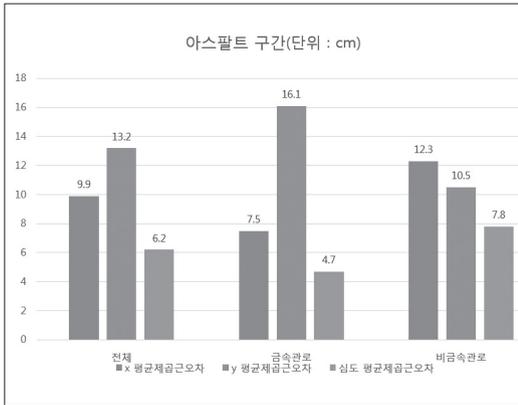


[그림 20] 전자유도탐사의 비포장 구간
평균제공근 오차

3.4.2. 매설 전 관로에 대한 위치측량과 지중레이더 탐사결과 비교

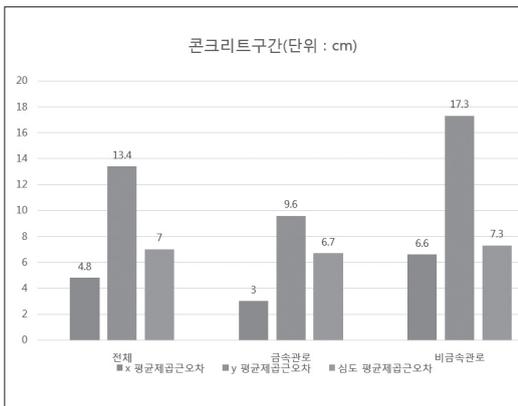
지반상태(아스팔트, 콘크리트, 비포장), 관재질(금속, 비금속) 그리고 관경(소형관로, 중형관로) 별로 매설 전 관로에 대한 위치측량과 지중레이더 탐사를 통해 취득한 결과를 비교한 결과 전 구간에서 탐사가 가능하며 대체적으로 양호한 결과를 얻었다.

아스팔트 구간의 평균 제공근오차는 다음 [그림 21]과 같이 결과 값을 얻었으며, 아스팔트 구간의 지중레이더 탐사는 비금속관로 보다 금속관로에서 더 정확하다고 볼 수 있다.



[그림 21] 지중레이더탐사의 아스팔트 구간
평균제곱근 오차

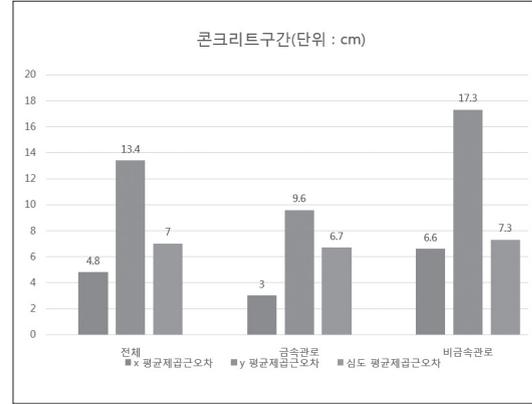
콘크리트 구간의 평균 제곱근오차는 다음 [그림 22]와 같이 결과 값을 얻었으며, 콘크리트 구간의 지중레이더 탐사는 비금속관로 보다 금속관로에서 더 정확하다고 판단된다.



[그림 22] 지중레이더탐사의 콘크리트 구간
평균제곱근 오차

비포장 구간의 평균 제곱근오차는 다음 [그림 23]과 같이 결과 값을 얻었으며, 비포장 구간의 지중레이더 탐사는 금속관로 보다 비금속관로에서 더 정확하다고 판단된다. 또한 탐사율은 아스팔

트 구간 60%, 콘크리트 구간 100%, 비포장 구간 94.7%를 나타냈다.



