지구물리 제 2권 제 3호, p. 209-216, (1999년 9월)

남원 섬진강변 관로 매설을 위한 굴절파 탐사

김기영* · 우남철* · 김형수**

*강원대학교 지구물리학과 · **한국수자원공사 수자원연구소

요 약

전라북도 남원군과 전라남도 곡성군을 경계로 흐르고 있는 섬진강의 남서쪽 강변에서 관로 매설에 필요한 지질정보 파악을 위한 굴절파 탐사를 실시하였다. 인라인 굴절법에 앞서 수행한 지오폰 간격 1 m, 오프셋 구간 -36~+36 m의 워커웨이 자료로부터, 평균속도 585 m/s의 마른 토사층 하부에 평균 1,326 m/s의 속도를 갖는 젖은 사력층이 거의 수평 상태로 놓여 있으며, 그 하부에는 평균 4,218 m/s의 속도를 갖는 기반암이 분포하는 것으로 분석된다. 지오폰 간격 2 m로 획득한 총 220 m의 굴절파 측선자료를 GRM (Generalized Reciprocal Method) 방법으로 해석한 결과, 평균속도가 688 m/s, 1,473 m/s, 3,776 m/s인 3개 지층이 인지되며, 리핑이 불가능할 것으로 판단되는 기반암까지의 깊이는 숨은 층(hidden layer)의 영향에 따라 최소 1.51~2.43 m부터 최대 2.25~3.54 m까지로 구해진다. 이 지역 자료는 굴절법의 전형적인 문제점인 숨은 층 존재로 인하여 2번째 층의 두께를 정확히 계산하는데 어려움이 있다.

주요어: 굴절파 탐사, 워커웨이, 기반암, GRM, 숨은층

Kim, Ki Young, Woo, Namchul, and Kim, Hyoung-Soo, 1999, Seismic Refraction Survey for Installation of Water Pipe on a Side of the Seomjin River near Namwon. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 2, n. 3, p. 209-216.

ABSTRACT: In order to get geologic information necessary for underground installation of water pipe, seismic refraction profiling was applied to the southwest side of the Seomjin River which flows between Namwon-gun, Cholabuk-do and Gokseong-gun, Cholanam-do. Before obtaining the in-line refraction data, walkaway data were recorded with 1 m geophone interval and -36~+36 m offset range. From the walkaway data, it is interpreted that a dry soil layer with the average velocity of 585 m/s covers wet sediments with the average velocity of 1,326 m/s. The second layer overlies basements nearly horizontally with the average velocity of 4,218 m/s. Refraction profiling of 220 m long with the geophone interval of 2 m is interpreted with the Generalized Reciprocal Method (GRM). Three layers are identified with average velocities of 688 m/s, 1,473 m/s, and 3,776 m/s, respectively. The depth to the bedrock impossible for ripping ranges between two extremes, 1.51~2.43 m and 2.25~3.54 m, depending upon thickness of the hidden layer. A typical shortcoming of refraction method, the hidden layer problem, prevents accurate estimation in depth of the second layer.

Key words: Refraction profiling, Walkaway, basements, GRM, hidden layer

(Kim, Ki Young and Woo, Namchul, Department of Geophysics, Kangwon National University, 192-1 Hyoja-2-dong, Chunchon 200-701, Korea; Kim, Hyoung-Soo, Water Resources Research Institute, Korea Water Resources Corporation, 462-1 Jonmin-Dong, Yusung-Gu, Taejon 305-390, Korea. email: kykim@kangwon.ac.kr)

