

연구논문

전기비저항 탐사를 이용한 노은매립장 침출수 분포에 관한 연구

김준경 · 홍상표* · 김광렬** · 조용진***

세명대학교 자원환경공학과, 청주대학교 환경공학과*, 충북대학교 환경공학과**, 충주대학교 환경공학과***
(2004년 4월 14일 접수, 2004년 9월 14일 승인)

A Study on Electrical Resistivity Geophysical Surveys of the Noen Landfill Site

Jun-Kyoung Kim, Sang-Pyo Hong*, Kwang-Yul Kim**, Yong-Jin Cho***

Semyung University, Chongju University*, Choonguk National University**, Chungju University***

(Manuscript received 14 April 2004; accepted 14 September 2004)

Abstract

The electrical resistivity prospecting method with dipole-dipole array were applied in order to survey 3-D structure characteristics of the Noen landfill site. For the electrical resistivity prospecting, 3 line of measurements were established parallel to the main boundary of the Noen landfill site and additional 2 lines were also established perpendicular to the existing 3 lines for the effective investigation of the landfill site. The results showed that the uppermost layer of the landfill site is believed to be stabilized generally based on the characteristics of electrical resistivity distribution. Lowest layer was partially polluted by the leachate.

Key words : Noen landfill site, electrical resistivity, dipole-dipole array

I. 서 론

1. 연구의 목적 및 배경

노은 생활폐기물 매립지에 지구물리탐사 가운데 하나인 전기비저항 탐사(쌍극자-쌍극자 배열)

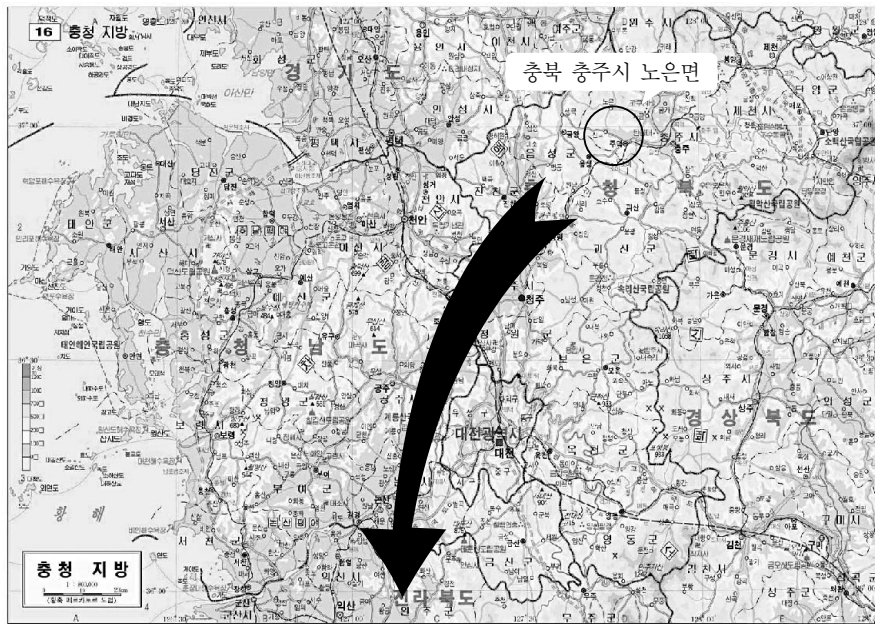
를 수행하여 매립지의 침출수 유출로 인한 토양의 오염정도를 정성적으로 파악하였다. 이로부터 본 탐사방법의 적용성과 한계성을 분석하고, 매립지의 안정화 정도를 평가하고 및 향후 노은매립지를 재활용을 할 계획을 수립할 시 참고자료를 제시하는 데에 목적을 두고 있다.

현행 폐기물관리법에서는 폐기물을 '사람의 소비활동이나 생산과정에서 필요하지 아니하게 된 물질' 이라 정의하고 있고, 그 발생원에 따라 생활 폐기물과 사업장폐기물로 크게 구분하고 있다. (환경부 환경백서, 2003).

2002년 3월에 환경부는 자원순환형 폐기물관리 체계를 정착시키고자 '제 2차 국가폐기물관리종합계획'을 확정하였다. 그 내용은 폐기물의 발생량 자체를 우선적으로 줄이고, 발생된 폐기물을 최대한 자원화하여 재활용하며, 최종적으로 처리

가 불가피한 폐기물은 환경적으로 안전한 위생적인 매립을 하는 정책이다.(환경부 환경백서, 2003).

