

비위생 매립장의 침출수 유동경로 탐지를 위한 물리탐사의 적용성

박삼규 · 김을영 · 최보규 · 이병호, 박용기*

농업기반공사 지하수사업처

*부산시 환경국

samgyu@karico.co.kr

요 약 문

Recently, the pollution of soil and groundwater becomes a serious social problem, and geophysical exploration methods have been introduced as a remedial investigation method of subsurface. Digital technologies such as personal computer have revolutionized our ability to acquire large volumes of data in a short term, and to produce more reliable results for subsurface image. Also, color graphics easily visualizes the survey results in a more understandable manner, and it is widely used for not only characterizing the contaminated subsurface but also monitoring contaminant and remedial process. In this paper, electrical resistivity survey were carried out in order to understand characteristics of waste landfills, and the applicability of geophysical prospecting to site assessment of waste landfill was also tested. According to the result, electrical resistivity survey were effective in estimating distribution of the leachate plume.

key word : geophysical prospecting, waste landfill, leachate plume

1. 서 론

폐기물의 최종 처리로서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 매립방식은 매립 운영기간과 매립 완료 이후에도 지속적으로 환경문제를 안고 있으며 상당 기간 지하수 환경으로 오염물질을 배출하는 대표적인 면오염원이다. 그동안 환경 영향을 고려하지 않고 비위생적으로 처리되어 온 매립장은 각종 환경문제를 야기 시켜 왔다. 그 중에서도 매립장 내부에서 발생된 침출수가 외부로 누출되어 주변지역의 지하수 및 토양을 오염시키는 경우가 적지 않다. 이러한 매립장 주변의 오염부지를 정확하게 조사하기 위해서는 각종 토질조사 및 수리지질조사 등을 통하여 오염토양 지반하부의 특성, 오염정도 및 추이, 수질 및 지하수 유동 등 많은 정밀조사가 요구되고 있으며 주로 시추조사에 의존하고 있다.

오염부지 주변의 정확한 시추조사를 위해서는 지반하부의 지질구조와 오염물질의 이동 경로를 파악하기 위한 사전조사가 선행되어야 한다. 이를 위해서 지구물리학적 이론을 응용한 물리탐사법이 도입되고 있으며 국내에서도 널리 활용되고 있다(이철효 · 박삼규, 2001; Park, et al., 2001). 특히 물리탐사법은 주변 환경에 변화를 주지 않는 비파괴적이고 환경 친화적인 장점이 있기 때문에 더욱 더 유용한 방법으로 이용되고 있다. 본 논문에서는 비위생 쓰레기 매립장의 오염부지 평가를 위한 사전조사로써 전기비저항탐사를 실시하여 주변지역의 지질구조 및 침출수의 유동경로 등을 파악하여 시추조사 위치를 결정한 사례를 소개하고 그 유용성에 대해서 검토한다.

2. 환경조사에 이용되는 물리탐사법

최근 물리탐사법이 컴퓨터 및 전자기기의 발달에 힘입어 지반가시화 기술이 도입되면서

짧은 시간에 다량의 데이터를 취득할 수 있을 뿐만 아니라 신뢰성 높은 해석결과를 얻을 수 있게되었다. Table 1은 환경조사에 이용되고 있는 물리탐사법을 표시하고 있다. 이 중에서 침출수의 유동경로 탐지에 전기비저항탐사, EM탐사 및 자연전위탐사 등이 이용되고 있다.

Table 1 Geophysical tools and their roles in environmental investigation (Shima, 1997).

Survey objects	Investigation objects	Geophysical exploration methods
Degree and range of the pollution	High-dense pollution	Electrical resistivity survey EM survey, GPR
Pollution source	Metal (drum, USTs)	MT survey, EM survey, GPR
	Nonmetal (disposal field, disposal pond, pollution plum)	Electrical resistivity survey EM survey, GPR,
Pollutant pathway (Transfer mechanism)	Boundary of ground and waste Continuity of the geological structure (interception and permeability layer)	Electrical resistivity survey Shallow-layer reflection survey, EM survey, Microgravity survey Geotomography
Purification countermeasure	Change of the geological structure	
Purification monitoring	Electrical resistivity change with the concentration-change	Electrical resistivity survey
	Subterranean stream	Streaming potential survey Spontaneous potential survey
	Physical property change by the artificial impregnant	Electrical resistivity survey Geotomography