1. 서 론

탄성파 굴절법은 탐사지역 지층의 대략적인 형태 및 특성에 대한 정보를 신속하게 제공하는 장점으로 인하여 반사법의 측선 결정을 위한 선행조사, 건설 공사의 기초 조사 및 지하수 탐사 등에 활용되고 있다(Telford *et al.*, 1990). 이 탐사법은 자료획득과정이 비교적 간단한데 반하여, 해석과정이 그리 용이하지 않은 특성이 있다. 굴절파 자료해석법에는 Ewing *et al.* (1939)의 절단시간(intercept time), Heiland (1963)의 임계거리(critical distance), Hawkins · Maggs (1961)의 역행주시(reciprocal time), Gardner (1939, 1967)의 지연시간(delay time) 등을 이용한 방법들이 각각 제시되었다. 특히, Palmer (1979, 1980)는 지연시간 방법을 일반화한 GRM (Generalized Reciprocal Method) 방법을 발표하였는데, 이 해석법은 상기 여러 해석법의 장점을 모두 취하여 기복이 있는 각기 다른 깊이의 여러 굴절면을 잘 묘사할 수 있는 장점을 갖고 있다. 아울러 굴절법 탐사시 문제가 되는 저속도 층이나 암영대 등에 의한 한계를 극복할 수 있음으로 하여 가장 널리 사용되는 방법으로, 국내에서는 김기영(1999)과 김기영 · 우남철(1999, 1998a, 1998b)이 양산단층 지역의 천부 단층인지에 적용한 바 있다.

전라북도 남원군 대강면 방동리와 전라남도 곡성군 입면 소월리의 경계를 따라 북서쪽 방향으로 흐르는 섬진강을 가로지르는 관로 매설공사에 앞서, 지반구조 및 지층의 탄성파 속도 등 지질정보 파악을 위하여 남서쪽 강변을 따라 굴절파 탐사를 실시하였다(Fig. 1). 조사지 주변의 지형은 그리 험난하지는 않으나, 동쪽으로 해발고도 300 m 이상의 봉우리가 산재하며 서쪽으로는 평지가 펼쳐진다. 1:50,000 남원도폭(손치무 · 김수진, 1966)에 의하면, 조사지의 기반암은 시대 미상의 화강편마암으로, 조사측선의 서북쪽 끝은 고생대 퇴적암인 설옥리층과의 경계에 거의 접해 있다. 본 조사는 워커웨이 방식으로 개략적인 지층분포를 파악하고, 굴절법에 적용할 적정 야외기록변수를 구하며, 이를 바탕으로 굴절파 탐사를 실시하여 지하 지층분포를 GRM 방법으로 정밀하게 밝힘으로 관로 매설공사 설계에 참고가 되는 기초자료를 제공하고자 실시하였다.

2. 자료획득

전라북도 남원군 대강면과 전라남도 곡성군 입면 사이의 흐르는 섬진강 남서쪽 강변에서 지오폰 간격 1 m의 워커웨이 탐사와 지오폰 간격 2 m의 인라인 굴절파 탐사를 실시하였다. 조사측선은 비교적 평탄하며 지오폰 설치가 가능한 강변을 따라 설정하였으며, 관로 매설 방향에 거의 직각이 되도록 하여 엇각에 의한 경사 오류를 최소화하였다(Fig. 1). 지오폰 설치 및 타격점으로 사용한 측점은 줄자를 이용하여 정확히 위치를 선정하였다. 전체적인 고도는 남동쪽이 높고 북서쪽으로 낮아지는 지표고도 변화를 보이며, 측선상의 최대 고도차이는 1 m 정도로 크지 않은 편이다.

조사지 부근의 개략적 지층구조 및 소음특성을 파악하고, 탄성파 굴절법에 적용할 적정 야외변수

Table 1. Acquisition parameters for the walkway and the refraction data.

	Noise Survey	Refraction Profiling
Source Type	5 kg Hammer	5 kg Hammer
Shooting Method	Walkaway	In-line
Shot Interval	12 m	
Receiver Type	10 Hz Geophone	10 Hz Geophone
Receiver Interval	1 m	2 m
Offset Range	-36~36 m	1~34 m
Number of Channel	12	12
Vertical Stack	100 %	300 %
Record Length	96 ms	48 ms
Sampling Rate	0.1 ms	0.05 ms
Gain Type	Constant	Constant

