

자기장을 이용한 매설배관의 위치탐지에 관한 연구

배봉국*·양연순*·송춘호*·석창성**

A Study on the Detecting Method for Underground Pipes Using Magnetic Field

Bong-Kook Bae, Yean-Soon Yang, Chun-Ho Song and Chang-Sung Seok

Key Words: Underground Facilities(지하시설물), Magnetic Marker(자기마커), Magnetic Field(자기장), Magnetic Detector(자기탐지기)

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, sonic 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 proper characteristic of the magnetic marker was optimized by maxwell 2D magnetic field analysis tool, a test field was constructed with the magnetic marker, PVC pipe, and steel pipe under ground 1.5m, and the detector was made by modifying a common ferromagnetic detector. 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 were detectable within the deviation $\pm 20\text{cm}$ at PVC pipe and $\pm 10\text{cm}$ at steel pipe respectively. The steel pipe was more detectable by ferromagnetism. The developed magnetic method can be applied to maintain and manage underground facilities.

1. 서 론

산업화와 도시화로 인해 단위 면적 당 거주 인구가 늘어나고 각종 시설물의 수요가 증가하여 공간의 밀집도가 높아짐에 따라 시설물의 밀집으로 인한 불편을 방지하고 지상의 공간을 보다 효율적으로 활용할 수 있도록 하기 위해 상·하수도, 전기, 통신, 가스, 난방 등의 기반시설을 지하에 매설하게 되었다. 하지만 지하에 매설된 시설물은 그 위치와 상태를 시각적으로 확인할 수 없

으므로 유지·보수가 어렵고 또한 각종 도로굴착공사로 인해 쉽게 파손되어 사고를 유발할 수 있는 잠재적인 위험을 내포하고 있다. 따라서 도시 기반시설의 효율적이고 안전한 관리를 위해서는 지하시설물의 위치 파악이 필수적이다.

지하시설물의 위치를 파악하기 위해서 초기에는 지하시설물에 대한 탐사장비가 없었으므로 직접 땅을 굴착하여 시설물을 확인하고 도면을 작성하여 위치를 확인하는 방법이 일반적으로 사용되었지만 기술이 발전함에 따라 땅을 굴착하지 않고도 지하시설물의 위치를 탐지할 수 있는 탐사방법들이 개발되어 사용되고있다. 현재까지 주로 사용되고있는 지하시설물 탐사방법에는 전자유도 탐사법, 지중레이다 탐사법, 음파 탐사법 등

* 성균관대학교 대학원

** 성균관대학교 기계공학부

이 있다^(1~3).

전자유도 탐사법은 전도체에 전기가 흐르면 도체 주변에 자장이 형성되는 원리를 이용하며 고압선, 가드레일, 울타리 등 전자파 장애가 있는 지역, 시설물의 재질이 비금속인 경우, 동일선상에 시설물이 겹쳐 매설되어 있는 경우에는 적용이 어렵고 탐사 시 내부에 고전류를 공급해 주어야 하는 단점이 있다.

지중레이다 탐사법(ground penetration radar method)은 전자기파가 반사되는 성질을 이용하여 지중(地中)의 각종 현상을 밝히는 것으로, 적절한 처리를 거쳐 고분해능의 연속적 지중 단면 영상을 얻을 수 있도록 하여야 하므로 장비가 고가이며 신호처리를 위한 부수적인 장치가 필요하다는 단점이 있다.

음파 탐사법은 음파를 잘 전달하는 물의 성질을 이용하여 물이 가득히 흐르는 수도관에 음파 신호(sonud wave signal)를 보내 수신기로 하여금 관내에 발생된 음파를 측정하여 매설된 수도관의 위치·방향·굴곡을 탐지하는 방법으로 위치 측정은 가능하지만 깊이 측정이 불가능하고 관로에 물이 가득 차 있는 경우에만 사용이 가능하다는 단점이 있다.

