지구물리 제 3권 제 4호, p. 215-226, (2000년 12월)

탄성파 굴절법을 이용한 경주시 천북목장 부근의 기반암 분포 연구

이광자 · 김기영
한국해양연구원 해저유물자원연구센터 · 한국해양연구원 해저유물자원연구센터

요 약

갈곡단층이 통과하는 경주시 천북목장 부근의 단구면상에서 기반암의 분포를 파악하고, 비교적 규모가 큰 파쇄대를 인지하기 위하여 굴절법 탐사를 실시하였다. 동서방향으로 길이 72 m인 측선 1과 남북방향으로 각각 72 m, 36 m인 측선 2와 3의 굴절파 측선을 따라 5 kg의 해머로 발생시킨 지진파를 3 m 간격으로 배열된 8 Hz 수직지오폰 12 개를 이용하여 디지털 방식으로 192 ms 기록하였다. GRM 방법으로 해석한 결과, 속도와 두께는 각각 250 m/s, 평균 2.1 m이며, 표층의 하부에는 속도가 약 1,030 ~ 1,400 m/s 정도이고 두께가 4.6 m인 제 4기 후기 자갈층이 존재한다. 이 층의 하부는 기반암으로서 속도 2,100 ~ 2,200 m/s의 제 3기 흑색 이암이 분포하는 것으로 해석된다. 측선 1과 측선 3의 일부구간은 굴절면의 깊이 차이가 수십 cm 이상으로 나타나 제 4기 단층의 존재 가능성을 지시한다. 단구의 상단에 해당하는 측선 1의 동쪽 구간과 측선 3에서는 기반암 굴절파가 기록되지 않은 점으로 보아, 측선 1의 서쪽부분에 대규모 단층이 존재할 가능성이 매우 높다.

주요어: 굴절파 탐사, 갈곡단층, 기반암, GRM, 제 4기 단층

Kwang Ja Lee and Ki Young Kim, 2000, A Seismic Refraction Study on the Basement near the Chonbuk Ranch in Gyeongju. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 3, n. 4, p. 215-226

ABSTRACT: In order to map the acoustic basement and to locate fracture zones in the Galgok fault, seismic refraction data were acquired near the Chonbuk ranch in Gyeongju. Along three profiles of 72 m (Line 1), 72 m (Line 2), and 36 m (Line 3) long, seismic signals were generated by a 5 kg hammer. The refraction data were collected by employing twelve 8 Hz geophones at an interval of 3 m and recording time of 192 ms at a sampling rate of 0.2 ms. The data are interpreted using GRM method. The top layer (Layer 1) is characterized as the velocity of approximately 250 m/s and thickness of approximately 2.1 m. This layer is regarded as a soil layer. Underneath Layer 1 lies unconsolidated layer (Layer 2) whose refraction velocity is determined to be 1,030 ~ 1,400 m/s. Layer 2 is approximately 4.6 m thick and is regarded as a Quaternary gravel layer. The third layer (Layer 3) has the mean refraction velocity of 2,100 ~ 2,200 m/s and is interpreted to be the acoustic basement. In some parts of Lines 1 and 3, the difference in depth to the top of Layer 2 is greater than 20 cm indicating the possibility of existence of Quaternary faults. Along Line 3 and the eastern part of Line 1, refracted energy from the acoustic basement was not recorded. This may highly indicate that a relatively large scale fault exists under the western part of Line 1.

Key words: Refraction survey, Galgok fault, basement, GRM method, Quaternary fault

(Kwang Ja Lee, Marine Archeology & Georesources Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, 425-600, Korea, E-mail: kjlee@kordi.re.kr; Ki Young Kim, Department of Geophysics, Kangwon National University, 192-1, Hyoja-2-dong, Chunchon 200-701, Korea, E-mail: kykim@cc.kangwon.ac.kr)

1. 서 론

천부단층의 위치 및 물리적, 형태적 특성을 파악하기 위해서는 높은 분해능을 갖는 지구물리학적 조사방법, 즉 미소중력 및 자력탐사(김기영 · 이광자, 1998; Kwon *et al.*, 1995), 전기비저항 탐사(김영화 · 이기화, 1988; Bogoslovsky · Oglivy, 1977; Olorunfemi *et al.*, 1986), 지오레이다(박상규, 1999) 및 고분해능 탄성파 굴절법, 반사법 등이 사용된다. 이 중에서 탄성파 굴절법은 단층에 의한 기반암면 형태변화(김기영 외, 1999; 김기영 · 우남철, 1999)와 속도 이방성(김기영 외, 1998; 이광자 외, 2000)을 효과적으로 탐지할 수 있다. 이 방법은 탐사지역의 단층 및 파쇄대의 위치를 신속히 파악할 수 있기 때문에 비교적 규모가 큰 단층을 탐지하는데 효과적으로 활용될 수 있으나, 해석과정이 그리 용이하지 않다는 특성이 있다(Palmer, 1980).

기반암 상부 경계면까지의 깊이를 구하기 위한 탄성파 굴절법으로는 절편시간법(intercept time method), 파면법(wavefront method), 지연시간법(delay time method) 등이 사용되어 왔다. 굴절면의 경사가 10° 이내인 경우 간편하게 적용할 수 있는 장점을 지닌 지연시간법을 일반화시킨 GRM(Generalized Reciprocity Method) 해석방법은 탄성파 굴절법이 갖는 가장 큰 제약인 저속도층 및 숨은층 문제를 해결할 수 있고, 굴절면의 경사를 20° 까지 다룰 수 있기 때문에 전세계적으로 가장 널리 사용되고 있다(김기영, 1999; 손호웅 외, 1999). 국내에서는 김기영 · 우남철(1998a, 1998b, 1999)이 GRM 해석방법을 적용하여 양산단층 지역의 천부 단층인지에 관하여 연구한 바 있으며, 김기영(1999)은 컴퓨터 모델링을 통하여 GRM 해석방법의 특성을 분석하였으며, 김기영 · 우남철(1999)은 기반암 '구배변화 지시자'를 이용하여 구한 단층의 위치가 고해상도 반사파 단면상의 단층위치와 대체로 일치함을 밝힌 바 있다. 김기영 외(1999)는 GRM 해석방법을 적용하여 전라북도와 전라남도 사이의 섬진강변에서 관로매설을 위한 지반구조 및 탄성파 속도 등 깊이 수 m 이내의 지질정보를 밝힌 바 있다.

