

# 慶尙盆地 彦陽斷層 地域에 對한 電氣比抵抗 探查研究

金仁洙\* · 金鍾烈\*

## Electrical Resistivity Survey in the Eon-Yang Fault Area, Southeastern Korean Peninsula

In-Soo Kim\* · Jong-Yeol Kim\*

**Abstract:** Gyeongsang Basin in the southeastern part of the Korean peninsula is characterized by many fault systems. To decipher the geotectonical evolution of the Korean peninsula and marginal basins in her adjacent areas it is prerequisite to understand the spatial distribution pattern and mutual relationships of these fault systems. Because of difficulties in finding any criterion to recognize the faults in field, their extension and mutual relationships in ages are not very clear yet. As an attempt to find geophysical criteria to recognize the fault, geoelectrical resistivity survey was carried out in this study. With the Wenner configuration four resistivity soundings and twenty seven resistivity profilings were done. The electrode distance used was up to 50m. From the results of the resistivity soundings and boring data of earlier groundwater investigations the depth of alluvial and weathered zone was established to be at most 20m in the study area. In the resistivity profiling low resistivity anomaly zones are detected on every traverse, which are interpreted as caused by fractures, fault clays and mylonites in the fault zone. The width of the fault zone amounts to 0.3-1km. By correlating and connecting the negative anomaly zones from traverse to traverse one can determine the trend of the faultzone and therefore that of fault itself. The recognized fault trend in this way was N15°-20°E and this coincides with the direction of the inferred fault line from earlier geological surface mapping. With the help of this characteristic negative anomaly the existence of another N80°W trending fault was established. This study has shown that geoelectrical resistivity survey can be applied successfully to the problem of tracing fault line insofar as a fault zone has been developed along fault line.

### 1 序 言

近年에 와서 한반도에 대한 板構造論의 적용가능성 여부와 緣邊海(marginal sea)의 成因에 대한 관심이 높아지고 있는 바 이와같은 문제의 해결을 위해서는 무엇보다도 한반도의 東南部, 즉 소위 慶尙盆地에 발달되고 있는 數組의 단층계에 대한 분포양상 및 변위방향의 파악이 선결되어야 할 것이다. 경상분지내 단층들의 분포개황은 오래전부터 1/5만 地質圖幅조사와 항공사진(육군측지부대), 地勢圖분석(Nahm, 1970)을 통하여 비교적 잘 알려지고 있으며 근래 Columbia 호의 원격사진등에 의해서도 이들이 확인된 바 있다. 한편 최근에는 金鍾煥 等(1976)과 Kang(1979a) 및 Kim(1979)이 LANDSAT image를 이용한 tectolines의 분석을 통하여 이들 대부분의 단층들이 지질도에

나타난 것보다도 더 긴 延長을 가졌으리라는 결론을 얻었다. 그러나 전통적인 지질조사방법을 통하여서는 약의추적이 용이하지 못하여 개개 단층의 延長과 각 단층 상호간의 시대관계를 규명하기에 곤란한 실정이다. 우리는 본 연구를 통하여 항공사진판독 및 지형적인 양상으로 미루어 단층의 존재가 확실시되고있는 梁山-彦陽사이의 彦陽斷層地域을 선정하여 電氣比抵抗 探查를 실시, 이 단층지역이 갖는 地球物理學的인 특성을 파악함으로써 차후 단층의 존재여부 및 延長에 대해서 논란이 되고있는 여타지역에 대해 이 방법을 적용할 것을 꾀하였다. 한편 단층의 경사 및 변위방향에 대한 지구물리학적 연구는 우리의 차후 계획에 속하며 이지역의 절리계 분포상황으로부터 古應力場의 방향을 추출하려는 시도로는 李永吉(1980)이 있고 金相旭·李永吉(1981)과 李東雨·朴奉淳(1982)도 관련연구를 실시한 바 있다. 本 研究地域의 地質에 관해서는 李政成·姜必鍾(1963), 김남장 等(1971), 이윤중·이인

\*부산대학교 자연과학대학 지질학과

기 (1972) 및 車文星等(1972)이 있으며 위에서 인용한 논문 이외에 경상분지를 포함한 LANDSAT 영상분석 연구로서 元鍾寬 等(1978) 및 Kang(1979b)이 있다.

