

폐기물 처분장 오염지반조사를 위한 전기비저항 영상화 기법의 적용*

정연문¹⁾ · 우 익¹⁾ · 김정호²⁾ · 조성준²⁾

Investigation of Contaminated Waste Disposal Site Using Electrical Resistivity Imaging Technique

Jung, Yunmoon, Woo, Ik, Kim, Jungho and Cho, Seongjun

요 약 : 전기비저항 탐사는 역사가 깊으며 널리 사용되는 물리탐사 기술 중의 하나로서 최근에는 단순한 이상대의 확인이 아닌 지하 구조를 영상화하는 것으로 확대, 발전되면서 토목 및 환경 분야에 많은 적용이 시도되고 있다. 본 연구에서는 환경 분야에서의 전기비저항 탐사의 응용 가능성을 입증하기 위하여 전주시 소재의 폐기물 처분장에서 10 m 간격의 쌍극자 배열 전기비저항 탐사를 8개의 측선상에서 수행하였다. 자동 측정 소프트웨어를 개발하여 자료를 획득하였으며 자료처리 과정에서 지형 효과를 보정하였다. 처분장 내부는 대단히 낮은 지비저항대가 발달하고 있으며 삼천천 쪽을 제외하고는 처분장 부지와 저비저항대의 분포가 정확하게 일치하였다. 또한 오염물질의 수직적인 분포도 삼천천 방향으로 가면서 그 심도가 계속적으로 깊어진다. 이는 삼천천 쪽을 제외하고는 처분장의 방벽이 오염물질의 확산을 잘 막아주고 있으며 오염물질이 삼천천 방향으로 확산되었을 가능성이 높다는 것을 의미한다. 전기비저항 영상화 기법을 이용하여 오염대의 수평/수직적인 분포, 심도별 오염 물질의 발달 경향, 폐기물 처분의 최대 심도등의 유추가 가능하며 이는 환경 분야에서 전기비저항 탐사의 응용 가능성을 입증하는 것이다.

Abstract : The electrical resistivity method, one of old and widely used geophysical prospecting methods, has extended its scope to civil & environmental engineering areas. The electrical resistivity imaging technique was performed at the waste disposal site located in Junju to verify the applicability to the environmental engineering area. The dipole-dipole array, with the dipole spacing of 10 m, was applied along eight survey lines. The field data were obtained under the control of automatic acquisition softwares and topographic effects were corrected during processing stage. The processed resistivity images show that very low resistivity develops inside the disposal site and the distribution of low resistivity is exactly in accord with the boundary of the site except the river side. The depth of low resistivity zones is deeper toward the river side, which is interpreted that there is a high possibility for contaminants to be scattered to the river. From resistivity images, it was feasible to deduce the depth of waste disposal as well as the horizontal/vertical distribution of the contaminated zone, which proved the applicability of the electrical resistivity imaging technique to the environmental engineering area.

Keywords : electrical resistivity imaging, dipole-dipole survey, contamination detection, waste disposal

서 론

전기비저항 탐사는 1910 년대에 최초로 제안된, 매우 역사가 깊으며 널리 사용되는 물리탐사 기술 중의 하나로 광범위한 분야에, 특히 지하수 및 지하자원 탐사에 널리 사용되어 왔다. 근자에 들어 단순한 이상대의 확인이 아닌 지하 구조를 영상화하는 것으로 확대, 발전되면서 지하수 및 지하자원 탐사뿐만 아니라 기타 다른 분야, 특히 토목 및 환경 분야에 많은 적용이 시도되고 있다. 국내에서는 외국에 비하여 비저항이 높다는 비저항 탐사 적용의 호조건에도 불구하고 토목 분

야에서는 거의 시도된 바가 없으며, 환경 분야에 있어서는 극히 최근에 쓰레기 매립장 조사 등의 목적으로 일부 사용되기 시작하고 있는 실정이다. 전기비저항 영상은 지하 전기전도도의 분포를 영상화함으로써 오염 물질의 공간적 확산, 오염도 분포, 오염원의 위치, 침출수 누출 여부 및 그 정도 등에 대한 정보를 제공할 수 있다. 국내에서도 이와 같은 오염 문제에 대한 전기비저항 탐사 내지는 영상법의 이용이 근래에 들어 시작되고 있다. 이와 같은 적용이 가능한 것은 토양 혹은 암반내의 금속 이온 또는 유독 물질의 함량 증가가 바로 전기전도도의 증가로 나타나기 때문이다.

*1998년 4월 16일 접수

1) 현대건설(주) 기술연구소(Hyundai Institute of Construction Technology)

2) 한국자원연구소(Korea Institute of Geology, Mining & Materials)

전기비저항 영상의 획득에 의한 오염지반조사는 저렴한 경비로써 넓은 지역을 대단히 빠른 시간 내에 조사가 가능하다는 장점을 갖고 있다. 나아가서 토양내의 수평적인 오염도의 분포뿐만 아니라 심도 변화에 따른 정보를 획득할 수 있다. 또한 시간의 변화에 따른 오염 상황의 변화, 즉 오염의 모니터링이 가능하다는 점 또한 그 장점으로 들 수 있을 것이다. 이에 반해 문제점으로 들 수 있는 것은 오염도의 변화뿐만 아니라 지질의 변화에 의해 전기 비저항의 변화가 야기되므로 반드시 이들의 영향에 대한 구별이 필수적이라는 점이다. 이와 같은 문제는 조사 영역이 토양층에 한정될 경우에는 큰 어려움은 없을 것으로 사료되는 바, 토양 구성 광물의 변화에 의한 비저항의 변화보다는 오염에 의한 비저항의 변화가 훨씬 크기 때문이다. 또 다른 문제는 전기비저항 영상은 오염의 상대적인 변화에 대한 영상이라는 점이다. 그러나 앞으로의 많은 탐사 자료의 축적 및 연구를 통하여 이와 같은 문제에 대하여 상당한 진전을 보일 것으로 기대된다.