이처럼 현재까지 개발된 위치 탐사방법은 각기 장단점을 가지고 있으며 상황에 따라 상호 보완적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 기존의 탐사방식과는 달리 자기마커를 지하시설물에 부착하여 위치를 표시하도록 하는 자기장을 이용한 탐사방법을 개발하고자 한다.

이를 위해 일반적인 지하시설물 중 하나인 PVC관과 강관에 자기마커를 부착 후 매설하여 테스트 필드를 구성, 강자성 탐지기로 위치를 탐지하는 시험을 수행하였고, Maxwell 2D simulator를 이용하여 자기마커와 테스트필드에 대한 전자기장해석을 수행하여 이들을 비교 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

2.1.1 탐지기

자장의 세기를 측정할 수 있는 상용의 정밀 강자성 탐지기를 개조하여 실험에 이용하였다. 탐지기는 Fig. 1과 같이 자장변화를 감지하는 센서부와 신호처리를 위한 보드부, 그리고 감도조절

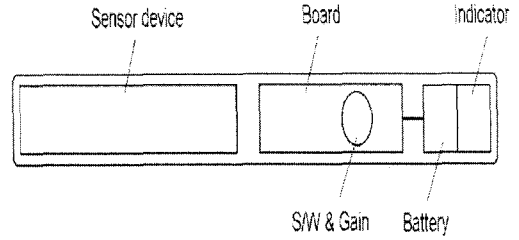


Fig. 1 Schematic diagram of magnetic detector

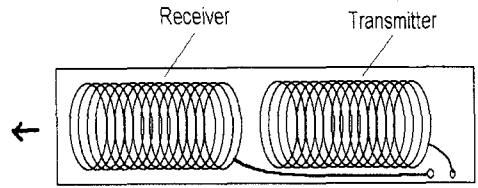


Fig. 2 Sensing coil device of magnetic detector

스위치와 상태를 나타내는 표시부 등으로 구성되어 있으며 센서부는 Fig. 2와 같이 앞쪽의 수신코일(receiver)과 뒤쪽의 송신코일(transmitter)의 두 부분으로 구성되어 있다.

2.1.2 자기마커

실험에 사용된 자기마커의 형상은 Fig. 3과 같으며 Fig. 4는 자석의 특성치를 나타낸 그래프이다.