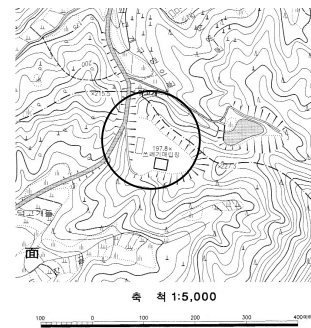
불량 쓰레기 매립지의 오염상태를 조사하는 탐사는 지화학적 방법과 지구물리학적 방법으로 크게 나눌 수 있다. 매립지의 오염을 조사하는 지화학적 방법에 의하면 토양 또는 수계의 시료를 샘플링하고, 시료 처리과정을 거친 후 화학분석을 하여 중금속 함량이나 다른 화학적 요인(pH, 총용존고형물량, 전기전도도, 염도, 용존산소량 등)을 분석하여 오염평가를 하고 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 노은폐기물 매립지 위치 (a) 1:800,000지도 (b) 1:50,000지도 (c) 1:5,000 지도

매립지의 오염을 조사하는 지구물리학적 방법에 의하면 매립장의 구조와 층서, 매립장의 규모·상태 및 지하 오염물질의 분포범위와 거동, 매립장의 구조적 안정화 정도, 매립장 토지의 재활용 가능성을 진단하는 데에 그 목적이 있다. 따라서 목적에 부합되게 다양한 탐사를 적용하여 정성적, 정량적 자료를 얻기 위해 사용되어 지고 있다(Ward, 1990).

현재까지 불량 쓰레기 매립지에 대한 지구물리학적 탐사는 탐사 목적에 따라 다양한 방법을 적용되어 왔다. 서울 난지도 매립장에서 권병두 등(1995)이 중력탐사와 자력탐사를 수행하여 매립물의 밀도분포를 구하고 중력 및 자력이상대에 대하여 정성적, 정량적 해석을 실시하였으며, Lee and Yoon(1995)은 슬림버저 전기비저항 탐사를 수행하여 매립물의 전기비저항 층서와 침출수 발생지역에 대한 연구를 수행하였다. 이기화 등(1996a)은 매립장 상부에서 슬림버저 전기비저항 탐사와 함께 동일 송수신배열 시간영역 전자탐사를 실시 매립지의 특성과 지하구조를 연구하였고, Lee and Yoon(1997), 이기화와 윤종렬(1998), 권병두 등(1998, 1999)은 부산시 석대매립장과 포항시 유봉산업 쓰레기매립장에서 전기탐사, 중력, 자력, VLF탐사를 수행하여 매립지 특성에 관한 연구를 수행하였다.

특히 송성호등(2003)은 제주도 쓰레기매립장에서 전기비저항 탐사와 전자탐사를 수행하여 침출수 조사를 하였으며 최근에 들어 GPR(투과 레이더)탐사가 매립지 탐사에 적용되어 많은 성과를 보이고 있다.

본 논문의 연구지역인 노은 매립지는 충주시 신니면과 충주시 노은면의 경계지점인 덕고개(위도 392.5 - 393, 경도 265.5 - 267)에 위치해 있는 계곡형 매립지로 자세한 위치는 그림 1에 표시되어 있다(長湖院 90). 수리적으로 매립지 주위의 자연수는 도랑을 타고 약 1.5Km 정도를 흘러 남한강 지류인 한포천에 합류하고, 다시 약 12Km

정도 다시 흘러 충주 조정지댐 아래인 충주시 양성면 능암리에서 한강 (한강 하구 지점 기점 181Km)에 합류된다. 노은 생활폐기물 매립지는 1992년 6월부터 1999년 6월까지 운영되었고, 매립 깊이는 3m, 매립면적은 9,034m², 매립용적은 27,102m³으로 현재 매립은 종료 되었다.

II. 연구방법

매립장의 일반적인 지반상태 및 존재가능성이 있는 침출수의 3차원적인 분포를 분석하기 위해 전기비저항 탐사를 실시하였다. 전극배열법은 매립장 주변의 수리지질 구조 파악이나 매립장에서 발생하는 침출수의 오염 상황에 대한 정밀 조사를 위하여 쌍극자 배열법을 선택하였다. 적용된 전극배열법은 수평분해능이 뛰어나다. 또한 쌍극자 탐사는 다른 전기비저항 탐사에 비해 노력이 많이 들지만, 국내 지반구조에 대체로 적합한 방법으로서 탐사지역의 이차원적인 전기비저항 분포단면을 보여주는 대표적인 방법이다. 본 연구를 위해 미국 AGI사가 개발한 Sting 전기비저항 측정시스템을 사용하였다.