이 연구는 울산단층지역 내의 제4기단층 연구의 일환으로, 1999년 2월 울산단층의 가지단층인 갈곡단층이 통과하는 경주시 천북목장 부근의 단구면상에서 12 채널 고분해능 탄성파 굴절법을 이용하여 기반암의 분포를 파악하고, 비교적 규모가 큰 파쇄대의 존재를 밝히고자 한다.

2. GRM 해석법의 이론적 배경 고찰

GRM 해석방법의 핵심적인 이론은 Palmer(1980)에 의해 이미 발표된 바 있으며, 이를 간단히 소개하면 다음과 같다. GRM 해석방법의 핵심은 속도분석 함수(velocity analysis function)와 시간-깊이 함수(time-depth function)를 구하는 것이다. 속도분석 함수 t_v는

$$t_v = (t_{AY} - t_{BX} + t_{AB})/2, \qquad (1)$$

로 정의되며, 여기서 X와 Y는 특정 지오폰의 위치, A와 B는 각각 순행 및 역행 발파시 파원의 위치, G는 X와 Y의 중간지점을 각각 나타내며 (Fig. 1), t_{AY}와 t_{BX}는 순행 및 역행 발파시 도달시간, t_{AB}는 역행주시를 나타낸다. 이 속도분석 함수는 특정 지오폰 간격 XY값이 적절할 경우 굴절면의 형태와 상관없이 직선으로 나타나며, 이 직선의 기울기

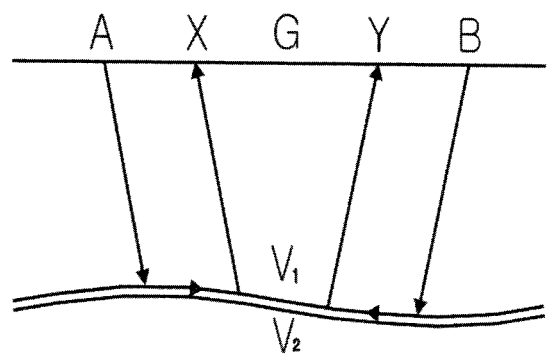

Fig. 1. Schematic diagram of a two-layer model and ray-paths.

$$\frac{d}{dx} t_v = \frac{1}{V'_n} \qquad (2)$$

는 굴절면의 겉보기 속도를 나타낸다. 여기서 V'_n는 기반암면의 겉보기속도이다.

X와 Y의 중간점 G에서의 시간-깊이 함수 t_G는

$$t_G = [t_{AY} + t_{BX-(t_{AB}} + XY/V_n')]/2 \qquad (3)$$

으로 정의되며, 이 시간-깊이 함수에 깊이변환 인자(depth conversion factor)

$$V_{jn} \simeq \frac{V_n' V_j'}{\sqrt{[V_n'^2 - V_j'^2]}} \qquad (4)$$

를 곱하여 굴절면까지의 연직거리(굴절면의 경사가 크지 않은 경우, 깊이에 해당)를 구한다. 여기서 V_n'은 기반암면의 겉보기속도이며, V_j'은 기반암면 상부에 놓인 j번째 굴절면의 겉보기속도를 나타낸다.

3. 주변지질

이 논문의 조사연구 지역은 울산단층이 통과하는 경상북도 경주시 천북면 갈곡리(천북목장) 일대로 경상분지 동부에 위치하며, 울산단층의 가지단층(subsidiary fault)인 갈곡단층이 통과한다(Fig. 2). 천북목장에서 남서쪽으로 약 250 m 정도 떨어진 곳에 조사지역이 위치하고 있으며, 조사지 동편에는 고도 400 m에 달하는 남북방향의 산지가 넓게 분포하고 있다. 조사지는 고도 100 ~ 150 m 정도의 구릉을 구성하고 있으며, 동측의 산지에서 발원된 선상지 퇴적층이 분포한다. N30°E의 방향을 갖는 선상지 퇴적층의 전단부(front)는

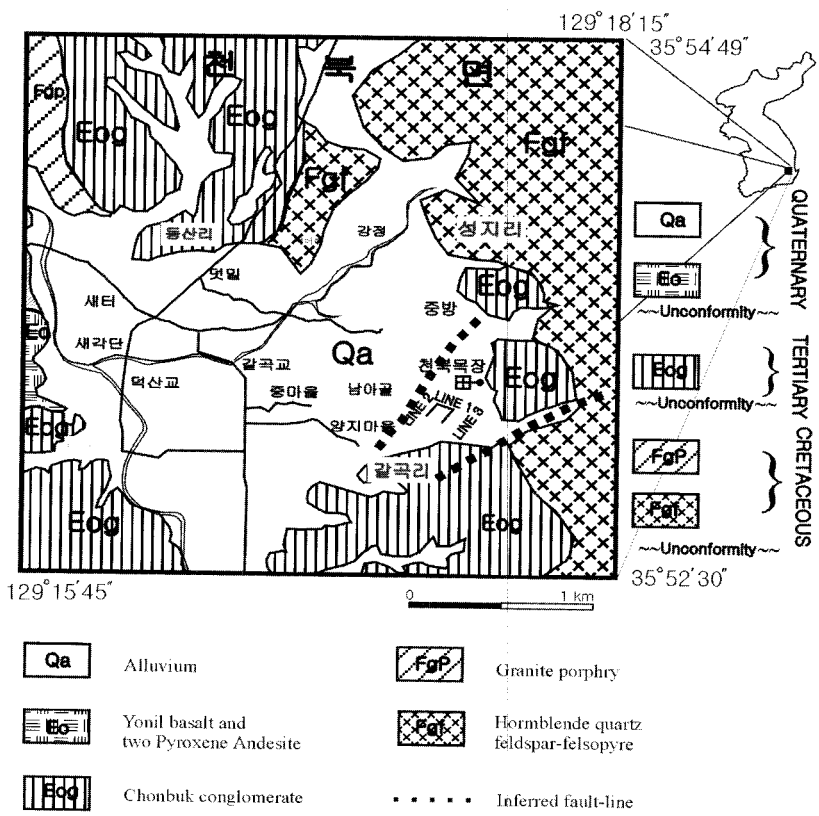

Fig. 2. Simplified geologic map around the survey area (modified from KIGAM, 1998).

