韓國土壤環境學會誌 Vol.1, No.1 29~38, 1996
J. of KoSES Vol. 1, No. 1 29~38, 1996

原著

불량쓰레기 매립지에 대한 물리탐사 적용사례 연구(Ⅰ)

이재영 · 김학수*

한국토지공사 토지연구원 책임연구원
** 동부건설(주) 기술연구소 선임연구원*

A Study of Geophysical Surveys for the Open Waste Dumping Landfill (Ⅰ)

Jai-Young Lee · Hag-Soo Kim*

Korea Land Corparatton, Land Rerearch Institute
**Dongbu Engineering & Construction Co., R&D Center*

ABSTRACT

Among many geophysical prospecting methods, GPR(Ground Penetration Radar) and electrical resistivity method have been applied to a open waste dumping landfill for measuring of the site area and depth. The surveying was limited to a boarder of the site and inside area because of the field situation. The data of GPR were recorded by 50MHz antenna, and dipole array was used for electrical resistivity survey in the same survey line for the integrated interpretation. The result of GPR clearly indicated the horizontal boarder of site. However, the data of GPR did not have enough to measure the depth of site clearly. The electrical resistivity method may show the effective information by integrated interpreation. These results coincided with results of the boring test. Therefore, a combination of GPR and electrical resistivity is a good method for surveying of suspective open waste dumping landfill area and it's depth.

Key word : open waste dumping landfill, geophysical prospecting, GPR, electrical resistivity

요 약 문

폐기물 매립지의 수평크기와 심도 파악을 위해 여러 물리탐사법중에서 GPR과 전기비저항 탐사에 의한 조사가 시험으로 수행되었다. 탐사는 조사대상지역의 현장여건으로 인해 경계부와 매립지 중심부 일부에 제한되었다. GPR탐사에서는 50MHz 안테나를 이용하였고 전기비저항탐사는 쌍극자 배열법으로 수행되어졌으며, 복합해석을

위한 중복탐사가 이루어졌다. GPR 탐사에 의한 쓰레기 매립지 수평경계 해석은 가능하였으며, 심도는 수평경계를 포함한 일부 구간에서만 확인되었다. 전기 비저항탐사는 매립지내의 물성을 제공함으로서 비교해석이 가능하다면 효과적인 정보획득이 가능할 것으로 예상된다. 이 해석결과는 주변의 사추결과와 잘 일치되었으며, 따라서, 매립지의 수평적 크기와 규모 파악을 위한 조사시 두 조사법의 조합은 적합하다고 판단된다.

주제어 : 쓰레기 매립지, 물리탐사, GPR, 전기비저항탐사

1. 서론

인간의 산업 및 생활 활동에 의해 생긴 부산물인 폐기물은 인구의 증가와 생활문화의 다변화에 따라 그 발생량이 급속히 증가되고 있다. 폐기물의 처리를 위하여 매립 및 소각등 여러 방법이 활용 또는 연구중에 있으나, 우리나라는 매립이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 특히 초창기 매립지들은 부지 선정과정에서 지질학적 여건을 고려한 매립물질의 선택이나 오염방지시설에 대한 미비로 최근 사회적 문제로 대두되고 있다. 수량이나 문제화되는 빈도수로 볼 때 대표적인 매립지의 형태는 불량 쓰레기 매립지이며, 쓰레기 매립지는 최근 토지 이용의 다각화 측면에서 개발대상으로 인식됨으로써 이에 대한 정확한 조사는 매우 중요하다.

이러한 쓰레기 매립지에 대한 오염영역 및 오염확산 방향등의 탐사를 위하여 물리탐사법은 주변환경에 변화를 주지 않는 비파괴검사적 장점으로 중요한 조사방법으로 국내외에 적용이 증가되는 추세이며, 일반적으로 쓰레기 매립지에 대한 물리탐사법의 적용은 다음과 같은 문제 해결에 주로 이용되고 있다[15].

i) 매립지의 수평적 크기 및 깊이 결정
ii) 매립지내에서 빈탱크와 같은 대규모 불균질대의 위치 파악
iii) 폐기물이 들어 있는 용기(container)의 탐사
iv) 오염 plume 및 지질구조의 파악
v) 지하수의 오염정도 평가

이러한 문제 해결을 위하여 적용할 수 있는 물리탐사법은 전기 및 전자탐사, 탄성파탐사, 중력 및 자력탐사와 GPR(Ground Penetrating Radar)탐사 등인데, 이 연구에서는 상기한 i)의 목적으로 GPR과 전기저항탐사를 복합적용하였다. 쓰레기 매립지에 대한 국외의 연구는 전기비저항탐사 및 전자탐사[8),9),12)]와 자력탐사[14)], 전기비저항 및 굴절법탐사[10)], GPR 및 전기비저항탐사[13)]를 적용한 연구가 있었으며, 이외에 시추공 물리탐사(Mwenifmbo, 1993)를 적용한 연구가 있었다. 국내에서는 연구목적으로 전기비저항탐사, 전자탐사, 탄성파탐사, GPR을 쓰레기 매립지 주변의 침출수 누출 범위 및 방향조사를 위해 적용한적이 있으며[5)], 이외에 난지도 쓰레기 매립지 환경영향평가서[6)] 등에서 수리지질학적 접근을 위한 부수적인 자료제공을 위하여 전기비저항탐사를 적용한 바 있다.

