

## 지표물리탐사 자료의 상관해석-충북 초정지역

권일룡\* · 김지수\* · 김경호\*\*

충북대학교 지구환경과학과\* · 충북대학교 토목공학과\*\*

### 요 약

물리탐사의 최근 주된 관심 분야는 대상지역에 대한 각종 탐사자료를 복합적으로 해석하여 탐사 대상의 지하구조를 3차원적으로 정확히 규명하는 작업이다.

이 연구에서는 연구 지역에 대한 1차원의 슬림버저배열 전기비저항 수직탐사를 2차원 및 3차원적으로 확장·해석하기 위해 먼저 전기비저항 자료를 영상화한 뒤 이들을 서로 보간하여 전기비저항의 단면·입체도를 재건하였다. 파쇄대와 같은 전기비저항 불연속면은 재건된 단면·입체도에서 더욱 공간적으로 파악될 수 있었고 대상지역의 파쇄대와 관련된 것으로 보이는 저비저항대는 지역의 중앙부에서 화강암질 기반암 하부까지 확장된 것으로 나타난다. 선구조 부근의 탄성파속도는 약 3,000 m/s로서 주위에 비해 작게 나타나며 이를 축으로 풍화대의 깊이는 남동쪽이 북서쪽보다 상대적으로 큰 것으로 해석되었다.

초정지역에 대한 전기비저항, 탄성파속도, 방사능 등의 속성자료는 지리정보시스템 소프트웨어인 ARC/INFO를 이용하였고 복합해석도의 영상강화를 통해 나타난 주요 단열 및 파쇄대는 전기비저항과 탄성파속도가 모두 낮게 나타나는 대상지역의 남동부에 많이 발달한 것으로 보인다. 이에 반하여 방사능 자료는 전기비저항, 탄성파 속도와 비교할 때 지질경계면에서 잘 반응하지 못한 것으로 나타난다.

**주요어:** 전기비저항, 탄성파 굴절법, 방사능, 파쇄대, 지리정보시스템, 상관해석

**Kweon, Il-Ryong, Kim, Ji-Soo and Kim, Kyoung-Ho, 1999, Correlation interpretation for surface-geophysical exploration data-Chojeong Area, Chungbuk. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 2, n. 1, p. 75-88.**

**ABSTRACT:** A recent major subject of geophysical exploration is research into 3-D subsurface imaging with a composite information from the various geophysical data.

In an attempt to interpret Schlumberger sounding data for the study area in 2-D and 3-D view, resistivity imaging was firstly performed and then pseudo-3-D resistivity volume was reconstructed by interpolating several 1-D resistivity plots. Electrical resistivity discontinuities such as fracture zone were successfully clarified in pseudo-3-D resistivity volume. The low resistivity zone mainly associated with fracture zone appears to develop down to granitic basement in the central part of the study area. Seismic velocity near the lineament is estimated to be approximately as small as 3,000 m/s, and weathering-layer for the southeastern part is interpreted to be deeper than for the northwestern part.

Geophysical attributes such as electrical resistivity, seismic velocity, radioactivity for the Chojeong Area were analysed by utilizing a GIS software Arc/Info. The major fault boundaries and fracture zones were resolved through image enhancement of composite section (electrical resistivity and seismic refraction data) and were interpreted to develop in the southeastern part of the area, as characterized by low electrical resistivity and low seismic velocity. However, radioactivity attribute was found to be less sensitive to geological discontinuities, compared to resistivity and seismic velocity attributes.

**Key words:** electrical resistivity, seismic refraction, radioactivity, fracture zone, GIS, correlation interpretation.

(Kweon, Il-Ryong and Kim, Ji-Soo, Department of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk National University, Kim, Kyoung-Ho, Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea, email: geop22@cubucc.chungbuk.ac.kr)

## 1. 서 론

충북 청원군 북일면에 위치한 초정지역은 예로부터 광천수의 생산지로 명망이 높았으나 이후 한정된 범위에서의 집중적인 지하수개발·생산에 따른 지하수 고갈, 폐공방치, 오염현상의 환경피해가 대두되는 대표적인 곳이 되었다. 이곳은 최근 지하수개발과 보전관리라는 대립 속에 합리적인 방법을 모색하기 위해 많은 탐사와 조사가 이루어지고 있는 곳이기도 하다(농어촌진흥공사, 1998).

광물 및 석유자원의 확보 차원으로 이용되어 왔던 중력, 자력, 탄성파, 전기탐사를 비롯한 대부분의 지표물리탐사 방법들은 최근에는 자원의 고갈, 자원개발로 야기된 환경문제의 대두, 지열과 같은 청정에너지원 확보, 폐기물의 지층처분, 지하공간 건설 등과 같은 환경 및 공학차원으로 그 탐사방향이 전환되고 있다(Ballard, 1983; Cooper · Koester, 1984; Llopis · Bulter, 1988; Backblom, 1991). 특히 지하 오염원의 경로 등과 같은 지반환경의 조사(Koester *et al.*, 1984)를 위해서는 지하물리검층(subsurface well logging surface exploration, physical properties)과 더불어 보다 경제적인 지표물리탐사(surface exploration)들을 복합적으로 수행하는 것이 필수적인데, 이는 천부의 지하매질이 심부에 비해 물성(physical properties) 변화가 심하여 그 규명이 어렵기 때문이다. 따라서 최근의 물리탐사는 특히 천부환경의 지하구조를 해석할 때는 각종 탐사방법들을 최대한 동원하고 거기에서 해석된 물성자료들을 서로 조합·상관시켜 탐사대상(exploration targets)에 대한 종합적인 해석을 내리는데 초점을 두고 진행되는 추세이다(이태섭 외, 1995).

국내에서도 최근 풍화대 및 기반암 규명(문장수 외, 1997), 단층 및 균열대의 탐지(김지수 · 권일룡, 1997; 장현삼 외, 1997), 지하매설물탐지(노정용 · 강주명, 1996), 지반침하(김중열 외, 1995) 등의 토목·지질환경 및 공학문제의 해를 찾기 위해 대표적인 지표물리탐사법인 전기비저항, 탄성파, 레이더, 전자파, 자력탐사 등을 수행하고 있다. 특히 단일탐사자료에 대한 해석능력은 1990년대에 들어

컴퓨터 산업, 탐사장비 발달, 자료처리 소프트웨어의 발달에 힘입어 1980년대에 비해 큰 성장을 가져온 것은 명백하다. 그러나 특정 지역에 대한 각종 탐사자료를 서로 상관시켜 복합해석하는 작업은 최근에야 점차 시도되고 있는 실정이다(한현철 외, 1996; 이태섭, 1997).