제 4기 지층의 단층애(fault scarp)와 같은 지형기복을 보인다(경재복 외, 1998). 항공사진에 의하면 조사지 부근에는 제 4기에 형성된 것으로 추정되는 북북동 내지는 북동 방향의 2 개의 선구조선이 뚜렷하게 판독된다(한국자원연구소, 1998).

조사지역 부근 지질도는 해방 후 새로 발간되지 않았으며, 일정시대에 발간된 1:50,000 의 연일도폭만이 존재한다(조선총독부, 1922). 조사지역의 지질은 남북방향의 단층곡을 따라 연일층군이 기반암으로 분포하며, 이들을 제 4기의 선상지 퇴적층이 부정합으로 피복하고 있고, 최상위에는 고토양층이 덮고 있다(한국자원연구소, 1998). 조사지역의 북서쪽 및 남동쪽에는 주로 제 3기 연일층군의 천북역암층과 단구를 구성하는 역층이 넓게

분포하며, 북쪽 및 서쪽에는 백악기 화강반암 및 제 4기 연일화강암이 위치하고 있다(Fig. 2). 경재복 외(1998)에 의한 트렌치 연구결과, 조사지 지층은 상부로부터 표토, 신선한 역층과 황색토양, 황갈색토, 명갈색토, 적색토, 저풍화 역층, 고풍화 역층, 흑색 이암으로 구성되어 있다.

4. 자료획득

1999년 2월 경상북도 경주시 천북면 갈곡리(천북목장) 부근에서 실시한 굴절파 조사측선은 예상 단층선과 거의 수직이 되는 길이 72 m의 측선 1을, 예상 단층선에 평행한 측선 2(측선길이 72 m)와 측선 3(측선 길이 36 m)을 설정하였다(Fig. 3). 구릉의 경사방향인 측선 1은 최대고도 차이가 12.4 m에 달하여 지형상 기복이 심한 편이나, 구릉의 아래와 위쪽에 구릉과 평행한 방향으로 놓인 측선 2와 3의 경우는 고도차이가 각각 0.9 m와 0.7 m로 거의 평탄한 편이다(Fig. 4).

자료획득 당시 조사지는 농한기라 경작소음이 거의 없었으나, 간헐적으로 지나가는 비행기나 경운기의 소음 및 바람으로 인한 잡음이 수신되었다. 이러한 경우에는 기록을 일시 중지함으로써 신호/잡음비가 최대가 되도록 하였다. 그러나 측선 1의 측점 13부터 24번까지는 신호/잡음비가 낮아 자료처리에서 제외시켰다(Fig. 3).

측점의 위치 및 상대고도는 위성위치측정 시스템(GPS, Global Positioning System)과 광파거리 측량기를 이용하여 결정하였다. 각 측선의 양끝점에 GPS를 수 시간동안 고정 설치하여 1 초 간격으로 기록한 후, 기록된 위치자료들을 평균함으로써 오차범위를 수 m 이내로 줄였다. 각 타격점 및 지오폰 측점은 줄자를 이용하여 정확히 수평위치를 선정한 후, 스웨덴 Geotronics AB사의 Geodolite 506 모델의 광파거리 측량기를 사용하여 상대고도를 측정하였다. 측선 1의 경우에 동쪽이 높고 서쪽으로 갈수록 낮아지는 지표고도 변화를 보이며, 측선 2와 3은 완만한 양상을 보인다.

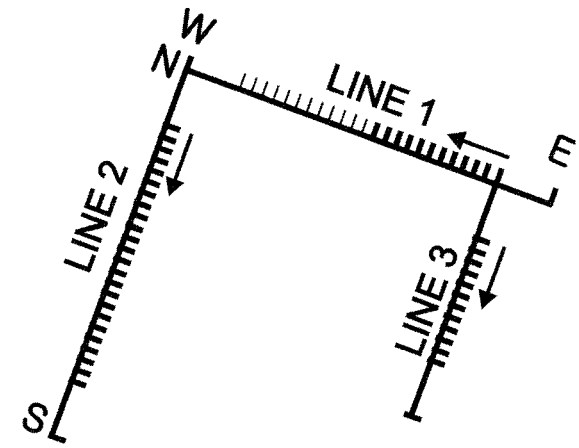

Fig. 3. Profiles for the refraction survey.

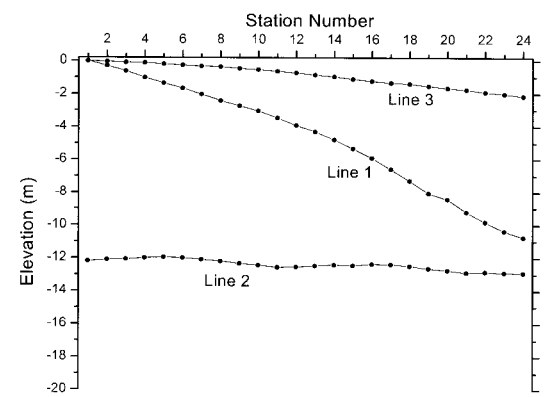

Fig. 4. Elevation for the refraction survey.

Table 1. Acquisition parameters for the refraction survey.

