

시화호내 과거 조간대에서의 고해상 탄성과 탐사

홍종국* · 김기영** · 최동림*

*한국해양연구소 해양지질연구단 · **강원대학교 지구물리학과

요 약

서해연안에 위치한 시화호 내에 발달하였던 조간대에서 고해상도 탄성과 탐사를 수행하였다. 음원으로는 이동식 진동기를 이용하였으며 217개의 발파점에 대한 48 채널 탄성과 자료를 획득하였다. 자료처리에서 f-k 필터, 잔여정보정 및 중합 후 주파수 필터는 신호대 잡음비를 높이는 데 효과적이었다. 단면도의 해석을 통하여 음향기반암 상부에 두 층서단위로 구분되는 퇴적층서를 구분하였다. 가장 상부에 위치하는 층서단위 I은 조간대 기원의 퇴적층으로 평행하고 연속성이 좋은 반사층리가 분포하며, 평균 5 m 두께의 건조층(Unit Ia)과 15 m 이내의 함수층(Unit Ib)으로 구분된다. 층서단위 I에 의하여 부정합으로 덮여져 있는 층서단위 II는 불연속적이고 둔덕형 층리양상을 보이는데 이는 염하구환경에서 퇴적된 하천 충진 퇴적물을 지시한다. 이 층서단위는 최대 20 m의 두께를 갖는다. 음향기반암은 주변에 발달한 선캠브리아기 화강편마암으로 해석된다.

주요어: 고해상 탄성과 탐사, 조간대, 이동식 진동기, 조간대 퇴적물, 하천 충진 퇴적물

Hong, Jong Kuk, Kim, Ki Young, and Choi, Dong-Lim, 1999, A High-resolution Seismic Survey on the Abandoned Tidal Flat in Shihwa Lake. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 2, n. 4, p. 251-258.

ABSTRACT: A high-resolution seismic survey was conducted on the abandoned tidal flat in Shihwa Lake on the west coast of Korea. A portable vibrator was used as a seismic source and 217 shot gathers with 48-channel system were acquired. F-k filtering, residual static corrections and post-stack frequency filtering are found to be useful for signal enhancement. The overburden is divided into two seismic depositional units. Unit I is deposited in tidal environment characterized by parallel and high continuity reflection pattern. This unit comprises a dry layer (Unit Ia) and a wet layer (Unit Ib) having averagely 5 and 15 meters thick, respectively. Unit II unconformably overlain by Unit I exhibits discontinuity and hummocky reflection pattern, indicating complex channel-fill sediments in estuary. The maximum thickness of this unit is approximately 20 meter. Acoustic basement is considered as Precambrian granitic gneiss occurred in the surrounding area.

Key words: High-resolution seismic survey, tidal flat, portable vibrator, tidal deposits, channel-fill sediments

(Hong, Jong Kuk, and Choi, Dong-Lim, Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea; Kim, Ki Young, Department of Geophysics, Kangwon National University, 192-1 Hyoja-2-dong, Chunchon 200-701, Korea. e-mail: jkhong@kordi.re.kr)

1. 서 론

조간대 지역은 조석현상에 따른 퇴적물의 침식 및 집적현상이 두드러진 지역으로(Anderson *et al.*, 1981) 우리 나라의 서해안과 같이 퇴적물의 공급이 많고 조석차가 큰 지역에 잘 발달한다(신동혁,

1998). 최근에는 이 지역에 기존의 어업활동 이외에 도로, 항만, 공항, 방조제 축조와 같은 대형 토목공사가 활발히 이루어지고 있어 조간대의 이용 범위가 점점 넓어지고 있다. 반면 개발에 따라 발생하는 환경오염, 해안선 지형변화 및 어업활동의 피해 등은 점점 새로운 사회문제로 대두되고 있

다. 따라서 조간대의 효율적인 관리 및 개발을 위한 종합적인 연구가 필요한 실정이다. 이에 대하여 서해안에 넓게 분포하는 조간대 퇴적물의 퇴적 활동 및 퇴적구조를 밝히기 위한 많은 퇴적학적 연구가 이루어지고 있다(정공수 · 박용안, 1978; Kim · Park, 1985; 유홍룡 외, 1991; 장진호 외, 1996). 그러나 지금까지의 퇴적학적인 연구는 깊이 수 m에서 수 십 m 이내에서 채취된 퇴적물 시료에서 나타나는 퇴적현상에 대하여 주로 이루어지고 있으나(장진호, 1995; 신동혁, 1998), 지질구조에 대한 전반적인 이해를 위하여 음향기반암까지의 가탐심도를 갖는 지구물리학적 탐사를 병행한 종합적인 연구가 필요하다.

지하 천부의 구조를 연구하기 위한 지구물리 탐사방법으로는 전기 및 전자 탐사, 고해상 탄성과 탐사, GPS 탐사 등이 널리 쓰이고 있다. 조간대 지역은 표층이 해수로 포화되어 있으므로 전기 및 전자파 탐사방법은 이용할 수 없다. 그러므로 고해상 탄성과 탐사는 이 지역의 지층구조 및 퇴적구조를 밝히는 데 가장 적합하다. 이 방법은 석유 탐사 및 지질구조연구 등에 적용되는 기존의 탄성과 탐사방법에 비하여, 반복성과 이동성이 좋은 작은 규모의 장비와 고주파 성분이 많이 포함된 음원을 사용하여, 가탐심도는 작은 반면 지층의 분해능을 높여 천부지층의 구조를 상세하게 구명하기 위한 목적으로 사용한다(Steeple · Miller, 1990). 응용분야로서는 주로 지질공학 및 환경분야에 널리 적용되고 있다(Hunter *et al.*, 1984; Miller *et al.*, 1997). 우리 나라에서도 지질공학적인 목적(서만철, 1999) 이외에 천부의 퇴적구조(김기영 · 허식, 1999a, 1999b) 구명, 단층지역 연구(김규한 외, 1999) 등으로 활용되고 있다.