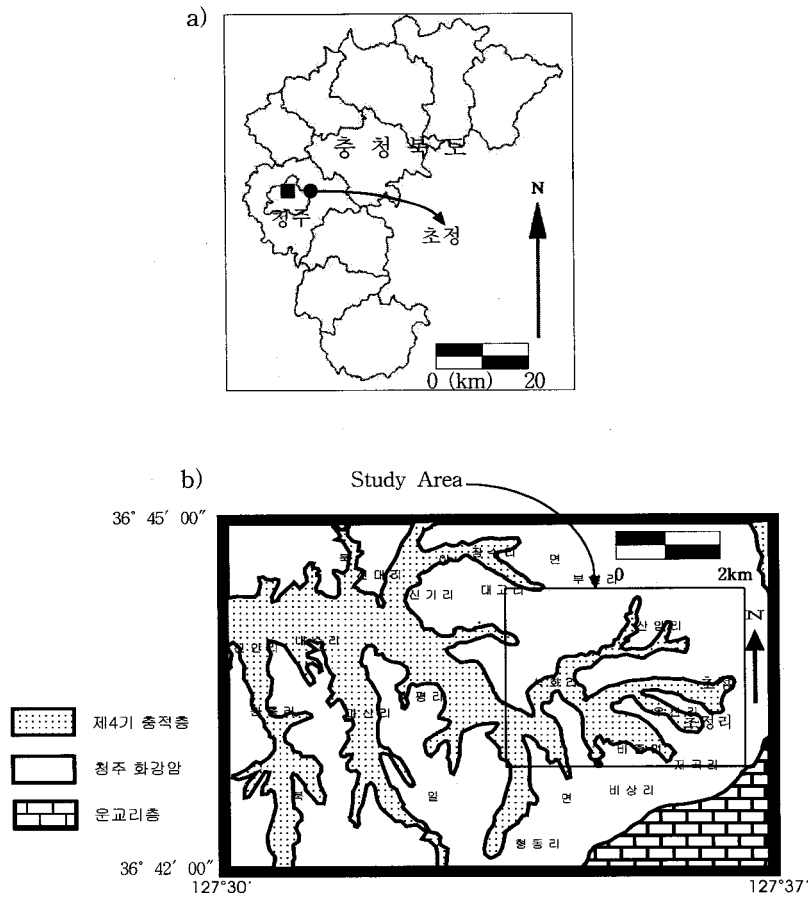
이 연구에서는 천부 지하매질에 대한 물리탐사 자료의 복합해석기법을 연구하였으며 이를 충청북도에 위치한 화성암환경의 초정지역에서 얻어진 전기비저항 수직자료, 탄성파 굴절법자료, 방사능 자료에 적용·검토했다.

전기비저항 수직탐사자료는 심도에 대한 1차원 속성 때문에 3차원의 실제 지하구조와 많은 차이가 있어 2차원의 쌍극자자료에 비해 천부구조의 정확한 해석을 기대하기 어렵다. 그러나 이 방법은 탐사지역의 광역적인 전기비저항 구조를 파악하기 위한 경제적이고 손쉬운 방법으로서 특히 지하수를 함유하는 파쇄대의 윤곽을 파악하는데 많이 쓰이고 있는 실정이다(Verma *et al.*, 1982; 이기화 · 윤종렬, 1995). 이 연구에서는 총 20개의 지점에서 얻어진 수직자료를 서로 내·외삽시켜 2차원의 층(layer), 3차원적인 입체도를 재건하여 저비저항대로 특징되는 파쇄대 및 풍화대의 공간분포를 조사하였다.

낮은 전기비저항으로 특징되는 파쇄대 및 대수층에 대한 상관해석을 위하여 탄성파 굴절법탐사와 방사능탐사를 추가·수행하였으며 지리정보시스템(GIS)과 영상강화를 위한 히스토그램 기법(Lillesand · Kiefer, 1993)을 통해 이들 탐사에서 각각 얻어진 탄성파속도 및 방사능비를 전기비저항 값들과 함께 가중치를 부여하여 이 지역의 단층 파쇄구조에 대한 복합해석을 시도하였다.

## 2. 연구지역

초정지역(Fig. 1 (a))은 충북 청원군 북일면에 위치하며 지질학적으로 청주화강암체와 옥천대에 속하는 시대미상의 운교리층이 접촉하는 곳으로서 쥐라기화강암인 청주화강암체와 제4기의 충적층으로 이루어져 있다(Fig. 1 (b)). 이 지역의 화강암은



**Fig. 1.** (a) Location of study area. (b) Geological map in the vicinity of study area (after Kweon · Jin, 1974).

주로 반상화강암으로 구성되어 있으며, 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 각섬석으로 이루어진 제4기의 충적층은 청주화강암을 부정합으로 덮고 있으며 하천을 중심으로 피복되어 평야지대를 형성하고 있다(나기창, 1986). 이 조사지역에 포함되는 것은 아니지만 조사지역의 선구조 발달에 영향을 미치는 운교리층은 옥천대에 속하는 시대미상의 층으로 주로 사질 천매암이나 석영, 사장석, 흑운모등으로 구성된다.

탐사설계와 탐사자료의 해석을 위해 참조한 Landsat 위성 영상자료(Fig. 2 (a))에서 중앙부의 밝은 부분이 연구지역에 해당되는 청주화강암체이며 어두운 부분이 옥천변성대의 사질 천매암지역

이다. 이러한 반사특성은 Band의 반사특성과 관계가 있는 것으로 사질 천매암에 비해 반상화강암이 Band 1, 2, 3에서 잘 반사되기 때문이다(Lillesand · Kiefer, 1993). 수치음영도(Fig. 2 (b))에 나타난 선구조(lineament)는 조사지역을 중심으로 광범위하게 관찰되는데 이는 옥천대와 이를 관입한 쥐라기 화강반암과의 지질경계면이 냉각절리와 유사한 기구로 생성되어 비교적 파쇄대의 발달이 심한 것에 기인한다(나기창, 1986).

### 3. 탐사자료의 수집·처리·해석

초정지역의 지하수와 관련된 지층구조를 조사하

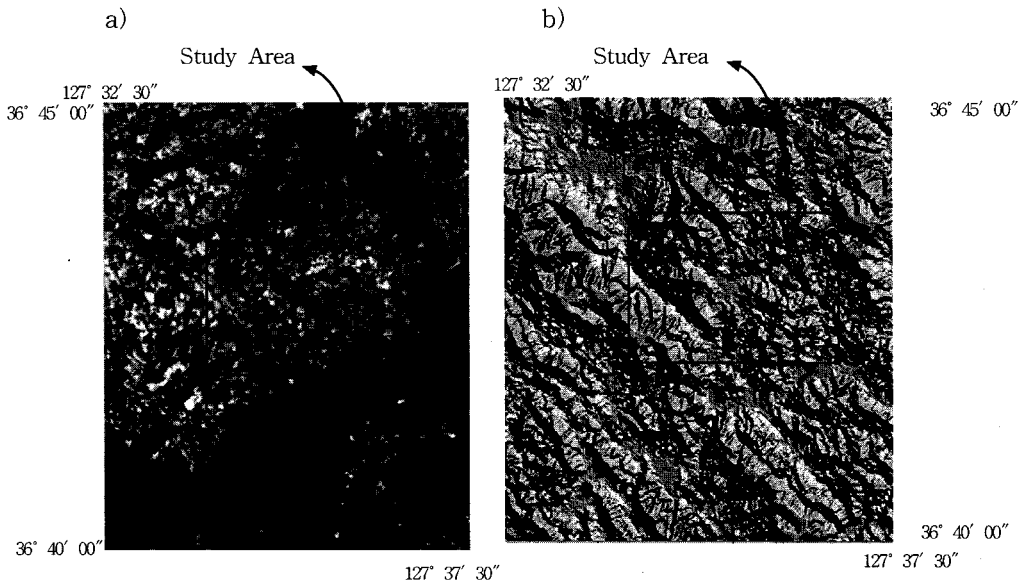


Fig. 2. (a) Landsat image (band-1, 2, 3). (b) Computerized shaded relief image for the Chojeong Area (by courtesy of Won, J. S.).