이 연구는 불량 쓰레기 매립지의 개발에 앞서 매립지의 규모 파악을 위해 사용되는 기존의 시추조사외에 물리탐사법을 적용하여 매립지 전 범위에 대한 3차원 정보획득의 가능성 판단을 목적으로 GPR탐사와 전기비저항탐사를 현장에 복합적용하였다. 이로 부터 적용성과 한계성을 파악하고 후속연구를 위한 기본자료 제시 및 방향설정을 위해 수행되었다.

2. 탐사 및 현장 개요

이 연구가 수행된 현장은 택지개발지역 내에 속하는 중소규모 매립지로 이미 시추에 의한 조사 등으로 전체적인 규모파악이 이루어져 공사가 진행중인 관계로 매립지의 중심부가 박스설치를 위해 굴토되어 있으며, 남쪽과 서쪽은 둑과 개울로 북쪽과 서쪽은 계단식 지형과 숲으로 형성되어 있어 탐사선 설정에는 비교적 제한된 지역이었다. 따라서, 사전에 계획된 3차원 정보획득을 위한 격자식 탐사선의 설정은 어려워, 사람의 접근이 용이하고 매립지를 대표할 수 있는 곳을 선정하여 GPR을 주탐사법으로 전기비저항 탐사를 보조탐사법으로 총 6개 탐사선에 대하여 탐사를 수행하였다. 탐사선도는 Fig.1과 같으며 두 방법의 비교 검토를 위해 3개 측선에서 중복 탐사를 수행하였다.

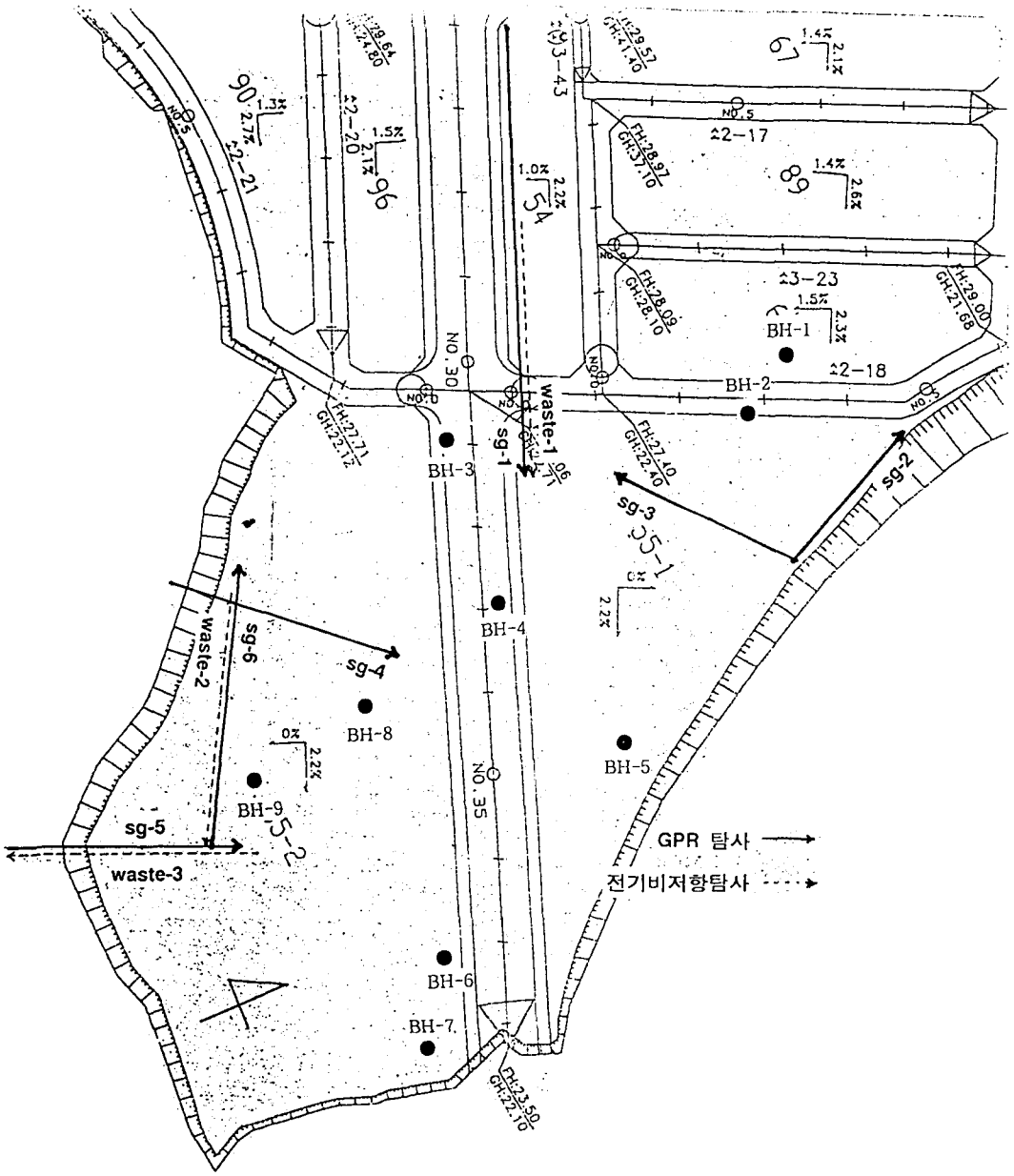

Fig. 1. Location of the Different Geophysical Surveys and Corings. Solid lines mean GPR profiles and dotted lines present the electrical resistivity sections by dipole array.