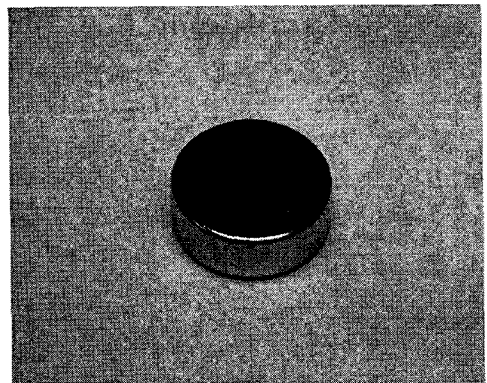


Fig. 3 Magnetic marker

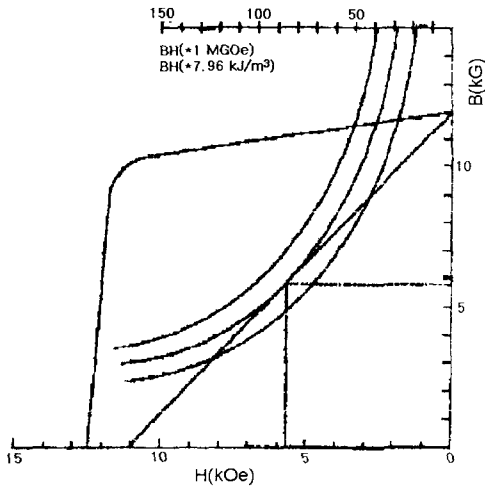


Fig. 4 Magnetic characteristic of NdFe35

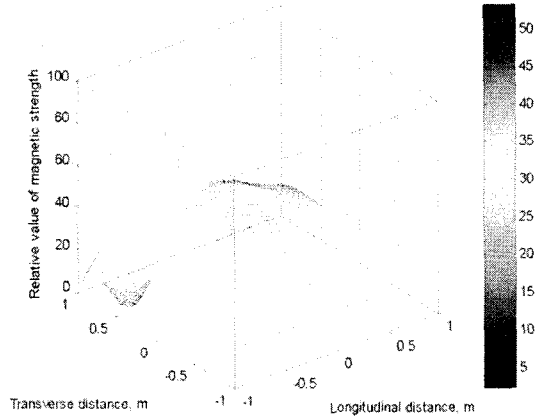


Fig. 6 3-D Contour line of magnetic strength at the distance of 1.5m above PVC pipe in the test field

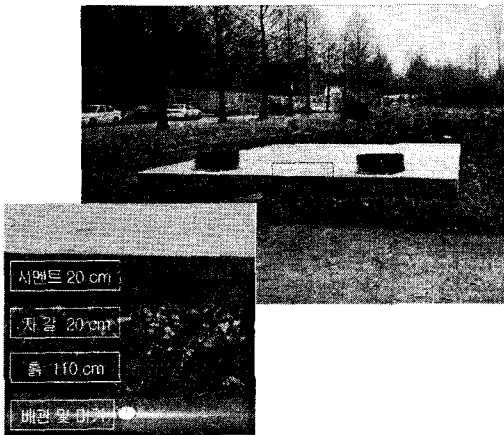


Fig. 5 Test field

2.1.3 테스트 필드

Fig. 5는 매설배관 실험을 위한 테스트 필드로 너비는 4×6(m)이며, 표면에서 1.5m 아래에 배관 및 마커가 있고 그 위에 토층 110cm, 자갈 20cm, 시멘트층 20cm로 구성되어 있다.

배관은 PVC관과 강관의 두 종류를 사용하였는데, PVC관에는 자기마커 3개를, 강관에는 자기마커 2개를 부착하여 매설하였다.

2.2 실험방법

테스트 필드 위의 영역을 일정간격으로 나누어서 각 지점마다 센서부를 이동하면서 자장의 세

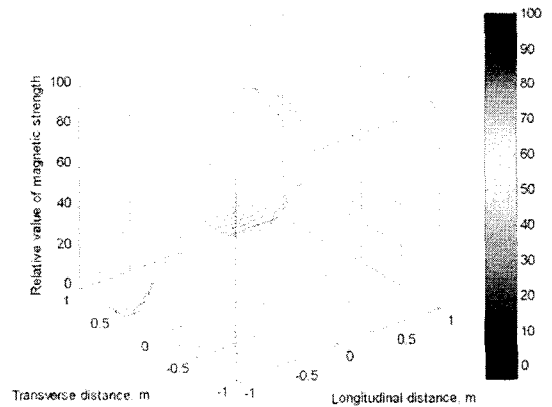


Fig. 7 3-D Contour line of magnetic strength at the distance of 1.5m above steel pipe in the test field

기를 측정하여 테스트 필드 전 영역에 대한 자기장 지도를 완성하였다.

2.3 실험결과

Fig. 6과 7은 테스트 필드에서의 PVC관과 강관에서의 전체적인 자기장 분포를 입체적으로 나타낸 것으로서 강자성체인 강관에서의 자기장의 세기가 비자성체인 PVC관 보다 높음을 알 수 있다. Fig. 8, 9는 테스트 필드에서의 PVC관과 강관에 대한 자장의 분포를 평면적으로 나타낸 것이

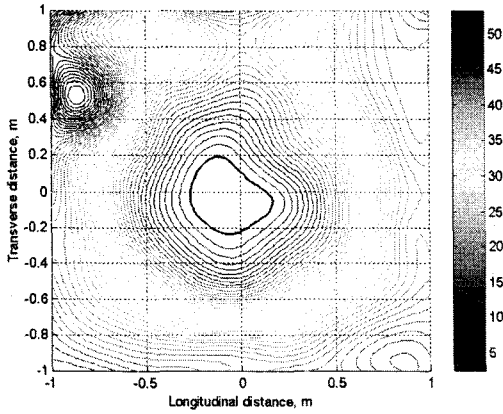


Fig. 8 Contour line of magnetic strength at the distance of 1.5m above PVC pipe in the test field