SOURCE	
Type	5 kg hammer aluminum plate (16×16×2.5 cm)
Vertical Stack	100 %
RECEIVER	
Type	8-Hz geophones
Interval	3 m
RECORDER	
Instrument	BISON 8012A
Recording Length	192 ms
Sampling Interval	0.2 ms
Analog Filter	off
Cutoff Frequency	35 ~ 1000 Hz
Dynamic Range	48 dB (8-bits A/D converter)
LAYOUT	
Type	In-line, Reverse
Trace Interval	3 m
Near-trace Offset	3 m
Far-trace Offset	15 m
# of channel	12

탄성파 기록계는 미국 Bison Instruments사의 GeoPro 8012A 디지털 기록계를 이용하여 자료를 획득하였다. 모든 측선에서 0.2 ms의 샘플간격으로 192 ms의 기록시간 동안 35 ~ 1,000 Hz의 주파수 범위를 기록하였다. 자료획득 당시 추가적인 아날로그 필터는 사용하지 않았다. 파원으로는 사용하기 간편하며 효율적인 해머를 사용하였다. 5 kg의 해머를 지면에 수평으로 놓인 16×16×2.5 cm 크기의 알루미늄 판에 수직으로 타격하여 소규모의 인공지진파를 발생시켰다. 지진파 수신은 Mark Products사의 8 Hz의 모서리 주파수(corner frequency)를 갖는 지오폰을 사용하였다. 지오폰은 지면의 움직임을 잘 감지할 수 있도록 지면과 직각이 되도록 설치하였다. 타격은 수신기전개(geophone spread)당, 양끝 지오폰 위치와 이로부터 밖으로 15 m 떨어진 2 개 지점, 그리고 전개의 중앙지점 등 총 5 개 지점에서 타격하였다. 측선 1과 측선 2에서는 각각 10 개 타격자료를 기록하였고, 측선 3에서는 5 개 타격점에서 타격하여 총 300 개 트레이스를 획득하였다. 상세한 자료획득 변수를 Table 1에 요약하였다.

5. 자료처리

기초 자료처리는 주로 미국 Parallel Geoscience Coporation사 제품인 SPW (Seismic Processing

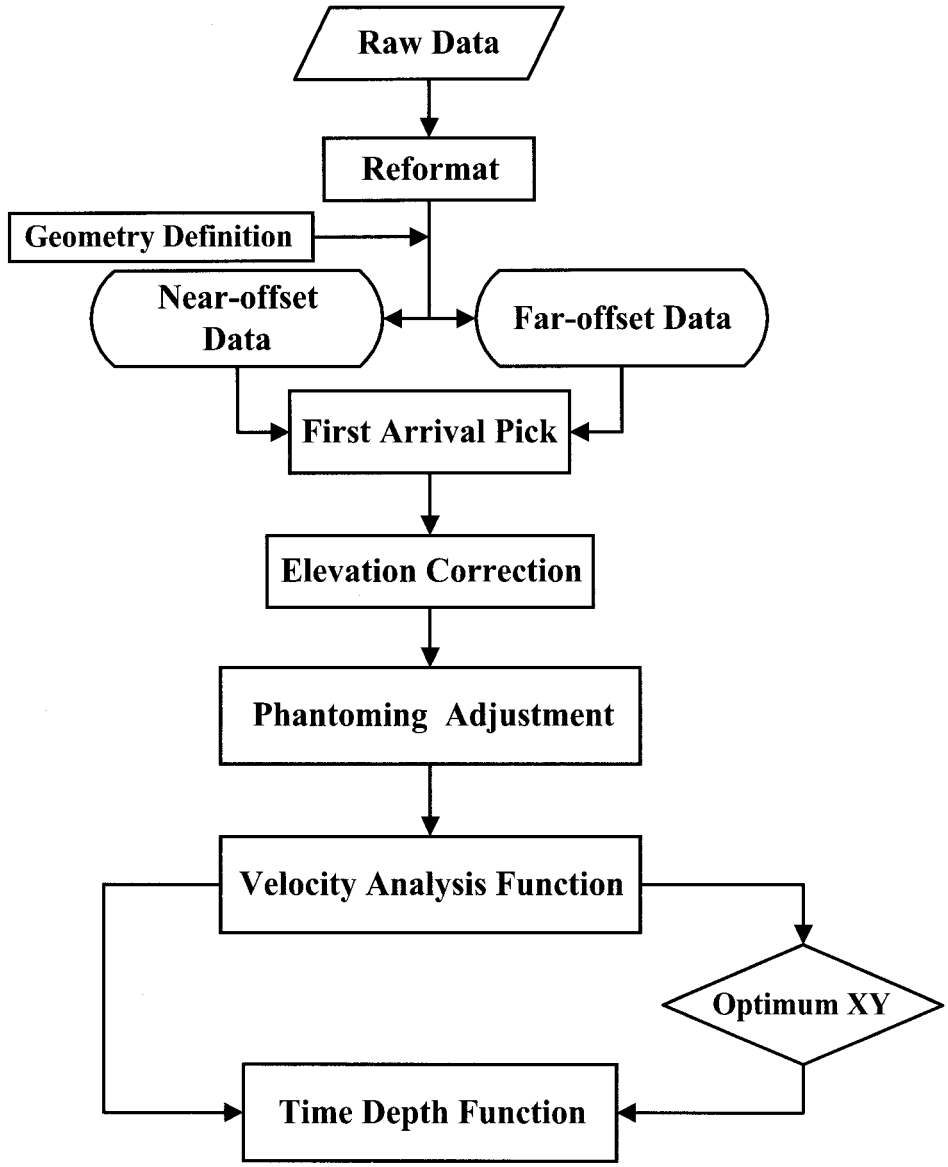

Fig. 5. Processing sequence for the refraction data.

Workshop)를 사용하였으며, Fig. 5에 주요 자료 처리 순서도를 나타내었다. 총 60 개의 기록자료의 SEG-1 기록포맷을 ASCII 형태로 변화시킨 후, 측점별로 샘플률, 기록시간, 파원과 지오폰 위치 등에 관한 기초 정보를 컴퓨터에 입력시키고 옾셋에 따라 분류하였다.