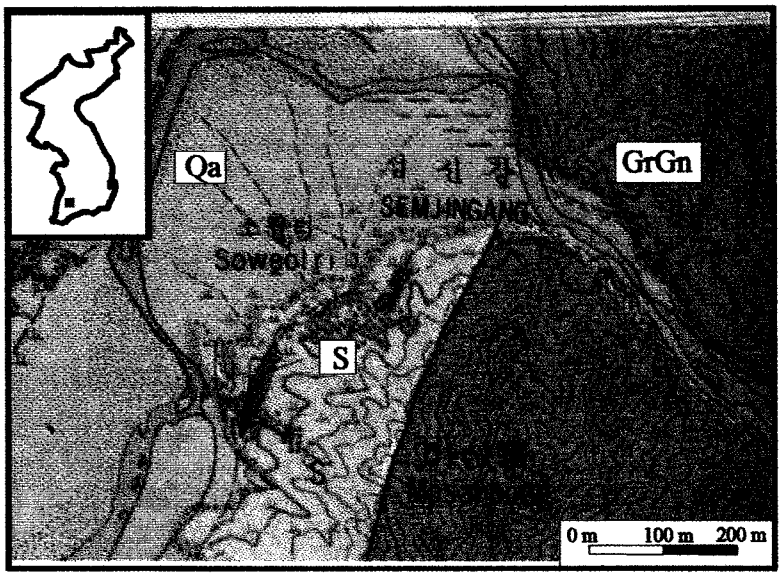

Fig. 1. Location map of the seismic refraction profile *SL*. The following symbols are used for lithology; *Qa* (alluvium), *Grgn* (granitic gneiss), and *S* (Seorokri formation).

를 선택하기 위하여 워커웨이 방식의 소음분석을 선행하였다(Table 1). 자료획득은 입면의 강변을 따라 이루어졌으며, 10 Hz 지오폰 12개를 1 m 간격으로 설치하고, 5 kg 해머를 12 m 간격의 타격점에서 알미늄판에 1회 타격하여 발생시킨 소규모 인공 지진파를 오프셋 -36~36 m 범위에서 기록하였다(Table 1). 수신된 신호는 미국 Bison Instruments사의 GeoPro 8012A 12채널 탄성파 기록계에 0.1 ms 샘플률로 96 ms 기록하였다. 이 기록장비는 35-1000 Hz의 주파수 범위를 기록할 수 있으며, 추가적인 아날로그 필터는 사용하지 않았다. SEG-1 형식으로 기록된 자료는 통신용 소프트웨어를 이용하여 RS-232C 케이블로, 9,600 bps의 속도로 현장에서 노트북 PC에 전송하였다.

굴절파 탐사의 파원, 지오폰, 기록장비는 워커웨이 탐사와 동일하다. 2 m 간격으로 설치한 12개의 10 Hz 지오폰을 통하여 수신된 신호는 매 기록당 300 % 수직중합하여 신호대 잡음비를 높힌 후, 50 μs 샘플률로 48 ms 기록하였다. 바람이 심하게 불거나 주위에 트럭 등 대형차량이 교행할 경우에는 기록을 일시 중지시킴으로서 신호대 잡음비가 최대가 되도록 하였다. 지오폰은 지면과 직각이 되도록 설치하였으며, 지면과 밀착시켜 지면의 움직임을 잘 감지할 수 있도록 하였다. 지오폰 스프레드 당, 근거리 옾셋 2 m로 양단 발파를 실시하였다. 또한 심부 굴절파를 기록하고, 교차 거리(crossover distance) 이내의 측점에서도 GRM 해석법을 사용하기 위하여, 양 끝 지오폰 측점에서 각각 12 m 떨어진 외곽에서 추가로 타격하였다. 아울러 표층의 측방 속도변화가 심한 점을 고려하여 지오폰 스프레드 중앙에서 타격함으로써, 지오폰 스프레드 당 모두 5회씩 기록하였다. GRM 해석방법을 효율적으로 적용하기 위하여 근거리 옾셋 자료획득 당시 1번 및 12번 지오폰 위치에서

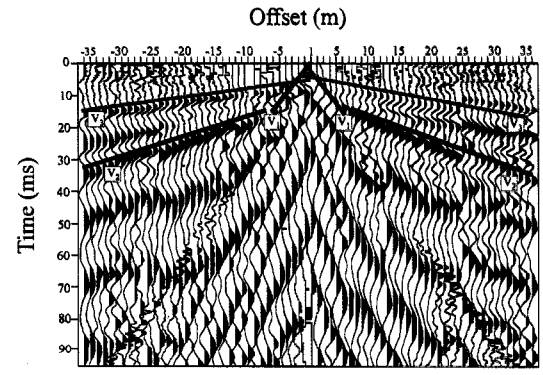

Fig. 2. Walkaway noise analysis data. Slopes in red, green and yellow are slowness for the first, the second, and the third layers, respectively.