3. 오염원에 따른 물리적 성질

매립물질과 침출수의 누출은 땅의 화학적인 성질뿐 아니라 물리적 성질에도 영향을 미치게 되며, 매립지 및 그 주변의 제반 물리적 성질은 매립물의 특성, 매립 방법 그리고 각종 화학적 · 생물학적인 작용에 따라 상당히 다르게 되는데 이에 관련된 물성으로는 전기전도도, 유전상수, 탄성파 속도, 밀도 등이 대표적이고, 이 연구에서 이용된 탐사법에 관계되는 물리적 성질은 유전율과 전기비저항으로 다음과 같이 정의된다.

① 유전율 : 전기장이 가해졌을 때 어떤 물질이 전하를 축적할 수 있는 정도로 지하매질에서 이를 지배하는 물질은 물이므로 토양의 수분함량 및 공극률에 크게 의존하나[3] 비저항이나 염도와는 직접적인 관계는 거의 없으며, 이는 자유 이온농도를 증가시키는 오염물질이 전도도를 크게 높이더라도 유전율에는 거의 영향을 끼치지 않는다. 실제 계산에 이용되는 값은 공기의 유전율을 1로 하는 상대 유전율 즉 유전상수이다. 이 유전상수는 아래의 식들[7]과 같이 레이다파의 속도와 반사계수에 관계되며 순수한 물의 유전상수는 81로 가장 크다[4].

$$V = \frac{C_0}{\sqrt{K}} \ (m/ns) \quad \cdots\cdots (1)$$

$$R = \frac{\sqrt{K_1} - \sqrt{K_2}}{\sqrt{K_1} + \sqrt{K_2}} \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서, V = 속도

R = 반사계수(reflection coefficient)

C_0 = 공기중의 전자파 속도 = 0.3 m/ns

(nano second=10^{-9}sec)

K = 유전상수(첨자는 층의 표시임)

② 전기전도도 : 전기장이 가해졌을 때 전류를 흐르게 할 수 있는 능력으로 금속성이나 이온성 물질에서 높게 나타난다. 쓰레기 매립지에서는 많은 화학적 오염물질이 발생하게 되는데, 이러한 오염물질은 여러 생화학적인 과정을 통하여 토양 및 지하수내에서 자유 이온농도를 증기시키며 이러한 효과는 보통 전기전도도를 높이게 된다. 전기전도도는 레이다파의 감쇠에 비례하여(식(3) 참조)[7] 전기전도도가 높은 지반에서는 파의 에너지 감쇠가 심하여 GPR의 이용이 힘들게 만들며, 전기비저항 탐사에서는 탐사에서 계산되는 물성인 겉보기 전기비저항의 값(식(4) 참조)[2]에 반비례 관계를 가지는 직접적인 변수가 된다.

$$\alpha = 1.69 \frac{\sigma}{\sqrt{K}} \ (dB/m) \quad \cdots\cdots (3)$$

여기서, α = 감쇠

σ = 전기전도도(mS/m)

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서, ρ_a = 겉보기 전기비저항

K = 기하학적 계수(geometric factor; 전극배열법에 따라 달라짐)

ΔV = 전위전극간의 전위차

I = 전류

4. 탐사결과 및 해석

4.1. GPR 탐사결과

GPR 탐사는 반사법에 의한 단속측정(step mode)으로 탐사를 수행하였으며, 사용된 안테나는 100MHz, 50MHz의 두 종류이다. 이 논문에서는 총 6개 탐사선에 대한 결과중 전형적인 결과라 할 수 있는 2개 결과에 대해서만 논하겠다.

먼저, 본 조사지역에 적합한 안테나의 선택을 위해 탐사선 sg-1에 대하여 100MHz와 50MHz 안테나를 각각 시험하였는데, 50MHz 안테나의 결과에 비해 100MHz 안테나의 결과는 파의 침투심도(penetration depth)가 4m 이하로 현저하게 낮고 원지반과 불량 쓰레기 매립지와의 구분이 가능한 반사형태를 찾을 수 없다. 따라서, GPR 모든 탐사는 50MHz 안테나를 기본으로 사용하였으며, 매립지에 대한 전자파의 속도는 지반의 조건상 고정송신법에 의해 구하기 힘들어 유전상수를 14로 가정하여[13] 점토지반의 평균 속도[11] 0.08m/ns으로 추정하였다.

sg-1은 매립지의 경계 판단을 위한 전형적인 결과를 제공해준 탐사선으로 그 결과는 Fig.2와 같다. 일반적으로 GPR 탐사는 지하의 물성을 직접 조사하는 방법으로 분류하기는 힘들며, 단지 반사에 의한 지하의 영상화 방법이므로 간접적인 증거에 의해 쓰레기 매립지