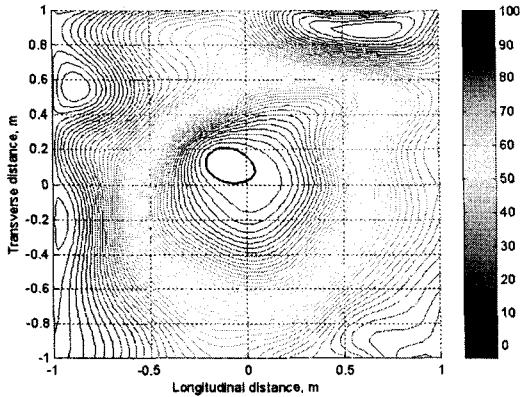


Fig. 9 Contour line of magnetic strength at the distance of 1.5m above steel pipe in the test field

다. 위의 실험 결과로부터 PVC관에서의 평면오차는 $\pm 20\text{cm}$, 강관에서의 평면오차는 $\pm 10\text{cm}$ 임을 알 수 있다.

3. 해석

테스트 필드에 대한 자기마커의 형상과 부피에 따른 자장의 세기와 자기장 분포를 해석하기 위하여 전자기장 해석프로그램인 Maxwell 2D simulator를 이용하였다.

3.1 자기마커

3.1.1 해석모델

본 해석에 사용된 자기마커는 NdFe35로 투자율 1.01, 보자력 $8.9e+005[\text{A/m}]$, 잔류자속밀도 $1.23[\text{T}]$, 자화력 $978802[\text{A/m}]$ 의 물성치를 가진다. 배관은 steel_1008의 강관이며 background는 투자율이 1인 공기로 설정하였다. 해석에 사용된 자기마커의 형상은 Fig. 10과 같다. 그림 상에 표기된 V(a)h(b)는 반경 15mm, 높이 10mm인 자기마커를 기준으로 하여 기준에 대한 상대비율을 나타내는데, (a)는 자기마커의 부피비율, (b)는 자기마커의 높이비율을 각각 나타낸다. 이처럼 형상에 따른 자기장의 변화를 알아보았고, 또한 자기마커를 Fig. 11처럼 배관에 부착한 경우에 대하여 자기장의 분포를 조사하였다.

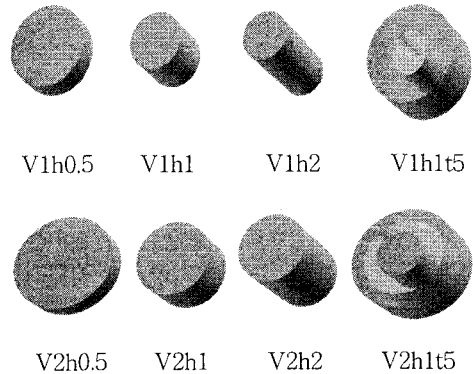


Fig. 10 Shape of magnetic marker

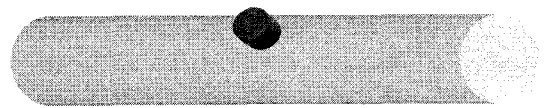


Fig. 11 Pipe & magnetic marker

3.1.2 해석결과

Fig. 12는 형상과 부피에 따른 자기장 해석결과이다. 자기마커의 높이를 변화시킨 경우는 자기장의 세기에 영향을 미치지 않았으나, 자기마커의 부피를 변화시킨 경우는 자기장의 세기에 큰 영향을 미쳤다. Fig. 13은 강관의 유무에 따른 해석결과로써 자기장의 세기가 강자성체인 강관의 주변에서 증가함을 알 수 있다.