본 연구에서는 환경 분야에서의 전기비저항 탐사의 응용 가능성을 시험하기 위하여 전주시 완산구 효자동 마전리 소재의 폐기물 처분장에서 오염대의 수평/수직적인 분포, 심도별 오염물질의 발달 경향, 폐기물 처분의 최대 심도 등의 파악을 목적으로 쌍극자 배열 전기비저항 탐사를 수행하였다.

주변 지질

본 연구를 위한 시험 장소인 전주시 완산구 효자동 마전리는 Fig. 1에서 알 수 있듯이 북쪽으로 흐르는 전주천과 삼천천이 만나는 지점에서 삼천천 남쪽에 위치하고 있다. 이 지역은 과거 전주 외곽지역이었으며 매립이 완료된 산업폐기물 처분장으로서 그 상부에 토양층을 피복하여 경작이 실시되고 있다.

마전리의 지반은 주로 화강암으로 이루어져 있으며 주변 지역에 대한 시추 자료에 의하면 매립장 주변 지역 표층부로부터 하천에 의해 퇴적된 호박돌, 잔자갈, 모래 등으로 구성된 사력층이 3~4 m 두께로 발달되어 있다. 지표에서 암반까지의 깊이는 지역에 따라 다소의 차이를 보이나 대략 7~17 m이며 일부 지역에서는 2 m 정도 두께의 모래질 실트층이 사력층과 함께 나타나기도 한다. 이와 같은 조사 결과는 본 연구 지역이 하천의 상류에 위치함으로써 투수성이 큰 사력층의 퇴적물이 분포하고 있으며 국부적으로 유속이 매우 느려진 부분에서 모래질 실트층이 형성된 것을 지시한다.

마전리 매립장의 서쪽 지형이 높기 때문에 이 지역의 지하수가 매립장 동쪽에 위치한 삼천천으로 흘러들어가게 된다. 지하수위보다 낮은 마전리 매립장 하부를 이루고 있는 투수성이 높은 사력층에 의해 매립장에서 발생한 침출수는 직접 지하수를 오염시키며 오염된 지하수는 빠르게 이동하면서 주변의 토양과 하천을 오염시킬 것으로 예상된다.

자료 획득

Fig. 2는 Fig. 1에 표시한 조사장소 부분을 확대하여 탐사

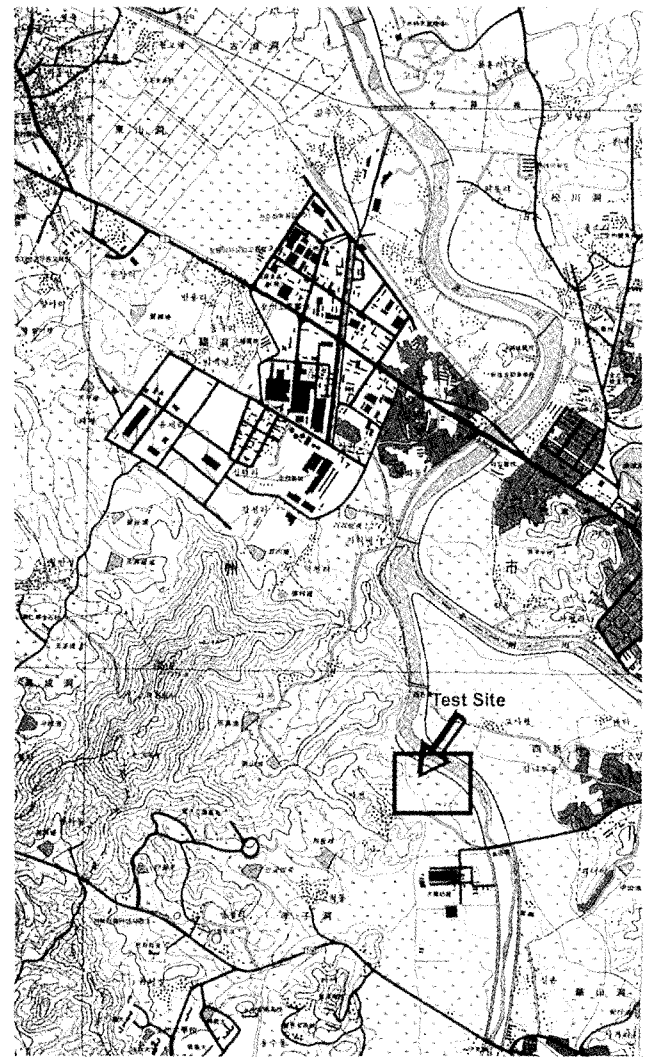


Fig. 1. Location of Majunri waste disposal site in Junju.

측선을 표시한 탐사측선도이다. 그림에 나타난 8개의 탐사측선 상에서 쌍극자 배열 전기비저항 탐사를 실시하였다.