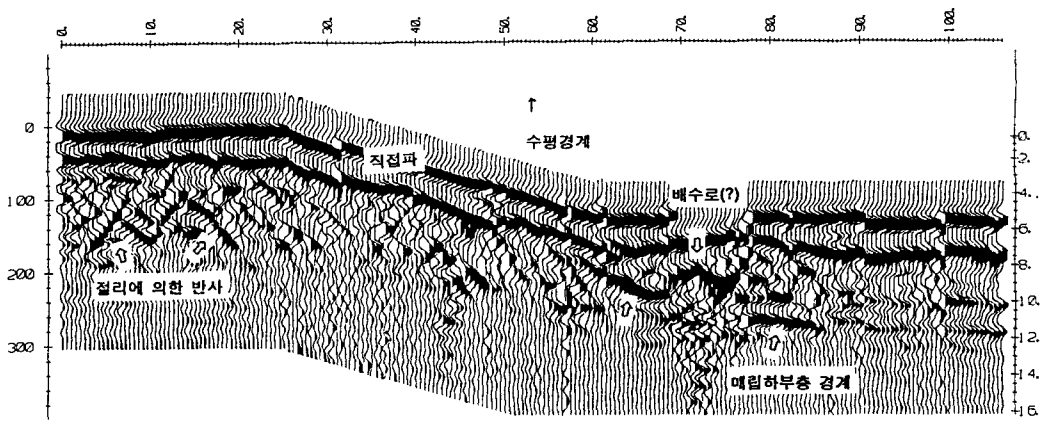

Fig. 2. GPR reflection section along the sg-1 line in fig.1.

임을 추론하여야 한다. 탐사전 예상으로는 쓰레기 매립지의 수분함량과 전기전도도가 높아 원지반과 매립지 사이에는 수신신호에서 상당한 진폭(amplitude)차가 날 것으로 판단되었으나 매립지의 상부 쪽은 상대적으로 건조된 상태임을 굴토 지역에서 확인할 수 있었고, 따라서 진폭만으로는 원지반과 매립지의 경계를 구분하기가 힘들었다.

Fig.2에서 볼 수 있는 원지반의 증거는 첫번째 절리에 의한 반사현상으로 매립지의 경계로 판단되는 53m 지점의 좌측부에서는 절리에 의한 반사파가 보이며 우측부에서는 이러한 반사파는 볼 수 없으며 단지 53m 지점에서 시작된 경사층을 확인할 수 있다. 따라서, 53m 지점을 중심으로 매질의 성격이 다른 것으로 판단되며 이 층은 매립지의 중심으로 갈수록 깊어지며 조사대상 지역내에서는 최대심도가 5m 내외로 추정된다. 두번째는 전체적으로 원지반 구간에 비해 매립지 구간에서 직접파의 변화가 심하다는 것으로 이는 표면(2m 이내)의 상태가 불균질하다는 것을 의미하므로 불량 쓰레기 매립지의 복토면 하부에 대한 영향으로 생각할 수 있다.

탐사선 sg-6은 매립지를 관통하는 탐사선의 설정이 불가능한 탐사여건을 보완하기 위한 것으로 매립지의 경계부를 포함하지 않으며 비교적 매립지의 중앙부로 탐사선이 형성되도록 하였다. 그 결과는 Fig.3과 같다. 전반적으로 파의 투과심도는 매우 작으며, 직접파의 도달시간 및 진폭에서도 다양한 형태로 구성되어 있다. 이는 상기한 결과에서 쓰레기 매립지의 규모파악을 위해 제시된 증거들을 간접적으로 증명하는 결과이며, 이러한 현상들은 지표면 직하부의 유전율이나 전기전도도의 변화가 심하다는 것을 의미하며 다음 절의 전기비저항 탐사결과와 비교가 필요할 것으로 판단된다.

4.2 전기비저항탐사 결과

전기비저항 탐사는 불균질한 지하에서의 전류 경로를 추정하기 힘들고 지표의 상태에 크게 영향을 받아 다소 수직 해상력이 떨어져 GPR에 비해 지하 영상화(반사층의 심도등)에 있어 공간적인 정량화가 다소 힘들지만, 매립지 주변에서의 오염정도와 오염 plume을 파악하는데 직접적으로 사용될 수 있으며 그 활용범위가 상당히 넓다[5]. 따라서, 이 연구에서는 지하의 물성분포에 따른 정성적 대비가 분명한 전기비저항 탐사를 통하여 불량 쓰레기 매립지와 원지반과의 경계부 판단을 위한 GPR 보조탐사로 수행되어졌다.

전기비저항 탐사는 쌍극자 탐사에 의해 수행되었으며, 수평 및 수직 해상력을 고려하여 탐사심도(추정 최대 매립지 심도) 2배에 맞추어 쌍극자 간격 a=3m, 전극 전개 개수 n=8로 설정하였다.

