

## 환경물리탐사 기법을 이용한 유류오염 주유소 부지 특성 조사

김창렬, 고경석, 김정호, 박삼규, 손정술, 정지민  
한국지질자원연구원  
ryol1102@kigam.re.kr

### 요 약 문

Geophysical investigations, as a non-invasive method, were conducted at the former gas station site contaminated with fuel hydrocarbons. GPR (Ground Penetrating Radar) survey was performed to locate buried objects such as USTs (Underground Storage Tanks) and fuel pipes which might serve as a origin of the site contamination. Additional GPR investigation and a resistivity survey were conducted to map water table and to characterize shallow geologic structures of the site. The results of the study have shown that seven USTs including one unknown UST and buried fuel pipes are present, and that the groundwater elevation varies with topography from approximately 1.5 to 3m below the surface and the water table is located in the residual soils above the bedrock in the site. The results also show that the geophysical methods can be a very useful tool for the characterization of the contaminated site.

**Key words:** GPR survey, UST, resistivity survey, characterization

### 1. 서론

인류의 과학 기술의 발달과 함께 석유 혹은 중금속 함유 제품의 사용이 급격히 증가하면서 이들 오염물질에 의한 토양 및 지하수 환경오염이 심각한 사회적 문제로 대두되어 가고 있다. 최근에는 환경오염부지 평가 및 복원을 위한 부지특성조사의 일환으로 전통적인 조사 방법 이외에 비파괴 조사 방법으로 지구물리탐사방법의 사용이 증가하고 있다(Shima, 1997; US EPA, 2000). 물리탐사 기법은 천부지질구조 및 오염대 조사 등의 오염부지 특성조사 뿐만 아니라 오염복원 과정에서 모니터링 방법으로도 활용되고 있는 추세이다(박삼규, 2001; 박삼규 등, 2003).

환경오염부지 조사에는 전기비저항탐사, 전자탐사, GPR 탐사, 자연전위탐사, 자력탐사, 탄성과 탐사 등의 다양한 지구물리탐사방법이 토양 및 지하수 조사 결과와 함께 탐사 결과 해석에 사용되고 있다. 본 연구에서는 유류로 오염된 주유소 부지 특성조사에 적용된 물리탐사 사례에 대해 소개하고자 한다.

### 2. 조사부지 개요

조사부지는 지방 국도 주변 D 주유소와 그 주변 지역으로 과거 유류 누출로 인하여 토양 및 지하수가 오염되어 토양오염 조사가 수행되었던 지역이다. 조사 부지는 유류누출 후 상당한 기간이 지난 현재에도 주유소 부지 내 지하수 관측정에서 유류오염이 발견되고 있는 상태이다. 주유소 관리사무소 남서쪽 측면에는 과거 지하저장탱크(Underground Storage Tank, UST)가 설치되어 이로부터 휘

발유 및 경유 주유기까지 연결된 유류 배관이 지하에 매설되어 있다. 조사 부지는 이들 UST 혹은 배관에서 유류 누출에 의한 토양오염이 발생한 것으로 판단된다. 또한 주유소 부지 남서쪽에는 경사 3~15°이고 면적이 약 1300 m<sup>2</sup> 인 초지가 발달하고 있으며, 그 옆에는 북쪽에서 남쪽 방향으로 소하천이 흐르고 있다. 이 소하천과 인접한 토양에서도 현재 부분적으로 유류의 누출이 관찰되고 있다. 이 누출 유류는 주유소 부지내 UST 혹은 주유기 배관에서 유출된 유류가 지하수면을 따라 하류부로 이동하여 경사진 초지를 거쳐 소하천까지 이른 것으로 추정된다.