기 위해 천부탐사에 적합하고 비교적 사용이 간편한 전기비저항 수직탐사와 탄성파 굴절파탐사를 수행하였다. 또한 이 지역의 상대적인 방사능 정도를 정성적으로 파악하기 위해 방사능탐사도 병행하였다. 각종 탐사에 사용된 측정장비를 자료처리 소프트웨어와 함께 Table 1에 나타냈다.

### 3.1. 전기비저항 수직탐사

전기비저항 수직탐사는 측선의 전개 조건과 측정점간의 거리를 고려하여 총 20점에 걸쳐 수행하였다(Fig. 3). 기본적인 해석은 지하를 수 개의 수평 다층구조로 가정하고 각층의 두께와 전기비저항을

추정변수로 작성된(김정호, 1987) 자료처리 소프트웨어 Soundpro (1996)를 이용한 결과를 참조하였다.

현장자료 및 역산 결과는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 세로축은 길보기 비저항을, 가로축은 전류전극 간격의 반(AB/2)을 나타내며, ●는 현장에서 얻어진 측정자료이고 ○는 1차원 모델을 가정한 자동역산에서 얻어진 이론값이다(Soundpro, 1996). 최대 전류전극과 전위전극 간격은 탐사심도를 고려하여 각각 250 m, 15 m로 하였고 각 전류전극 간격에 따라 전위전극 간격을 상호 중복시켜 측정, 자료의 정확성을 기했다. 역산은 여러 층에 대

Table 1. Field acquisition systems and processing softwares.

Method	Recording System	Processing Software
Electrical resistivity	ABEM SAS 300C	Soundpro
Seismic refraction	ABEM MARK 6	Firstpix/Gremix
Radioactivity	SCINTREX GRS-500	Arc/Info

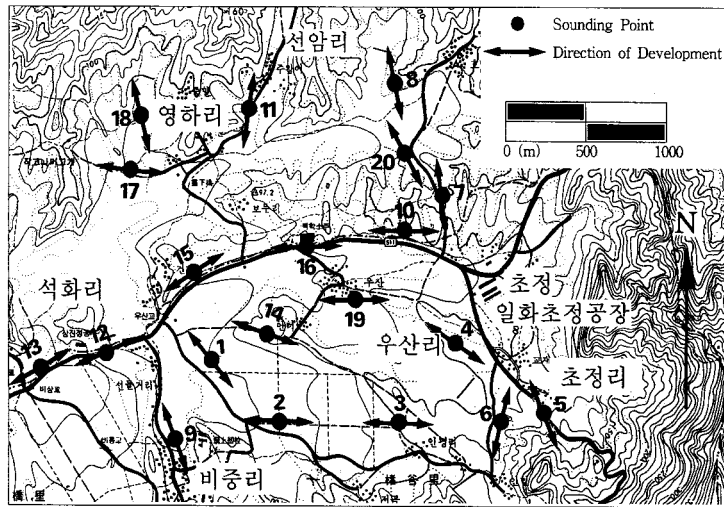


Fig. 3. Position map for the vertical electrical sounding.

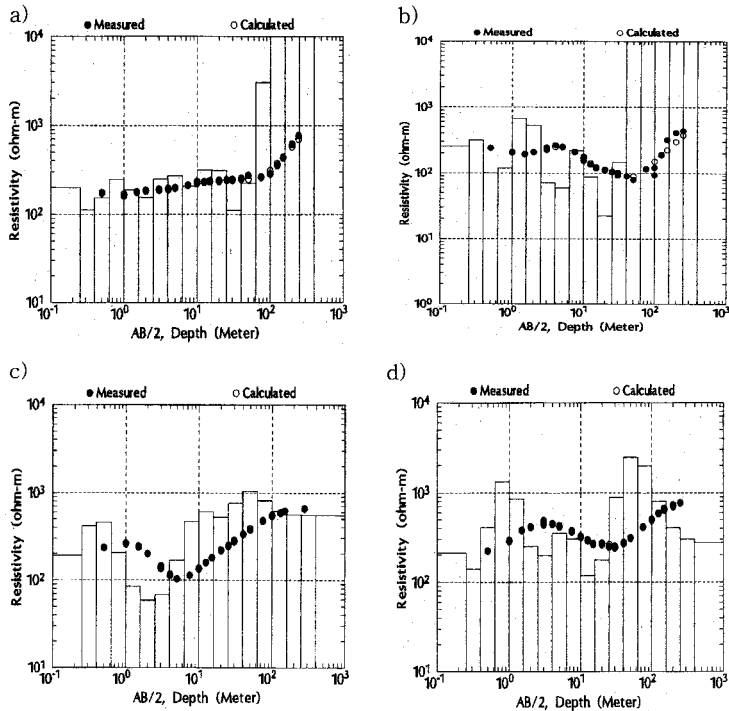


Fig. 4. Vertical sounding data for the points number of (a) 4, (b) 7, (c) 12, and (d) 17 (unit: ohm-m).

한 정보를 얻고 합리적인 보간을 위해 지하구조를 16개의 많은 층으로 구분하여 심도에 따른 비저항값을 완만하게 변화시키는 크리핑법(김정호, 1987)을 사용하였다.

Fig. 4는 20개의 수직탐사 해석자료 중에서 동쪽의 측점 4, 7, 서쪽의 측점 12, 17에 대한 결과이다. 탐사점 4와 7은 각각 약 100 m와 40 m 이상의 깊이에서 비저항값이 10,000 ohm·m 이상으로 나타나는데 이는 이 지역에 발달한 균질하고 치밀한 청주화강암체에 기인하는 것으로 보인다. 반면 서쪽의 탐사점 12와 17은 모두 100 m 이상의 깊이에서 700 ohm·m 이하로 나타나는데 이 양상은 선구조 관련 및 파쇄대가 심부까지 연장 발달된 것으로 해석할 수 있다.

3.2. 탄성과 굴절법탐사

초정지역에 대해 탄성과 굴절법탐사를 전기비저항 수직탐사와 동시에 수행하였는데 굴절법탐사는 측선의 전개 방향과 측점간의 거리를 고려하여 총 18개의 측선에서 수행하였다(Fig. 5). 음원은 해머를 이용하였으며, 지오폰은 해머의 투과심도를 고

려하여 5 m 간격으로 24개 설치하여 총 측선의 길이가 115 m가 되게 하였고 천부탐사에 적합한 100 Hz 지오폰을 이용하였다. 기록에 사용된 샘플링 간격과 저주파 제거필터(low-frequency cut filter)는 각각 250  $\mu$ s, 48 Hz로 설정하였다.

이 지역의 서쪽 측선 RCJ18 (Fig. 5)에서 얻어진 현장자료(Fig. 6 (a), (b), (c))와 초동주시곡선(Fig. 6 (d))에 대한 GRM법(Gremix, 1990)의 적용 결과(Fig. 6 (e))에서 해석된 풍화대의 속도, 기반암의 속도, 풍화대의 깊이는 각각 약 400 m/s, 4,000 m/s, 5 m 이다. 남동쪽 부분의 측선 RCJ4 (Fig. 5)에서 얻어진 결과(Fig. 7)에서 풍화대와 기반암의 속도는 각각 약 1,000 m/s, 4,800 m/s이고 풍화대의 깊이는 약 10~15 m로서 중앙 서쪽 측선 RCJ18에 비해 깊은 편이다.