타격하여 역행주시를 기록하였다.

3. 자료처리

3.1. 워커웨이 자료

워커웨이 탐사 자료는 자료전송, 포맷변환, 오프셋 분류, 이득조절 등의 기초처리과정을 거쳐 표층 및 하부층 겉보기 속도를 측정하였다. Fig. 2는 원시기록 자료로, 바람에 의한 고주파 소음과 저주파의 느린 속도를 갖는 레일리파 등 일관성 잡음이 뚜렷하게 기록되어 있으나, 상대적으로 직접파 및 굴절파가 미약하게 기록되어 10 ms의 자동이득조절(AGC: Automatic Gain Control)을 적용하였다. 이 자료로부터 직접파 및 굴절파 속도를 측정하고, 대략적인 지층의 두께를 파악하였다. 두번째 층(층 2)에서 굴절된 파는 초동으로 도착하지 않고, 직접파 및 세번째 층(층 3)에서 굴절된 파보다 늦게 도착하는 숨은 층의 양상을 보인다.

개략적으로 3개 지층이 분포함을 보여주며, 표층은 속도 585 m/s (550~620 m/s)의 마른 토사층으로 해석되며, 층 2는 경사 0.9° NW, 속도 1326 m/s 정도의 젖은 사력층으로 해석된다. 층 3은 속도 4,218 m/s 정도의 기반암으로 북서방향으로 3.7° 미만의 거의 수평한 구조를 나타낸다.

3.2. 굴절파 자료

굴절파 자료해석을 위한 기초 자료처리는 워커웨이 자료의 경우와 동일하며, 잡음이 심한 경우에는 선택적으로 주파수 필터를 사용하였다. 기초자료처리는 주로 SPW (미국 Parallel Geoscience사 제품) 소프트웨어를 이용하였고, 도달시간을 선택한 후에는 기반암의 속도, 경사 및 두께 등을 GRM 방법으로 해석하였다.

Fig. 3은 측선의 남동쪽 끝에 설치된 지오폰 스프레드에서 기록한 자료를 예시한 것이다. Fig. 3b, 3d는 각각 1번와 12번 지오폰 위치에서 발파하여 획득한 자료이며, Fig. 3c는 수평으로 변화가 심한 직접파의 속도를 측정하기 위하여 6번과 7번 지오폰 사이에 발파하여 얻은 자료이다. Fig. 3a, 3e는 가까운 지오폰에서 12 m 이동하여 원거리 발파(phantom shooting)를 하여 얻은 결과로, 근거리 옾셋자료에 기록된 직접파(D)는 뚜렷하지 않은 반면에 층 2와 층 3의 상부 경계면에서 굴절된 파들(R_1, R_2)은 선명하게 기록되어 있다. 일반적으로 굴절법에서는 초동만을 이용하여 자료해석을 실시하지만, 숨은 층 문제 해결을 위하여 2차 도달파도 읽어 자료처리에 활용하였다. Fig. 4는 굴절파 자료를 획득한 5개의 구간에 대한 직접파 및 굴절파들의 도달시간을 보여준다. 빈원(○)으로 표시한 주시 R_1은 층 2 상부면에서 굴절된 자료로, 비교적 신호대 잡음비가 높게 기록된 2, 3, 4번째 스프레드의 역행방향과 4번째 스프레드의 순행방향 근거리 옾셋자료에서 주시를 측정하였으며, 나머지