Fig. 6은 각 측선들의 초동시간에 고도보정(elevation correction)을 실시한 후의 도달시간을 보여준다. Fig. 6a와 6c에서는 외곽에서 발파한 파의 도달시간(reciprocal time)이 일치하지 않음을 보여주는데, 이는 양단발파시 타격점이 달라지면서 파선경로(ray-path)가 달라지기 때문이

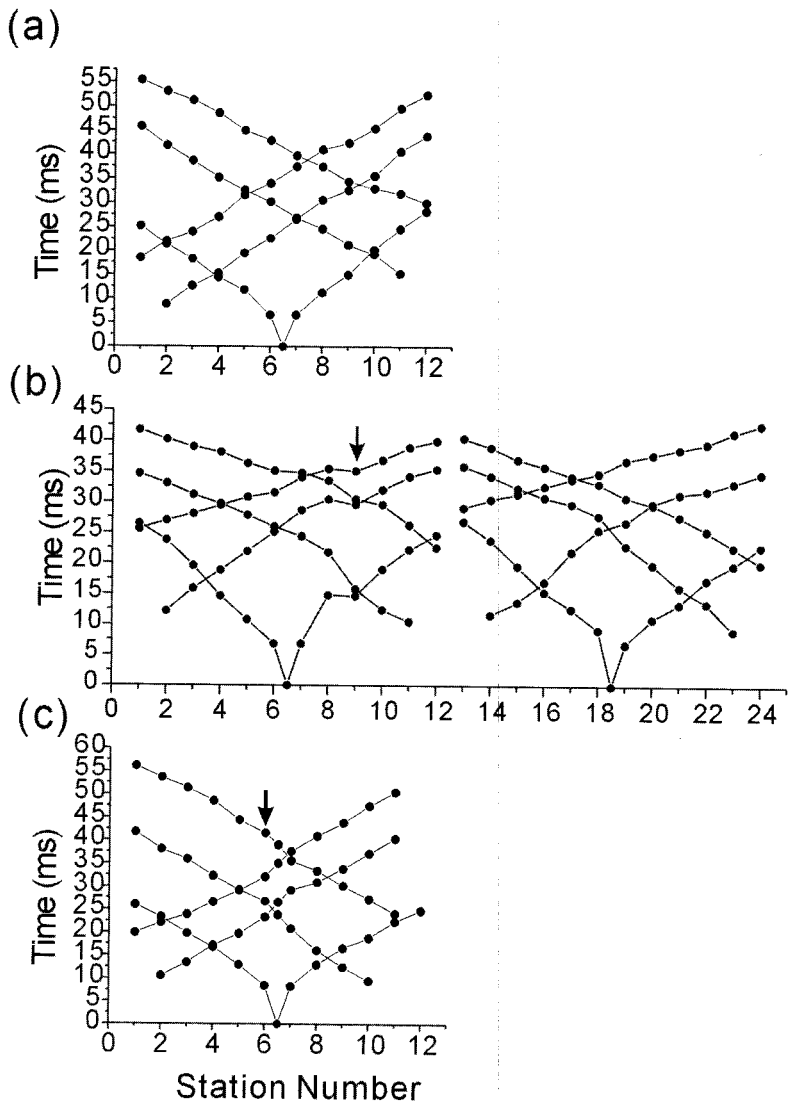

Fig. 6. Travel-time picks for Lines (a) 1, (b) 2, and (c) 3.

다. Fig. 6b에서 '↓'으로 표시한 측점 9번 부근과 Fig. 6c의 측점 6번 부근에서 경사변화가 심한 굴절면의 주시곡선 특성을 보여, 비교적 큰 규모의 수직낙차를 갖는 단층이 존재할 가능성을 제시한다.

동일한 경계면에서 굴절된 파의 근거리 초동시간(t_n)과 원거리 초동시간(t_f)의 차이(Δt)를 최소자승법으로 구하고 t_f에서 Δt를 빼주어 구한 t_n'을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 8은 t_n' 값들을 식 (1)을 대입하여 구한 속도분석함수로, XY값이 0 m부터 9 m까지 3 m 간격으로 구한 결과를 보여준다. 신호/잡음비가 낮은 측선 1의 서쪽 수신기배열 구간을 제외한 전구간의 적정 XY값은 구간별로 다소 차이는 있으나, 전 구간에 걸쳐 가장 잘 맞는 3 m로 택하였다. XY = 3 m를 이용하여 구한 측선 1의 굴절면의 평균속도는 1,038 m/s, 측선 2는 2층 및 3층의 굴절면의 평균속도는 1,227 m/s와 2,152 m/s, 측선 3은 1,031 m/s로 각각 계산된다.