2. 研究方法

각종 암석들의 電氣比抵抗값은 많은 증첩을 보이므로(Telford et al., 1976, Keller & Frischknecht, 1966)

전기탐사를 통하여 직접적으로 단층선 양쪽의 岩相차이를 파악하고 이로부터 단층선의 방향을 유추해내는 것은 매우 어렵다. 그러나 경상분지내에서와같이 長大한 단층의 경우에는 상당한 폭을 가진 斷層破碎帶(fault zone)가 수반되었으리라고 예상할 수 있으며 더구나 만약 이 단층이 走向變位斷層(strike-slip fault)인 경우에는 더욱 그러할 것이다(Spencer, 1977). 이와같

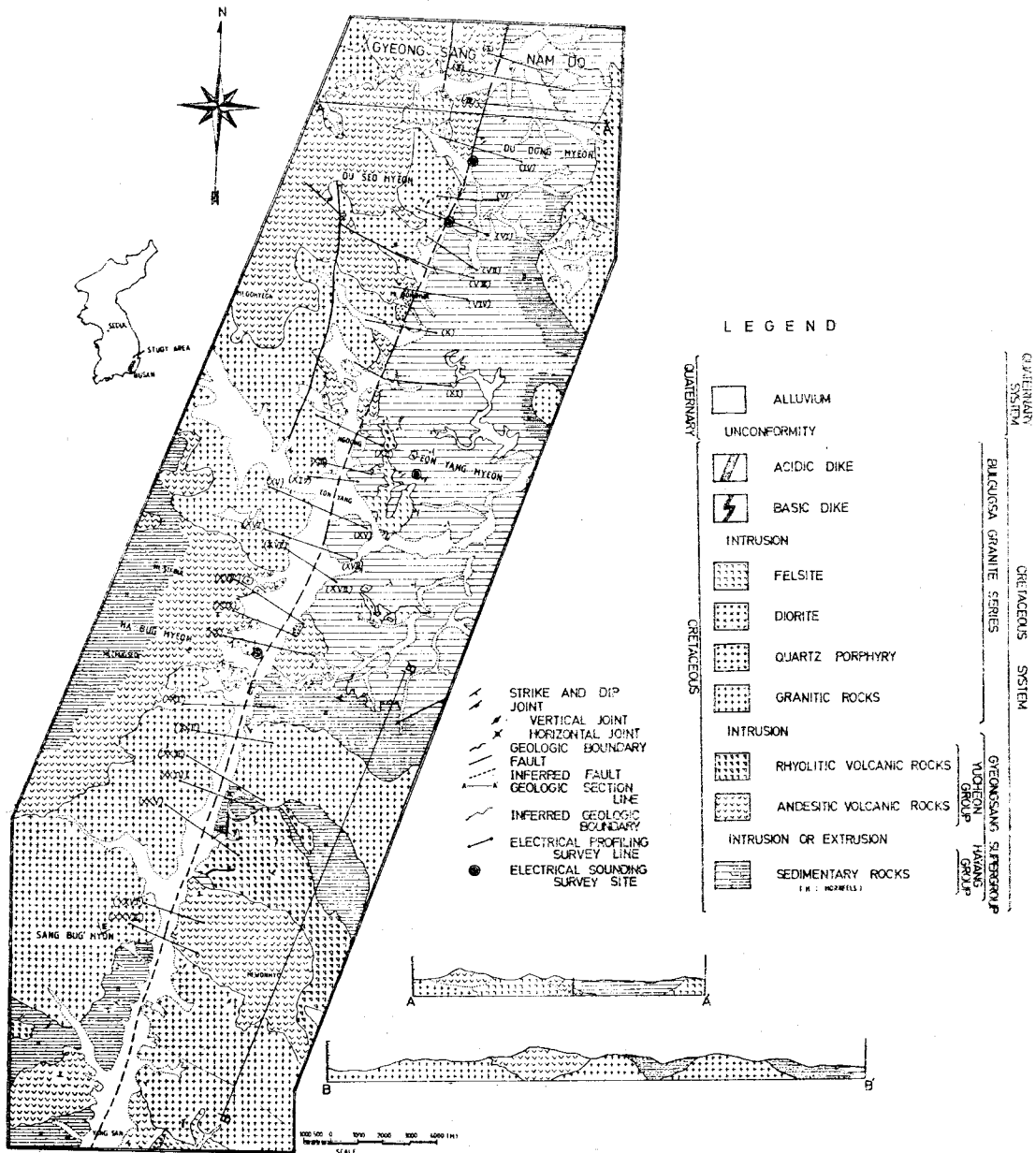


Fig. 1 Geological map of study area and electrical survey location (modified from Cha et al., 1972; Kim et al., 1971).