2차원 단면을 효과적으로 얻기 위하여 매립장 지역의 특성을 고려하여 측선 설계를 하였다. 본 연구지역은 외부 지형으로 판단한 결과 지하수의 유동 방향이 북동방향(상부)에서 남서방향(하부)으로 추정되어 쌍극자 배열 측선을 침출수의 유

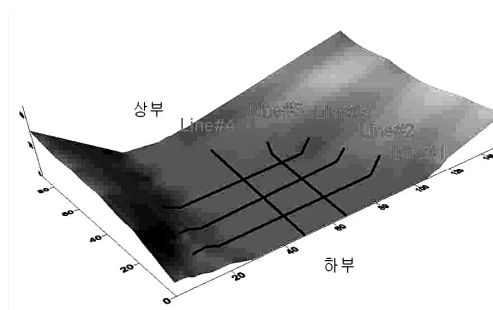


그림 2. 측선 위치도

표 1. 전기비저항 탐사 측선 설계

	측선 길이 (m)	전극 수 (개)	전극 간격 (m)	가탐 심도 (m)
Line #1	약 96	24	4	약 20
Line #2	약 84	21	4	약 20
Line #3	약 76	19	4	약 20
Line #4	약 84	21	4	약 20
Line #5	약 68	17	4	약 20

동예상 방향과 직교하는 방향으로 3개의 측선을 설정하였고, 또한 측정결과의 신뢰성을 높이기 위하여 3개 측선방향과 직교되도록 2개의 측선을 추가 설정하여 중복으로 수행하였다.

5 개의 각각 측선에 대한 설명은 아래 표 1 및 그림 2에 제시되어 있으며, 측선 가운데 Line #1, 2, 3은 그림 2에 제시되어 있는 바와같이 매립지 하부 담장경계로부터 각각 10m, 25m, 40m 가량 거리를 두고 있다. 또한 각각의 측선은 현장의 탐사조건에 따라 표 1에 제시되어 있는 바와 같이 전극수를 조절하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 3 (a), (b), (c), (d), (e)는 각각 5개의 측선에서 얻어진 측정자료를 역산분석을 통하여 얻어진 지반의 단면도를 보여주는 그림이다. 각각의 그림에서 가로축은 수평거리를 나타내고 수평 그리드 간격은 4m이고 수직축은 지하심도를 나타낸다. 각각의 그림 3개의 그림으로 이루어져 있고 이들 중 가장 상부에 위치하고 있는 Field Data는 현장에서 실제 측정된 겉보기 전기비저항 (apparent resistivity) 값을 나타낸다. 자료중에서 공란으로 되어 있어 값이 주어지지 않은 부분은 잡음으로 인해 자료의 신뢰도에 영향을 미치기 때문에 역산을 통한 분석을 할 때 이 부분을 제외시켰다. 중간 그림인 Theoretical Data는 역산 분석에 의해 얻어진 전기비저항 지반모델 결과를 이용하여 지배방정식에 대입하여 이론적으로 얻

어질 수 있는 겉보기 전기비저항 단면도이다. 그리고 마지막 그림인 2-D Resistivity Structure는 Diprowin (2000)에서 지원하는 역산법을 이용하여 지하 전기비저항의 분포가 공간적으로 부드럽게 변화하도록 제한을 두고 이론값과 실측값 간의 오차가 최소인 지하구조를 계산한 결과이다. 따라서 상부 그림과 중간 그림의 일치 정도에 따라 가장 하부에 제시되어 있는 전기비저항 지반단면도 모델의 신뢰성이 비례한다.