측점 위치별로 굴절면의 시간깊이는 속도분석

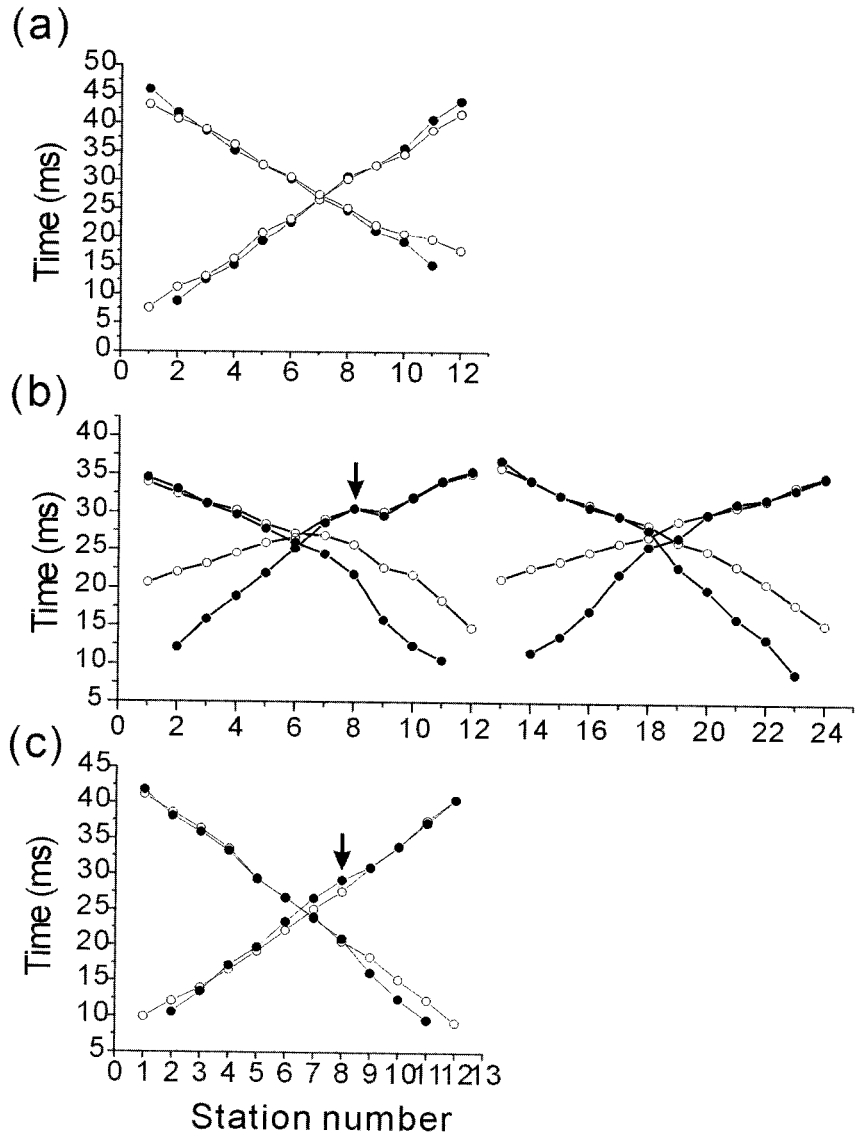

Fig. 7. Travel-time curves for Lines (a) 1, (b) 2, and (c) 3.

함수로부터 구한 수신기배열별 굴절파 속도와 최적 *XY*값을 식 (3)의 시간-깊이 함수에 대입하여 구하였다. 이때 대상 굴절면보다 더 깊은 층에서 빠른 속도로 전달되어 온 신호가 초동으로 기록된 부분은 굴절파 자료를 해석할 경우 오차를 발생하게 되기 때문에 편집과정에서 이러한 신호를 제거하였다. Fig. 9 ~11은 측선 1 ~ 3의 시간깊이(a)와 상대깊이(b)를 보여준다.

6. 결과 해석

250 m/s 정도의 속도를 갖는 표층은 상대적으로 고도가 높은 측선 1의 동쪽 스프레드 구간과 측선 3에서는 1.5 ~ 2 m 정도로 비교적 얇게 분포하며, 단구의 상단부인 측선 1의 동쪽 끝부분에서는 1.6 m로 얇다가 서쪽으로 점차 깊어져서 측점 12번 부근에서는 3.1 m에 달한다. 이 표층 하부에는 속도 1,030 ~ 1,400 m/s 정도의 미고결층

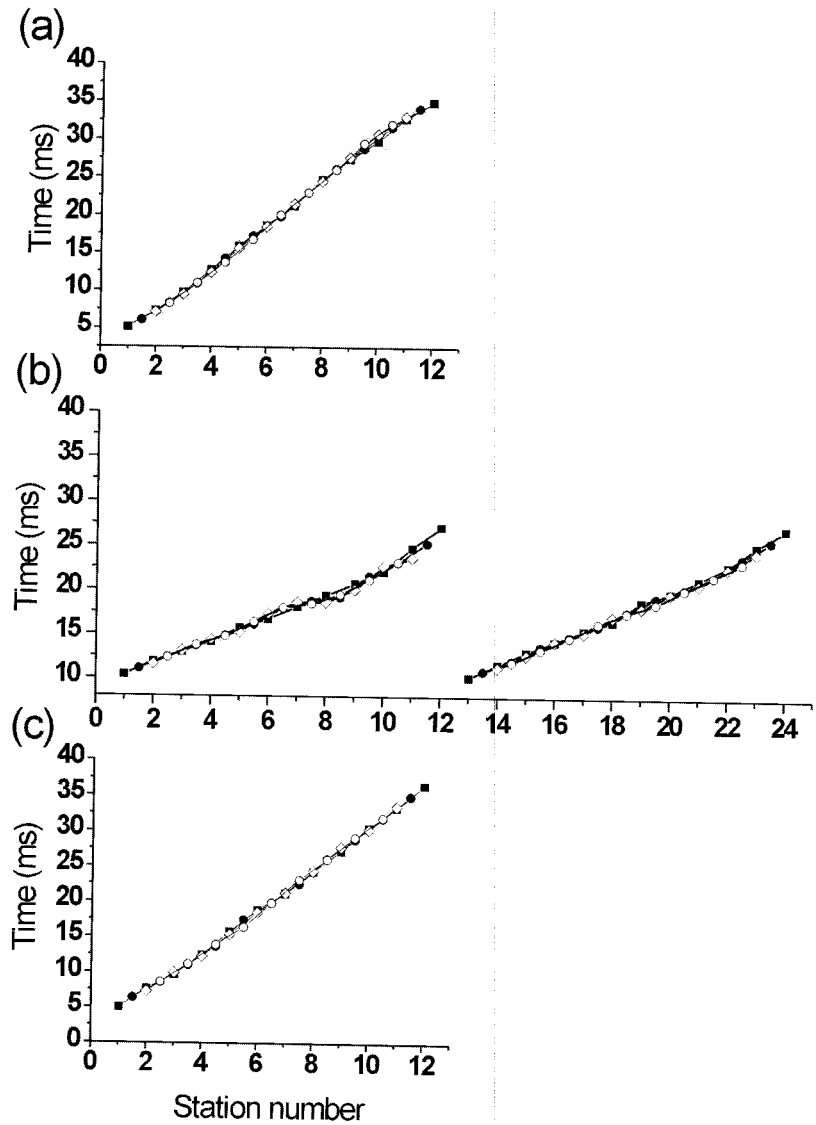

Fig. 8. Velocity-analysis functions for the lines of (a) 1, (b) 2, and (c) 3. ◆; XY=0 m, ●; XY=3 m, ◇; XY=6 m, ○; XY=9 m.

