

지하 파일 탐지를 위한 시추공 자력탐사 자료의 역산

차영호, 신창수, 서정희

1. 요약

본 연구에서는 토목분야에서 중요한 문제가 되는 기초 파일의 깊이 탐지와 관련하여 시추공 자력탐사의 적용성을 확인하기 위하여 시추공 자력탐사 모형 반응 계산 및 역산 알고리즘을 개발하였다.

모형 반응 계산은 시추공 자력탐사에 적합하고 삼성분 이상을 계산할 수 있도록 기존의 방법을 수정하였으며, 역산 알고리즘은 일반적인 자력탐사 자료 역산의 불안정성을 고려하여 광역적 최적화 기법의 하나인 ASA(Adaptive Simulated Annealing; Ingber, 1993)를 이용하였다.

개발된 모형 반응 및 역산 알고리즘을 간단한 모형 및 합성자료에 대해 적용한 결과 그 타당성을 검증할 수 있었다. 또한 실제 현장에서 부딪힐 수 있는 무작위 잡음을 첨가한 자료, 주변 파일의 영향 및 지표 구조물에 의한 영향을 고려한 복잡한 모형에 대해 기초 파일의 깊이를 탐지해 낼 수 있었으며, 이를 토대로 실제 현장 적용시 고려해야할 현장지침에 대해서도 고찰할 수 있었다.

마지막으로 실제 현장자료에 적용한 결과 실제 파일의 깊이를 역산해 낼 수 있음을 확인함으로써, 기초 파일 깊이 탐지를 위한 시추공 자력탐사의 적용성 및 본 알고리즘의 현장 적용성을 확인할 수 있었다.

주요어 : 기초 파일의 깊이, 모형 반응 계산, 시추공 자력탐사, 역산, ASA

2. 서론

구조물 하부에 존재하는 기초 파일의 깊이 탐지는 부실 시공 예방과 구조물의 안정성 검사에 매우 중요하다. 기초 파일 깊이 탐지를 위한 방법으로는 탄성파법, 자기경도법 등이 있다. 탄성파법은 콘크리트와 지반의 탄성과 속도 차이를 이용한 방식으로 기초파일의 깊이를 탐지하기 위해서는 파일의 하부 영향을 식별할 수 있을 만큼의 에너지가 파일 하부면까지 도달할 수 있어야 한다. 그러나 파일 상부에 있는 기초 슬라브의 형태에 따라 이러한 조건이 항상 충족되지 않는 단점이 있다. 자기경도법은 수직코일을 일정한 속도로 움직이며 지자장에 의한 철근의 유도자장을 측정해 깊이 추정을 하는 방식이다. 하지만 이 또한 센서를 일정한 속도로 이동시켜야 하며 정확한 해석이 어렵다는 단점이 있다. 이와 같은 기존의 방법들로는 기초파일의 깊이 탐지에 대해 만족할 만한 결과를 얻을 수 없었다.

한편, 과거에 지하 자원 탐사에 주로 이용되어온 자력탐사를 공학 및 환경적 응용분야에 적용하려는 많은 시도가 이루어지고 있으며, 실제로 땅속의 금속 드럼을 찾는 문제(Tyagi et al., 1983)나 폐공의 케이싱을 찾는 문제(Johnston et al., 1973) 등에 적용되어 좋은 성과를 거둔 바 있다.

이런 점에 주목하여 본 연구에서는 모형 반응 계산과 역산 알고리즘의 개발을 통해 구조물 하부의 기초 파일 깊이 탐지를 위한 시추공 자력탐사의 적용성을 확인하고자 하였다.

모형 반응 계산에 대한 많은 연구가 수행되었으나, 본 연구에서는 시추공에서의 삼성분

자기이상을 구하기 위하여 Bhattacharyya(1964)의 방법을 수정하여 사용하였다.

본 연구에서는 여러 가지 실제 구조물과 비슷한 모형에 대하여 빠른 모형 반응 계산을 이용한 아닐링법을 이용하여 시추공 자력탐사 자료의 역산을 통하여 구조물 하부의 파일 깊이 탐지를 위한 시추공 자력탐사의 적용성을 고찰하였고, 현장에서 취득한 자료에 적용시켜 보았다.