그림 3 (a)는 측선 Line #1으로부터 역산과정을 통하여 분석된 전기비저항 지반모델로서 전체적으로 깊이 약 4m까지 100 ohm-m이하의 낮은 전기비저항값을 보이고 있다. 특히 측정번호 #9#13에서 깊이 약 1020m까지 20 ohm-m이하의 아주 낮은 전기비저항 이상대가 아주 잘 발달되어 있으며, 이렇게 낮은 전기비저항 이상대를 중심으로 양쪽이 상대적으로 높은 전기비저항 이상대가 발달되어 있다. 지표에 수평으로 발달된 낮은 값을 가진 전기비저항 단면도 특성을 고려할 경우 매립깊이는 약 4m 정도로 판단된다. 이는 앞서 매립장시설 현황에서 제시된 매립깊이와 거의 일치하고 있음을 보여주고 있다. 또한 중앙 지점에 보이는 극히 낮은 전기비저항 (20 ohm-m 이하) 이상대에 침출수가 지반의 공극에 집중되어 있는 것으로 판단된다.

그림 3 (b)는 Line #2 측선으로부터 얻어진 결과로 지반 전체적으로 수백 ohm-m의 전기비저항 값을 가지고 있다. 중앙부근에 아주 낮은 전기비저항 이상대가 발달되어 있어 Line #1의 결과와 아주 비슷하다. 또한 양쪽으로 500 ohm-m 이상의 상대적으로 높은 전기비저항 지역이 이를 둘러싸고 있다. 하지만 Line #1에 비하여 낮은 전기비저항 이상대의 수평폭이 훨씬 좁아지고 깊이의 증가에 따라 이상대의 발달정도도 미약해지고 있다.