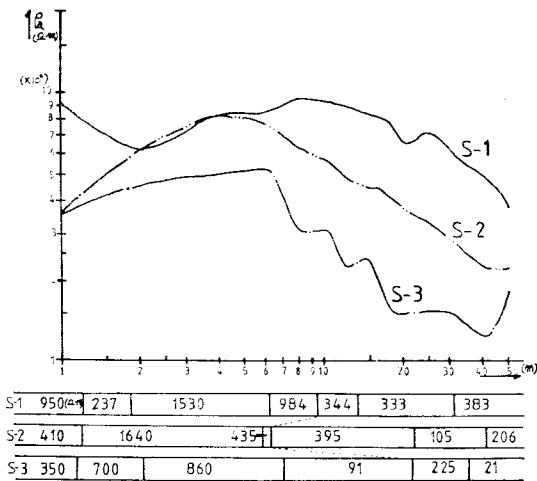


Fig. 2 (A) Results of resistivity soundings and their interpretation.

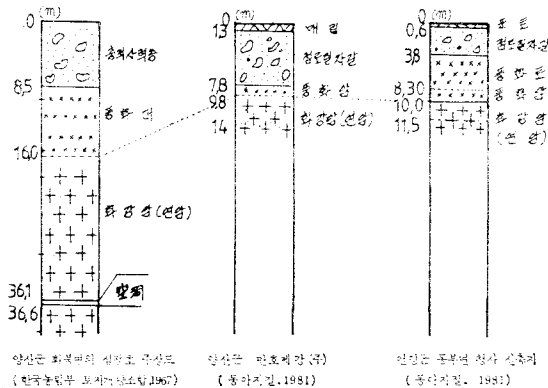


Fig. 2 (B) Boring results of the studied area.

은 단층파쇄대는 주변암석에 비해서 습수비가 높아 낮은 비저항치를 보이게되므로 전기비저항탐사방법에 의한 단층파쇄대 즉 단층선의 추적이 가능하다(Van Nostrand & Cook, 1966). 이와같은 목적을 위한 야외 작업은 1982년 2월말 부터 7월말 사이에 총 4개 지점에 대한 수직탐사(vertical sounding)와 총 27개 測線에 대한 680測點의 수평탐사(horizontal profiling)를 실시하였다(Fig. 1). 사용된 기기는 Soiltest의 R-50C Strata Scout Resistivity Meter와 日本 横河電機의 Yokogawa 3244 Type으로서 탐사깊이는 각각 약 33m와 50m이다. 탐사방법은 해석의 간편과 추후 타지역에 대한 적용을 고려하여 가장 단순한 Wenner 배열법을 선택하였다. 특히 수평탐사에 있어서는 4지점에서 실시한 수직탐사의 결과와 동수산부의 지하수 시추조

사 및 동아지질(株)의 기반암 시추조사의 결과를 근거로 전극간의 간격(a)이 30m가 적합함이 판명되었으나(Fig. 2) 부분적으로 전극간의 간격 a=20m와 a=50m를 병용실시하여 비교하였다. 이 수평탐사의 測線은 해석의 용이를 위해서(Kunetz 1966) Fig. 1에 나타난 바와 같이 예상단층선에 대하여 수직으로 선택하였으며 in-line profiling을 기본으로 하였고 지형의 기복이 심한 곳에서는 broadside profiling 방법을 적용하였다.

### 3 探查結果

#### 3-1 수직탐사

수직탐사는 慶南 蔚州郡 斗西面 언양 종합 두광분교 옆(Fig. 1의 S-1), 斗東面 하동(S-2), 三南面 芳基里(S-3) 및 彥陽面 於音里 소먹이못 옆(S-4)의 네곳에서 실시하였다. 이때 사용한 전극배열법은 Wenner array로서 전극간의 최대간격은 50m에 달하였다. Fig 2(A)에 이 수직탐사의 결과를 兩對數 눈금으로 나타내고 그 아래에 해석의 결과를 보였다. 彥陽面(S-4)에서의 수직탐사는 전극배열공간의 문제상 부득이 저수지가까이에서 실시할 수 밖에 없었는데 그 결과는 해석불능이었기 때문에 Fig. 2(A)에 포함시키지 않았다. 아래의 해석에서 점선으로 표시한 것은 충적층과 기반암의 경계로서 그 깊이는 약 6~20m의 값을 보이고 있다. Fig. 2(B)는 토지개량조합과 동아지질(株)의 시추결과추상도로써 풍화대와 기반암의 경계가 지하 9~16m에 달함을 보이고 있다. 이 시추지점과 본 연구에서 실시한 수직탐사지점은 조사지역내에서 비교적 고르게 분포하고 있으므로 이 지역내의 기반암 깊이는 최대 20m를 크게 초과하지 않을 것으로 결론지을 수 있었다.