3. 이론

Bhattacharyya(1964)의 방법을 수정하여 임의의 자화방향을 가지는 유한길이의 프리즘에 대한 시추공에서의 삼성분 자력탐사 모형 반응 계산을 구현하였다. 이 모형 반응 계산을 이용하여 프리즘의 길이에 따른 시추공 및 지표에서의 반응양상을 통하여 프리즘의 길이의 변화에 따른 시추공에서의 반응곡선이 지표에서보다 각각의 길이에 대하여 뚜렷한 차이를 나타냄을 볼 수 있고, 이를 통하여 기초 파일과 같이 깊이방향으로 길쭉한 프리즘 형태의 하단부 깊이 탐지를 위하여 시추공 자력탐사가 지표 자력탐사보다 더 효과적임을 확인할 수 있다.

모형 반응 계산을 이용하여 역산시 사용하는 몇 개의 모델변수에 대한 목적함수를 그려본 결과 극소점이 존재함을 발견하였다. 목적함수에 극소점이 존재할 경우는 모델변수의 편미분치를 사용하는 역산방법을 이용해서는 해를 찾아가기 어려우므로 본 연구에서는 모델변수의 편미분치 정보를 필요로 하지 않을 뿐 아니라 초기 모델에 의존하지 않고, 역산 수행시 모델변수에 대한 변화폭을 제한할 수 있어서 모델변수가 실제로 타당한 값을 가지게 하는 장점을 가진 광역적 최적화 기법(Global Optimization Techniques)중의 하나인 아닐링법(Simulated Annealing)을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

① 프리즘이 1개 있는 경우와 같은 모형의 자료에 잡음을 첨가한 경우

프리즘이 1개 있는 경우의 반응곡선과 무작위 잡음을 첨가한 경우의 반응곡선은 그림1과 같다. 표1과 표2는 역산을 수행한 결과이다.

Table 1. Inversion result of one prism model.

	Model	Inversion result
$x_1(m)$	-0.01	-0.010
$y_1(m)$	3	3.000
width(m)	0.02	0.020
$z_1(m)$	6	6.000
$z_2(m)$	10	9.999
error(%)		0.011

Table 2. Inversion result of one prism model including random error.

Random error(%)	$z_1(m)$	$z_2(m)$	Error(%)
0	6	10	
5	6.072	9.946	3.164
10	6.089	10.105	4.861
30	6.344	10.051	9.883
50	6.549	9.827	18.056

역산 결과를 통하여 시추공 자력탐사 자료의 역산을 통하여 프리즘의 깊이를 얻을 수 있

음을 확인하였고, 본 연구에서 개발한 역산 알고리즘은 30% 무작위 잡음에 대하여 10% 오차 이내에서 파일 심도 추정이 가능하다.

② 철근의 집합을 하나의 파일로 가정하는 경우

기초 파일을 이루고 있는 철근은 보통 그 깊이와 위치가 비슷하기 때문에 철근의 집합인 파일을 하나의 큰 프리즘으로 가정하는 문제에 대한 타당성을 알아보기 위하여 그림 2의 (a)와 같이 가정하였다. 그림 2의 (b)는 2개의 모델에 대한 반응곡선을 나타낸 것인데 두 개의 반응이 거의 일치함을 볼 수 있다. 이를 통하여 철근의 집합으로 이루어진 파일을 하나의 프리즘으로 가정하여 역산을 수행하여 파일 깊이에 대한 정보를 얻을 수 있음을 확인하였다.

③ 인접한 파일과 지표 구조물의 영향

탐사 대상인 파일이 측정 시추공에 가까이 있고, 다른 파일이 주변에 있는 경우의 반응곡선에 미치는 영향을 그림 3에 도시하였다. 반응곡선에 상당한 영향이 있음을 볼 수 있고, 역산 수행시 이를 고려해야 함을 알 수 있다. 지표에 철 구조물이 있는 경우 기초파일을 찾기 위한 시추공 자력탐사 자료의 왜곡정도를 그림 4에 도시하였다. 지표부근에서는 많은 왜곡이 나타나지만 기초파일의 끝 부근에서는 영향이 거의 없음을 볼 수 있다. 지표의 건물을 고려하여 역산을 수행할 경우 파일의 깊이의 결과에는 영향이 없으리라 예상할 수 있다.

④ 현장 자료에 대한 역산

앞에서 살펴본 여러 가지 합성 자료에 대한 고찰을 토대로 본 연구의 역산 알고리즘을 현장자료에 적용해 보고 알고리즘의 현장 적용성을 살펴보았다.

