

자기장을 이용한 매설배관의 위치탐지에 관한 연구

석창성*, 배봉국#, 김정표**

A Study on the Detecting Underground Pipes Using Magnetic Method

Chang-Sung Seok*, Bong-Kook Bae# and Jeong-Pyo Kim**

ABSTRACT

As increasing underground facilities, more effective management is needed nowadays. It is important to get an accurate information of underground facilities to manage that, so some methods of detecting location - electromagnetic induction method, ground penetration radar method, sound wave method - are used to obtain the information of underground facilities. In this study, a magnetic method to detect underground facilities was developed. In the magnetic method, underground facilities are detected by a detector and the magnetic marker which is a permanent magnet and used to marking the location by attaching underground facilities. A test field was constructed for experiment with the magnetic marker, PVC pipe, and steel pipe under ground 1.5m, and a ferromagnetic detector was used for measurement. Magnetic strengths of the magnetic marker were measured by the detector at each location in the test field, and analyzed by magnetic field analysis tool in the same condition. In the result, the underground pipes of 1.5m below were detectable within the deviation $\pm 0.2m$. When For applying this method, it should be considered that ferromagnetic materials around the detector could affect a measured value.

Key Words : Magnetic marker(자기마커), Test field(테스트필드), Ferromagnetic detector(강자성 탐지기), Gauss meter(가우스미터)

1. 서론

산업화와 도시화로 인해 단위 면적 당 거주 인구가 늘어나고 각종 시설물의 수요가 증가하여 공간의 밀집도가 높아지게 되었다. 이들 시설물의 밀집으로 인한 불편을 방지하고 지상의 공간을 보다 효율적으로 활용할 수 있도록 하기 위해 상·하수도, 전기, 통신, 가스와 같은 기반시설을 지하에 매

설하게 되었다. 하지만 지하에 매설된 시설물은 그 위치와 상태를 시각적으로 확인할 수 없으므로 유지·보수가 어렵고 또한 각종 도로굴착공사로 인해 쉽게 파손되어 사고를 유발할 수 있는 잠재적인 위험을 내포하고 있다. 그러므로 도시 기반시설을 효율적이고 안전하게 관리하기 위해서는 지하시설물의 정확한 위치 파악이 선행되어야 한다.¹⁻²

지하시설물의 위치를 파악하기 위해서 초기에

· 접수일: 2003년 2월 1일; 게재승인일: 2003년 7월 11일
* 성균관대학교 기계공학부
교신저자: 성균관대학교 기계공학부 대학원
E-mail: bbkook@empal.com, Tel: (031) 290-7486, Fax: (031) 290-7482
** 성균관대학교 기계공학부 대학원

는 일일이 땅을 굴착하여 시설물의 위치를 확인하고 도면을 작성하였지만 기술이 발전함에 따라 땅을 굴착하지 않고도 지하시설물의 위치를 탐지할 수 있는 탐사방법들이 개발되었다. 현재 주로 사용되고있는 지하시설물 탐사방법으로는 전자유도 탐사법, 지중레이다 탐사법, 음파 탐사법이 있다.^{3~5}

전자유도(electromagnetic induction) 탐사법은 전도체에 전기가 흐르면 도체 주변에 자기장이 형성되는 원리를 이용하는 것으로, 가장 널리 사용되는 탐사방법이다. 하지만 고압선과 같이 전자파 장애가 있는 장소와 비금속 시설물에는 적용이 어렵고 탐사시 내부에 고전류를 공급해 주어야 한다.

지중레이다(ground penetration radar) 탐사법은 전자기파가 지하에서 반사되는 성질을 이용하며, 적절한 처리를 거쳐 고분해능의 연속 지중 단면 영상을 얻을 수 있다. 하지만 신호처리를 위한 부수적인 장치가 필요하며 장비가 고가이다.

음파(sound wave) 탐사법은 음파를 잘 전달하는 물의 성질을 이용하여, 수도관에 음파신호를 보내고 수신기로 관내에 발생한 음파를 측정하여 매설된 수도관의 위치·방향·굴곡을 탐지할 수 있다. 지반 깊이 측정이 어렵고 관로에 물이 있는 경우에만 사용이 가능하다는 단점이 있다.