탐사에서 얻어진 18개의 측선에 대한 풍화대의 속도, 기반암의 속도, 풍화대의 깊이를 Table 2에 나타냈다. 여기서  $V_1$ 은 풍화대의 속도,  $V_2$ 는 기반암의 속도를 의미하고, Depth는 풍화대의 깊이를 의미한다. 암반 파쇄대와 관련된 기반암의 속도  $V_2$ 는 위성자료에서도 구분되는(Fig. 2 (a)) 예상 단

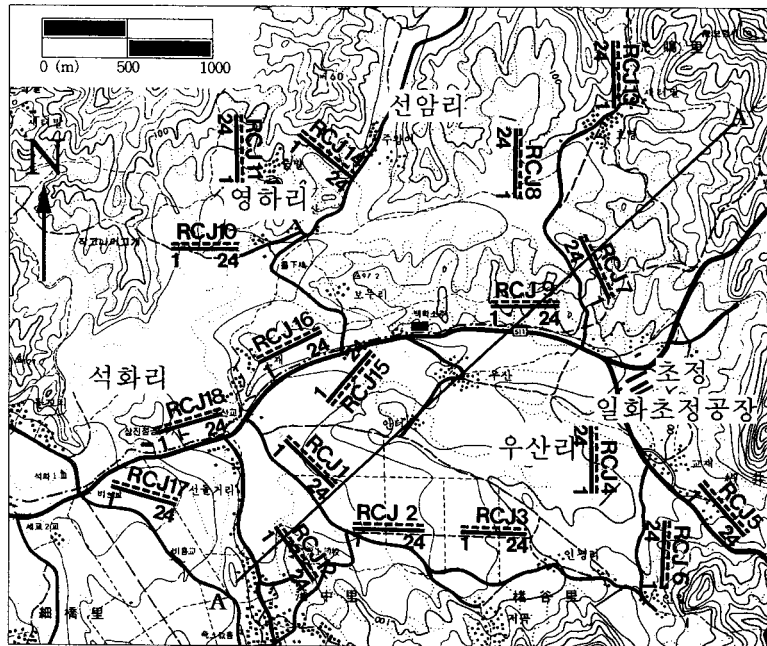


Fig. 5. Survey line for the seismic refraction.

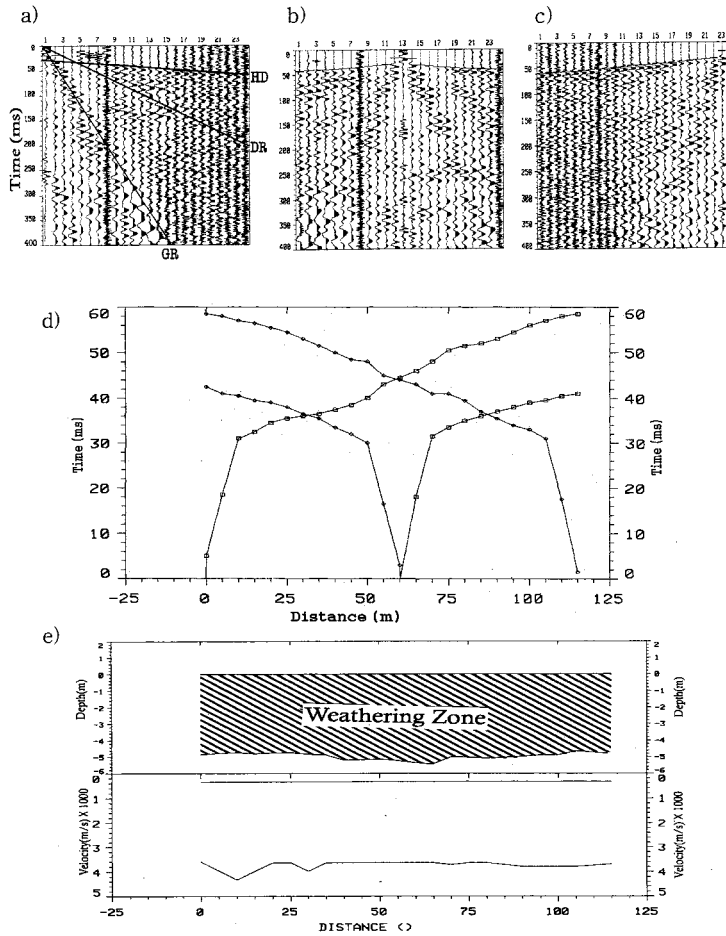


Fig. 6. Seismic refraction data and result for the line RCJ18 for the shots; (a) left end-on spread, (b) split-spread, (c) right end-on spread, (d) first-break picking, and (e) estimated thickness and velocity of the layers. HD = head wave, DR = direct wave, GR = ground roll.

층선구조 A-A' (Fig. 5) 부근의 측선 RCJ2, 3, 9, 12에서는 대략 2,600 m/s 이하로서 다른 지역보다 훨씬 낮게 나타난다. 이것은 물론 탐사결과 나타난 깊은 풍화대가 예상 단층대의 오른쪽에 집중되는 현상과도 관련될 수 있다. 그러나 심도 200 m에서의 비저항 단면도(Fig. 14 (d))에서 나타나는 A-A' 선 부근의 저비저항대와 부합되는 것으로 보아 이와 같은 저속도 양상은 단층 파쇄대에 기인하는 것으로 해석된다.

### 3.3. 방사능탐사

방사능탐사는 탐사의 측점을 세밀한 격자형태가 되도록 설계하여 GIS 분석을 할 수 있도록 하였다. 측점들은 일반적으로 100 m 간격으로 설계하였으며 지하수 집수원이 집중된 곳에서는 50 m 간격으로 설정하여 총 175지점에서 수행하였다 (Fig. 8). 탐사시 발생하는 에너지 준위에 따라 0.08 MeV이상을 측정하는 총함량1 (tc1), 0.40 MeV이상을 측정하는 총함량2 (tc2), K, U, Th의 총 5개의 성분의 방사능 값을 측정하였는데, 이 연구에서는 낮은 S/N을 고려하여 모든 성분을 광역적으로 포함시킬 수 있는 tc1, tc2 자료만을 해

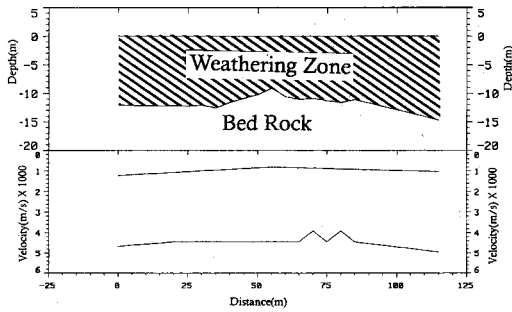


Fig. 7. Seismic refraction result for the line RCJ4.

석에 사용하였다. 방사능의 정량적인 분석은 보정(calibration) 장비의 부재로 여기에서는 시도되지 않았다.