현장 자료로 교각의 기초파일 깊이 측정을 위한 시추공 자력탐사 자료를 이용한다. 측정 일시는 1998년 1월이고 측정기기는 한국자원연구소와 지하정보기술의 공동 개발품인 KBHMAG-1을 사용하였고, 측정 시추공은 대상 교각의 남쪽 인근에서 측정을 하였으며 측정 기준점으로부터 15.8m 까지 75개의 수직 자기 성분을 측정하였다. 그림 5의 (a)는 교각의 기초파일 깊이 탐지를 위한 시추공 자력탐사 모식도이다. 현장자료에 대한 역산결과를 다시 모형 반응 계산해본 결과 실제 자료와 거의 일치하는 반응 양상을 얻을 수 있었다. 이를 통하여 본 연구의 알고리즘이 현장 자료에 대한 적용 가능성을 확인하였다.

5. 결론

모형 반응 계산을 통하여 철 구조물 하단 깊이 탐지를 위한 시추공 자력탐사의 적용 가능성을 확인하였고, 광역적 최적화 기법을 이용한 시추공 자력탐사 자료에 대한 역산 알고리즘을 개발하였다. 모형 반응 계산 자료에 대한 역산을 통하여 본 연구의 알고리즘을 사용하여 파일의 깊이 추정이 가능함을 확인하였다. 그리고 본 연구의 역산 알고리즘은 30% 무작위 잡음에 대하여 10% 오차 이내에서 파일 심도 추정이 가능하다. 철근의 집합으로 이루어진 파일을 하나의 프리즘으로 가정하여 역산을 수행하여 파일 깊이에 대한 정보를 얻을 수 있음을 확인하였다. 한국자원연구소와 지하정보기술의 공동 개발품인 KBHMAG-1를 이용한 현장 시추공 자력탐사자료에 대하여 본 연구의 역산 알고리즘을 적용시켜 보았고, 역산 알고리즘의 현장 자료에 대한 적용성을 확인하였다.

참고문헌

1. Bhattacharyya, B. K., 1964, "Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization," *Geophysics*, Vol. 29, 517-31.
2. Johnston, K. H., Carroll, H. B., Heemstra, R. J., and Armstrong, F. E., 1973, "How to find abandoned oil and gas wells," U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines Inf. Circ. 8578.
3. Tyagi, S., Lord, A. E., Jr., and Koerner, R. M., 1983, "Use of proton precession magnetometer to detect buried drums in saddy soil," *J. Hazardour Materials*, Vol. 8, 11-23.
4. Ingber, L., 1993, "Adaptive Simulated Annealing(ASA)," [ftp.alumni.caltech.edu : pub/ingber/ASA.zip], McLean, VA, Lester Ingber Research.

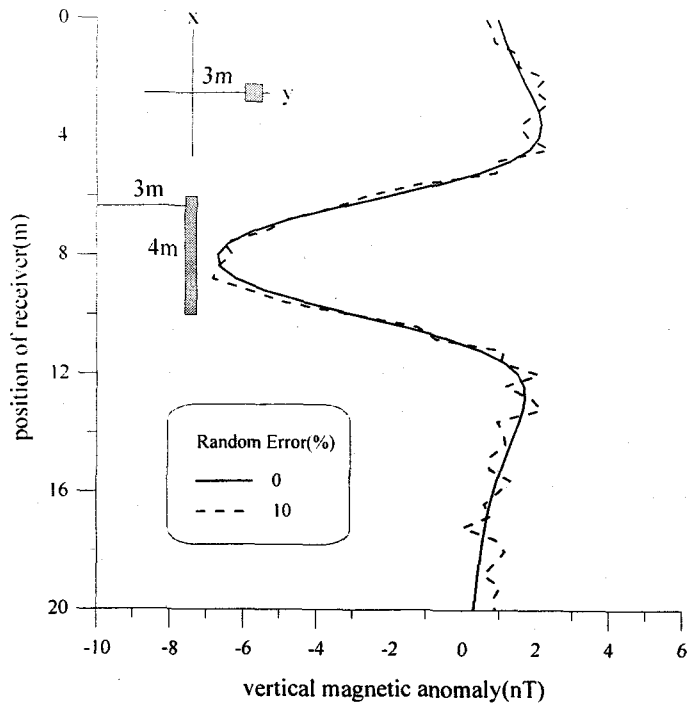


Fig. 1 Vertical magnetic anomaly without and with 10% random noise.