#### 3-2 수평탐사

上述한 바와 같이 수평탐사는 Wenner 전극배열법을 이용, 총 27개 測線을 선택하여 실시하였으며 각 측선은 地形과 水系分佈狀況이 허용하는 한 예상단층선 방향에 대해서 수직이 되도록, 또한 길게 연장되도록 노력하였다. 본 지역의 암석분포양상을 기준으로 볼 때 이 측선들은 화산암-퇴적암(前者 西側, 後者 東側), 화강암 및 화산암-퇴적암, 화강암-퇴적암, 화산암-화산암, 화강암-화산암, 화강암-화강암 및 화강암-Hornfels의 7가지 類型으로 분류될 수 있겠는데 이들 각 유형에서 대표적인 탐사결과를 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 橫座標는 電位電極의 중간점을, 縱座標는 外見比抵抗( $\rho_a = 2\pi a \cdot V/I$ )을 半對數 눈금으로 표시한 것이다. 각 측선에 나타난 중앙부의 낮은 異狀帶(negative anomaly)는 (II에서 測點12~14, IV에서 15

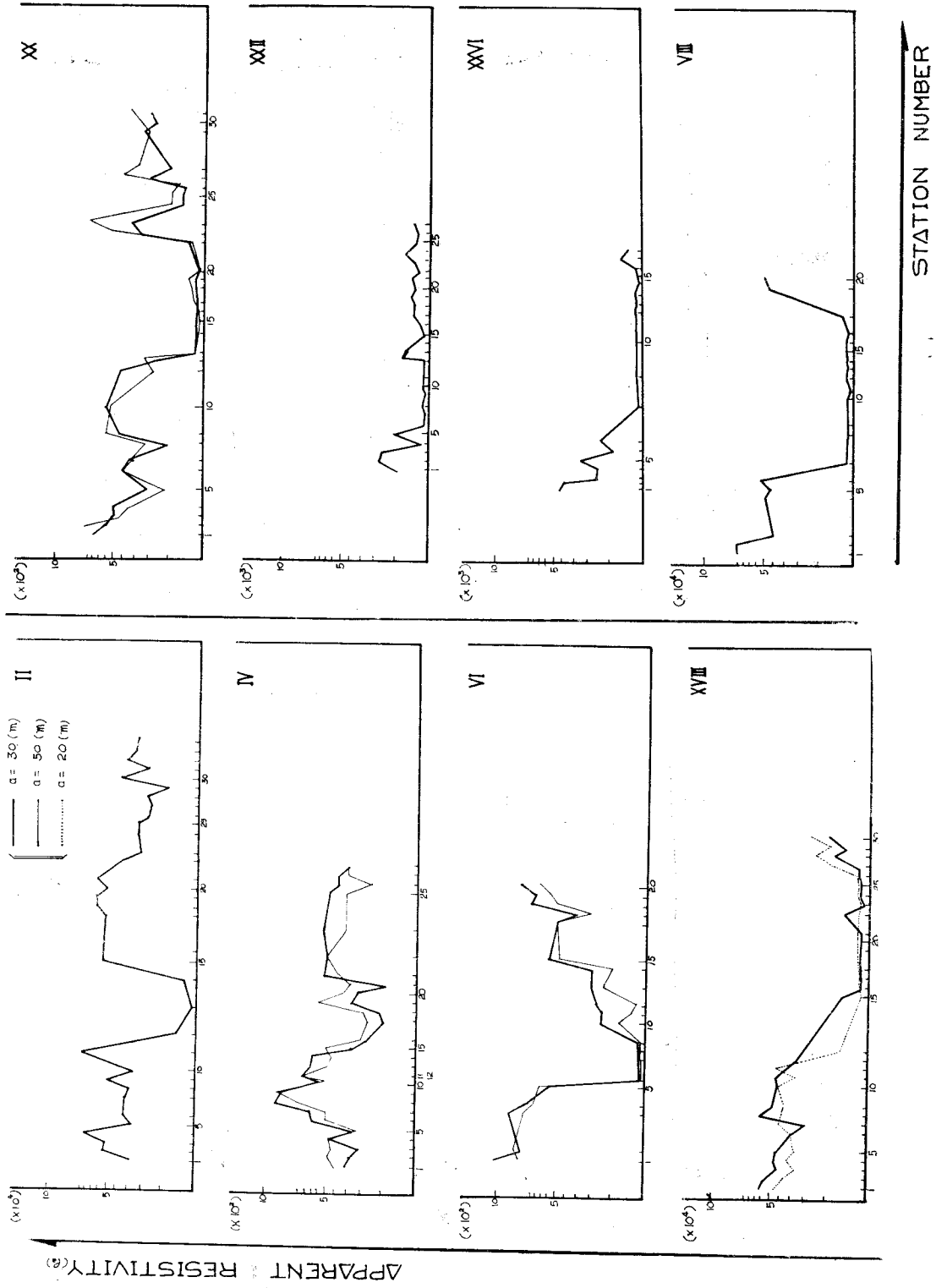


Fig. 3. Typical resistivity profiling results.