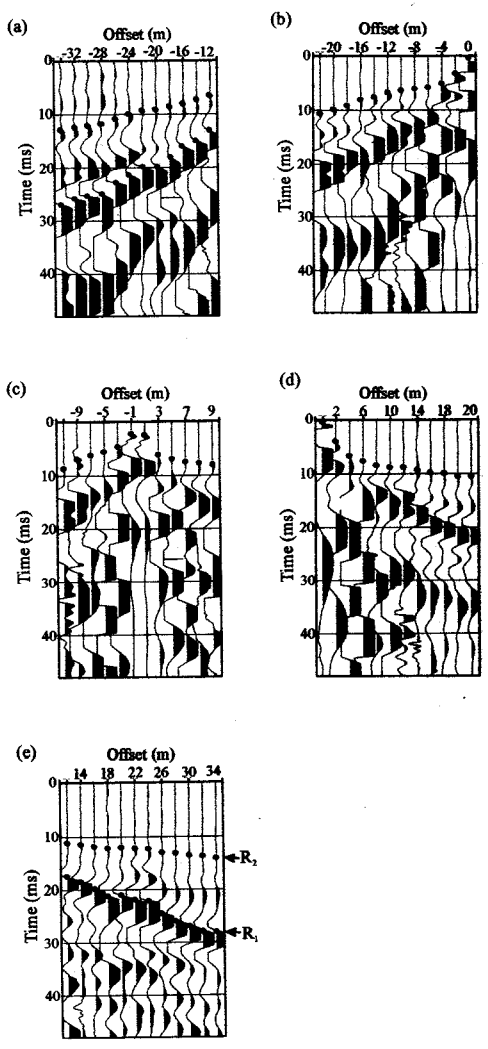

Fig. 3. Common shot gathers at the southeastern end of the profile: (a) forward and far-offset, (b) forward and near-offset, (c) split-spread, (d) reversed and near-offset, and (e) reversed and far-offset records, respectively.

Table. 2. Computed velocities for the direct arrivals and refraction events using the velocity analysis function.

Geophone Spread	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	V_3 (m/s)
1	720	1,764	4,044
2	780	1,612	4,197
3	650	1,639	3,654
4	660	1,379	3,344
5	630	1,612	3,791
Minimum	630	1,379	3,344
Maximum	780	1,764	4,197
Average	688	1,473	3,806

자료는 원거리 옵셋자료에서 주시를 측정하였다. 층 3에서 굴절된 원거리 옵셋자료의 주시(* 표시) R_2는 R_1의 원거리 옵셋자료보다 절단시간 및 기울기가 작은 모습을 보인다.

3.3. GRM 해석법 핵심이론

Palmer (1980)에 의해 이미 발표된 바 있으나, 이후 처리과정을 설명하기 위하여 GRM 해석법의 핵심적인 이론을 간단히 소개코자 한다. GRM 해석법은 속도분석 함수(velocity analysis function)와 시간깊이 함수(time-depth function)를 구하는 것이 핵심으로, Palmer (1980)는 속도분석 함수 t_v를

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

로 정의하였으며, 여기서 X와 Y는 특정 지오폰의 위치, A와 B는 순행 및 역행 발파시 파원의 위치를 각각 나타낸다. 속도분석 함수는 특정 지오폰 간격 XY값이 적절할 경우 굴절면의 형태와 상관없이 직선으로 나타나며, 이 직선의 기울기

$$\frac{d}{dx} t_v = \frac{1}{V_n} \quad (2)$$

는 굴절면의 겉보기 속도를 나타낸다.

한편 X와 Y의 중간점 G에서의 시간깊이 함수 t_g는

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

으로 정의되며, 이 시간깊이 함수에 깊이변환 인자(depth conversion factor) V_{jn},

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

를 곱하여 깊이를 구한다. 여기서 V_j'는 기반암면 상부에 놓인 j번째 굴절면의 겉보기 속도이며, V_n'는 기반암면의 겉보기 속도를 나타낸다.

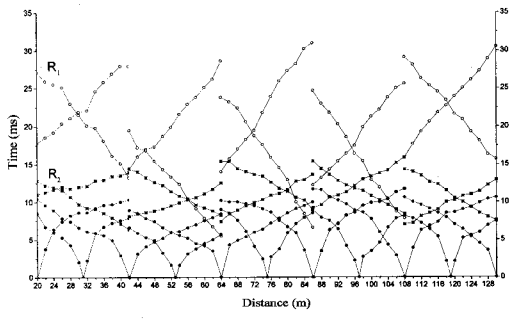

Fig. 4. Travel-time picks for five geophone spreads. R1 denotes refracted events from the top boundary of Layer 2. Detailed shot positions and shooting direction are described in the text.