대부분의 폐기물 처분장, 특히 산업폐기물 처분장에서의 전기비저항은 그 내부의 전도성 물질 때문에 매우 낮은 것이 일반적인 특징이다. 대지의 전기비저항이 낮으면 측정되는 전위차는 매우 낮기 때문에 전기적 잡음이 개입될 우려가 매우 높다. 이를 위하여 될 수 있는 한 많은 전류를 대지에 흘려주어야 하며, 본 지역의 경우에 200 mA의 전류를 흘림으로써 S/N 비의 향상을 꾀하였다. 아래에 논할 탐사 결과에서도 이와 같은 전기비저항의 변화에 따른 S/N 비의 차이가 보이는 바, 전기비저항이 낮은 측선은 음의 전기비저항이 측정되는 등, S/N 비가 상대적으로 낮음을 발견할 수 있다. 이에 반해 전기비저항이 높게 나타나는 부분은 측정 전위차가 높으므로 상대적으로 S/N 비가 높게 나타난다.

오염대의 수평적인 분포와 아울러 수직적인 분포, 그리고 기반암의 심도 및 오염 가능성에 대한 정보를 함께 영상에서

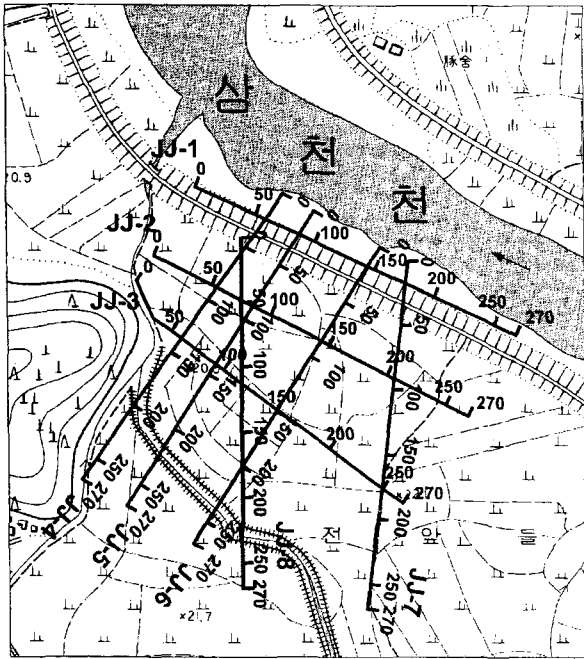


Fig. 2. Survey lines at waste disposal site.

획득하기 위하여 전기비저항 탐사의 쌍극자 간격은 10 m, 전극전개수 n 은 10으로 하였다. 대부분의 측선에서 전기비저항이 낮음으로 인하여 많은 전기적 잡음이 개재되었으며, 전기적 잡음은 전극전개수가 클 경우에 더욱 심해진다. 특히 처분장 내에서 측정된 값은 전극전개수가 $n=4$ 정도인 경우에도 1 mV 이하, 즉 V의 단위로 측정될 정도로 낮은 전위차를 보이고 있다. 좀더 정확한 영상을 획득하기 위해서는 될 수 있는 한 많은 측정자료가 필요하나, S/N 비가 매우 낮거나, 혹은 잘못 측정된 자료는 오히려 자료처리과정에서 제거함이 바람직하다. 또한 전극전개수가 커짐에 따라 S/N 비가 낮아지므로, $n=9$ 이상의 측정자료는 제거하고 자료처리를 수행하였다. 그러나 전극전개수가 적은 경우에도 신뢰도가 낮아 제거한 부분이 많은 측선의 경우에는, $n=9$ 이상의 자료를 모두 제거할 경우에는 측정자료의 수가 절대적으로 부족하므로, 매우 면밀한 자료 검토를 통하여, $n=9$ 이상의 자료에 대하여도 신뢰성이 있다고 판단되는 측정치는 자료처리에 포함시킴으로써 영상의 신뢰도 향상을 위해 노력하였다.

자료 분석

Fig. 3(a)는 측선 JJ-1의 쌍극자 탐사 결과이며 그림에서 측선번호의 단위는 m이다. 측선 JJ-1은 Fig. 2에 표시된 바와 같이 폐기물 처분장과 인접하여 흐르고 있는 삼천천과 쓰레기 처분장 사이에 조성된 고수부지에서 처분장의 경계선으로 간주될 수 있는 제방을 따라 설정된 측선이다. 측선 JJ-1은 표고의 차이가 없으므로, 지형효과가 개재되어 있지 않으나, 다른 측선들의 경우 처분장 부지 안과 밖의 표고차이에 의하여 지형효과가 나타나므로, 일관성을 위하여 2차원 비저항 구조

영상에 심도가 아닌 해발 고도로 표시하였다.

측선 JJ-1에서 측정된 겉보기 전기비저항 값은 8개의 측선 중 가장 낮은편에 속하며 따라서 S/N 비 또한 가장 낮다고 볼 수 있다. 측정된 겉보기비저항 값은 모두 50 Ωm 이하로서, 많은 부분에서 10 Ωm 이하의 대단히 낮은 전기비저항값을 보이고 있다. 역산 결과상에도 심도 5 내지 10 m 이하에서 20 m 심도구간까지는 거의 전 측선상에서 10 Ωm 내외의 낮은 저비저항값을 보이고 있으며 일부 구간에는 수 Ωm 정도의 매우 낮은 전기비저항값이 나타난다. 이와같은 낮은 전기비저항값은 지하수 또는 인접한 하천수 등에 의한 영향으로 보기는 매우 어려우며, 오염물질에 의한 것으로 해석할 수밖에 없다.