Lithology along these profiles is as follows (former: western side of the inferred fault line, latter: eastern side of the inferred fault line):

Profile II: volcanic-sedimentary, Profile IV: granitic and volcanic-sedimentary, Profile VI: granitic-sedimentary, Profile XVIII: volcanic-volcanic, Profile XX: granitic-volcanic, Profile XXII: granitic-granitic, Profile XXVI: granitic-hornfels.

Profile VIII traverses the region where two fault lines intersect.

~18, VI에서 6~9, VIII에서 16~26, XX에서 13~21, XXII에서 6~12, XXIV에서 8~16, XXVI에서 7~18) 단층파쇄대를 나타내는 것으로써 이 파쇄대내의 지하수 및 습수비가 높은 fault clays 나 mylonites 등에 의한 것으로 해석된다. 이 異狀帶가 단층작용의 결과에 의한 것은 언양단층과 또 다른 N80°W 방향의 단층이 교차되는 지점을 통과하는 축선VIII (Fig. 1 참조)에서는 그의 폭이 다른곳에서보다 넓게 (Fig. 3) 나타나는 것으로 보아서도 알 수 있다. 지면관계상 여기에 소개하지 못하는 다른 축선들에서도 단층에상선을 따라 현저한 negative anomaly 帶가 포착되었는데 더욱 자세한 축선별 관측치는 金鍾烈(1983)을 참조하기 바란다.

한편 수평탐사를 실시한 모든 축선을 經, 緯도에 맞도록 正置시켜서 negative anomaly 부분을 서로 연결하면 이 異狀帶는 N15°~20°E의 방향성을 가지면서 帶狀으로 나타나며 이는 지금까지 알려진 언양단층선과 일치된다. 이 이상대의 폭으로부터 언양단층의 파쇄대의 폭이 약 0.3~1 km에 달하였음을 유추할 수 있다.

한편 모든 축선에서 관측된 값들을 이용 等比抵抗曲線圖(equiresistivity contour map)를 작성하면 Fig. 4와 같은 양상을 보인다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 negative anomaly zone을 다시 3區分하여 전체적으로 보면 very low zone이 예상단층선 방향에 일치하는 N15°~20°E의 방향성을 가지고 나타나고 있으며 測線VIII에서는 언양단층에 斜交하는 N80°W방향의 단층이 탐지되고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 結論 및 討議

本 연구는 단층지역에 대하여 電氣比抵抗探查를 효과적으로 적용할 수 있는 가능성을 입증하여 주었다. 본 전기비저항탐사를 통하여 과거 地地質調査로부터 예상되었던 단층(彥陽斷層)이 N15°~20°E의 방향성을 가지고 발달되고 있음이 확인되었으며 그 파쇄대의 폭이 0.3~1 km에 달함이 밝혀졌다. 이 단층파쇄대는 현재의 경부고속도로선과 비교할 때 慶南 蔚州郡 彥陽面 直洞里以南에서는 이와 거의 일치하게, 直洞里以南에서는 약간 동쪽으로 치우치며 이에 평행하게 발달

하고있다. 또한 본 연구를 통하여 地質圖上 慶南 蔚州郡 斗西面 仁甫里 근처에서 N80°W방향으로 발달되고 있는 것으로 추정되었던 단층의 존재도 확실시 되었다. 이는 언양단층과 같은 長大한 단층의 경우 단층선을 따라 파쇄대가 형성되어 주위보다 상대적으로 높은 습수率, 낮은 비저항값을 갖게됨으로써 가능한 것이다. 최근 金永和(1982) 및 Vanderberghe(1983) 역시 비슷한 연구를 실시하여 단층 및 구조선의 파악에 전기비저항탐사를 적용할 수 있음을 보여주었다.

한편 본 연구의 대상지역인 언양단층 지역의 경우 단층파쇄대를 따라 河川(梁山川)이 발달되고 있기 때문에 電探에서 나타난 negative anomaly가 全의으로 河床沖積層의 영향인 것으로 간주되기 쉽다. 그러나 우리는 다음과 같은 사실들로 미루어 보아 낮은 比抵抗帶가 층적층의 영향이라기 보다는 그 하부의 단층파쇄대에 의한 것으로 해석한다.

① 본 연구에서 사용한 기기의 탐사깊이(33m, 50m)가 층적층(및 풍화대)의 두께(20m)를 초과하고 있다.