그림 3 (c)는 Line #3 측선으로부터 얻어진 결과로 Line #1, #2로부터 얻어진 결과와 유사하

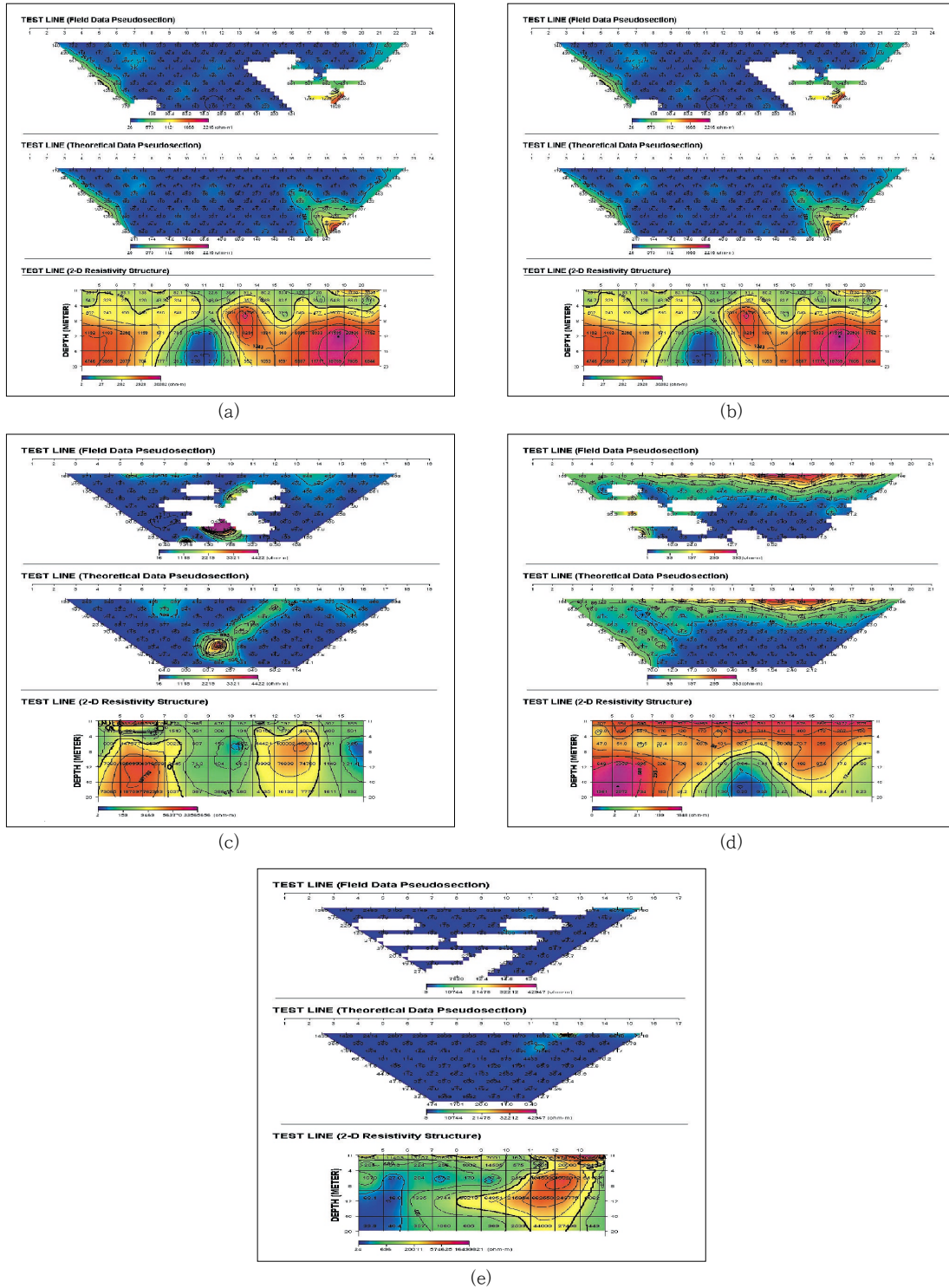


그림 3. 전기비저항 탐사 결과 단면도 (a) Line #1, (b) Line #2, (c) Line #3, (d) Line #4, (e) Line #5

게 중앙지점에 낮은 전기비저항 이상대가 발달되어 있고, 중앙지점을 중심으로 양쪽이 상대적으로 높은 전기비저항 이상대가 발달되어 있으며, 측정 번호 #15#16사이에 낮은 전기비저항 이상대가 발달되어 있다.

이 결과는 그림 3 (b) 결과에 비하여 전기비저항 이상대의 수평폭이 넓어지고 있으나, 이상대의 전기비저항 값이 주변의 오염되지 않은 신선한 지반의 전기비저항값에 보다 가까운 값을 갖고 있음을 보여주고 있다. 따라서 침출수에 의한 영향대로 추정되는 전기비저항 이상대의 발달 정도는 그림 3(b) 결과에 비하여 보다 미약해지고 있음을 보여주고 있다.

그림 1에서 보여주고 있는 바와같이 그림 3 (d)는 자료의 신뢰성을 높이기 위해 기존 Line #1, Line #2 및 Line #3 측선에 대해 직각을 유지하도록 측선을 설치하고 측정한 결과를 보여주는 그림이다. 전체적으로 수백 또는 100- m 이하의 낮은 전기비저항값을 보이고 있고, 특히 중앙

심부에서 상부 심부의 약 12m이하 지점에 낮은 전기비저항 이상대가 넓게 분포하고 있다.

그림 3 (e) 또한 자료의 신뢰성을 높이기 위한 측선으로서 하부 쪽 측정번호 #4#8번의 범위의 지역에서 낮은 전기비저항 이상대가 보이고 있고, 옆으로 전기비저항이 높은 이상대가 넓게 분포하고 있다. 그림 3 (d) 및 그림 3 (e)에서 분석된 결과는 앞서 제시된 3개의 측선결과에 아주 잘 일치되는 결과를 보여주고 있다.

그림 4는 Line #1, #2, #3에 대한 역산 결과를 상호 측선위치를 고려하여 재배열한 결과로서 각각의 측선지반하의 전기비저항 단면도를 보다 입체적으로 나타낸 그림이다. 측선의 중앙부분에 하부와 상부를 이어가는 전기비저항 이상대가 잘 발달되어 있고 또한 하부측선에서 상부측선으로 갈수록 전기비저항 이상대의 심도가 점차 얕아지고 있음을 보여주고 있다.