역산 결과 2차원 참비저항 분포도에서, 측정 90을 기준으로 하여 우측부는 기반암으로 생각할 수 있는 고비저항대가 출현하는 데 반해, 좌측부는 오히려 더욱 낮은 전기비저항대가 출현하고 있다. 이는 두가지로 해석될 수 있는 바, 기반암 상부에 매우 낮은 저비저항대가 발달하여, 전류가 모두 그 저비저항대로 흐름으로 인하여 기반암이 감지되지 않는 일종의 masking 효과에 의한 것이 바로 첫번째 가능성이다. 또 하나는 매우 낮은 저비저항을 갖는 물질이 기반암까지 침투하여 기반암의 전기비저항이 매우 낮아진 경우이다. 두가지의 가정은 기반암까지 저비저항 물질이 침투되었는가 혹은 아닌가에 차이가 있기는 하지만, 그 상부에 매우 낮은 저비저항대가 발달함은 동일한 결론이다. 이와같이 낮은 저비저항 물질은 전술한 바와 같이 일반적인 지하수나 혹은 하천수로는 대치될 수 없으므로, 오염물질의 분포를 나타내는 저비저항대일 가능성이 대단히 높다고 해석된다.

Fig. 3(b)는 측선 JJ-2의 쌍극자배열 전기비저항 탐사결과 영상도이며, 처분장은 이미 처분이 완료되어 처분장 부지 안과 밖의 표고차가 약 4 m 정도에 달한다. 본 탐사자료에 대해서는 지형보정 소프트웨어를 이용하여 지형보정을 시행한 후, 자료처리를 수행하였다. 그림에서 측정 150 부근이 제방으로 축조된 처분장의 경계이다. 처분장 부지의 경계면으로 생각되는 측정 150과 160 사이를 경계로 하여 좌측에는 저비저항대가 깊게 발달하며, 처분장 부지의 바깥쪽인 우측에는 매우 얇게 발달한다. 처분장 바깥쪽의 하부 고비저항대는 기반암에 대응되며, 영상으로 보아 기반암의 심도는 5 내지 10 m 정도일 것으로 판단된다. 이에 반해 측정 150의 좌측, 즉 처분장 안쪽에는 기반암으로 보이는 고비저항대의 심도가 약 25 m 정도로 상당히 깊게 나타난다. 처분장 바깥과 안의 기반암 심도가 이와같이 현격하게 차이를 보이는 것은 실제적으로 불가능한 일이다. 이에 대해 두 가지의 해석이 가능하며, 그 첫째는 오염물질의 확산이 기반암까지 침투되었을 가능성이며, 둘째는 처분장 조성 당시에 풍화암을 걷어내고 처분장을 건설하였기 때문에 실제 기반암이 처분장 안에는 상대적으로 깊게 발달할 가능성이다. 그러나 첫번째 가정을 상정할 때에는 처분장 바깥 또한 오염물질의 확산이 기반암까

지 침투되어 있어야 하나, 전기비저항 영상에서는 이러한 흔적이 보이지 않는다는 측면에서 첫번째 가정에는 무리가 있다고 생각된다. 따라서 처분장 내부의 저비저항대 발달 심도는 곧바로 폐기물의 처분 두께를 의미하는 것으로 보아도 무리가 없을 것이다.

Fig. 3(b)에서 측점 130에서 150까지 다른 부분보다 저비저항대가 깊게 발달하고 있다. 이는 깊게 발달하는 저비저항대가 폐기물의 발달심도를 의미하는 것이 아니라 기반암내에 발달하는 파쇄대에 의한 것이며 오염물질이 그 부분에서 집중적으로 심부로 확산되었을 가능성이 높다.

Fig. 3(c)는 측선 JJ-3의 쌍극자 탐사 결과 영상도이며, 측선 JJ-3는 JJ-2와 나란하게 설정되는 측선으로 처분장 부지 안에서 바깥쪽으로 발달하는 측선이다. 측점 170 부근이 제방으로 축조된 처분장의 경계이다. 처분장 안쪽에는 기반암에 대응되는 고비저항대가 심도 약 25 m 정도로 깊게 나타나며, 이에 반해 바깥쪽에는 3에서 5 m 정도로 얇게 나타난다.

측선 JJ-4는 서북서-동남동 방향의 측선인 JJ-1, 2, 3의 3 측선과 교차하는 방향으로 달리는 측선으로 삼천천의 천변을 시작으로 처분장을 지나는 측선이다. Fig. 3(d)는 측선 JJ-4의 쌍극자 탐사 결과 영상도이며, 측점 40 부근이 삼천천 방향의 처분장 경계이며 170 번 부근이 제방으로 축조된 처분장의 남쪽 경계이다. 역산 결과 영상에서는 뚜렷하게 처분장 하부의 구조를 보여주고 있다. 처분장 내부에 위치하는 측선 JJ-2, 3와 마찬가지로 폐기물 처분 심도가 약 20 m 정도에 달함을 잘 알 수 있다. 본 영상에서는 JJ-2와 비슷한 양상이 나타나는데, 처분장의 남쪽 경계면 부근인 측점 160을 중심으로하여 저비저항대가 폐기물의 매립 최대심도로 예상되는 20 m 보다 더욱 깊이 발달하는 것이 바로 그것이다. 이와같은 발달 양상 및 전기비저항 값으로 보아 원래의 기반암에 발달하는 소규모 연약대일 것으로 추정되며, 또한 이를 통하여 오염물질이 확산되었을 가능성 또한 배제할 수 없다.