② 電探時 外見比抵抗値에 가장 큰 영향을 미치는 지하층의 범위는 전류전극간의 거리의 0.01~0.03 배의 깊이에서부터 0.5 배 깊이에 달하는 부분인 바(Sorokin, 1953) a=30m를 기준으로 하였을 때 기반암의 영향이 60% 이상을 차지하고 있다.

③ 많은 測線에서 a=30m와 a=50m를 병용 실시하였으나 anomaly의 모양은 두 경우에서 모두 일치하였다. 이는 두 경우에서 모두 일치하였다. 이는 두 경우에서 anomaly의 근원이 同一하다는 것을 말하며 a=50m의 경우 기반암의 영향은 76%를 초과한다. 이에 대해서는 앞으로 더욱 성능이 우수한 기기를 사용하여 기반암의 기여도를 높이면서 검토해볼 필요가 있다.

④ 언양단층과 거의 직교하는 N80°W 방향의 단층의 경우 낮은 비저항대가 層적층의 분포와 거의 무관하게 나타나고 있으며 기타 많은 다른 축선에서도 낮은 비저항대와 層적층의 분포양상이 일치하지 않고 있다. 또한 金永和(1982)는 언양단층의 연장인 巨濟郡 層적층 지대에서 전기비저항탐사를 실시하였으나 별다른 層적층 효과를 보고하지는 않았다.

⑤ 崔炳洙(1972)은 팔개천에서 層적층이 두꺼울수록 비저항치가 높아짐을 관찰하였다. 이에 의한다면 두꺼운 層적층지대에서는 positive anomaly가 나타나야 할 것이다.

⑥ Vandenberghe(1983) 등의 제 4기 層적층지역에서의 現場(in-situ)전기비저항 측정결과에 의하면 砂礫層은 최대비저항치를, marshy clays나 loam은 최소저항