Table 2. Velocities and thickness for the refraction lines.

	1st layer		2nd layer		3rd layer
	Velocity (m/s)	Thickness (m)	Velocity (m/s)	Thickness (m)	Velocity (m/s)
Line 1	246	1.6~3.1	1,038		
Line 2	253~276	1.3~3.6	1,120~1,334	2.7~6.5	2,098~2,206
Line 3	252	1.5~1.9	1,031		

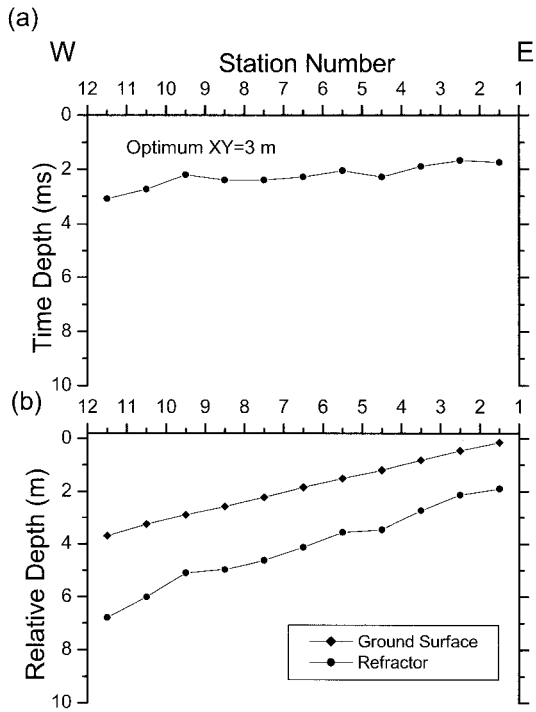

Fig. 9. Time-depth and depth profile for the Line 1.

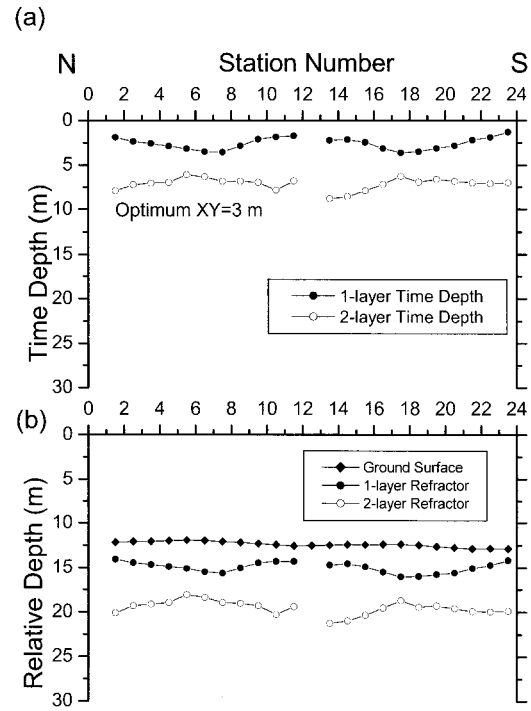

Fig. 10. Time-depth and depth profile for the Line 2.

(층 2)이 존재하며, 경재복 외(1998)의 트렌치 결과와 비교할 때, 제4기 후기 자갈층으로 해석된다. 측선 1과 3에서는 이 층의 하부에 존재하는 기반암면에서의 굴절파 신호가 기록되지 않아서 층 2의 두께를 알 수 없다. 측선 2에서는 층 2의 두께가 측점 17번 부근에서 2.7 m로 가장 얇으며, 측점 14번 부근에서는 6.5 m로 가장 두껍게 분포한다. 미고결층인 층 2의 하부에 속도 2,100 ~ 2,200 m/s의 기반암이 분포하며, 주변지질(한국자원연구소, 1998) 및 트렌치 자료(경재복 외, 1998)를 참고할 때, 제3기 흑색 이암일 것으로 추정된다.

미고결층 굴절면은 측선 1의 측점 3.4~4.5번 구간에서 약 40 cm(Fig. 9b), 측선 3의 측점 8.5~9.5번 구간에서 약 20 cm(Fig. 11)로, 주변보다 깊어 제4기 단층이 존재할 가능성이 높은 곳으로 해석된다. 또한 측선 1의 서쪽구간인 측점 9.5번 부근부터 이 굴절면의 경사가 서쪽으로 급하게 변하는 양상을 보인다(Fig. 9b). 측선 2의 측점 9번 부근에서 경사변화가 심한 주시곡선 특성이 나타나며(Fig. 6b), 수직변위는 1.6 m에 달하여 비교적 큰 규모의 단층이 존재할 가능성을 제시한다.

기반암면은 측선 2의 측점 7 ~ 9번, 16 ~ 19번 구간에서 깊이 차이가 20 cm 이상 나타나서 천부단층의 존재 가능성을 시사한다(Fig. 10). 동일한 수신기전개 방식을 사용하였음에도 불구하고, 단구의 상단에 해당하는 측선 1의 동쪽 구간과 측선 3에서는 기반암 굴절파가 기록되지 않는다. 이는 측선 1의 서쪽부분에 대규모 단층이 존재할 가능성이 매우 높음을 시사하며, 이 단층이 단구의 형성과도 밀접한 관계가 있을 것으로 해석된다.