GIS를 이용한 tc1 등방사능도(Fig. 9 (a))는 196~319 cps 범위의 값을 가지는데 인평소류지와 영하리 지역에서는 250 cps 이하의 비교적 낮은 값을 보인다. tc2의 등방사능도(Fig. 9 (b))는 32~62 cps의 범위이며 tc1의 해석자료와 동일한 범위에서 고·저 방사능대의 대비가 나타나고 있다. 여기에서 해석되는 저방사능대는 중앙부에서 보였던 저비저항대와 저속도층과 일치하고 있다. 이는 파쇄대에서의 방사능 함량은 균질한 암석에서의 값보다 작았던 다른 지역에서의 양상과 일치하나(박창엽 · 강대진, 1994) 연구지역에서 보이는 저방사능대는 파쇄대 등의 선구조와 제 4기 충적층과

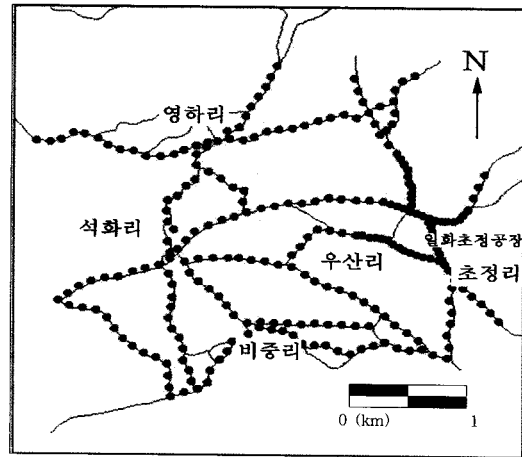


Fig. 8. Survey line for the radioactivity. Radioactivity survey was performed along the road-ways.

도 일부 관련된 것으로 보인다(Fig. 1 (b)).

#### 4. 탐사자료의 상관분석

연구지역의 개략적인 지하구조와 파쇄대의 분포를 공간적으로 알아보기 위해 먼저 1차원의 전기비저항 수직탐사자료를 수평보간하여 2·3차원 합성도를 작성하였고, 각종 탐사자료의 종합해석을 위해 물성속성자료에 대한 상관해석기법을 연구하였다.

Table 2. Seismic velocity and depth estimated from refraction data.

Line	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	Depth (m)	Line	V <sub>1</sub> (m/s)	V <sub>2</sub> (m/s)	Depth (m)
RCJ1	1000	4000	15	RCJ10	400	3900	5
RCJ2	1000	2200	15	RCJ11	800	3500	7
RCJ3	800	2500	20	RCJ12	430	2600	15
RCJ4	900	4800	13	RCJ13	680	5000	4
RCJ5	600	4400	20	RCJ14	1100	4500	20
RCJ6	850	4800	18	RCJ15	720	3500	7
RCJ7	350	2800	7	RCJ16	600	3400	4
RCJ8	400	3800	5	RCJ17	550	3500	5
RCJ9	400	2500	7.5	RCJ18	400	4000	5



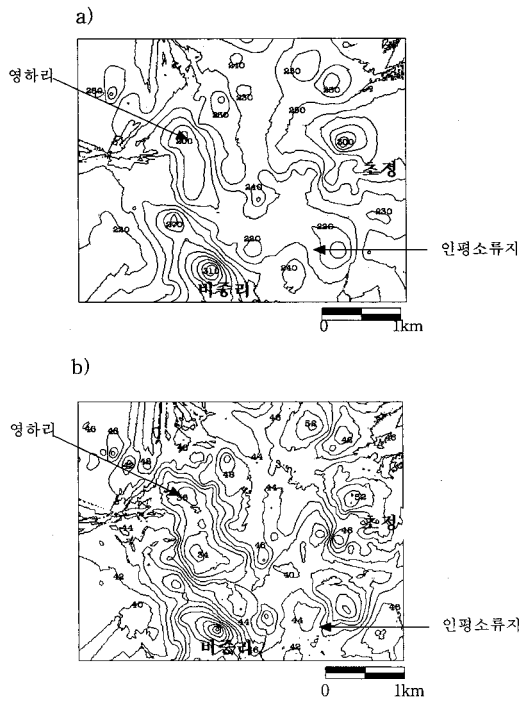


Fig. 9. Radioactivity results; (a) component tc1 (total count above 0.08 MeV), (b) component tc2 (total count above 0.40 MeV).

4.1. 수직탐사자료의 합성도

수직탐사 역산결과에서 얻어진 심도별 비저항값을 수평적으로 상관 삽입시켜 각 심도에서의 비저항분포도를 삼차원적으로 재건하는 기법(김지수·권일룡, 1997)을 전기비저항 수직탐사 현장자료에 적용시켰다. 적용 원리는 우선 역산자료에서 얻어진 비저항값을 상관·삽입시켜 임의의 심도에서의 비저항 단면도를 만들고 자료구현 소프트웨어인 IDL(1995)을 통해 전기비저항의 입체도를 재건하였다. 비저항값의 심부 변화양상을 알아보기 위해 작성된 심도 0, 20, 50, 100, 200, 300 m의 전기비저항 영상단면(Fig. 10 (a))에서 풍화대와 그 이상 심부의 기반암층이 50 m를 기준으로 명확히 구분되고 있는데, 저비저항대는 50 m이상의 심부에서도 일관되게 중앙부를 통과하고 있다는 것을 알 수 있다. 200 m 심도의 영상단면을 등비저항선으로 나타낸 Fig. 10 (b)에서 비저항값은 300~3,000 ohm·m의 분포를 보이고 있으며, 여기서 고·저비저항대의 경계는 약 700 ohm·m를 기준으로 구분되고 있다.

천부구조의 정밀 해석을 위해 영상단면을 각각 0, 2, 4, 6, 8, 10 m (Fig. 11 (a)), 0, 5, 10, 15, 20, 25 m (Fig. 11 (b))와 20, 25, 30, 35, 40, 45 m (Fig. 11 (c)) 심도별로 재건해 보았다. 4 m 이하 (Fig. 11 (a))는 전기비저항 불연속 구조가 크게 발달되지 않고 있으며 대부분 700 ohm·m 이하의 비저항값을 보이고 있다. 20~45 m, 0~45 m 단면(Fig. 11 (b), (c))에서는 10 m 깊이를 기준으로

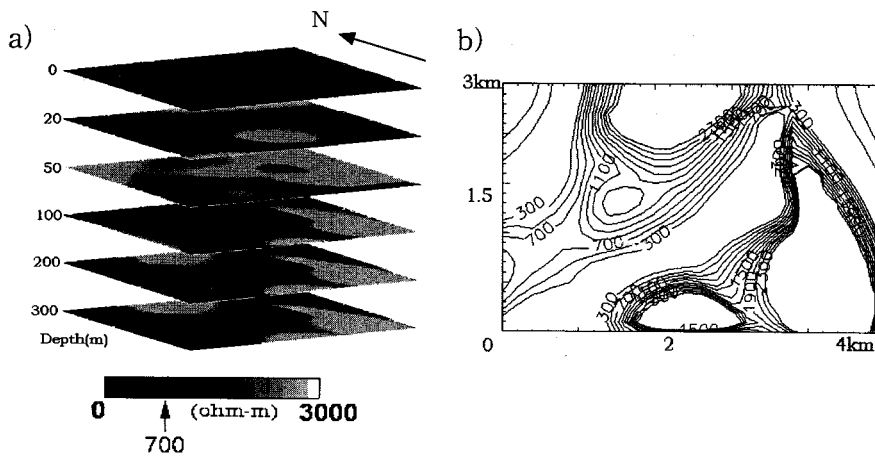


Fig. 10. Pseudo-section constructed by interpolation of vertical sounding data to a depth of 300 m; (a) grey toned and (b) 200 m-layer contoured.