지금까지 논한 측선들이 JJ-1을 제외하고는 모두 처분장 내부를 통과하는 것과는 달리 측선 JJ-7은 처분장 바깥쪽에서 삼천천 천변을 시작으로 하여 남북 방향으로 달리고 있는 측선이다. Fig. 3(e)는 측선 JJ-7의 쌍극자 탐사 결과 영상도이다. 본 측선이 폐기물 처분장을 통과하지 않으므로 다른 측선에 비하여 측정 전기비저항값이나, 역산 결과 계산되는 참전기비저항 값이 다른 측선들보다 높을 것으로 기대되었다. 본 측선의 측정된 겉보기비저항의 최소값은 $18 \Omega\text{m}$ 로 모든 측선들 중에서 가장 높게 나타나고 있으며, 국내의 환경에서는 상당히 낮은 전기비저항 값에 속하나, 본 지역의 다른 측선의 최소값이 $1 \Omega\text{m}$ 에 가까운 매우 낮은 겉보기비저항을 보이고 있는 측면에서, 본 측선이 지나가는 측선상에서는 거의 오염물질의 확산이 이루어지지 않았다는 것을 의미하고 있다. 겉보기비저항의 최대값 또한 $1,309 \Omega\text{m}$ 로 가장 높게 나타났다. 지표 2, 3 m 정도를 제외하고는 모두 최소한 수백 Ωm 정도의 높은 전기비저항 값을 보이고 있는 바, 이는 본 측선 방향

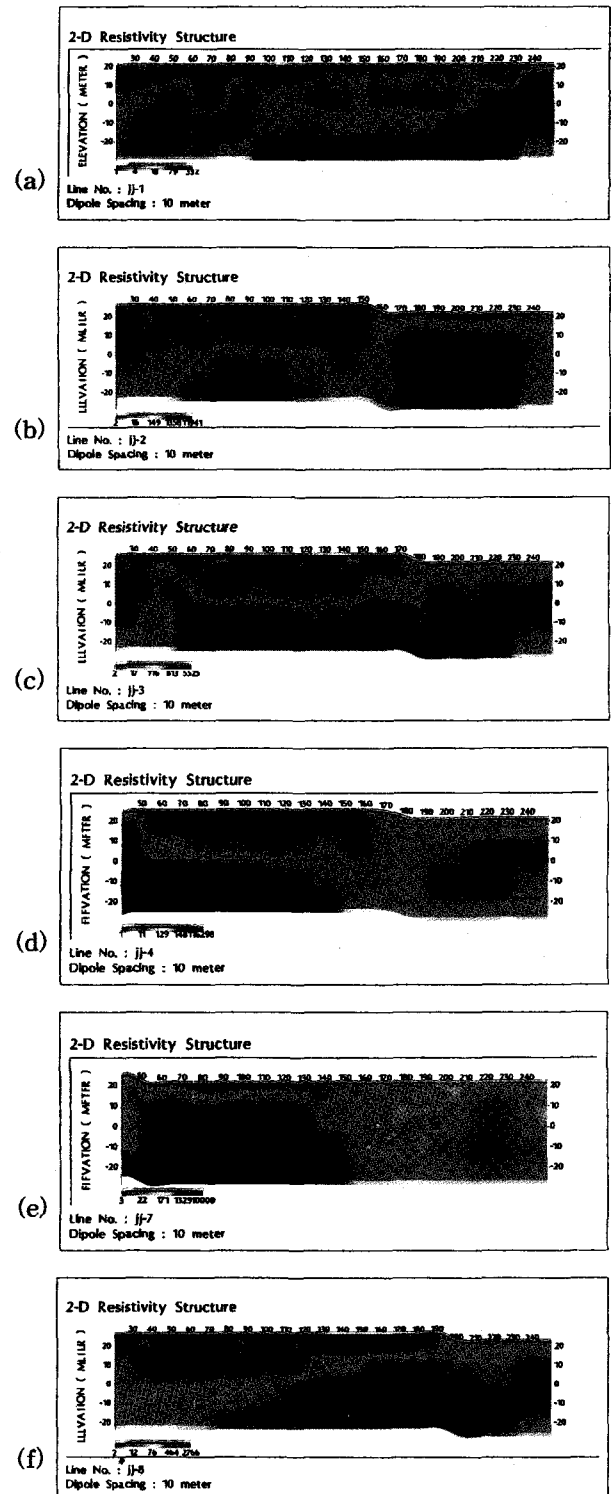


Fig. 3. 2-D resistivity structures of each survey line.

으로는 최소한 지표 2, 3 m 정도 심도의 하부에는 거의 오염물질의 확산이 이루어지지 않았다는 점을 의미한다. 측선 JJ-7과 마찬가지로 처분장 외부로 지나고 있는 측선 JJ-1의 경우에는 매우 낮은 전기비저항값을 보이고 있어서 좋은 대비가 된다. 비록 본 측선이 처분장과 상당히 떨어져 있기는 하지

만, 다른 측선들에서 나타나는 현상으로 보아 처분장의 동쪽 방향으로는 오염물질의 확산이 거의 이루어지지 않았으며, 오히려 삼천천 방향으로 오염물질이 확산되었을 가능성이 높다고 해석된다.