그림 5는 각각의 심도에 따른 전기비저항 평면도를 나타내는 3차원 입체도이다. x축과 y축은

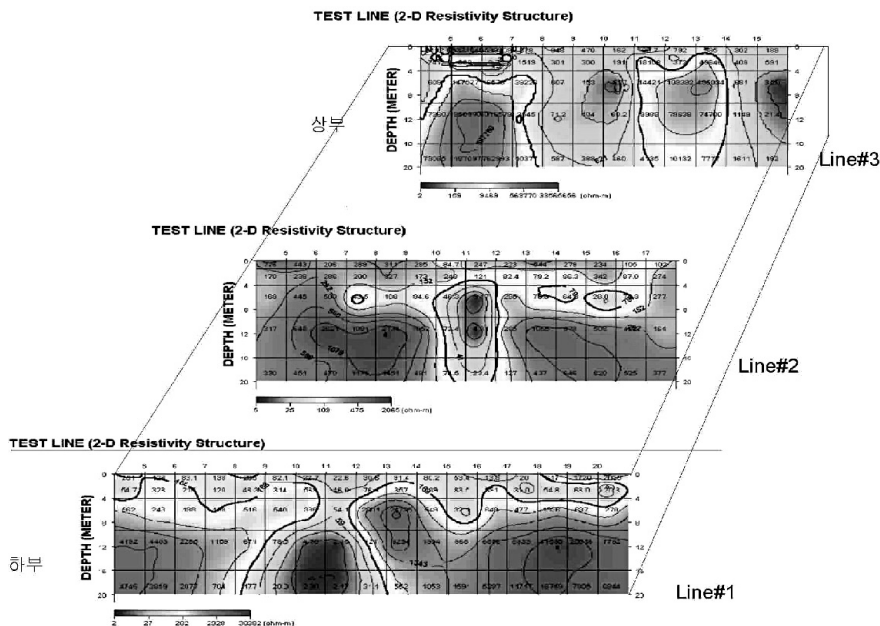


그림 4. 전기비저항 탐사 결과 종합도

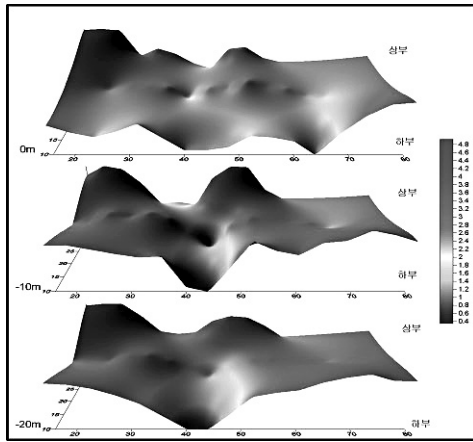


그림 5. 전기비저항 3차원 입체도

각각 좌우, 상하의 거리를 나타내며, z축은 전기비저항 값을 나타낸 것이다. 그러나 전기비저항 값의 상호간의 차이가 너무 크기 때문에 전기비저항 값을 Log scale로 표현하여 나타내었다.

3개의 전기비저항 탐사측선 (하부, 중부 및 상부 측선)에 대한 전기비저항 탐사결과 중앙부분에 하나의 뚜렷하게 수직으로 발달된 전기비저항 이상대가 발견되고, 또한 개략적으로 3층 구조로 이루어져 있음을 보여주고 있다.

이렇게 수직으로 발달된 전기비저항 이상대에 대한 지질 구조적 해석에는 2가지 가능성이 있다. 우선 각각의 탐사측선의 중앙부를 따라 하부에서 상부로 이어지는 지질 구조적 파쇄대의 존재 가능성이 있고, 다른 하나의 가능성은 안정화가 점차 진행되면서 침출수가 상대적으로 지반의 심도가 낮은 측선 중앙부에 모여 하부 지반의 공극으로 스며들고 있을 가능성이다.

전기비저항 이상대의 심도에 대한 특성을 살펴보면 하부측선 단면도에서는 전기비저항 이상대가 지반하부 깊이까지 이어져서 탐사가가능 심도 이하까지 연결되어 있다. 하지만 중부 및 상부 측선으로 갈수록 전기비저항 이상대의 하부경계의 심도가 알아지고 있으며 또한 중앙부의 수직 전기비저항 이상대의 연속성이 갑자기 약해지고 또

한 수직이상대의 심도가 지표로부터 연장성이 훨씬 약해지는 특징을 보여주고 있다. 일반적으로 지질구조적인 파쇄대는 수평적으로 상당히 긴 연장성을 보여주고 있으나 본 탐사결과와는 수직적 전기비저항 이상대의 수평적인 연속성을 뚜렷하게 보여주지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서 관측되는 전기비저항 이상대는 지질 구조적인 파쇄대에 의한 특성에 의한 영향 보다는 매립물의 침출수가 하부지반으로 침투한 영향으로 해석된다. 또한 상부 측선에서는 수직 전기비저항대의 전기비저항 값과 거의 유사한 수평 전기비저항 이상대가 얕은 심도에 중앙을 중심으로 대칭으로 존재하고 있다. 이는 수평적 파쇄대 발달에 의한 현상으로부터 도출되는 결과라기보다 침출수에 의한 영향이 지배적인 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구지역인 노은 매립장은 전기비저항 탐사 결과 상부는 전기물성적으로 판단할 때 오염되지 않은 일반 토양과 전기비저항값이 대체로 유사하다. 하지만 매립장 하부물질은 침출수에 의한 지반 하부 오염이 일부 이루어져 있다. 또한 침출수의 유동 경로는 매립장내부의 3차원적인 전기비저항 분포 조건과 또한 상부(북동방향)에서 하부(남서방향)쪽으로 경사가 기울어져 있는 지형적 조건을 동시에 고려할 경우, 상부 방향에서 하부방향으로 흘러 하부 쪽 지반 풍화대에 스며들어 있는 것으로 판단된다. 하지만 노은 매립장은 전기비저항 탐사 결과 단면도상에서 좌측경계로부터 약 40m에서 50m사이의 지반 하부 지역을 제외하고 거의 모든 곳이 전기물성적으로 오염되지 않은 일반 토양과 전기비저항값이 대체로 유사하다.