저비저항의 어두운 색 부분이 고비저항의 밝은 색으로 점진적으로 변하는 것을 볼 수 있다.

이들을 종합분석하여 볼 때 700 ohm·m 이하의 비저항 값을 보이는 어두운 색 부분을 풍화대로 해석하였는데 풍화대의 깊이는 초정지역에서 약 10 m이며 남서 방향과 남쪽 방향으로 점점 깊어져 인평소류지 부근에서는 약 45 m가 된다. 여기에서 해석된 풍화대의 깊이변화는 탄성과 굴절파 해석자료(10~15 m)와 비교할 때 정상적으로 부합되나 정량적으로 차이가 있는데 이는 측정물성에 따라 풍화대의 깊이가 달리 해석됨을 의미한다.

13개의 시추자료(Fig. 12; 농어촌진흥공사, 1998)를 이용하여 계산된 풍화대의 깊이 또한 남동쪽으로 갈수록 증가하여 인평소류지 부근에서 가장 깊은 심도(약 30 m)를 나타내고 있다. 서북지역에서 보이는 5 m 이하의 얇은 풍화대의 깊이는 비저항

영상단면도(Fig. 11 (a))의 6~8 m, 탄성과 굴절파 자료(Table 2)의 해석자료 4~8 m와 대체로 부합한다.

#### 4.2. 전기비저항, 탄성과 속도, 방사능자료의 복합 해석

지리정보시스템(GIS)을 이용하여 각 탐사자료에 대한 복합처리·해석기법을 검토해 보았다. 각 탐사해석자료의 GIS 분석을 위해 탐사자료를 입력하여 하나의 자료 층, 즉 분리된 지도에 해당되는 커버리지를 생성하고 실제좌표인 TM좌표에 일치하도록 투영(projection) 과정을 거쳐 그리드(grid) 포맷을 만든다(Fig. 13). 일정한 격자로 이루어진 그리드 변환 자료의 측정점과 측정점간의 값은 Kriging (정상용, 1993; 조용현 외, 1994) 보간법을 사용하여 결정하였고 히스토그램 분석을 통해 일

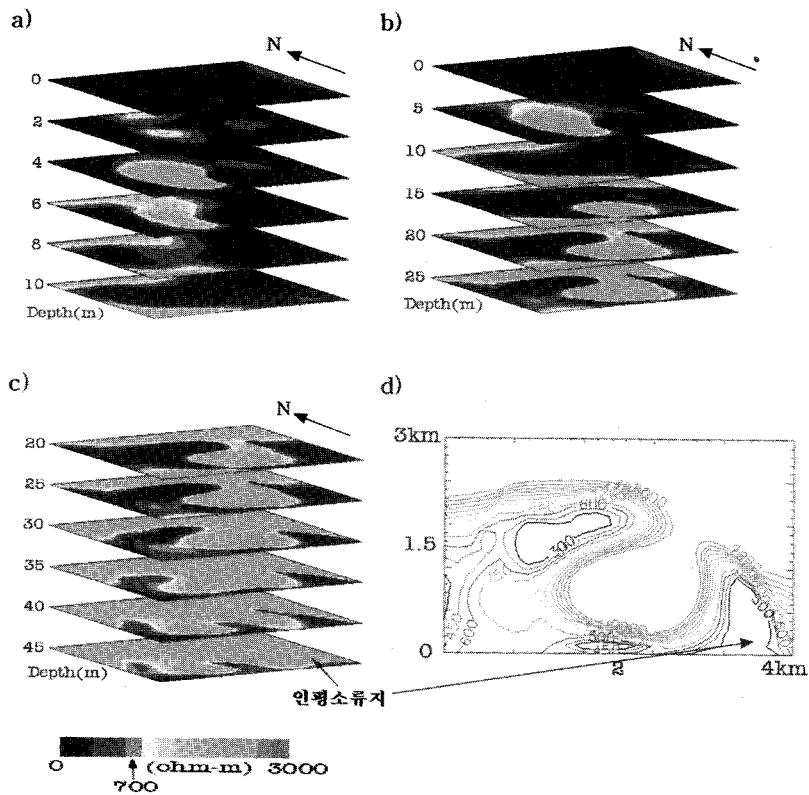


Fig. 11. Pseudo-section constructed by interpolation of vertical sounding data to a shallow depth of 45 m; (a) 0~10 m, (b) 0~25 m, (c) 20~45 m, and (d) 30 m-layer contoured.

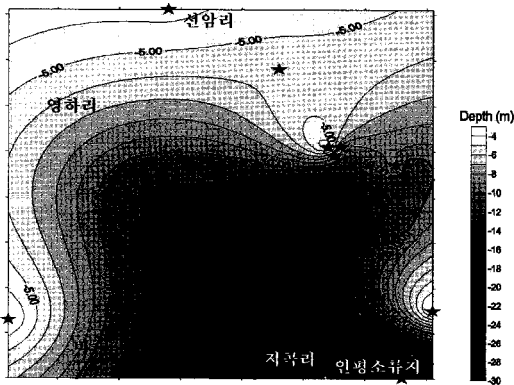


Fig. 12. Weathering-zone depth estimated from bore-hole data. ★ represents bore-hole position.

정한 간격의 영역구분을 하여 가중치를 부여하였다. 이러한 과정들을 거쳐 생성된 각각의 자료는 서로 상관하여 복합 해석을 하였다.

각 탐사해석자료에 대한 보간 영상단면도를 Fig. 14에 나타냈는데 전기비저항이 작은 이상대는 지역의 남서쪽에서 중앙을 가로지르는 부분(Fig. 14 (d))에, 저속도층 역시 남서쪽에서 중앙을 가로지르는 부분(Fig. 14 (c))에 나타나 서로 상관되고 있다. 이 부분은 방사능탐사 해석도(Fig. 14 (a), (b))와 비교할 때 남서 모서리 부분과 중앙부분은 방사능 함비가 작은 파쇄대 부분과 일치되고 있으나 방사능 함비가 큰 북서쪽부분과 서로 반대되어 나타난다. 이는 방사능자료가 지하 불연속면의 구분에 큰 역할을 하지 못한 것에 기인한다.

선형 스트레치(linear-stretch) 기법을 이용한 탐사자료의 상관해석은 우선 히스토그램 그래프를 이용하여 3개의 영역으로 구분하였고 복합영상의 재건에 사용된 가중값은 하부층의 탄성과 속도자료(Fig. 15 (b))와 비저항자료(Fig. 15 (c))는 1로, 방사능 탐사자료(Fig. 15 (a)) 역시 1로 부여하였다. 또한 파쇄대에 대한 전기비저항의 대비효과를 감안하여 고·저비저항의 경계면에서 큰 값을 나타낼수 있도록 전기 비저항값에 대한 표준편차 분