이처럼 현재 사용되는 위치 탐사법들은 각기 장단점을 가지고 있으며 상호 보완적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 기존의 방법과 달리 자기마커(magnetic marker)라 불리는 영구자석을 이용한 자기(magnetic) 탐사법을 개발하고자 한다. 영구자석은 강한 강자성체이므로 강자성 탐지기에 쉽게 검출된다. 따라서 지하 매설물에 자기마커를 부착해 두면 강자성 탐지기로 지하 매설물의 위치를 탐지할 수 있다.

2. 실험 장치

2.1 자기마커(magnetic marker)

자기마커는 일정한 자기강도를 유지해야 하므로 재료와 형상이 동일한 영구자석들을 이용하였다. 본 연구에서 자기마커로 사용한 재료는 강자성 재료인 NdFe35로서 자기특성은 Table 1과 같다. B_r 은 잔류자속밀도로서 자기의 세기를 나타내고, H_c 는 보자력으로써 외부자장에 저항하는 성질을 나타내며, BH_{max} 는 최대에너지적으로써 자석의 성능을 나타낸다. 본 연구에서는 예비실험과 해석을 통해

Table 1 Characteristics of NdFe35

Property	B_r [kG]	H_c [kOe]	BH_{max} [MGOe]	D [g/cm ³]
Value	12.1~11.7	11.4~10.8	35~33	7.45

1.5 m 거리에서 충분히 자장의 크기를 측정할 수 있는 두께 10 mm, 직경 30 mm인 원통형의 영구자석을 자기마커로 선정하여 실험과 해석에 사용하였다.

2.2 테스트필드(test field)

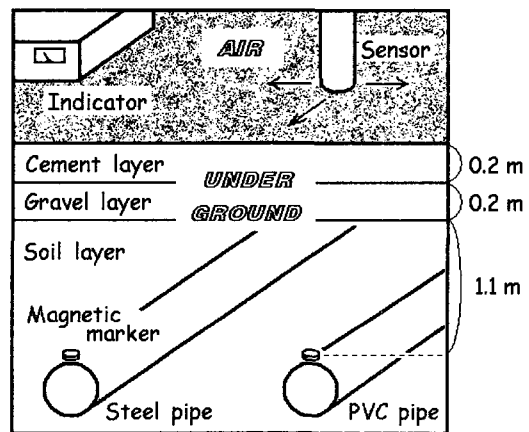


Fig. 1 Schematic view of the test field

자기마커의 위치에 따른 자장의 세기를 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 테스트필드를 구성하였다. 자기마커가 부착된 배관을 일반적인 배관의 매설 깊이인 지하 1.5m에 위치하도록 하였으며, 배관으로는 비강자성체인 PVC관과 강자성체인 강관(steel pipe)의 두 종류를 사용하였다. 매설 방식은 배관 위에 흙과 자갈, 시멘트를 순서대로 덮어 3층으로 구성하였다.⁶

2.3 측정기(measurement device)

테스트필드 위에서 지하에 매설되어있는 자기마커의 위치를 탐지하기 위해 Fig. 2와 같은 개조형 강자성 탐지기를 사용하였다. 본 강자성 탐지기는 실험의 편의를 위하여 METROTECH사의 880B를 개조하여 정량적인 전압값의 측정이 가능하도록 한 것으로써, 내부에 유도코일이 내장되어있는 센서부

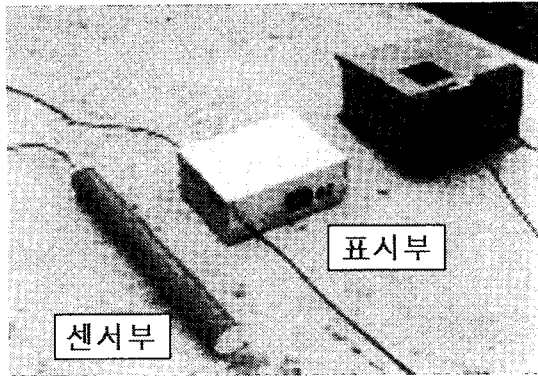


Fig. 2 Ferromagnetic detector

(sensor)와 강자성의 세기를 나타내는 표시부(indicator)로 구성되어있다. 막대형의 센서부를 수직으로 세워 바닥에 근접시켰을 때 자기장의 세기를 표시부로 확인하고, 출력 전압을 오실로스코프로 측정한다.