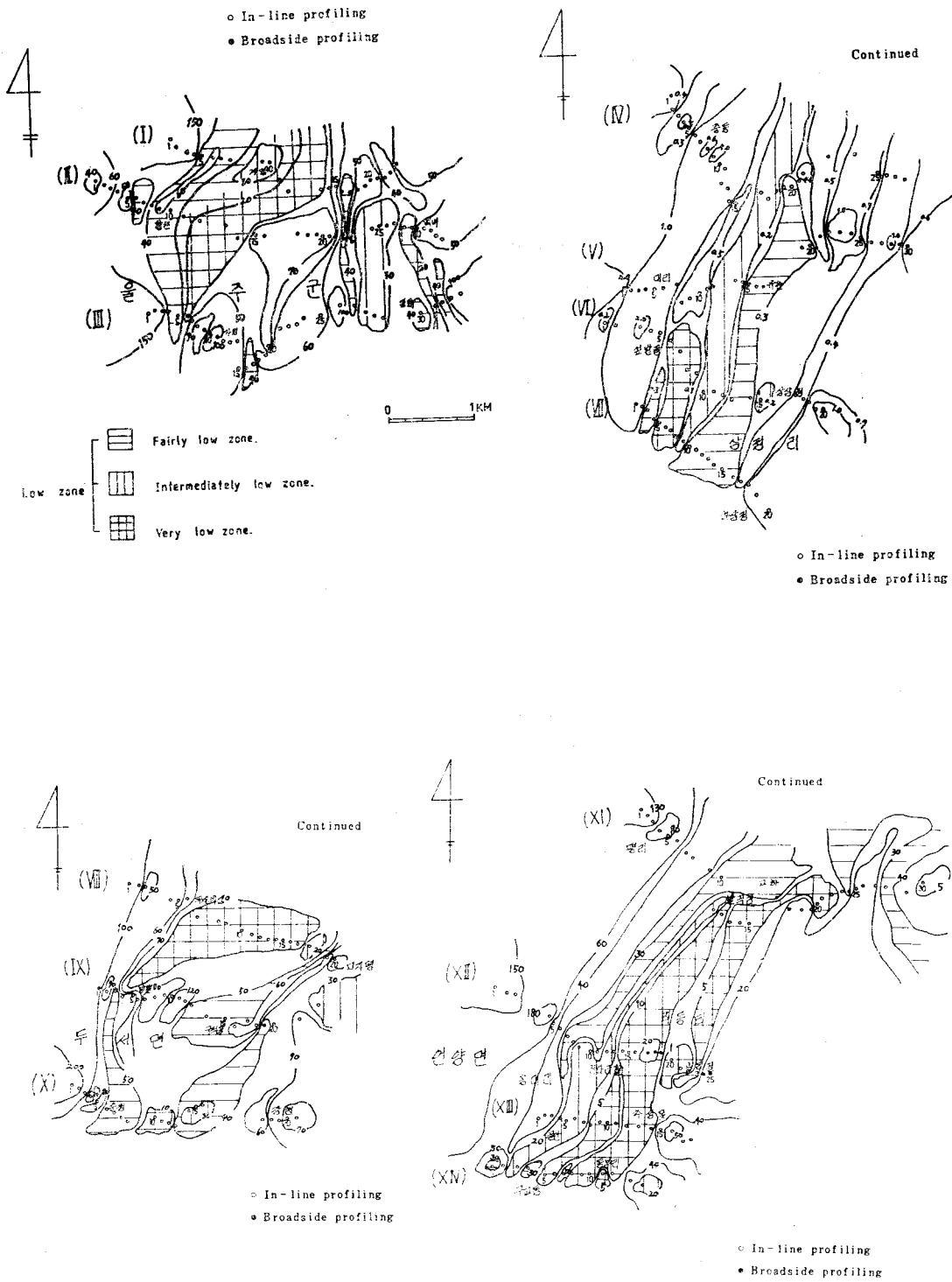


Fig. 4 Equiresistivity Contour map(a)

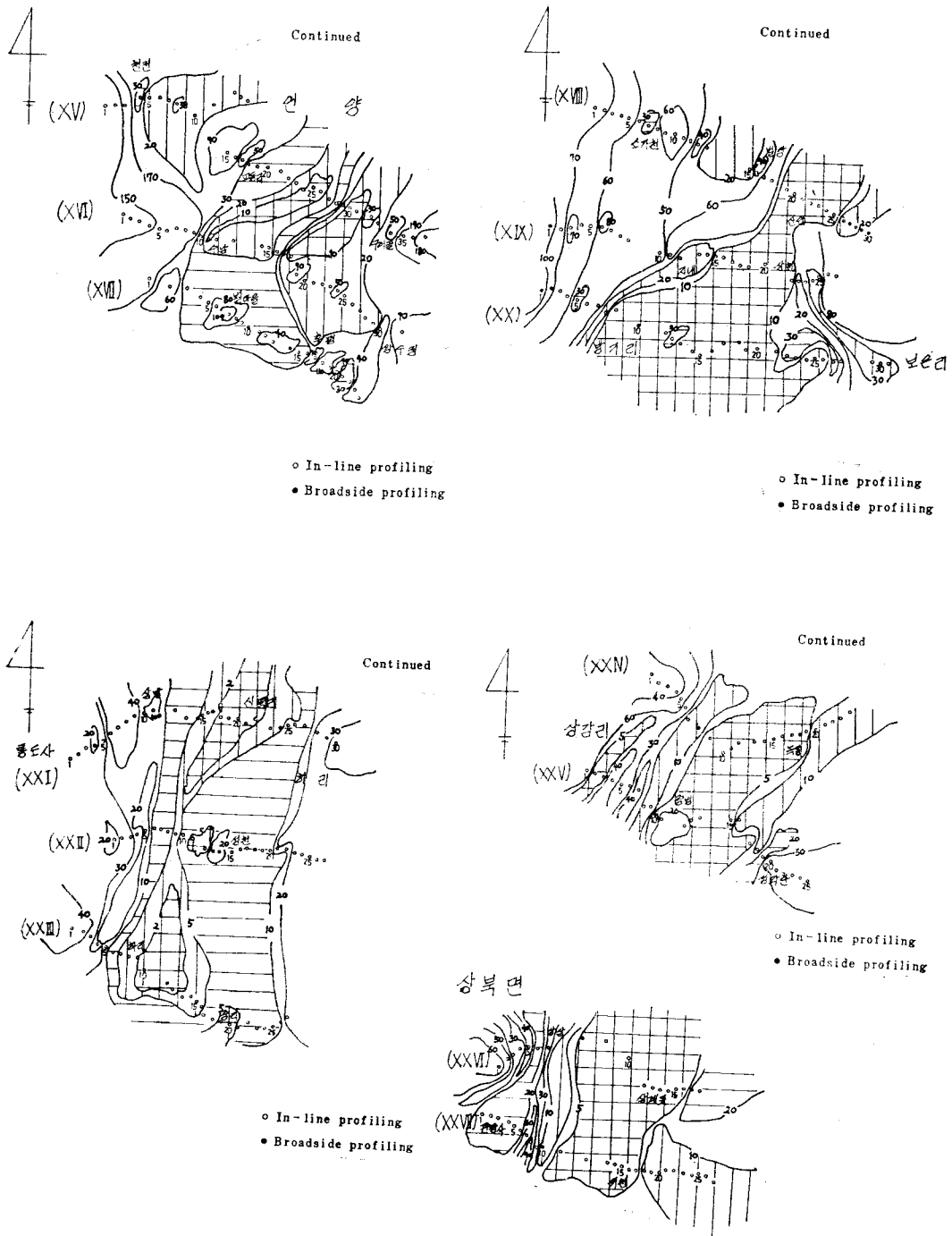


Fig. 4 Equiresistivity Contour map(b)

치를 보였다. 따라서 우리는 砂礫의 하천퇴적물지역에서는 positive anomaly 를, 단층파쇄대내의 細粒質 fault clays 나 mylonites 지대로부터는 negative anomaly 를 기대할 수 있다.