3.4. 속도분석

Fig. 5는 Fig. 4의 주시자료를 이용하여 구한 속도분석 함수로서, 기반암의 속도분석 함수가 직선에 가장 가깝게 나타나는 XY=2 m인 경우를 보여주며, 이 직선의 기울기로부터 굴절면의 속도를 구하였다. 한편, 층 2 상부 경계면에서 굴절된 파는 측선상에서 대부분 초동으로 기록되지 않으므로, 초동 뒤에 도달하는 굴절파의 도달시간을 취하였다. 지오폰 스프레드별로 계산한 두 굴절면의 속도, V_2와 V_3을 직접도달파 속도 V_1과 함께

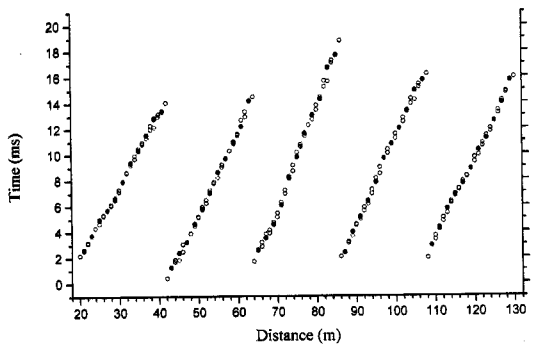

Fig. 5. Velocity analysis functions for the five geophone spreads shown in Fig. 4. The optimum offset of 2 m is chosen based on the linearity of data.

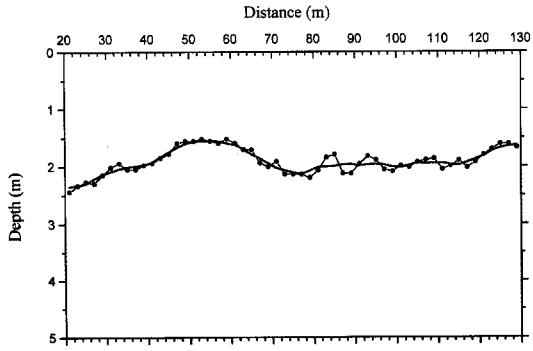

Fig. 6. Depth profile obtained for no intermediate layer.

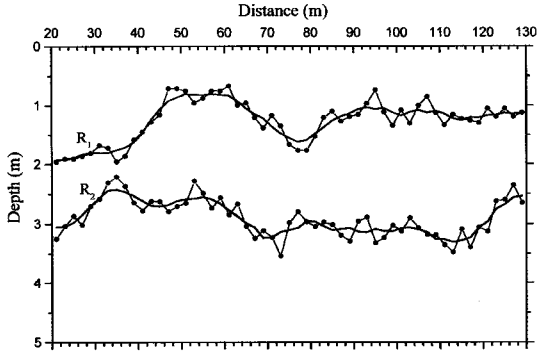

Fig. 7. Depth profile obtained for maximum thickness of the second layer.

Table 2에 정리하였다.

3.5. 시간깊이 및 깊이변환

속도분석 함수로부터 구한 지오폰 스프레드별 굴절파 속도를 시간깊이 함수에 대입하여 지오폰 위치별로 굴절면의 시간깊이를 구하였으며, 이 때 서로 다른 층에서 굴절되어 온 굴절파의 순행 및 역행 초동자료 짝을 혼동하지 않도록 주의하였다. 평균속도 1,473 m/s의 속도를 갖는 층 2의 굴절파가 초동으로 기록되지 않고 다른 파와 간섭된 상태로 초동 이후에 도달함에 따라, 이 층의 두께 및 기반암면의 실제 깊이를 계산하는데 어려움이 있다. 따라서 이 층이 존재하지 않는 경우와 최대로 두꺼운 두 극한 경우를 계산하여 존재 범위를 산출하였다.

Fig. 6은 층 2가 존재하지 않는 경우를 가정하고, 초동으로 기록된 V_1과 V_3의 주시에 시간깊이에 깊이변환 인자를 곱하여 구한 단면의 모습을 보여준다. 작은 원은 계산된 값이며, 붉은색 실선은 5점 이동평균(moving average) 방법으로 평활화시킨 것이다.