조사부지 내의 D 주유소는 운영이 중단되어 현재는 폐쇄되어 방치되어 있는 상태이나 조사부지의 오염원으로 판단되는 UST 및 주유기 배관의 철거 유무는 확인되지 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는 부지 오염원인 UST 및 주유기 배관 등의 존재 여부 및 분포 파악을 위하여 지하매설물 탐지를 위한 지표 레이더(Ground Penetrating Radar, GPR) 탐사를 수행하였으며, 오염부지 수리지질특성 평가의 일환으로 조사 부지의 천부 지질구조 및 지하수면의 공간적인 위치 파악을 위하여 전기비저항탐사 및 GPR 탐사를 실시하였다.

### 3. 지하매설물 탐지를 위한 GPR 탐사

탐사장비는 스웨덴 Mala Geoscience사의 RAMAC/GPR 시스템을 사용하였으며, 일반적으로 매설물은 지하 1~2 m 이내에 분포하고 있으므로 탐사 심도 및 분해능을 고려하여 주파수 250 MHz의 안테나를 이용하여 자료를 취득하였다. 그림 1에 탐사측선 위치를 도시하였다. 현장에서 획득된 탐사자료는 적절한 자료처리과정을 거친 후 반사파 신호의 세기를 흑백 음영도로 나타냄으로써 지하 매설물로 인한 GPR 이상대를 그림 2 및 3에 2차원 단면으로 영상화되었다. 2차원 영상 단면에서 세로축은 지하 심도, 가로축은 탐사측선의 수평거리를 나타낸다.

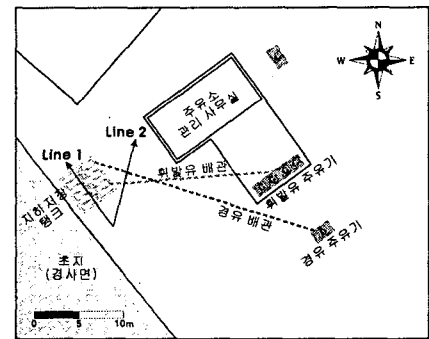


그림 1. 매설물탐지를 위한 GPR 측선 및 탐사결과 지하매설물 위치도

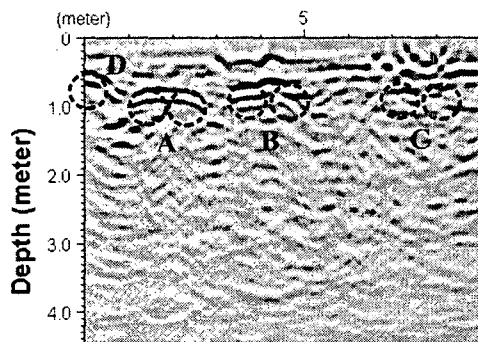


그림 2. Line 1의 지하매설 UST 영상 단면 (80m/μsec의 전파속도로 구조보정한 영상)

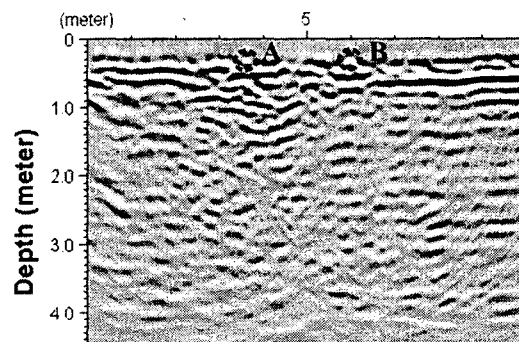


그림 3. Line 2의 지하매설 유류 배관 영상 단면 (80 m/μsec의 전파속도로 구조보정한 영상)

그림 2에서 이상대 A, B, 및 C로 표시된 부분은 지하 유류저장탱크로부터 반사된 전자기파의 신호를 나타내며, 각각의 이상대에는 2개의 UST로부터 얻어진 영상으로 구성되어 있다. 이들 탱크들은 심도 약 1m 내외에 매설되어 있으며, 총 6개의 저장탱크가 분포하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 측선 시작 부분의 심도 0.5 m 부근에서 저장탱크와 같은 매설물에 의한 것으로 판단되는 이상대 D가 탐지되었다. 이 탱크의 존재는 알려진 바가 없으나, 이상대 A, B, 및 C의 지하저장탱크 이전에 설치되어