강자성 탐지기는 감도를 조정할 수 있어 10^5 G까지의 미약한 신호변화도 포착할 수 있지만 자장의 세기를 상대적으로 밖에 표현할 수 없다. 강자성 탐지기를 보완하는 측정장비로 LAKESHORE사의 421 가우스미터를 사용하였다. 본 가우스미터는 최대 10^4 G의 분해능으로 자장의 세기를 수치로 나타낼 수 있지만, 휴대성이 좋지 않아서 강자성 탐지기의 감도를 보정해주는 용도로 사용되었다.

3. 실험 및 해석

3.1 거리에 따른 영향

자기마커와 탐지기 사이의 상대적인 거리에 따라 자장의 세기가 다르게 나타난다. 본 절에서는 수직, 수평의 두 방향으로 나누어 거리에 따른 영향을 살펴보았다. 수직방향으로의 깊이는 테스트필드에서의 배관 매설깊이인 1.5 m를 중심으로 1.0~2.0 m의 범위에서, 수평방향으로의 거리는 -1.0~1.0 m의 범위에서 각각 0.25 m 간격으로 실험과 해석을 수행하여 거리에 따른 자장의 세기를 구하였다.

3.1.1 해석

전자기장 해석용 프로그램인 MAXWELL 2D 필드 시뮬레이터를 이용하여 수치해석을 수행하였다.

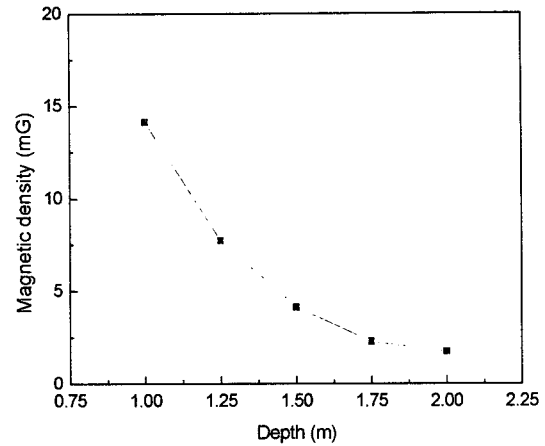


Fig. 3 Magnetic density versus depth by analysis

재료와 환경 조건을 모두 실험조건과 동일하도록 맞추어 해석하였다.

가. 수직 방향

자기마커의 한쪽 극으로부터 수직거리의 변화에 따른 자장의 세기 변화를 구하여 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 자장의 세기란 자속밀도를 가리킨다. 자속밀도는 수직거리가 늘어남에 따라 거리의 2~3승에 반비례하여 급격한 감소를 보였다.

나. 수평 방향

자기마커로부터 수직방향으로 1.5 m 떨어진 지점에서 수평방향으로 이동할 때의 거리변화에 따른 자속밀도의 변화를 구하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 가운데 지점에서의 값이 Fig. 3의 1.5 m에서의 값과 동일하고, 이 지점에서 수평으로 이동함에 따라 수직으로 이동한 경우에 비해 완만한 감소를 보인다.

3.1.2 실험

수평거리에 따른 자장의 세기를 강자성 탐지기로, 수직거리에 따른 자장의 세기를 가우스미터로 각각 측정하였다.