Fig.4는 waste-1에 대한 전기비저항 탐사결과로 가단면도(pseudosection)는 전기비저항 단면도를 표현하는

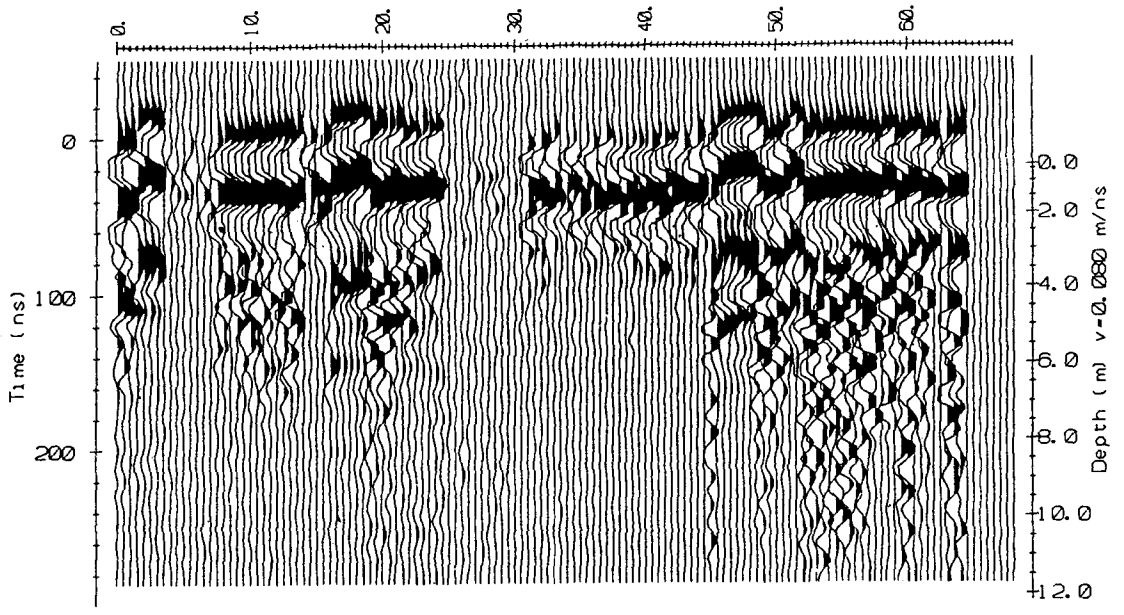

Fig. 3. GPR reflection section along the sg-6 line in fig.1.

한 방법이며, 현장자료(field data)는 현장에서 측정된 정규화된 전위(normalized potential) 값에 전극배열에 따른 기하학 계수(geometric factor)를 곱하여 얻어진 겉보기 비저항(apparent resistivity) 값들을 나타낸 결과로 이는 실제 심도가 아니며, 값이 없는 부분은 잡음으로 인해 자료의 신뢰도에 문제가 있어 역산에는 제외시킨 영역의 표시이다. 2차원 비저항 구조도(2-D resistivity structure)는 컴퓨터를 이용하여 FDM과 통계적 처리를 통하여 현장자료와 오차가 시작점과 끝점 일부가(1, 2번과 20, 21번 측점) 제외된 이유는 가단면도에서 알 수 있듯이 이 부분에 자료가 부족하여 역산시 절단오차(truncation error)를 발생시킬 수도 있으므로 결과 표현시 제외시켰다. 지하는 매우 불규칙하여 유일한 해를 가진 목적체로 생각할 수 없으며, 통계처리시 최소오차는 부분 최소오차(local minimum) 등에 의해 엉뚱한 결과를 나타낼 수도 있으므로 이에 대한 확인이 필요하다. 이론자료(theoretical data)는 역산에 의해 얻어진 결과를 지하 모델로 하여 2차원 FDM에 의한 컴퓨터 시뮬레이션한 결과로 완전히 수학적 계산에 의한 가상탐사로 실제상황과 가장 유사한 결과이다[1]. Fig.4에서는 현장자료와 이론자료사이에는 일치성이 매우 뛰어나므로 역산에 의한 2차원 전기비저항 구조도는 지하의 물성분포를 잘 대변하는 것으로 판단할 수 있다. 결과에서 겉보기 비저항 값이 가장 낮은 지역은 4Ωm로 탐사선의 우측 즉, 매립지의 중심부 방향(19번 측점 하부)이며, 가장 높은 지역은 36Ωm로 3번 측점 하부로 전체적으로 매립지의 중심부로 갈수록 겉보기 비저항의 값이 낮아지는 경향을 띄고 있다.

이 측선의 시작점은 GPR 탐사선 sg-1의 47m 지점이며 GPR에서 판명된 경계부는 3번 근처이다. 상기하였듯이 공간영역의 정량화에서 문제점과 오염원 절대적 물성이 알려져 있지 않으므로 인해, GPR의 결과와 비교 추론은 이를 해결하기 위한 한 가지 방법으로 생각된다. 원지반과 매립지의 하부 경계는 탐사선 좌측부(측점 12번 이하)에서 형성되고 있으며, 이 때의 비저항 값은 좌측부에서는 15Ωm 정도이며 매립지의 중심부에서는 수 Ωm의 값으로 그 경계 값을 추정하기는 어렵다. 이는 전극 위치에서의 하부 비저항값과 매립지 중심부로 갈수록 매립지내의 전기전도도가 커지는 두가지의 복합적인 영향으로 생각되며, GPR의 결과에