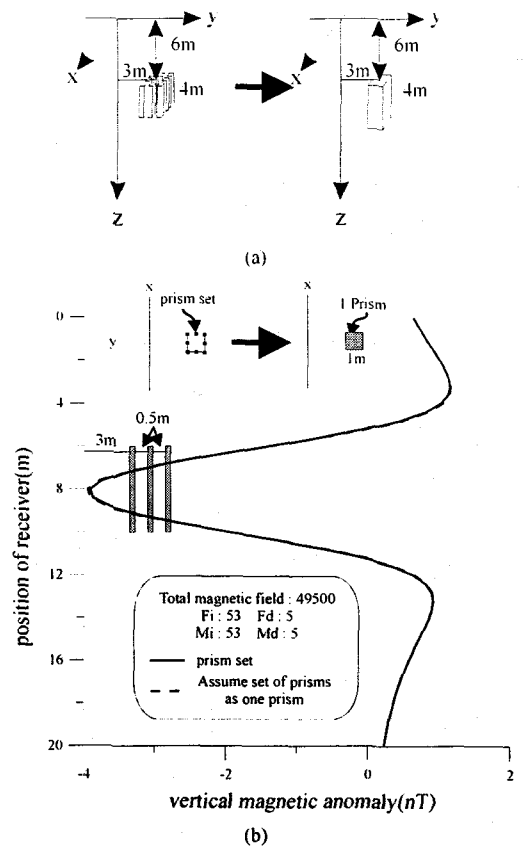
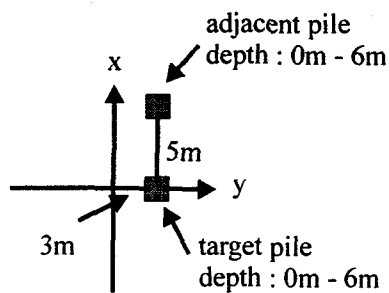
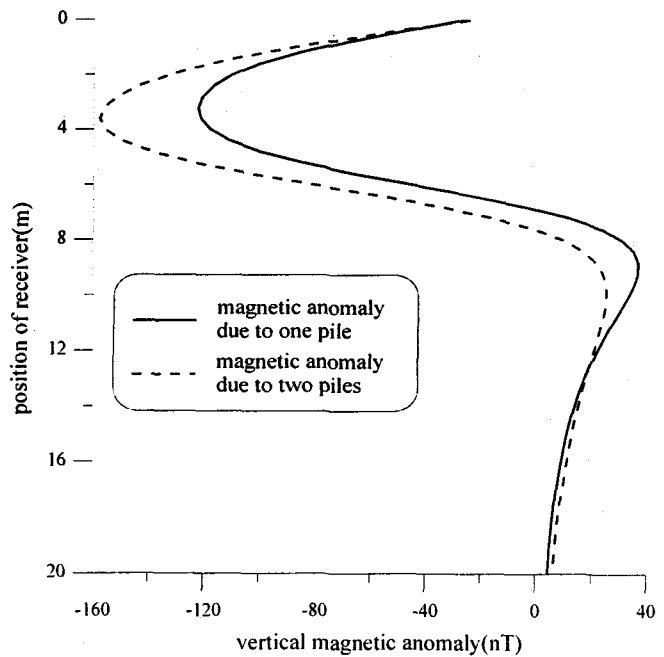


Fig. 2 Comparison of the response of prism set with that of one prism.
 (a) a schematic diagram of assuming prism set as one prism
 (b) magnetic response due to two models



(a)



(b)

Fig. 3 Comparison of the magnetic response of one pile with that of two piles.
 (a) geometry of model
 (b) vertical magnetic responses of two models