가. 수평 방향

테스트필드 위에서 강자성 탐지기를 이동시키며 수평 거리 변화에 따른 자장의 세기를 측정하였다. 강자성 탐지기의 측정값은 탐지기에서 설정한 최대 기준값에 대한 %비율로 나타내었다. 원하는 자속밀도를 최대 기준값으로 지정할 수 있으므로

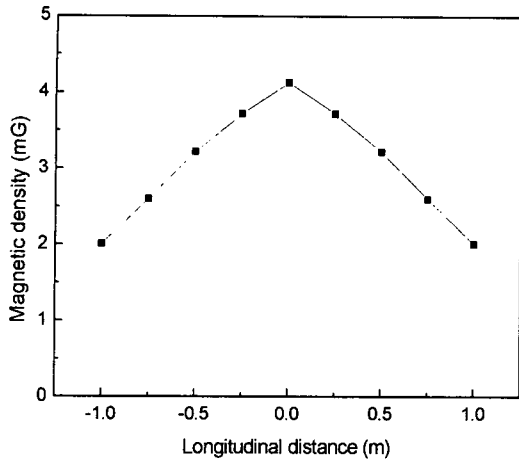


Fig. 4 Magnetic density versus longitudinal distance by analysis

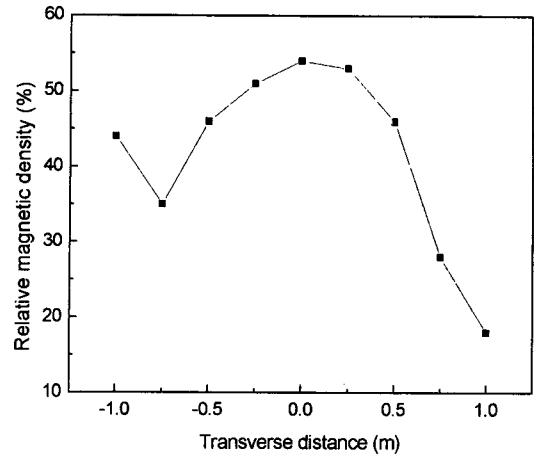


Fig. 6 Relative magnetic density versus transverse distance by experiment

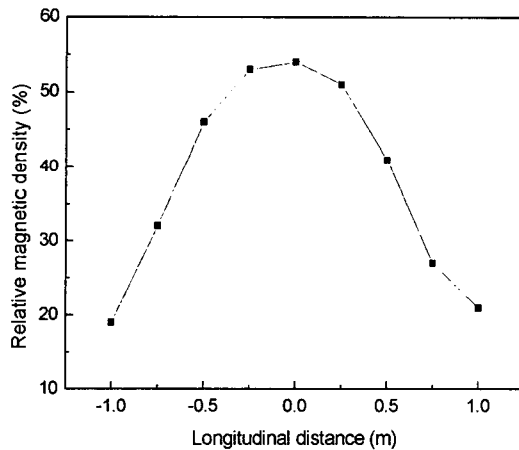


Fig. 5 Relative magnetic density versus longitudinal distance by experiment

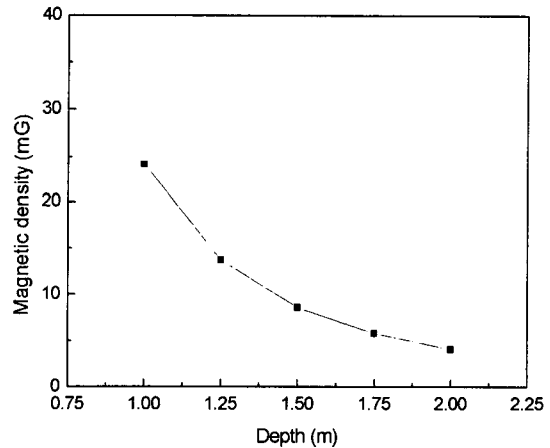


Fig. 7 Magnetic density versus depth by experiment

이것을 이용하여 감도를 조절할 수 있다. 그러므로 필요한 경우 가우스미터로 기준을 정하여 측정값을 자속밀도로, 혹은 그 반대로 환산할 수 있다.