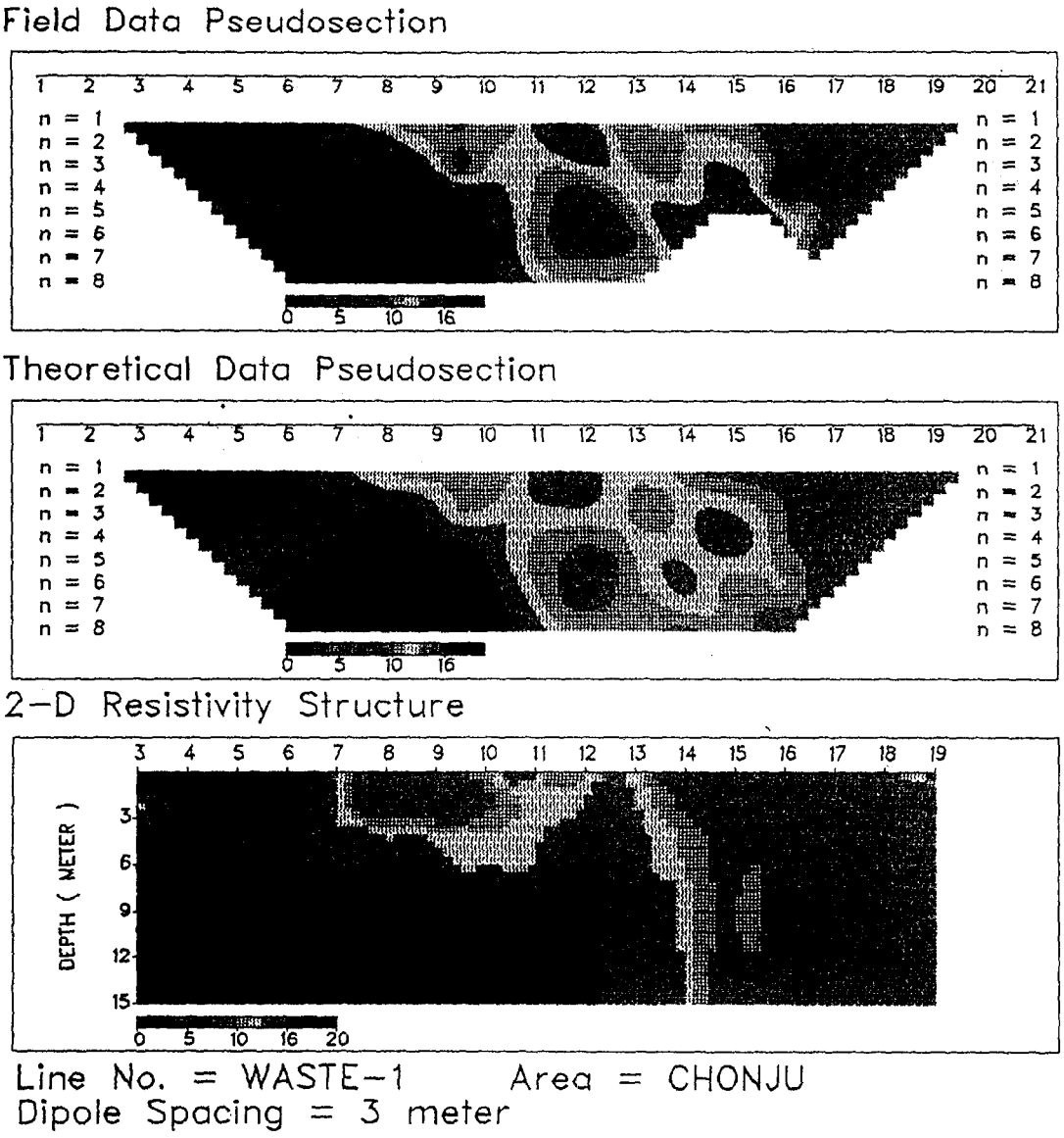

Fig. 4. Field and theoretical data pseudosection, and inversion result of field data for the waste-1 line in fig.1.

서도 전기비저항탐사 측점 12번 위치인 80m를 전후하여 매립층 하부경계에 대한 반사신호의 진폭에 변화가 생김을 알 수 있다. 중심부로 갈수록 비저항값이 낮아지는 이유는 여러 방향으로 생각할 수 있겠지만 층의 경사 방향과 지형으로 볼 때 침출수의 유동방향과 연관이 클 것으로 생각된다. 또한 진입도로 개설로 비교적 복토가 두꺼운 사면부에서는 상대적으로 지표면의 전기비저항 값이 크며, 전체적으로도 복토의 영향으로 지표의 비저항값이 하부매립지의 비저항값보다 크게 나타난다. 물론 우기, 건기의 함수비, 매립물질 종류, 지표상태 등에 따라 전기적 물성은 변화하므로 한 장소의 쓰레기 매립지만으로 불량쓰레기 매립지에 대한