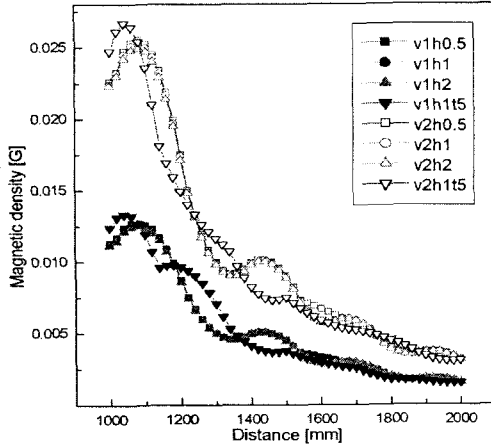


Fig. 12 Magnetic density variations with distance at various magnetic shapes

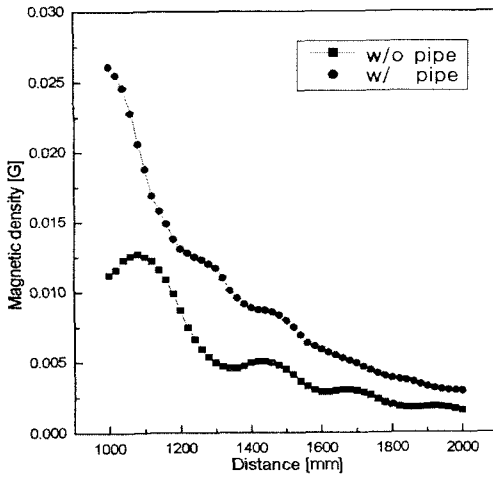


Fig. 13 Magnetic density variations with distance w/ and w/o pipe

3.2 테스트 필드

3.2.1 해석모델

Fig. 14는 테스트 필드에서의 자기장 해석모델로 실험과 동일한 조건에서 해석을 수행하였다.

3.2.2 해석결과

Fig. 15는 자기마크의 위치를 0으로 보았을 때 깊이 1.5m에서의 평면 자기장 분포를 나타낸 것이다. 점선은 PVC관의, 실선은 강관의 자기장세기를 각각 나타낸 것이다. 이때 PVC관의 최대 자속밀도는 0.0041G, 강관의 최대 자속밀도는

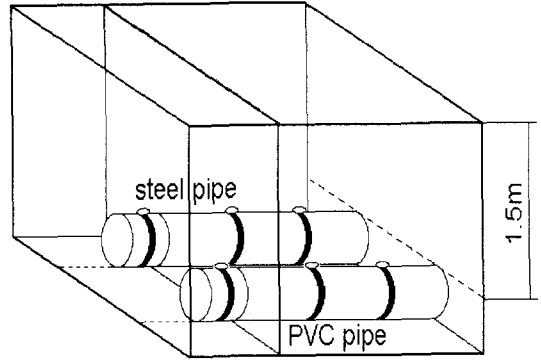


Fig. 14 Test field model

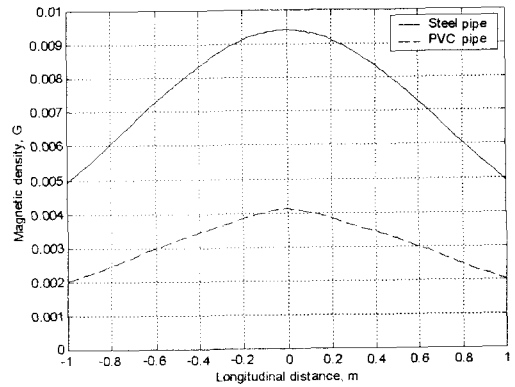


Fig. 15 Magnetic distribution along longitudinal directional at the distance of 1.5m above PVC pipe and steel pipe by analysis

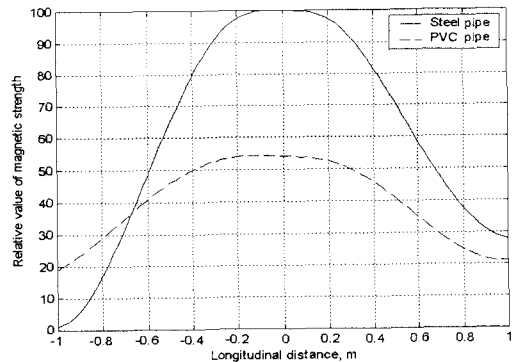


Fig. 16 Magnetic distribution along longitudinal directional at the distance of 1.5m above PVC pipe and steel pipe by experiment

0.0095G로써 강자성체인 강관에서 자기장이 더 강함을 알 수 있다.