매설배관의 길이방향으로 측정한 결과를 Fig. 5에, 매설배관을 가로질러 측정한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 해석결과인 Fig. 4와 비교하면 초기의 변화가 많지 않다가 점차 급격히 감소하는 경향을 보인다. Fig. 6에서 좌측의 -1.0 m 지점에서 특이하게 자장의 세기가 다시 상승한 이유는 그 부근에 매설되어 있던 강자성체인 강관으로 인한 것이다.

강자성체의 영향에 대하여는 3.2절에 기술하였다.

나. 수직 방향

가우스미터로 자기마크의 한쪽 극으로부터 수직거리의 변화에 따른 자장의 세기 변화를 측정하여 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 수직거리가 늘어남에 따라 거리의 2~3승에 반비례하여 급격한 감소를 보이는 점은 해석결과와 동일하지만 그 값을 비교해보면 1.5 m에서 8 mG로 해석에서의 4 mG 보다 2배 크게 나왔다. 따라서 실험에서의 측정값을 기준으로 삼는다면 해석결과는 모두 2를 보정계수로 곱한 값이 되어야 한다. 본 측정은 공기 중에서

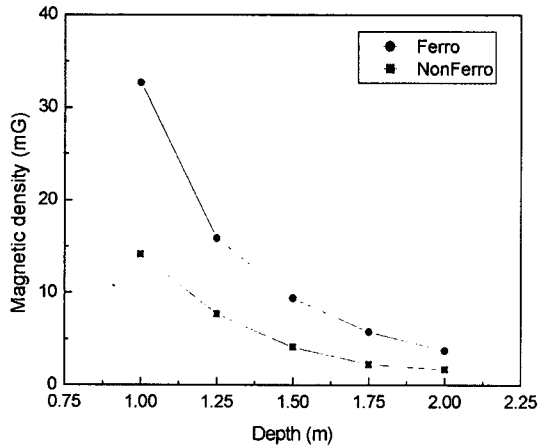


Fig. 8 Magnetic density versus depth by analysis

행해진 것으로써 공기와 흙의 비투자율(relative permeability)이 거의 1로써 동일한 값을 가지므로, 흙 내부에 철가루와 같은 강자성 성분이 포함되지 않는다고 가정할 때 큰 오차 없이 그대로 사용할 수 있다.

본 선도는 임의의 깊이에 매설된 자기마커의 수평위치를 측정할 때 강자성 탐지기의 감도를 조정하는 중요한 기준을 제시해준다. 즉 예를들어 1.5 m 지하에 매설되어있는 자기마커를 탐지하기 위해서는 본 선도에서 1.5 m일 때의 자속밀도가 8 mG 이므로 8 mG에서 100이 되도록 강자성 탐지기의 감도를 조정한 후 수평위치 측정에 사용하면 된다.

3.2 강자성체의 영향

앞서의 3.1절에서는 비강자성체인 PVC관을 대상으로 자기마커가 부착되어있을 때 측정 거리변화에 따른 자속밀도의 변화를 살펴보았다. 본 절에서는 측정값에 영향을 주는 주위 강자성체의 영향을 알아보기 위하여 강자성체인 강관을 대상으로 자기마커가 부착되어 있을 때의 거리변화에 따른 자속밀도의 변화를 살펴보고자 한다.

3.2.1 해석

앞서 3.1절의 해석결과에 강자성체가 있을 때의 해석결과를 추가하여 나타내었다. 감소경향은 동일하지만 강자성체가 있을 때가 더 큰 값을 가졌다.

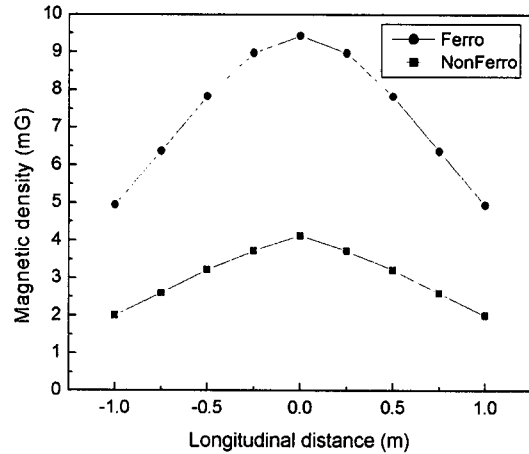


Fig. 9 Magnetic density versus longitudinal distance by analysis

가. 수직 방향

Fig. 8은 강자성체(ferromagnetic)와 비강자성체(non-ferromagnetic)의 수직거리에 따른 자속밀도의 변화를 나타낸 것이다. Ferro는 강자성체인 강관의 경우를, NonFerro는 비강자성체인 PVC관의 경우를 나타낸다.