Fig. 7은 층 2가 숨은 층으로 가장 두껍게 존재할 수 있는 경우를 가정한 것으로, Fig. 6에서와 마찬가지로 검은색 원과 붉은 실선은 각각 계산된 값과 5점 이동평균을 이용하여 평활화시킨 자료를 나타낸다. 층 2의 상부 경계면에서 굴절된 파가 초동으로 기록되지 않으면서 가장 두꺼운 층 두께

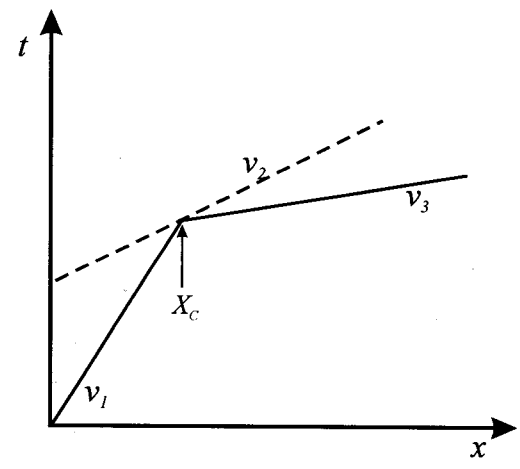

Fig. 8. Illustartion of travel time curves for maximum thickness of the second layer.

를 갖기 위한 조건은, Fig. 8에서처럼 속도 V_1의 직접파, 속도 V_2의 층 2상부 경계면 굴절파, 속도 V_3의 층 3 상부 경계면 굴절파의 교차거리가 모두 일치하는 경우이다(Mooney, 1984). 따라서 이들 교차거리들이 모두 일치하도록 Fig. 4의 두 번째 굴절파의 주시를 시간축에 따라 평행이동시켜서, 층 2가 가장 두껍게 존재할 때의 주시를 구하였다. Fig. 7은 이렇게 구한 속도 V_2의 주시와 초동으로 기록된 속도 V_1, V_3의 직접파와 층 3의 굴절파의 주시를 이용하여 구한 시간깊이에 깊이변환 인자를 곱하여 구한 단면의 모습이다.

4. 굴절파 자료해석

표층은 Fig. 4로부터 속도 630~780 m/s로 구해지며, 평균 688 m/s의 속도를 갖는 마른 토사층으로 해석된다. 층 두께는 층 2가 존재하는 경우 0.67~1.95 m, 존재하지 않는 경우 1.51~2.43 m 범위 내에 존재하며(Fig. 6과 7), 거리 20~40 m 구간에서는 다소 큰 값을 갖는데, 이는 이 부근의 지표고도가 다소 높은 지형적 이유로 해석될 수 있다. 또한 45~65 m 구간에서는 상대적으로 얇게 나타난다.

층 2는 굴절파 초동이 거의 기록되지 않으며, 굴절파 조사방법의 한계인 숨은 층 문제에 해당한다. 따라서 초동보다 늦은 시간에 도달한 층 2의 굴절파 도달을 뚜렷이 인지되어 이 층의 존재는 확실하나, 다른 파들과의 간섭 및 필터 효과에 의하여 도달시간을 정확히 읽기에는 어려움이 있다. 전술한 바와 같이 층 2의 상부 경계면에서 굴절된 파의 교차거리가 직접파 및 층 3 굴절파의 교차거리와 일치하는 경우, 이 층의 두께는 0.6~2.6 m으로 최대 가능 두께로 계산된다. GRM 속도함수를 이용하여 구한 속도는 1,379~1,764 m/s으로 평균 1,473 m/s의 속도를 갖는 적은 사력층으로 해석되며, 이 층의 경계면이 지하수위와 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다.

층 3은 속도가 3,344~4,197 m/s으로 계산되며, 층 경계까지의 깊이는 층 2의 두께에 따라 최소 1.51~2.43 m부터 최대 2.25~3.54 m까지로 구해진다. 최소 및 최대 깊이는 층 2가 존재하지 않는 경우와 층 2의 이론적 최대 두께를 고려한 각각 구한 것으로, 실제 깊이는 최소심도와 최대심도 사이일 것으로 판단된다. 층 3은 굴절파 속도만으로 판단할 때, 리핑(ripping)이 불가능한 경암으로 판단된다(한국암반공학회 · 한국지구물리탐사학회 · 한국자원연구소, 1999).