노은 매립장 하부지반의 3차원적인 침출수의 분포 등을 효과적으로 파악하기 위하여 전기비저

항 탐사방법이 가장 효과적인 방법으로 판단되며 탄성과 지구물리탐사방법을 추가하여 동시에 수행하면 보다 정밀한 매립장에 대한 진단이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 충북지역 환경기술개발센터로부터 연구비 일부를 지원받았습니다.

참고문헌

- 김지수, 한수형, 최상훈, 이경주, 이인경, 이평구, 2002, 장풍 폐광산의 산성광산폐수의 의한 침출수 유동에 대한 지구물리 및 지화학 탐사자료의 상관해석, 지구물리, 5, 19-28.
- 권병두, 김차섭, 정호준, 오석훈, 1995, 난지도 매립지 및 그 주변의 지질환경 연구, 자원환경지질, 28, 469-480.
- 문윤섭, 이태중, 이채영, 윤준기, 2003, 물리탐사 기법을 이용한 건축 폐기물 매립지의 규모 파악, 지구물리, 6, 13-24.
- 민경덕, 서정희, 권병두, 1987, 응용지구물리학, 우성문화사.
- 손호용, 김지수, 손영수, 윤왕중, 김인수, 서만철, 김기영, 조인기, 김학수, 2000, 지반환경물리탐사, 시그마프레스.
- 송성호, 용환호, 안중기, 김기표, 2003, 제주도 쓰레기매립장 침출수 조사를 위한 전기 및 소형루프 전자탐사의 적용, 물리탐사 6, 1-10.
- 이기화, 권병두, 정호준, 1996a, 난지도 매립장 전기·전자탐사, 대한지하수환경학회지, 3, 95-100.
- 이기화, 권병두, 오석훈, 김차섭, 1996b, 난지도에 인접한 한강변에서의 쌍극자-쌍극자 전기탐사, 자원환경지질, 29, 335-343.
- 이기화, 윤종렬, 1998, 포항 옥명 폐기물 매립장에서의 전기탐사, 지구물리, 1, 41-50.
- 이기화, 권병두, 임형래, 양준모, 2000, 난지도 매립장의 안정화에 따른 지질환경 변화 조사를 위한 지구물리 탐사, 지구물리, 3, 113-126.
- 이재영, 김학수, 1996, 불량쓰레기 매립지에 대한 물리탐사 적용사례 연구(I), 한국토양환경학회지, 1, 29-38.
- 장연수, 이광열, 1994, 난지도 매립장 지반을 통한 오염이동 특성과 제어, Journal of Korean Society of Groundwater Environment, 1, 1-5.
- 한국지구물리탐사학회, 2002, 토목·환경 분야 적용을 위한 물리탐사 실무 지침, 1-311.
- 환경백서, 2003, 환경부, 485-542
- Barker, R.D., Improving the Quality of Resistivity sounding data in Landfill Studies, Geotechnical and Environmental Geophysics, SEG, 2, 245-252.
- Buselli, G., Barber, C., Davis, G.B., Salama, R.B., 1990, Detection groundwater contamination near waste disposal sites with transient electromagnetic and electrical methods, Geotechnical and Environmental Geophysics, SEG, 2, 22-39.
- Kiehwa Lee, and Jong-Ryeol Yoon, 1998, Annual Variation of Resistivity Structure in and around the Nanjido Waste Landfill, Journal of the Korean Society of Groundwater Environment, 5, 1-9.