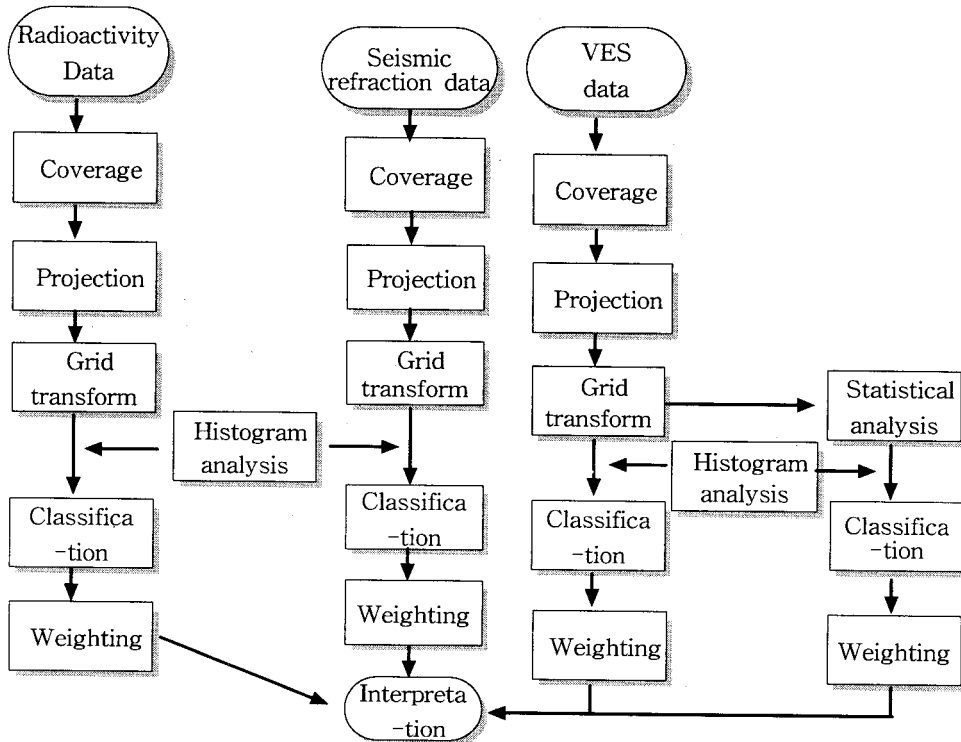


Fig. 13. Processing flowchart for GIS implementation.

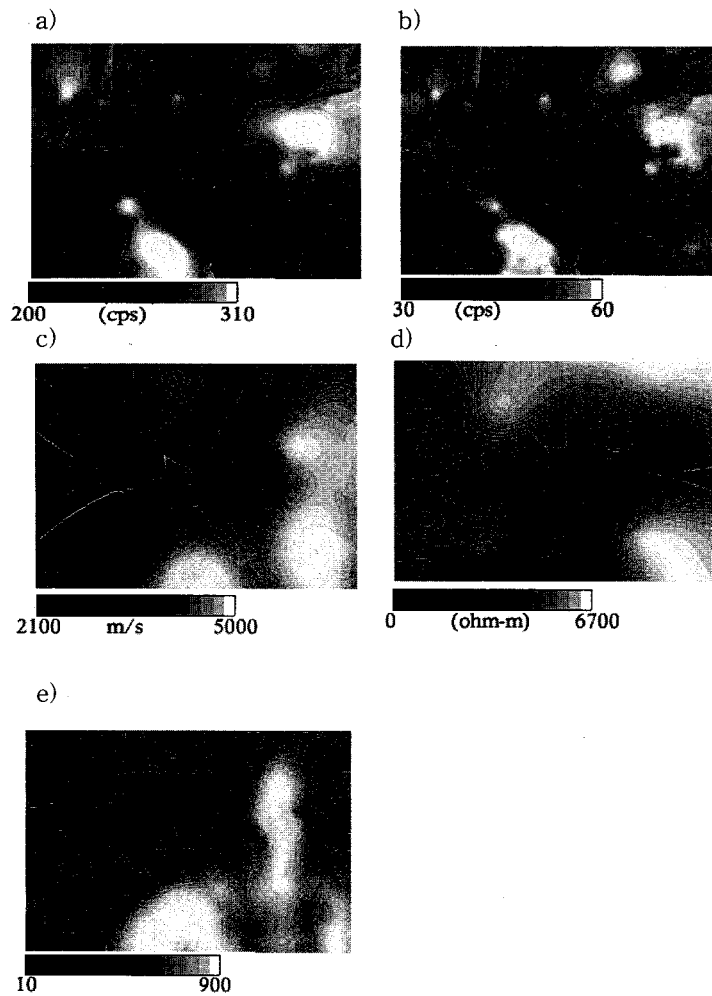
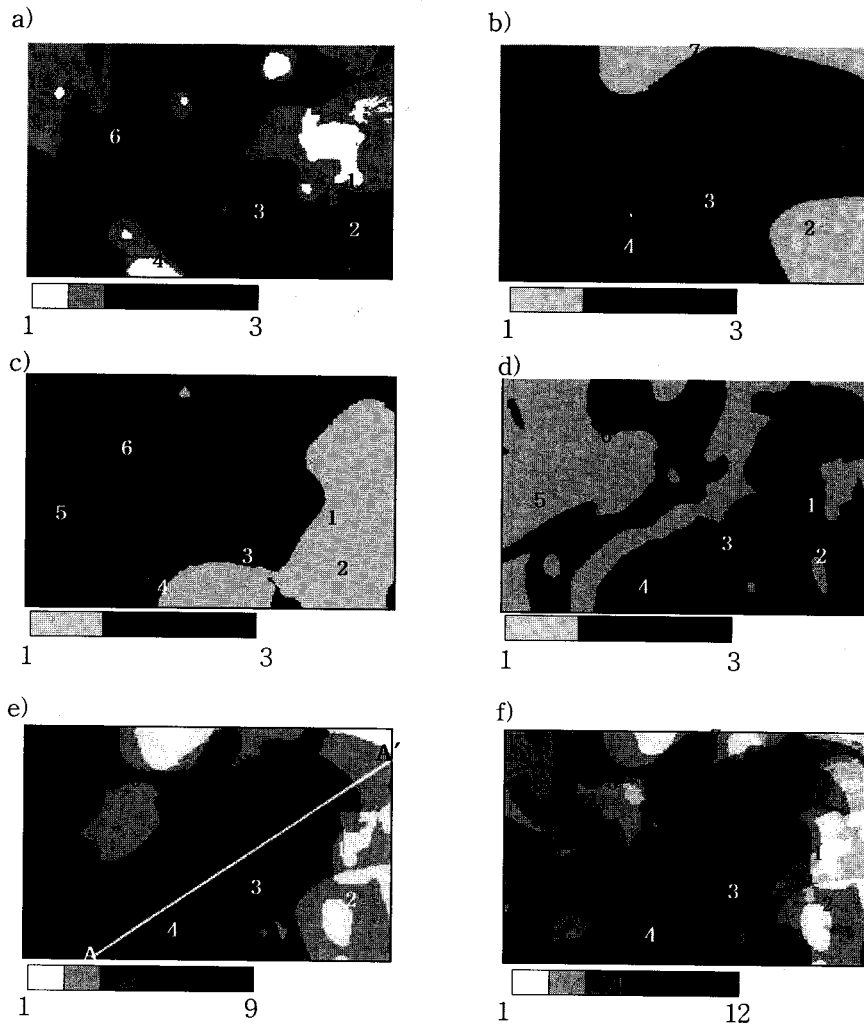


Fig. 14. Cross-section for the (a) radioactivity component tc1, (b) radioactivity component tc2, (c) seismic velocity of the layer 2, (d) electrical resistivity at depth of 200 m, and (e) resistivity standard deviation.