7. 결 론

울산단층의 가지단층인 갈곡단층이 통과하는 경

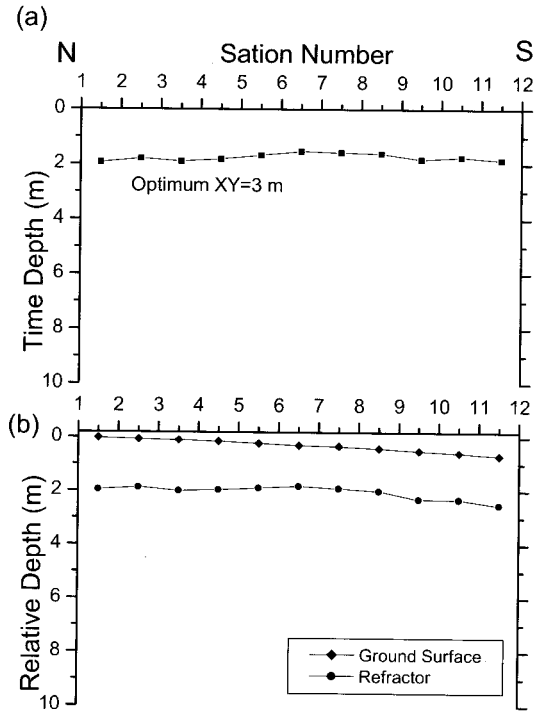

Fig. 11. Time-depth and depth profile for the Line 3.

주시 천북목장 부근의 단구에서 기반암 분포 및 파쇄대를 인지를 목적으로 12채널 탄성파 굴절법 탐사를 총 180 m의 3 개 측선을 따라 실시하였으며, GRM 방법으로 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 속도 250 m/s 정도인 표층은 상대적으로 고도가 높은 동쪽에서는 1.5 ~ 2 m 정도로 비교적 얇게 분포하며, 고도가 낮은 단구의 하단부에서는 평균 2.2 m 두께로 분포한다. 이 표층 하부에 속도 1,030 ~ 1,400 m/s 정도의 제 4기 후기 자갈층이 평균 4.6 m 두께로 존재하며, 이 층의 하부에는 속도 2,100 ~ 2,200 m/s의 제 3기 흑색 이암이 기반암으로 분포하는 것으로 해석된다.

(2) 상대적으로 고도가 높은 측선 1의 동쪽 스프레드 구간과 측선 3에서 미고결층 굴절면의 깊이 차이가 수십 cm 이상 나타나는 곳은 제 4기 단층이 존재할 가능성이 높은 것으로 해석된다. 측선 2의 측점 9번 부근에서는 이 굴절면의 수직변위가 1.6 m에 달하는 비교적 큰 규모의 단층이 존재할 가능성을 제시한다. 또한 기반암면의 깊이 차이가 20 cm 이상 나타나 제 3기 이후의 천부단층이 존재할 가능성을 시사한다.

(3) 동일한 수신기 전개방식을 사용하였음에도 불구하고, 단구의 상단에 해당하는 측선 1의 동쪽 구간과 측선 3에서는 기반암 굴절파가 기록되지 않는다. 이는 측선 1의 서쪽부분에 대규모 단층이 존재할 가능성이 매우 높음을 시사한다.

사 사

이 연구는 강원대학교 자원개발연구소의 재정적 지원에 의해 수행되었음을 밝히며, 논문을 심사하여 주신 두 심사위원님께 감사를 드립니다. 아울러 자료획득을 위하여 혹독한 추위 속에서 함께 고생하여준 강원대학교 우남철, 김교홍, 이소영, 김우혁 석사와 정용희 학생에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

경재복, 채종훈, Atsumasa Okada, 이기화, 1998, 울산단층계 북부 천북면 일대의 트렌치 조사와 단층변위, 한국지진공학회 1998년도 추계학술대회 논문집, 235-240.

김기영, 우남철, 1998a, 단층 탐지 및 영상화를 위한 굴절파-반사파 종합분석, 대한지구물리학회 제 1차 학술발표회 (초록), 서울, 11-12.

김기영, 우남철, 1998b, 굴절파 GRM 방법을 응용한 고경사 단층 인지 연구, 대한지질학회 제53차 학술발표회 (초록), 부산, 107-108.

김기영, 이광자, 1998, 안강부근 양산단층 지역에서의 미소 중력 및 지자기 연구, 지구물리, 1, 31-40.

김기영, 홍종국, 김교홍, 1998, 양산단층 지역에서의 수직균열에 의한 탄성파 이방성 측정, 지질학회지, 34, 73-80.

김기영, 1999, 굴절파 GRM 해석방법을 응용한 고경사 단층 인지(I) -컴퓨터 모델링 연구-, 지구물리, 2, 57-64.

김기영, 우남철, 1999, 굴절파 GRM 해석방법을 응용한 고경사 단층 인지(II) -실제자료 적용-, 지구물리, 2, 65-74.

김기영, 우남철, 김형수, 1999, 남원 섬진강변 관로 매설

을 위한 굴절파 탐사, 지구물리, 2, 209-216.
김영화, 이기화, 1988, 경주 남쪽을 중심으로한 양산단층의 구조에 관한 지전기학적 연구, 지질학회지, 24, 47-61.
박상규, 1999, GPR 탐사기법에 의한 지하매설물 탐사 적용 사례, 춘계 공동학술 발표회 논문집 특별 심포지움: 동북아 광상성인 심포지움, 86-89.
손호웅, 김지수, 송영수, 윤왕중, 김인수, 서만철 김기영, 조인기, 1999, 지반환경물리탐사. 시스마프레스, 서울
이광자, 김기영, 김우혁, 임창복, 2000, 울산단층대에서의 굴절파 속도이방성 연구, 지구물리, 3, 49-56.
조선총독부, 1922, 연일도폭 (1:50000).
한국자원연구소, 1998, 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가 최종보고서(1~3권), 한국자원연구소, 대전.
Bogoslovsky, V.A. and Ogilvy, A.A., 1997, Applicationof geophysical methods for the investigation of landslides, Geophysics, 28, 633-657.
Kwon, B.D., Lee, H.S., Jung, G.G., and Chung, S.W., 1995, Investigation of subsurface Structure of Cheju Island by Gravity and Magnetic Methods, Econ. Environ. Geol., 28, 395-404.
Olorunfemi, M.O., Olarecaju, V.O., and Avci, M., 1986, Geophysical investigation of a fault zone-case history from left, southwest Nigeria, geophysical Prospecting, 34, 1277-1284.
Palmer, D., 1980, The Generalized Refraction Method of Seismic Refraction Interpretation, The Society of Exploration Geophysicist.

2000년 9월 1일 원고접수
2000년 12월 20일 원고채택