3. 전기비저항탐사의 적용 사례

본 조사지는 매립이 종료된 비위생 쓰레기 매립지로 침출수에 의한 주변지역의 토양 및 지하수 오염실태를 조사하기 위하여 시추조사에 앞서 전기비저항탐사를 실시하였다. 전기비저항탐사 축선은 지표지질조사 및 지형 등을 고려하여 지하수의 유동이 예상되는 지역에 설정하였으며, 전극배열은 상대적으로 분해능이 높은 쌍극자 배열을 선택했다. 전극간격은 탐사심도를 고려해서 5m 간격으로 하고, 전위차를 측정하기 전에 접지저항 등을 체크하여 신뢰성 높은 자료를 획득하였다.

Fig. 1에 탐사결과의 전기비저항 분포도를 나타내고 있으며, 축선의 A와 B는 각각 매립장 내부와 외부에서 탐사한 결과이다. 전체적으로 전기비저항은 2~10,000 Ω m의 범위로 분포하고 있으며, 침출수의 영향으로 생각되는 10 Ω m 이하의 저비저항대가 부분적으로 분포하고 있다. A축선과 B축선에서 나타나는 저비저항대는 연결성을 나타내고 있어 지질연약대에 의한 침출수의 유동경로로 추정되어 시추조사(BH-3, 4공)를 실시하였다. 시추조사 결과에 의하면 상부는 자갈을 포함하고 있는 토사층이 분포하고 있으며, BH-4공의 경우 깊이 33m 까지는 core회수가 거의 불가능 할 정도로 심하게 풍화 파쇄되어 있다. 그 하부는 절리가 매우 발달되어 있고 깊이 43.5m 지점에서는 소규모 단층도 관찰되었다. 이러한 지질 연약대가 저비저항대를 형성하는 원인으로 판단되고 있으며, 침출수 이동경로의 가능성을 시사하고 있다. 그러나 조사당시 A축선과 B축선 사이에는 SGR공법에 의한 차수벽이 설치되어 있고, 검사정 9와 10에서 관측한 지하수의 전기비저항은 각각 3.3 Ω m와 23.6 Ω m(온도 25 $^{\circ}$ C로 보정한 값)으로 현저한 차이를 보이고 있다. 따라서 매립장 외부의 B축선에서 나타나는 저비저항대는 지반이 풍화파쇄대의 발달로 점토화되어 있고, 검사정 10에서 관측한 지하수의 전기비저항이 주변의 일반 지하수의 전기비저항(56.9 Ω m)에 비해 낮게 나타나고 있어 이러한 복합요인에 기인한 것으로 판단된다.

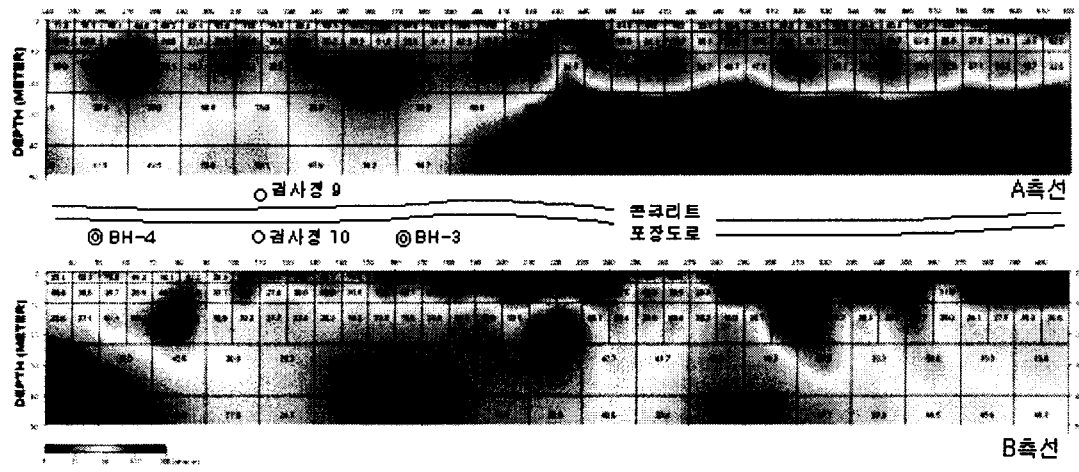


Fig. 1. Distribution resistivities of A(inner) and B(outer) lines of the waste landfill.