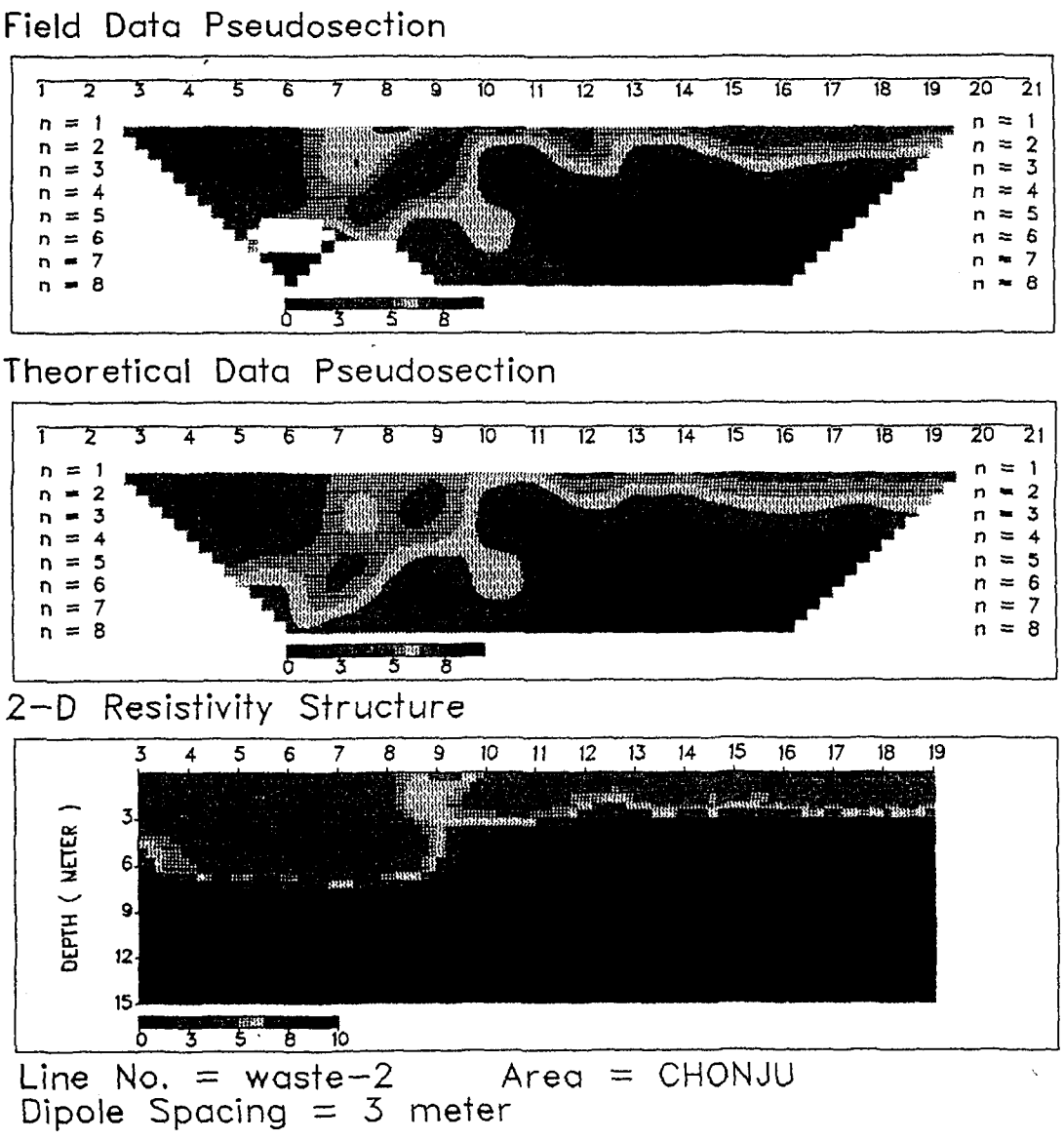

Fig. 5. Field and theoretical data pseudosection, and inversion result of field data for the waste-2 line in fig.1.

전기적 물성을 논하기는 어렵지만, GPR 결과와 비교해 볼 때 가장 근접되는 평가로 판단된다.

Fig.5는 waste-2에 대한 결과로 탐사선이 매립지내에 존재하는 경우로 GPR 탐사선 sg-6에 대응된다. 전반적으로 Fig.4에 비해 낮은 비저항값을 보이며 가장 낮은 비저항값을 보이는 지역은 측점 3번에서 1Ωm, 가장 높은 비저항값은 20Ωm로 전 탐사지역의 최하부에서 유사한 값들이 관측되어진다. 그러나, 이 결과는 매립지의 중심부(19번 측점방향)로 갈수록 비저항값이 커지는 앞의 결과와는 상이한 양상을 보여 준다. 그러나 GPR의 결과에서는 이를 뒷받침해줄 정보가 없으며 단지 지표의 비저항값이 waste-1에 비해 상당히 낮음으로 인해 레이다 파의 투과가 상대적으로 어렵다는 일치성만 보여주고 있다. 따라서, GPR 탐사선인 sg-1의

결과에서 보여진 심도를 고려하여 평가하면 약 8~10Ωm 사이의 값에서 경계가 형성되었을 것으로 유추되어, GPR에서 결정치 못한 심도추정이 3~6Ωm의 범위에서 판단가능하였다.

4.3 시추결과와의 비교

매립지내에서 조사를 위한 시추는 9개 지점에서 실시되었으며, 매립층의 심도는 2.5~6.5m로 매우 불규칙하게 분포되는 것으로 나타났다(Fig.1 참조). GPR과 전기비저항탐사와 비교할 수 있는 공은 BH-3과 BH-9로서 BH-9는 sg-1과 waste-1의 끝부분에 위치하며, BH-3는 sg-6와 waste-2의 끝부분에 인접해 있다.