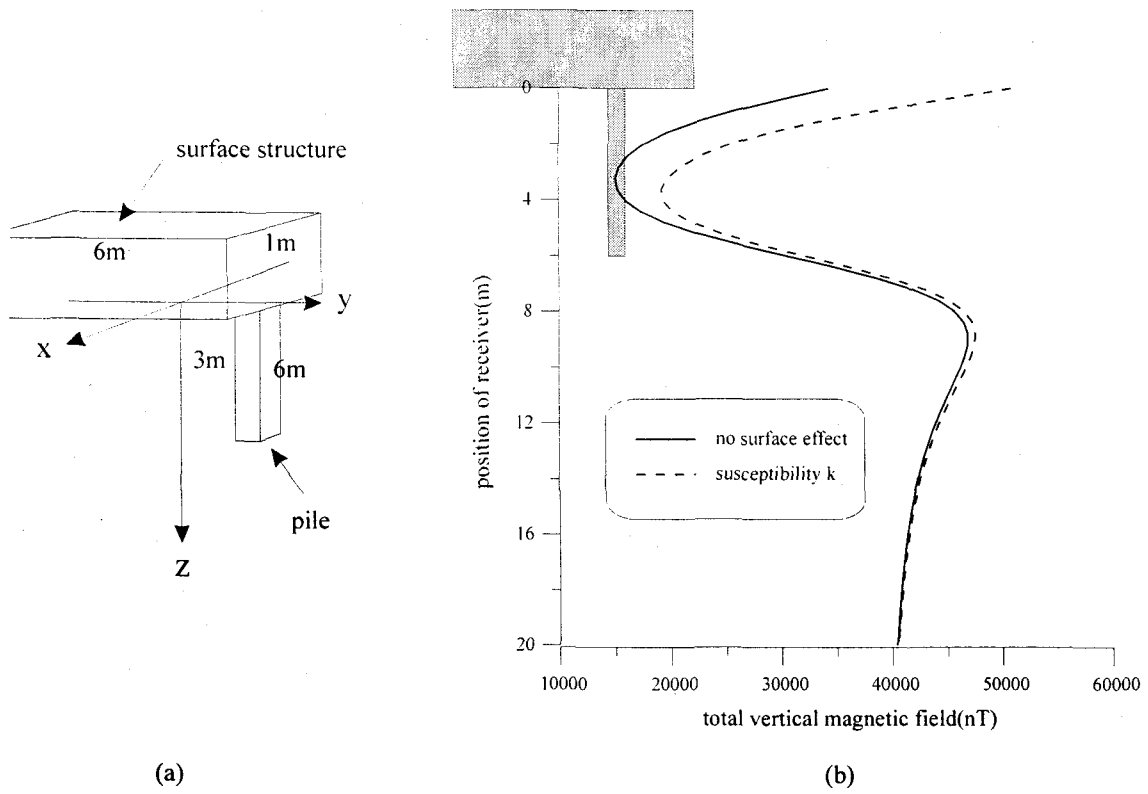


Fig. 4 Effect of surface structure on the magnetic response of subsurface pile.
 (a) geometry of model
 (b) vertical magnetic response with surface structure

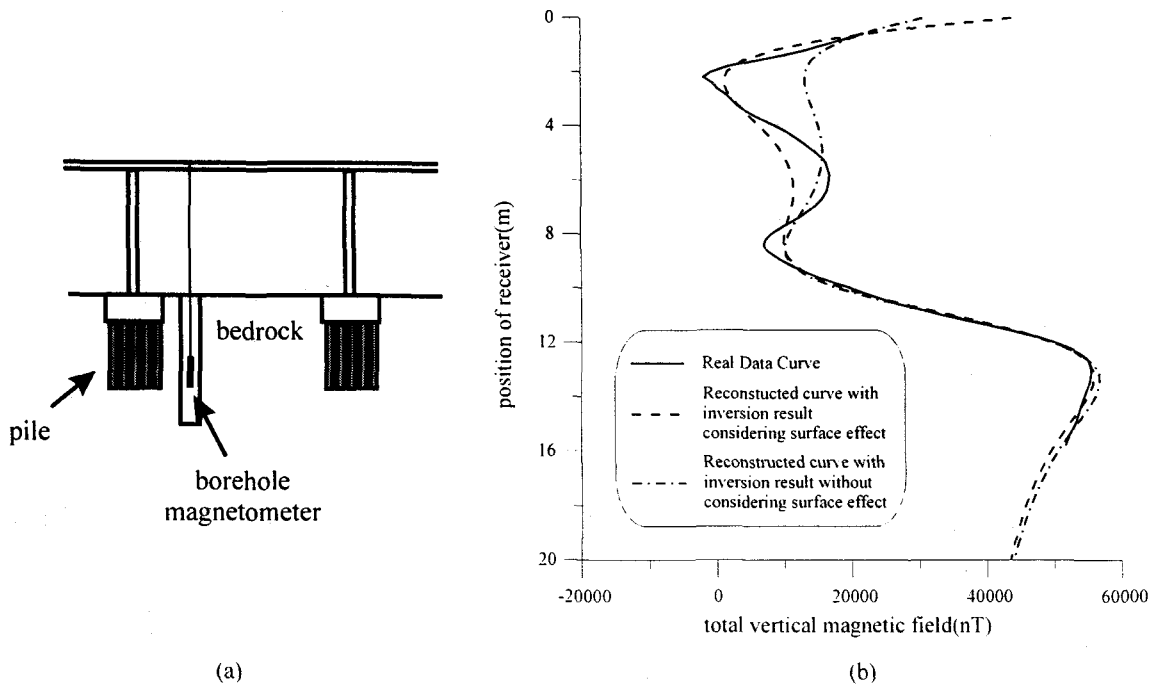


Fig. 5 Inversion result for real data.
 (a) a schematic diagram of measuring magnetic field
 (b) real data curve and reconstructed curve with inversion result