4. 토의 및 결론

지반의 전기비저항은 공극율, 포화도, 간극수의 전기비저항(전기전도도의 역수), 점토함 유량 등에 의하여 영향을 받고 있으며, 실제로 이들의 복합적인 요인으로 나타난다(Table 2). 동일 지반에서의 전기비저항은 포화도와 공극수의 전기비저항에 의해서 크게 영향을 받는다. Fig. 2는 실내실험에서 얻은 흙시료의 전기비저항과 간극수의 전기비저항의 관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 시료의 전기비저항은 간극수의 전기비저항에 비례하고 있고, 이것은 지반의 전기비저항은 간극수의 전기비저항에 크게 의존하고 있다는 사실을 시사하고 있다.

본 조사지의 경우 매립장에서 발생하는 침출수의 전기전도도가 해수정도로 매우 높고, 침출수에 의한 영향으로 지반의 전기비저항이 낮게 분포할 것으로 판단되어 매립장 내부와 외부에 전기비저항탐사를 실시했다. 그 결과 지반의 전기비저항이 10 Ω m이하의 저비저항대가 부분적으로 분포하고 있어 침출수의 유동경로로

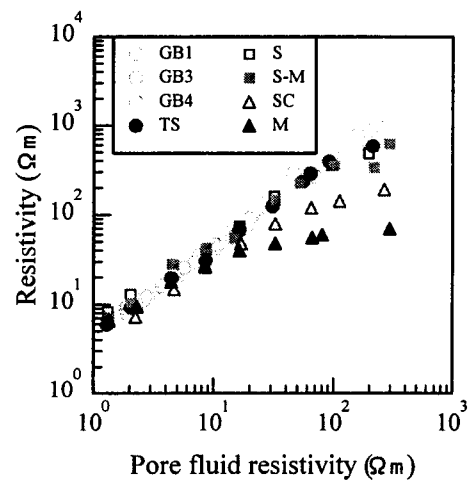


Fig. 2. Relationship between resistivity and pore fluid resistivity of soils (Park, et al., 1999).

Table 2 Influencing factors and degree of the resistivity of soil (Matsui, et al., 2000).

Influencing factors		Influencing degree		Soil conditions
		Low resistivity	High resistivity	
Porosity	Saturated condition	Large	Small	Grain size and sorting
	Unsaturated condition	Small	Large	
Pore fluid resistivity (Resistivity of groundwater)		Low	High	Components of groundwater
Water saturation		Large	Small	Groundwater table
Water content by volume (Porosity and water saturation)		Large	Small	Grain size and sorting
Clay content		Much	Little	Grain size

추정할 수 있었으며, 이 결과로부터 시추위치를 선정하는데 유용한 지반정보를 제공할 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 이철효, 박삼규 "매립지 오염평가를 위한 물리탐사의 적용사례", 환경오염지역 평가를 위한 물리탐사 기술에 관한 제3회 특별심포지움 논문집, 서울교육문화회관, 서울, pp104~121(2001)
2. Park, Sam Gyu, Song, Yoonho, Song, Sung Ho, and Kim, Young Woong "Application of Geophysical Prospecting Methods to Investigation of Contaminated Soil with Petroleum Products", *Proceeding of the Application of Geosystem Engineering for Optimal Design of Underground Development and Environment in 21st Century*, KIME, Seoul, Oct.,(2001)
3. Hiromasa Shima "Geophysical exploration in environment engineering", *Butsuri-tansa*, 50(6), pp643~655(1997). (in Japanese)
4. Matsui, T., Park, S.G., Park, M. K. and Matsuura, S. "Relationship between electrical resistivity and physical properties of rocks", *Proceedings of the GeoEng2000*, Go987, (2000)
5. Sam Gyu Park, Hiroshi Fujiwara, Mi Kyung Park, Tamotsu Matsui, "Fundamental study on resistivity of soils" *Butsuri-tansa*, 52(4), pp299~306(1999). (Japanese)