나. 수평 방향

Fig. 9는 강자성체와 비강자성체의 수평거리에 따른 자속밀도 변화를 나타낸 것이다. 상술한 것처럼 자기마커는 수직으로 1.5 m 떨어져서 원점에 위치하고 있다. 강관에 자기마커가 부착되어있는 경우 더 큰 값을 가짐을 알 수 있다.

3.2.2 실험

앞서 3.1절의 실험결과에 강자성체가 있을 때의 실험결과를 추가하여 나타내었다. 수평거리에 따른 영향만을 측정하였다.

Fig. 10은 강자성체와 비강자성체의 매설배관의 길이방향 수평거리에 따른 자속밀도의 변화를 나타낸 것이고, Fig. 11은 매설배관을 가로지른 방향으로 수평거리에 따른 자속밀도의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 10의 강자성체와 Fig. 11의 비강자성체가 좌측 끝단에서 비정상적인 값을 가져서 비대칭을 이루는 것이 관찰된다. 그 이유는 주위 강자성체의 영향으로 인한 것이다.

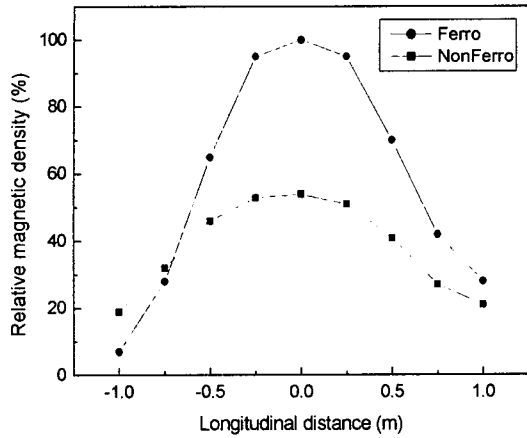


Fig. 10 Relative magnetic density versus longitudinal distance by experiment

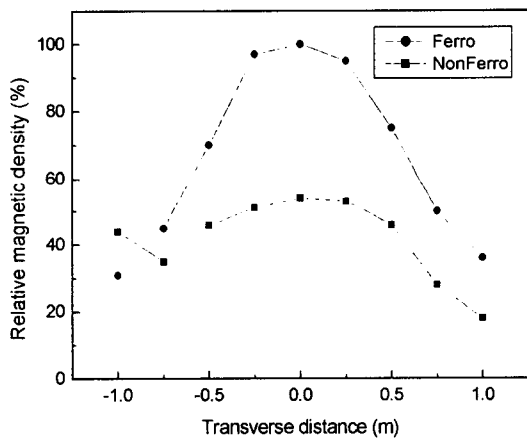


Fig. 11 Relative magnetic density versus transverse distance by experiment

4. 고 찰

앞 절에서의 실험과 해석을 종합하여 테스트필드에서 측정된 자속밀도의 2차원적인 분포를 나타내면 Fig. 12, Fig. 13와 같이 표현할 수 있다. Fig. 12는 비강자성체에서의 자기마커의 위치에 따른 자장의 세기 분포를 나타낸다. 원점이 자기마커가 위치한 지점이고 가로축방향이 매설배관의 길이방향, 세로축방향이 매설배관을 가로지르는 방향이다. 자장의 세기는 강자성 탐지기의 감도를 최대값 100에 맞추어 조절한 후 측정된 상대적인 값이다.