사용되었던 것일 가능성이 있다. 그림 2의 A, B, 및 C의 UST로부터의 이상대는 탐사측선 Line 1부터 최대 3m 떨어진 다른 탐사 측선들에서도 매우유사한 신호의 이상대로 탐지되었다. 따라서 이들 UST의 길이는 최소 3m 정도에 이르는 것으로 추정된다. 그림 3의 지하 영상에서는 이상대 A와 B가 탐지되었는데 이들 이상대는 각각 휘발유 및 경유 저장탱크에서 주유기로 연결되는 배관(심도 약 0.2m)에서 반사된 것으로 판단된다. 또한 이들 이상대는 그림 2의 측선과 평행하게 설정한 다른 탐사 측선에서도 탐지되었다.

탐사 자료를 종합하여 보면, 그림 3의 이상대 A의 배관은 그림 2의 이상대 B에서 시작하여 휘발유 주유기로, 그림 3의 이상대 B의 배관은 그림 2의 이상대 C에서 시작하여 경유 주유기로 연결되어 있는 것으로 판단된다. 따라서 그림 2의 이상대 C는 경유 저장탱크, 이상대 B는 휘발유 저장탱크인 것으로 판단된다. 또한, 보통의 주유소에서는 경유보다는 휘발유의 사용량이 훨씬 많으므로 그림 2의 이상대 A의 저장탱크도 휘발유 저장용인 것으로 추정된다.

#### 4. 천부 지질구조와 지하수면 조사를 위한 GPR 탐사 및 전기비저항 탐사

GPR 탐사는 소하천으로의 유류 누출 경로로 추정되는 주유소 부지 남서쪽의 초지 하부의 지하수면의 위치를 파악하기 위하여 주유소 UST 매설 지점에서 소하천에 이르는 탐사 측선을 설정, 주파수 100 MHz의 안테나를 사용하여 자료를 취득하였다. 그림 4의 지하 영상 단면에서 초지에서의 지하수면이 주유소 UST 매설지점 인근에서는 지하 약 3m에서 탐지되었는데 이는 부지 UST 주변의 관측정 수위 자료(지표 하부 3.0~3.5m에 지하수면 위치)와 상당히 일치하고 있다. 소하천 인근에서는 지하수면이 지하 약 1.5m에 분포하는 것으로 탐지되었으며, 이 지점의 위치가 소하천과 약 1.5 m 정도의 표고 차이가 있음을 감안하면 실제 지하수면의 위치와 상당히 일치함을 보여준다. 또한, 측선 하부 약 6m(UST 인근)에서 5m(소하천 인근)에서부터 기반암이 분포하는 것으로 탐지되었다.

전기비저항탐사는 그림 4의 GPR 탐사 측선과 평행하게 남쪽으로 8m 떨어진 측선을 설정, 부지 남서쪽 초지의 천부 지질구조 및 수리지질특성 파악을 위하여 실시하였다. 그림 5의 전기비저항 영상에서 주유소 UST 매설 주변에서 소하천에 이르는 초지의 상부 지역(2~3m 두께)에서 고비저항대가 나타난다. 이는 주유소 부지 조성 시에 (고비저항의) 전석 등을 사용하여 이 지역을 성토하여 나타나는 것으로 해석된다. 이는 주유소 관측정 설치시 작성된 시추주상도 자료와 일치하고 있다. 고비저항대의 성토층 하부에 나타나는 저비저항대(3~5m 두께)가 탐지되었는데 이는 기반암이 풍화되어 형성된 잔류토양층으로 부지 수위자료 및 GPR 탐사자료에 의하면 지표 2~3m 하부에 지하수면이 분포하고 있는 것으로 추정된다. 이 풍화잔류토 하부에는 고비저항의 기반암이 분포하고 있다.