측선 JJ-8은 처분장 내부에서 외부로 남쪽을 향하여 설정된 측선이며, 다른 측선들과 가장 많이 교차하고 있다. Fig. 3(f)는 측선 JJ-8의 쌍극자배열 전기비저항탐사 결과 영상도이며 처분 부지 내를 관통하는 다른 측선들과 마찬가지로 폐기물의 처분 상황이 전기비저항의 영상으로 잘 나타나고 있다. 본 측선에서의 폐기물 매립 최대 심도는 측점 120과 130을 경계로 좌측은 20에서 25 m 정도로 깊게, 그리고 우측은 얇게 나타남이 특징적이다. 본 논문에서는 도시하지 않았지만 측선 JJ-6에서의 비저항 영상에서도 최대 처분 심도 및 경향이 유사하게 나타난다. 이러한 두 측선에서의 경향은 처분장의 남서쪽 내지는 남쪽방향으로는 처분의 심도가 얇고, 북쪽 내지는 북동쪽의 방향으로 깊은 점을 시사하는 것으로 해석할 수 있다. 처분장의 남쪽 경계인 측점 190을 기준으로 완벽하게 저비저항대 및 고비저항대로 구분되는 것으로 보아, 그쪽 방향으로는 오염물질의 확산이 이루어지지 않았다는 점을 시사하고 있다. 이와 반대로, 비록 측선 시작 부위까지는 하나 측점 50까지는 심도 25 m 하부에도 50 Ωm 내외의 상대적으로 저비저항이 깊게 발달하고 있다. 이러한 점은 처분장 외부에 설정된 측선 JJ-1에 나타나는 저비저항의 원인을 설명하고 있는 것으로 보이며, 삼천천 방향으로 오염물질이 확산되었을 가능성을 시사하고 있다.

종합 해석

Fig. 4(a), (b), (c)는 각 측선의 2차원 역산결과 계산된 참 전기비저항 값을 이용하여 나타낸 심도별 전기비저항의 수평적 분포로서, 각각 2, 7, 15 m 심도에 대응된다. 그림에서 굵은 선은 처분지의 경계가 되는 제방을 나타낸 것이다. 앞에서는 저비저항은 적색, 고비저항은 청색으로 나타내었으나, 심도별 분포에서는 처분장 및 오염대의 위치를 좀 더 부각시키기 위하여 저비저항은 적색, 고비저항은 녹색 계열의 색상을 이용하였다.

각 심도 공히 처분장 내부에 대단히 낮은 저비저항대가 발달하고 있으며, 전기비저항 영상법이 오염대 mapping에 대단히 탁월함을 잘 말해 주고 있다. 특히 심도 7m에 있어서의 수평적 비저항 분포에서는 삼천천 쪽을 제외하고는 처분장 부지와 저비저항대의 분포가 정확하게 일치하고 있다. 7 m 심도의 전기비저항 분포에서 처분장 부지의 경계에 대응되는 전기비저항 값은 20에서 50 Ωm 내외이다. 이러한 사실은 본 지역에서의 오염대를 구분 짓는 전기비저항 값은 20에서 50 Ωm 정도라는 점을 시사한다고 해석된다.

심도별 전기비저항 분포 중, 저비저항대가 가장 넓게 발달하는 심도는 가장 얇은 2 m이다. 2 m 심도 전기비저항 분포도에서 처분장 부지의 바깥쪽에서 50 Ωm 이하인 비저항을

보여주는 부분은 처분장 부지 동쪽과 북동쪽의 삼천천 천변이다. 이들 처분장 바깥쪽의 두 저비저항대 중 동측부의 저비저항대는 그 하부에서는 고비저항이 발달한다는 점, 그리고 처분장 부지 보다 약 4 m 정도 고도가 낮은 점등으로 보아 강우 등에 의하여 지표면을 따라 이루어진 오염물질의 확산을 의미하는 것으로 해석된다. 처분장 부지 북동쪽 삼천천 천변의 저비저항대는 물론 지표면을 따른 오염물질의 확산일 가능성도 있겠지만, 동측부와는 달리 그 하부에 계속적으로 저비저항대가 발달하고 있다는 사실에서 좀 더 복합적인 지하로의 오염물질 확산 현상에 의하여 나타나는 저비저항대인 것으로 생각된다.

Fig. 4(b)의 7 m 심도에서의 비저항 분포는 삼천천 변을 제외하고는 처분장 부지와 정확하게 일치하고 있다. 이러한 점은 삼천천 쪽을 제외하고는 처분장의 방벽이 오염물질의 확산을 잘 막아주고 있는 것을 의미한다. 그러나 삼천천 쪽은 처분장의 바깥쪽임에도 불구하고 저비저항대가 상당히 넓게 발달하고 있다. 이들 저비저항대가 만약 삼천천의 하천수 때문이라면 그 상부의 전기비저항 또한 이와 같이 낮아야 할 것이다. 그러나 Fig. 4(a)의 2 m 심도 전기비저항 분포에 의하면 북서쪽의 끝부분을 제외하고는 모두 50 Ωm 이상의 비저항을 보여주고 있다. 이러한 사실에 의거하면 7 m 심도에 나타나는 저비저항대는 처분장으로부터의 오염물질의 확산에 기인하는 것으로 해석된다. 처분장과 고수부지의 경계를 형성하는 제방과 처분장 서쪽 경계 제방과의 교차점 부근에 삼천천 쪽 방향으로 저비저항대가 연장되어 있다. 이러한 저비저항대의 연장 방향은 삼천천 방향으로의 오염물질의 확산 경로에 대응될 가능성이 있다. 물론 저비저항의 연장성이 그다지 뚜렷하지 않다는 점에서 이는 가능한 추정일뿐, 다른 조사에 - 예컨대 전기비저항 토모그래피, 지화학 탐사 등 - 의해 확인되어야 할 것이다.