4. 고 찰

본 장에서는 해석과 실험으로부터 얻어진 결과를 고찰하였다.

자기마커 해석을 통해 자장의 세기가 자기마커의 모양에 무관하고 부피에 비례하며, 강관의 영향으로 자장의 세기가 증가함을 알 수 있었다.

다음으로 테스트 필드에서 해석과 실험을 수행한 결과를 Fig. 15, 16에 나타내었다. 이 그림은 중심부근에 자기마커가 위치하고 있을 때 수직방향으로 일정 거리(1.5m) 떨어진 위치에서 배관 방향으로 측정된 결과를 나타낸 것이다. Fig. 15는 PVC관과 강관에 자기마커를 부착하여 깊이 1.5m에서의 자기장 해석을 수행하였을 때 평면 자기장 분포를 나타낸 것이다. PVC관에서의 최대 자속 밀도는 0.0041G이며 강관에서의 최대 자속 밀도는 0.0095G로 나타나 강자성체 강관에서 자기장의 세기가 높음을 알 수 있었다. 이때 강관에 대한 PVC관의 최대 자속 밀도비를 구해보면 43%로 나타났다.

Fig. 16은 PVC관과 강관에 자기마커를 부착하여 깊이 1.5m에 매설한 테스트 필드에서 자기장 측정시험을 수행하였을 때 배관길이 방향의 자기장 분포를 나타낸 것이다. PVC관에서의 최대 측정값은 54이며 강관에서의 최대 측정값은 100으로 나타나 해석과 마찬가지로 강자성체 강관에서 자장의 세기가 높게 나왔다. 이때 강관에 대한 PVC관의 최대값의 비율을 구해보면 54%로 나타나 해석에 비해 20%의 차이가 있으나 같은 경향을 보임을 알 수 있다.

또한 Fig. 15의 해석 그래프에서는 자기장의 분포가 중심의 자기마커를 기준으로 대칭형을 이루고 있으나 Fig. 16의 실험 그래프에서는 강관의 경우 큰 비대칭을 이루고 있다. 이것은 테스트 필드에 부착된 자기마커의 간격이 충분히 떨어져 있지 않아 주변 자기마커의 영향을 받았기 때문으로 생각된다.

5. 결 론

본 논문에서는 자기장을 이용하여 매설배관의 위치를 찾기 위한 탐사방법에 관하여 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 자기장 방법을 이용하여 깊이 1.5m에서 배관의 위치 탐사가 가능하였고 오차의 범위는 PVC관의 경우 $\pm 20\text{cm}$ 이고 강관의 경우 $\pm 10\text{cm}$ 였다.
- (2) 자기마커에 대한 자기장의 해석결과 자기장의 세기는 자성체의 형상에는 무관하였고, 자성체의 부피에는 비례하였다.
- (3) 테스트 필드에 대한 자기장 해석결과 매설배관에서의 자장의 세기는 강관의 경우가 PVC관보다 높게 나타났으며 이는 실험결과와 일치 하였다.
- (4) 본 연구방법은 주변 강자성체의 영향을 받을 수 있다는 문제점이 있으나 매설배관의 위치를 정확히 찾을 수 있어 지하시설물의 탐사방법에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] E. Neubert, Methoden und Gerate zur Ortung vorhandener metallischer Leitungen Zfv Nr 1978. 11.
- [2] Mansour Al Nassar, Establishment of a Utility Mapping System for the State of Kuwait.
- [3] Z. Novosad, "The Automation if the Geodetic Coordination in designing the underground networks", Proceedings International geodetic conference, Brno, 1979.