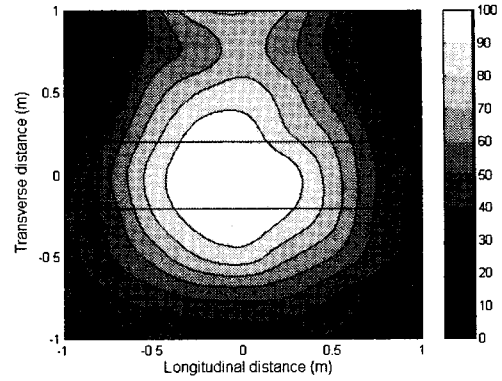


Fig. 12 Distribution of relative magnetic density of non-ferromagnetic

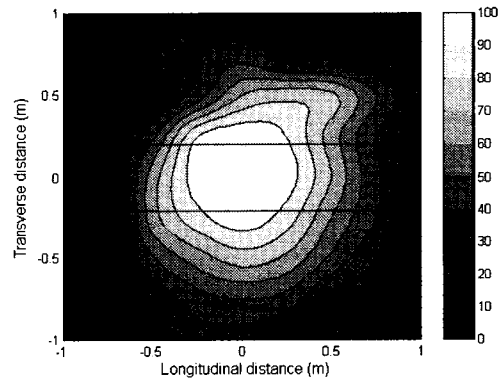


Fig. 13 Distribution of relative magnetic density of ferromagnetic

Fig. 13은 강자성체에서 마찬가지로 감도를 조절한 분포를 나타낸다. 자기마커의 위치 확인이 가능한 문턱값을 90으로 정한다면, Fig. 12와 Fig. 13으로부터, 비강자성체의 경우 ± 0.2 m의 오차로, 강자성체의 경우 ± 0.15 m의 오차로 1.5 m 깊이의 자기마커의 위치를 탐지할 수 있다. 강자성 탐지기로 매설배관을 탐지할 때 감도를 조절하여 최대 기준값을 100 근처에서 맞추는 것은 일반적인 과정이므로, 실제 측정에서 이 정도의 오차로 측정이 가능하다고 볼 수 있다. 하지만 감도를 지나치게 높게 되면 주위 강자성체의 영향을 받아 정확한 측정이 어려워진다. 따라서 주위에 자기마커의 신호와 무관하게 영향을 주는 강자성체가 있을 경우 이를 보정할 수 있는 방법에 대한 연구가 더 필요할

것이다.

5. 결론

본 연구에서는 자기마커를 이용한 자기 지하매설물 탐사법을 개발하고자 하였으며, 실험과 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 자기 탐사법을 이용하여 깊이 1.5 m에서의 배관의 위치를 ± 0.2 m의 오차 범위에서 측정이 가능함을 확인하였다.

(2) 본 연구에서 제시한 수직거리 기준 선도를 참조하여 탐지기의 감도를 보정함으로써 임의의 깊이에 매설된 자기마커의 위치를 측정할 수 있다.

(3) 본 자기 탐사법은 주위에 강자성체가 있을 때 감도를 지나치게 높이면 정확한 측정이 어려워지므로 이에 대한 보정을 할 수 있는 연구가 더 필요하다.

참고문헌

1. Korea Research Institute for Human Settlement, "The Development Plan for Underground Facility Management System in Urban Areas," pp. 36-52, 1996.
2. Park, Soon-Kyun, "A Study on the Measurement, Registration, and Management of Underground Facilities in Urban Area," Yonsei University, pp. 36-43, 1985.
3. Ministry Construction & Transportation, "A Study on the Method of Investigation and Measurement of Underground Facilities and a Cause of Cost," pp. 41-94, 1997.
4. Kyun, O.-I., "A Study on the Measurement of Underground Facilities by Radar Method," Yonsei University, pp. 10-33, 1987.
5. Japan Information Survey Group the Editorial Department of Sensor Technology, Company of Mechanics and Electrics, Sensor Application Examples, pp. 1270-1275, 1986.
6. Choi, Jeong-Woo, Water Service Engineering, Sigmaphress, pp. 97-118, 2000.