Fig. 4(c)의 15 m 심도에서는 삼천천 천변에서 가장 낮은 저비저항대가 발달하며, 처분장 부지의 내부에는 그 중심에 저비저항대가 밀집하여 발달하고 있다. 처분장 부지 중심에서 경계 제방 쪽으로 가면 처분장 내부임에도 불구하고 100 Ωm 이상의 고비저항이 출현한다. 이러한 점은 측선별 탐사 자료의 해석에서 언급한 바와 같이 처분장 내부에서도 폐기물의 처분심도가 다르다는 점을 의미하는 것으로 보인다. 즉 처분장 중앙부위의 처분심도가 깊고, 바깥쪽으로 가면서 처분장의 처분 심도가 얇아지는 것으로 사료된다. 한편 처분장 내부 북서쪽에 저비저항대가 삼천천 변으로 연장되는데, 위에서 논한 바와 같이 이 방향으로 삼천천 쪽의 오염물질 확산이 이루어졌을 가능성이 있다.

앞에서 7 m 심도에서의 전기비저항의 수평적 분포에서 20에서 50 Ωm 정도의 전기비저항을 보이는 위치가 처분장의 경계면과 거의 일치함을 언급한 바가 있다. 이 전기비저항값이 오염대와 비오염대의 경계를 구분하는 전기비저항값으로 가정하고 오염대의 심도 분포를 영상화하였다. Fig. 5는 30

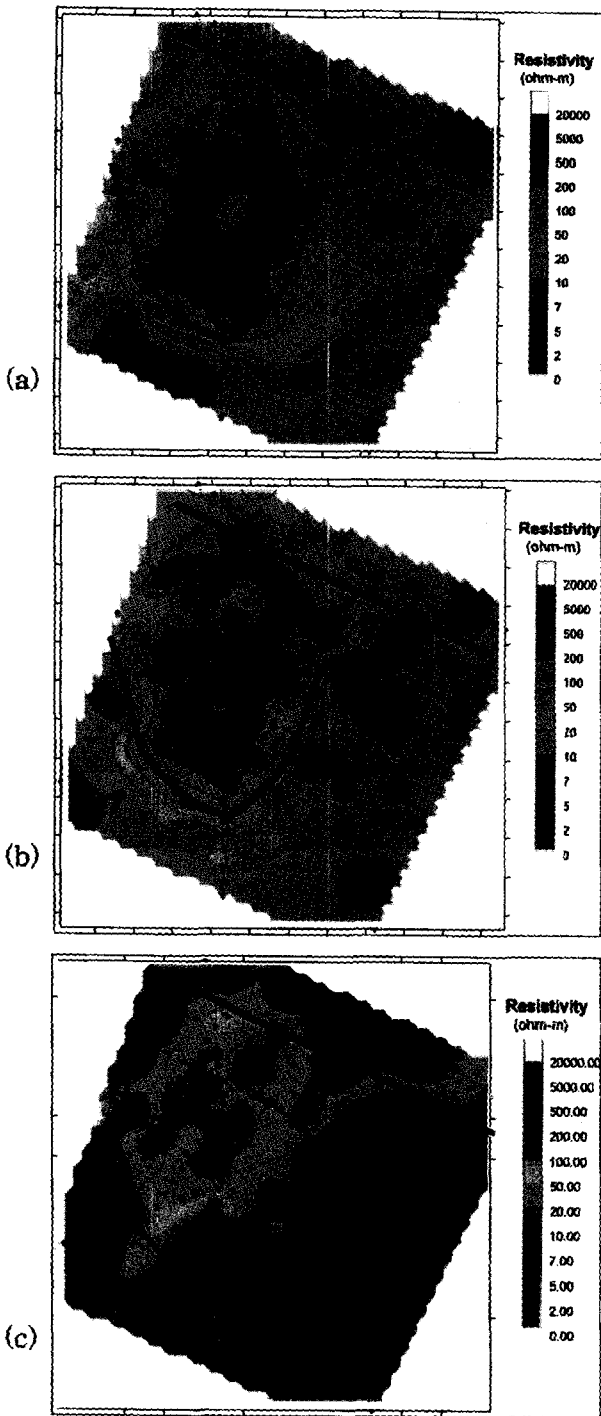


Fig. 4. Horizontal resistivity distributions at depths. (a) 2m depth, (b) 7m depth, (c) 15m depth

Ωm 를 갖는 심도의 수평적 분포를 2차원 등고선도로 보여준 것이다. 삼천천 방향으로 가면서 그 심도가 계속적으로 깊어지는 모양을 잘 보여주고 있다.

Fig. 6은 전기비저항의 분포로 유추할 수 있는 폐기물 처분장의 처분 심도를 3차원 영상으로 나타낸 것이다. Fig. 6을 작성하는 기본 자료는 처분장 바깥쪽의 측선 자료는 모두 심도

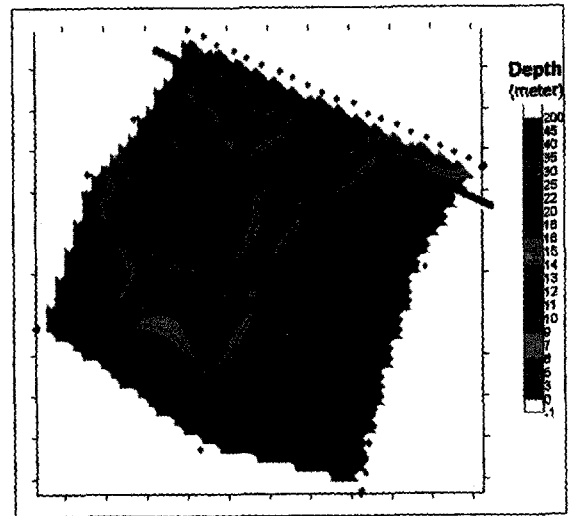


Fig. 5. Depth representing 30 Ωm resistivity.