[그림 23] 지중레이더탐사의 비포장 구간
평균제곱근 오차

4. 결 론

본 연구에서는 상수관로의 지반상태, 관재질 그리고 환경에 따라 매설 전 관로에 대한 위치측량을 기준으로 전자유도 탐사기법과 지중레이더 탐사기법을 비교·분석하고 지중레이더 탐사기법의 적용가능성을 확인하고자 하였다. 이를 위해 두 가지의 탐사방법으로 동일한 지점을 탐사하되, 그 매설물의 관경, 관재질, 포장재질의 세 가지 조건을 달리하여 다양한 탐사환경에서 탐사 결과를 얻고 기준인 매설 전 관로에 대한 위치측량 결과 값과 비교하여 정확도 분석을 실시하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

전자유도 탐사법에서는 콘크리트 구간은 대략적인 위치만 가늠할 뿐 심도를 탐사할 수 없었으며 비포장 구간이 아스팔트 구간보다 결과 값의 정확도가 높게 나타났다. 또한 전자유도탐사는 비금속관로는 비전도성 물체로 탐사가 되지 않았으

며, 콘크리트 구간은 자장 간섭으로 인해 관로의 평면위치는 대략적으로 파악할 수 있으나, 심도의 경우는 큰 오차로 인해 결정할 수 없는 불탐 현상이 발생하는 한계점을 보였다.

지중레이더 탐사법에서는 비금속관로는 비포장, 아스팔트, 콘크리트 구간 순으로 결과 값의 정확도가 높았으며, 금속관로는 비포장, 콘크리트, 아스팔트 구간 순으로 결과 값의 정확도가 높았다. 또한 지중레이더 탐사는 각각의 탐사환경에서 모두 탐사가 가능하며 전부 양호한 결과를 얻었다. 이는 지중레이더를 이용하여 탐사를 하면 탐사율이 크게 향상될 수 있다. 그러므로 지중레이더를 이용하여 상대적으로 우수한 정확도로 지하를 탐측하여 정확한 위치와 심도를 취득하여 지하시설물의 효율적인 운영관리와 안전사고 예방에 대처할 수 있으며 취득한 자료를 바탕으로 국토정보를 구축하는데 많은 도움을 줄 수 있다고 사료된다. 하지만 일부 오류 및 과실로 인하여 실제 시설된 시설물의 위치 오차가 발생하므로 스마트마커와 같이 RFID를 통한 보다 정확한 위치와 심도를 파악할 수 있는 장치에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

【참고문헌】

- 국토교통부(2010), 제4차 국가공간정보정책 기본계획 2010-2015.
- 국토지리정보원(2000), 지하시설물도 작성 세부 지침.
- 국토지리정보원(2006), 수치지도작성 작업 규칙.
- 국토지리정보원(2011), 공공측량 작업규정 개정.
- 김영표 · 신동빈(2002), 「지하시설물 전산화 사업

감리사례 연구」, p.44.

- 김원대 · 황환국 · 박재우 · 채명진(2008), 「GPR 기법을 이용한 관로 배면 지반 상태 평가에 관한 연구」, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, No.11, pp.363-369.
- 김은정(2002), 「地下施設物の位置正確度向上方案」, 석사학위논문, 충북대학교.
- 김인섭(2009), 「자동수평마커와 DGPS를 이용한 지하시설물의 현장관리시스템 개발에 관한 연구」, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제27권, 제6호, pp.733-739.
- 김학수 · 임해룡 · 배성호(1999), 「GPR에 의한 지반 구조물 탐사」, 한국지구물리탐사학회 학술대회 논문집, 한국지구물리탐사학회, pp.65-91.
- 박인찬 · 조원철(2006), 「GPR을 이용한 상수관로의 누수 탐사」, 한국수자원학회 2006년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.1271-1274.
- 백장미 · 홍인식(2012), 「사용자 위치 정보에 기반한 GIS 지하매설물 검색 및 모니터링 시스템」, 보안공학연구 논문지, 제9권, 제1호, pp.87-98.
- 백종은 · 최재순(2014), 「GPR을 이용한 도로 하부 탐사 기술」, 한국도로학회, 제16권, 제3호, pp.11-16.
- 손강희 · 최진수(2002), 「GPR과 GPS를 이용한 하상지반조사」, 한국지반공학회지 제18권, 제8호, pp.25-30.
- 이현직(2002), 「지하시설물도의 품질 향상 방안 연구」, 한국측량학회지, 한국측량학회, pp.77-83.
- 최병길 · 김태훈 · 나영우(2008), 「도시시설물 관

- 리를 위한 공간정보획득에 관한 연구», 제34회 대한토목학회 정기학술대회, pp. 4026-4029
- 홍상희(2005), 「GPR(Ground Penetrating Radar)의 활용」, 건설안전협회논문집, 봄호, pp.62-66.
 - K.Kraus, H.kager(1994), 「Accuracy of derived data in a GIS」, Computation Environment and Urban Systems, Vol.18, pp.87-94.