5. 결론 및 토의

전라북도와 전라남도 사이의 섬진강변에서 지반구조 및 탄성파 속도 등의 지질정보 파악을 위하여 굴절파 탐사를 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표층은 평균 688 m/s의 속도를 갖는 마른 토사층으로, 층 2가 존재하는 경우 0.67~1.95 m, 존재하지 않는 경우 1.51~2.43 m 범위 내에 존재하는 것으로 구해진다.

2. 층 2는 숨은 층으로 기록되며, 1,473 m/s의 속도를 갖는 적은 사력층으로 해석된다. 최대 두께는 위치에 따라 0.6~2.6 m로 계산된다.

3. 층 3은 속도가 3,344~4,197 m/s으로 계산되며, 상부 경계면까지의 깊이는 층 2의 두께에 따라 최소 1.51~2.43 m부터 최대 2.25~3.54 m까지로 구해진다.

4. 리핑은 층 2까지 가능하여, 층 3의 상부 경계면이 리핑의 한계일 것으로 판단된다.

5. 이번 굴절법 탐사시 발생한 숨은 층의 존재는 굴절법 탐사법이 갖고 있는 근본적인 문제점 중의 하나로, 실제 깊이를 구하는데 오차를 발생하게 된다. GRM 해석방식의 시간깊이 함수를 정확히 구할 경우에 숨은 층에 상관없이 실제 깊이를 구할 수 있으나, 이 경우 신호대 잡음비와 중첩도가 높아야 하므로 현실적으로는 제약이 따른다. 따라서 탐사측선 상에 최소 1개 시추공을 굴착하여 정확한 깊이변환 인자를 구하는 것이 이상적일 것으로 생각된다.

사 사

이 조사연구는 강원대학교 자원개발연구소의 부분적 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며, 자료의 사용 및 논문게재를 허락하여 주신 한국수자원공사 수자원연구소에 감사드립니다. 아울러 자료획득을 위하여 벌에 쏘여가며 더운 날씨에 땀흘리신 수자원연구소의 오선환, 이종욱 연구원에게 진심으로 사의를 표합니다.

참고문헌

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) - 실제 자료 적용, 지구물리, 2, 65-74.

김기영, 우남철, 1998a, 굴절파 GRM 방법을 응용한 고경사 단층 인지 연구. 대한지질학회 제 53차 학술발표회 (초록), 부산, 107-108.

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

민경덕, 서정희, 권병두, 1987, 응용지구물리학. 도서출판 우성, 서울.

손치무, 김수진, 1966, 한국지질도 (1:50000) 창평도폭, 국립지질조사소, 서울, 30 p.

한국암반공학회 · 한국지구물리탐사학회 · 한국자원연구소, 1999, 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술. 과학기술, 서울.

Ewing, M., Woollard, G. P., and Vine, A.C., 1939, Geophysical investigations in the emerged and submerged Atlantic Coastal Planin, Part 3, Barnegat Bay, New Jersey section : GSA Bull., 50, 257-296.

Gardner, L. W., 1939, An areal plan of mapping subsurface structure by refraction, Geophysics, 4, 247-259.

Gardner, L. W., 1967, Refraction seismograph profile interpretation: in Seismic refraction prospecting, A. W. Musgrave, Ed., SEG, Tulsa, 338-347.

Hawkins, L.V. and Maggs, D., 1961, Nomograms for determining maximum errors and limiting conditons in seismic refraction surveys with blind zone problems, Geophysical Prospecting, 9, 526-532.

Heiland, C.A., 1963, Geophysical exploration, Prentice-Hall Inc., New York,

Mooney, H.M., 1984, Handbook of Engineering Geophysics, Vol. 1: Seismic, Bison Instruments Inc.

Palmer, D., 1979, What is the future for seismic refraction methods?, Bull, Austral, SEG, 10, 215-714.

Palmer, D., 1980, The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990, Applied geophysics (2nd ed.), Cambridge University Press, New York.

1999년 5월 3일 원고접수
1999년 8월 27일 원고채택