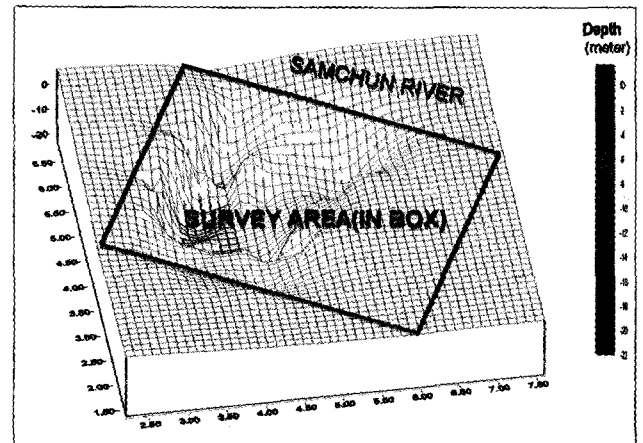


Fig. 6. 3-D image of the disposal site deduced from resistivity distribution.

0으로 하고, 처분장 내부의 자료는 30 Ωm 를 나타내는 심도를 이용한 것이다. 물론 전기비저항 값을 기준으로 하였으므로, 심부까지 오염물질이 확산된 부분에 대하여서는 실제 심도보다 깊게 나올 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 전체적으로 상당히 의미있는 모양을 보여주며, 중앙 부위가 가장 깊으며, 주변을 보았을 때에 삼천천 쪽으로 약간 깊은 모양을 보여주고 있다.

결 론

본 연구에서는 전주시 완산구 효자동 마전리 소재의 처분이 종료된 산업폐기물 처분장에서 전기비저항 쌍극자 배열 탐사를 수행하였다. 처분장 내부는 대단히 낮은 저비저항대가 발달하고 있으며 삼천천 쪽을 제외하고는 처분장 부지와 저비저항대의 분포가 정확하게 일치하였다. 또한 오염물질의 수직적인 분포도 삼천천 방향으로 가면서 그 심도가 계속적

으로 깊어진다. 이는 삼천천 쪽을 제외하고는 처분장의 방벽이 오염물질의 확산을 잘 막아주고 있으며 오염물질이 삼천천 방향으로 확산되었을 가능성이 높다는 것을 의미한다. 폐기물의 처분심도는 처분장 내부에서도 다르게 나타나고 있다. 즉, 처분장 중앙부의 처분 심도가 가장 깊고, 삼천천 방향으로 약간 깊은 모양을 보여주고 있다.

전기비저항 영상화 기법이 수평/수직적인 오염대의 탐지, 심도별 오염물질의 발달 경향, 폐기물 처분 최대 심도 등의 탐지 가능성에 모두 매우 탁월한 능력을 갖고 있음을 입증함으로써 환경 분야에서의 전기비저항 탐사의 응용 가능성을 확인하였다. 뿐만 아니라 적절한 측선 설정 등에 의하여, 오염 물질의 확산 경로 등에 대한 정보도 획득이 가능하리라 사료된다.

사 사

현장 자료획득에 많은 도움을 주신 전북대학교 자원공학과 의 송영수 교수님 이하 대학원생들께 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 김정호, 1987, 2차원 전기비저항 탐사자료의 역산: 서울대학교, 박사학위논문.
2. 김정호, 정승환, 조인기, 전정수, 1989, 전기비저항 탐사자료의 평활화 제한을 가한 2차원 자동역산: 탐사기술개발연구, KR-89-2D-2, 한국동력자원연구소, 59-94.
3. 서정희, 박관호, 이성곤, 권형석, 이진용, 박권규, 한현철, 정창호, 이명종, 1996, 지구물리·지구화학적 오염영역 탐지 및 감시기술개발 연구(III): 한국자원연구소 연구보고서, KR-96(T)-10, 과학기술처, 33-83.
4. 오석훈, 1994, 유한요소법을 이용한 2차원 전기탐사의 지형보정: 서울대학교, 석사학위논문.
5. 오창환, 1996, 전주 서신지구 폐기물 매립지역 및 야적장 주변의 오염 토양 예비 조사: 한국토양환경학회 세미나, 전주, 49-58.
6. 이기화, 권병두, 오석훈, 김차섭, 1996, 난지도에 인접한 한강변에서의 쌍극자-쌍극자 전기탐사: 자원환경지질, 29, 335-343.
7. 이명종, 1994, 시추공간 전기비저항 자료의 영상화: 서울대학교, 석사학위논문.
8. 현대건설, 1997, 전기비저항 영상화기법 및 토목/환경분야 적용성 연구: 기술연구소 연구보고서, 65-95.
9. Dey, A. and Morrison, H. F., 1979, Resistivity modeling for arbitrary shaped two-dimensional structures: Geophys. Prop., 27, 106-136.
10. Fox, R. C., Hohmann, G. W., Killpack, T. J. and Rijo, L., 1980, Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys: Geophysics, 45, 75-93.