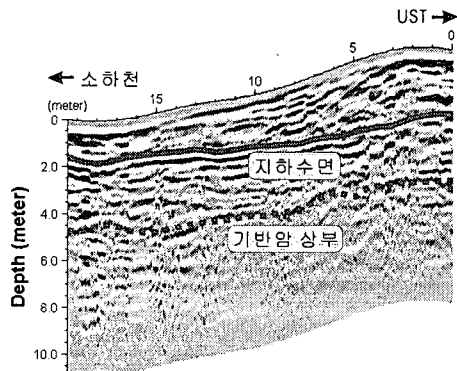


그림 4. 초지에서의 GPR 탐사 영상 단면

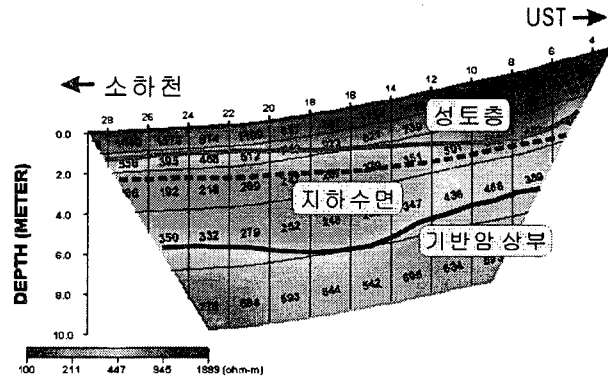


그림 5. 초지에서의 전기비저항탐사 영상 단면

## 5. 결론

유류로 오염된 주유소 부지에서 부지 오염원인 UST 및 유류 배관 등의 지하매설물 분포 여부 탐지를 위한 GPR 탐사, 그리고 부지 수리지질특성 평가의 일환으로 조사 부지의 천부 지질구조 및 지하수면의 공간적인 위치 파악을 위하여 전기비저항탐사 및 GPR 탐사 등의 환경물리탐사 기법을 적용하였다.

지하 매설물 탐사 결과, 6개의 UST 및 주유기 연결배관은 현재까지 철거되지 않고 주유소 부지에 매설되어 있는 상태로 남아 있어 저장탱크 및 주유기 연결배관에 유류가 남아 있는 경우 오랜 기간 동안 조사 부지의 토양 및 지하수의 오염원으로 작용할 것으로 판단된다. 이외에 알려지지 않은 1개의 UST가 더 매설되어 있는 것을 탐지하였다. 주유소 부지 남서쪽의 초지에서 실시한 GPR 탐사에서는 지하수면의 공간적인 분포를 확인할 수 있었으며 부지 수위자료와 매우 일치함을 알 수 있었다. 전기비저항탐사 결과, 탐사 지역의 천부 지질은 상부는 전석 등을 함유한 성토층, 그 하부는 지하수면이 분포하고 있는 기반암의 풍화잔류토양층, 그리고 최하부는 기반암으로 구성되어 있음을 알 수 있다. 조사 부지가 유류(휘발유 및 경유)로 오염된 것을 고려하면, 풍화잔류토양층의 지하수면을 따라 오염물질이 이동하였을 것이므로, 대부분의 오염토양은 지하수면 상하의 풍화잔류토양층일 것으로 판단된다. 이상의 결과로부터 천부의 토양 및 지하수 오염 부지에서 환경물리탐사 기법의 적용이 수리지질특성 평가에 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

## 6. 참고문헌

1. Hiromasa Shima, Geophysical Exploration in Environmental Engineering, Butsuri-tansa, Vol .50, No, 6, pp. 643-655(1997)
2. US EPA, Innovations in Site Characterization: Geophysical Investigation at Hazardous Waste Site, EPA-542-R-00-003(2000)
3. 박삼규, 오염 토양·지하수의 조사기술, 한국농공학회지, 43권, 제 6호(2001)
4. 박삼규, 김을영, 최보규, 이병호, 박용기, 비위생 매립장의 침출수 유동경로 탐지를 위한 물리탐사의 적용성, 한국지하수토양환경학회 춘계 학술발표회, pp.180-183(2003)