이상으로부터 본 전기비저항탐사에서 나타난 negative anomaly 는 층지층보다는 단층파쇄대에 의한 것으로 결론지을 수 있으며 이와같은 파쇄대가 형성되어 있는 한 전기비저항탐사는 단층선을 추적하는 간편하고 유용한 수단이 될 수 있을 것이다.

### 5. 謝辭

우리는 field work 을 도와준 고태열, 이강희學士 및 여러 在學生 그리고 Yokogawa 기기 및 試錐 data 를 제공하여준 동아지질(株)에 깊은 감사를 드린다.

### 參 考 文 獻

김남장 · 권영일 · 진명식(1971) 한국지질도 毛良圖幅, 국립지질조사소.

金相旭 · 李永吉(1981) 楡川盆地 北東部 白堊西 火山岩類의 火山岩石學 및 地質構造. 광산지질 제(4권, 35-49).

金永和(1982) 構造線 豫想地域에 있어서의 物理探查適用例, 지질학회지 제18권 제 2 호, 73-82.

金鍾烈(1983) 彦陽斷層地域에 대한 電氣比抵抗 探查研究, 釜山大學校 大學院 理學碩士學位論文.

金鍾煥 · 姜必鍾 · 林正雄(1976) LANDSAT-1 映像에 의한 嶺南地域 地質構造와 鑛床과의 關係 研究, 지질학회지 제12권 제 2 호, 79-89

元鍾寬 · 姜必鍾 · 李尙憲(1978) 慶尙盆地 構造解釋과 Igneous Pluton 에 관한 研究. 지질학회지 제14권 제 3 호, 79-92

李東雨 · 朴奉淳(1982) 浦項盆地의 古應力場, 대한지질학회지 제37차 학술 발표회 발표논문요약.

李旼成 · 姜必鍾(1963) 한국지질도 梁山圖幅, 국립지질조사소.

이윤중 · 이인기(1972) 釜山市一圓(彦陽一東萊地域)의 火成活動과 鑛化作用에 관한 研究, 鑛山地質 제 5

권, 151-162

車文星, 金正珍, 尹銑(1980) 부산시 일원의 火山活動과 鑛化作用에 관한 研究, 151-162

崔炳烈(1972) 慶北 東明面 팔개천 流域의 沖積層에 관한 研究, 지질학회지 제 8 권 제 3 호, 162-172

Kang, P. C. (1979a) Geological Analysis of Landsat Imagery of South Korea (I). J. Geol. Soc. Korea, V. 15, 109-126.

(1979b) Geological Analysis of Landsat imagery of South Korea (II). J. Geol. Soc. Korea, V. 15, 181-191.

Keller, G. V. & Frishknecht, F. C. (1966) : Electrical Methods in Geophysical Prospecting, Pergamon.

Kim, S. K. (1979) Analyses of Lineaments Extracted from LANDSAT Images of the Korean Peninsula. J. Earth Sci. Nagoya Univ, V. 26/27, 49-74.

Kunetz, G. (1966) Principles of Direct Current Resistivity Prospecting, Gebuder Borntraeger, Berlin.

Nahn, G. Y. (1970) The Tectonics in Korean Peninsula Shown on the 1/250,000 Scale Relief Maps. J. Geol. Soc. Korea, V. 6, 53-60.

Sorokin, L. W. (1953) Lehrbuch der geophysikalischen Methoden zur Erkundung von Erdolvorkommen, VEB Verlag Technik Berlin.

Spencer, E. W. (1977) Introduction to the Structure of the Earth, 2nd ed., McGraw-Hill.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Shriff, R. E. & Keys, D. A. (1976) Applied Geophysics, Cambridge Univ. Press.

Vandenberghe, J. (1983) Geoelectric Investigations of a Fault System in Quaternary Deposits, Geophysical Prosp., V. 30, 879-897.

Van Nostrand, R. G. & Cook, K. L. (1966) Interpretation of Resistivity Data, Geological Survey Professional Paper 499, U. S. Government Printing Office, Washington.