BH-9에서 매립지의 심도는 5m로 sg-1의 결과와 동일하며, BH-3 매립지 심도 3.5m는 waste-2와 유사한 값을 가진다.

5. 결론

불량 쓰레기 매립지에 대한 GPR탐사와 전기 비저항 탐사에서 얻어진 결과들과 시추로부터 획득된 심도와의 비교를 통해 다음과 같은 결론을 추론할 수 있었다.

① GPR 탐사에 의한 불량 쓰레기 매립지의 수평경계 위치는 판독이 가능할 것으로 생각되며, 심도는 매립지내의 전기적 물성이 국지적으로 변화가 심하여 수평경계를 포함한 일부 구간에서만 확인될 것으로 예상된다.

② 전기 비저항탐사는 GPR 탐사가 갖지 못하는 물성에 대한 정보제공으로 반사체의 확인 및 수평경계 파악을 위한 조사시 두 조사법의 조합은 적합하다고 판단된다. 이 논문에서 제시된 비저항값들은 불량 쓰레기 매립지에 대한 정량적 해석기준 설정을 위한 하나의 비교자료에 불과한 추정값이며, 특히 경계부에서는 원지반의 비저항값에 따라 매립지의 비저항값이 크게 변화하므로 절대량으로 정의되기는 힘들 것으로 판단되고 매 경우 복합탐사에 의한 비교해석을 통해 효과적인 정보획득이 필요하다고 생각된다.

③ 두 탐사법에 의한 불량 쓰레기 매립지 규모파악은 수평경계는 탐사량에 관련되므로 문제가 없으나, 지하의 전기적 물성을 고려한다면 중소규모의 매립지에 적절한 것으로 판단되고, 탐사시기는 전기비저항값이 상대적으로 높은 건기에 수행되는 것이 보다 유리할 것으로 생각된다.

한 지역에 대한 단편적인 탐사만으로 전 불량 쓰레기 매립지에 대한 평가하기는 힘들지만 탐사의 편의성 및 경제성을 고려한다면 이 연구에 이용된 두 탐사법은 불량 쓰레기 매립지의 규모파악을 위해 현 상황에서는 비교적 적합한 방법으로 생각되나, 보다 정량적이고 근본적인 기준의 마련을 위한 계속적인 실 · 내외의 연구가 이루어져야겠다.

참고문헌

1. 김정호, "이차원 전기비저항 탐사자료의 역산", 서울대학교 박사학위 논문 (1987).
2. 민경덕, 서정희, 권병두, "응용지구물리학", 우성문화사 (1987).
3. 설순지, 서정희, 김학수, "지오레이다의 송신파형 및 모형반응 계산에 관한 연구", 자원공학회지 32(3), pp.252-264 (1995).
4. 윤운상, 배성호, 김병철, 김학수, "전도성 충적지반의 지질 및 하부 기반암 조사를 위한 지하레이다의 적용", 암반공학회 터널과 지하공간 5(2), pp.114-122 (1995).
5. 조성준, 박관호, 이명종, 서정희, "쓰레기 매립장 주변의 침출수 유입 탐지를 위한 물리탐사 적용", 한국자원공학회 66회 학술발표회 논문집, pp.276-282 (1996).
6. 한서엔지니어링, "난지도 쓰레기 매립장 환경영향평가" (1993)
7. Annan, A.P., "Ground Peneterating Radar workshop notes", Sensors & Software Inc (1992).
8. Barker, R.D., "Improving the Quality of resistivity sounding data in landfill studies", *Geotechnical and Enviromental Geophysics*, SEG, 2, pp.245~252 (1990).
9. Buselli, G., Barber, C., Davis, G.B., Salama, R.B., "Detection of groundwater contamination near waste disposal sites with transient electromagnetic and

electrical methods", *Geotechnical and Enviromental Geophysics,* SEG, 2, pp.27~39 (1990).

10. Carpenter, P.J., Calkin, S.F., Kaufmann, R.S., "Assessing a fractured landfill cover using electrical resistivity and seismic refraction techniques", *Geophysics,* 56(11), pp.967~968 (1991).
11. Davis, J.L., and Annan, A.P., "Ground Penetrating Radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy", *Geophys. Prosp.* pp.531~551 (1989).
12. Gregory, P. Van, Stephen, K. Park, Patrick Hamilton, "Monitoring leaks from storage ponds using resistivity methods", *Geophysics,* 56(8), pp. 1267~1270 (1991).
13. Lanz, Eva, Jemmi, Laura, Müller, Roger, Green, Alan, Pugin, André, Huggenberger, and Reter, "Integrated studies of Swiss waste disposal sites : results from georadar and other geophysics surveys", *Fifth international conference of GPR,* pp.1261~1274 (1994).
14. Robert, R.l., Hinze, W.J., Leap, D.I., "Data Enhancement Procedure on Magnetic Data from Landfill Investigation", *Geotechnical and Enviromental Geophysics,* SEG 2, pp.261~266 (1990).
15. Whiteley, R.J., Jewell, C., "Geophysical techniques in contaminated lands assessment-Do they deliver?", *Exploration Geophysics,* 23, pp.557~565 (1992).