석(Fig. 15 (d))을 하여 이에 대해 따로 1의 가중치를 부여했다. Fig. 15 (e)는 Fig. 15 (b), (c), (d)의 세가지 속성자료를 합한 영상으로서 어두운색 부분을 지하의 단층대 혹은 대수층과 관련된 국부적인 파쇄대로 구분하였다. Fig. 15 (f)는 방사능 자료까지 부여한 것으로서 Fig. 15 (e)와 큰 차이점은 없이 대체로 부합하는데 이는 방사능자료가 파쇄대의 탐지에 큰 역할을 못 할 것이라는 예상을

다시 확인해 준다. 각종 탐사자료를 복합적으로 상관계 볼 때 초정지역의 파쇄대 단층은 대체로 N35°~40°E 주향의 선구조(Fig. 15 (e))를 가지고 Fig. 15 (e)에 표시된 A-A' 를 따라 선구조가 발달하고 있다. 조사지역의 중앙부를 가로질러 분포하는 이 구조선 부근은 현재의 주된 지하수 생산 지역에 해당되는 지역으로서 기반암 환경의 암반 대수층과 관련된 파쇄구조로 해석된다.



1: Ilwha Factory, 2: Chojeong-ri, 3: Wusan-ri, 4: Bijung-ri,  
5: Sukwha-ri, 6: Yunggha-ri, 7: Sunam-ri.

Fig. 15. Attribute plots with linear-stretching for (a) radioactivity tc1 data, (b) electrical VES data, (c) seismic refraction data, (d) standard-deviation estimate. Weighted plot with (e) b+c+d, and (f) a+b+c+d.

### 5. 결 론

충북 초정지역에서 얻어진 탐사자료의 해석과 수직탐사자료의 합성도 작성, 복합해석에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 영상재건과 복합해석등을 통해 분석된 초정

지역의 풍화대의 깊이는 대략 5~45 m, 탄성파속도는 350~1,100 m/sec, 비저항은 700 ohm·m 이하를 보였다. 방사능탐사자료는 풍화대와 상관관계가 작게 나타났다.

2. 여러 수직탐사자료를 서로 내·외삽시켜 3차원으로 재건한 전기비저항 입체도는 천부 파쇄대 및 풍화대의 공간적인 분포범위를 파악하는데 효

과적이다.

3. 지리정보시스템을 이용하여 탐사자료를 복합 해석한 결과 지하 불연속면의 영상을 효과적으로 얻을 수 있었다. 초정지역에 대한 복합탐사자료의 해석과 시추자료의 분석에서 나타난 저비저항대 및 주요 단층대의 방향은 N35°~40°E로 나타났다.

### 사 사

이 연구는 학술진흥재단에서 지원하는 '97 대학 부설연구소 과제에 이루어졌으며 이에 감사드린다. 각 종 탐사자료의 수집을 함께 해 준 지구물리탐사 실험실의 구성원들에게 감사한다. 이 논문을 심사하여 질을 높여 주신 강원대학교 김영화 교수와 해양연구소의 홍종국 박사께 감사드린다.

### 참고문헌

김정호, 1987, 이차원 전기비저항 탐사자료의 역산, 서울대학교 공학박사 학위논문.

김종열, 장현삼, 김유성, 현혜자, 김기석, 1995, 구포기차 전복사고 지역의 지반상태 파악을 위한 탄성파 토모그래피, 지질공학회지, 6, 15-21.

김지수, 권일룡, 1997, 월악산화강암체의 파쇄대규모를 위한 전기비저항탐사, 지질공학회지, 7, 113~126.

나기창, 1986, 충북의 자연, 충청북도 교육위원회.

노정용, 강주명, 1996, 지하 저장 공동 가스누출 방지 조건에 관한 실험적 고찰, 자원공학회지, 33, 23-32.

농어촌진흥공사, 1998, 초정·미원지구 환경영향조사 보고서.

문장수, 김세환, 남옥현, 오명철, 1997, 지하레이더 탐사법을 이용한 지반조사 사례연구, 지질공학회지, 7, 161-172.

박창엽, 강대진, 1994, 경상분지내 주요 단층대의 지구물리학적 연구, 울산단층에 대한자력및 방사능 연구, 지질학회지, 30, 193-205.

이기화, 윤종렬, 1995, 난지도 폐기물 매립장과 그 주변 지역에서의 전기탐사, 지하수환경학회지, 2, 64-71.

이태섭, 1997, 물리탐사자료 복합처리 및 해석을 위한 전산정보 시스템 개발, 자원연구소.

이태섭, 서정희, 전효택, 1995, 지구물리·지구화학 적 오염영역 탐지 및 감시기술개발연구(I), 과학기술처, KR-95(T)-3.

장현삼, 임해룡, 홍재호, 1997, 쓰레기 매립장의 토양오염 조사를 위한 전자탐사 및 전기탐사, 지구물리탐사학회지, 1, 87-91.

정상용, 1993, 지하수위 분포 모델링을 위한 Universal kriging의 응용: 1. 제한적 최대 우도법, 지질공학회지, 3, 51-61.

조웅현, 박영기, 김환홍, 1994, Kriging 기법과 수치 모형에 의한 이안지구 대수층의 투수량계수 추정, 지하수환경학회지, 1, 113-120.

한현철, 이사로, 진재화, 이성록, 최현수, 강중석, 김성필, 이치원, 1996, 해저지질 및 지구 물리 자료 dB구축을 위한 기술개발연구(III), 한국자원연구소, KR-96(T)-11.

Backblom, G., 1991, The Aspö HRL—a step toward the Swedish final repository for high-level radioactive waste, Tunnel and Deep Space Tech., 6, 463-467.

Ballard, R. F., 1983, Cavity detection and delineation research, Rep. 5, Electromagnetic radar techniques applied to cavity detection, Tech. Rep. GL-83-1, U.S. Army Engr. Waterways Exper. Station, Vicksburg, MS.

Cooper, S. S. and Koester, J. P., 1984, Detection and delineation of subsurface seepage using the spontaneous-potential method: 54th Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysics, Expanded Abstracts, 160-162.

Gremix, 1990, Seismic Refraction Data Processing software, Interpex Inc.

IDL, 1997, Interactive Data Language, Research Systems.

Koester, J. P., Butler, D. K., Cooper, S. S. and Llopis, J. L., 1984, Geophysical Investigation in support of Clearwater Dam comprehensive seepage analysis, Misc. Paper GL-84-3, U.S. Army Engr. Waterways Exper. Station.

Kweon, Y. I. and Jin, M. S., 1974, Explanatory notice of the 1:50,000 geologic map of Korea, Cheongju sheet (Sheet 6623- I). Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resource.

Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer, 1993, Remote Sensing and Remote Sensing and Image Interpretation, Third Edition, John Wiley & Sons. Inc., New York.

Llopis, J. L. and Bulter, D. K., 1988, Geophysical investigation in support of Beaver Dam comprehensive seepage investigation, Tech. Rep. GI-88-6, U.S. Army Engr. Waterways Exper. Station.

Soundpro, 1996, 전기비저항 수직탐사자료처리 소프트웨어, 희송(주).

Verma, R. K., Bandopadhyay, T. K. and Bhui, N. C., 1982, Use of electrical resistivity methods for the study of coal seams in parts of the Raniganj Coalfield(India), Geophys. Prosp., 30, 98-141.

---

1998년 10월 30일 원고접수  
1999년 2월 26일 원고채택