조간대 지역은 해수의 출입이 잦아 표층이 해수에 포화되어 있으므로 건조한 토양을 갖는 육상지역보다 지표의 탄성과속도가 크다. 따라서 동일한 주파수에 대한 표층의 수직 해상도는 육상지역보다 떨어진다. 그러므로 음원을 선택할 때 육상지역에서 사용하는 음원보다 고주파 성분을 많이 포함한 음원을 사용하여야 한다. 육상에서 일반적으로 사용되는 고해상 탄성과 탐사용 음원을 사용하여 조간대 지역에서의 분해능을 비교 연구한 홍종국 외(1999)에 의하면, 이동식 진동기(portable vibrator)가 비교적 넓은 주파수 대역을 갖고 있으며 고주파 성분을 많이 포함하는 것으로 나타났다. 또한 Ghose *et al.* (1998)은 조간대 지역에서 이동식 진

동기를 이용한 탄성과 단면이 중력추를 이용한 것보다 지층의 경계를 상세히 구분한다는 것을 밝힌 바 있다. 그리하여 이번 연구에서는 고해상 음원인 이동식 진동기를 이용한 반사법 탐사를 조간대 지역과 유사한 환경에서 수행하고, 자료처리 및 해석을 통하여 조사지역의 지층구조를 밝히고자 하였다.

2. 탐사자료 수집

2.1. 탐사지역

탐사자료를 획득한 지역은 시화호의 상류유역에 해당하는 지역으로 1998년도 시화방조제 완공 이전에는 조간대 환경이었으나 현재에는 육상환경으로 변한 지역이다(Fig. 1). 이 지역은 조간대용 음원을 시험한 홍종국 외(1999)의 연구지역과 매우 근접한 곳이며, 지표는 식물이 거의 없는 평탄한 지형이다. 탐사일시는 1999년 6월 11일로서 오랜 가뭄에 의하여 지표는 완전히 건조되었으나 지표 하부에 존재하는 지하수면 밑으로 연약한 조간대 퇴적물이 거의 원형대로 보존되어 있을 것으로 추정된다. 탐사가 종료된 이후 현재에는 개발사업을 위한 공사가 진행 중이며, 현장탐사 결과, 지표하부는 주로 조간대 퇴적물인 빨질로 충진되어 있음을 확인하였다. 이 지역의 지질은 선캠브리아기의 화강암질 편마암을 기반암으로 하여, 그 위에 제4기 충적층 또는 조간대 퇴적물이 있으며 조간대 퇴적물의 성분은 주로 점토 및 빨질로 이루어져 있다. 주요 구조선으로는 조사측선 남쪽지역에 북서-남동 방향의 가상단층이 있다(박노영 · 김정환, 1972).

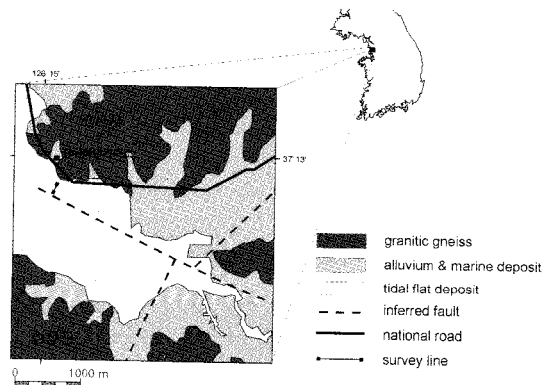


Fig. 1. Simplified geologic map showing the survey line.

Table 1. Field acquisition parameters.

Source type	Portable Vibrator
Shot interval	50 cm
Sweep frequency	50-600 Hz
Vibrator sweep length	5 s
Vibrator record length	5.2 s
Receiver type	marsh case 100 Hz geophone
Receiver interval	50 cm
Shooting method	End-on
Number of channels	48 channels
Near trace offset	10 m
Sampling interval	0.25 ms
Record length	200 ms
Analog filter	150 Hz low-cut 18 dB/oct

2.2. 자료수집

조간대 지역과 유사한 환경에서 수행한 반사법 탐사를 위하여 사용한 장비들은 다음과 같다. 탄성파 발생장치로는 고주파 성분을 발생시키는 이동식 진동기, 기록장비로는 OYO사의 DAS-1 기록계, 그리고 수신기는 48개의 100 Hz 지오폰들이 각각 사용되었다. 지표면이 평탄하여 자료획득 시 지표면의 고도는 측정하지 않았다. 탄성파는 이동용 진동기에서 5 s 간 스윙 형태의 에너지를 발생시켰으며 스윙 주파수범위는 50-600 Hz이다. 200 ms의 기록을 얻기 위하여 자료를 5.2 s 동안 기록하고 매 발파점 마다 탄성파 에너지를 2 회의 발생시킨 후 수직중합하였다. 음원의 발파간격과 수신기의 간격은 50 cm로 동일하게 설정하여 공심점 자료의 중합 시 2400% 중첩도를 이루도록 설계하였다. 또한 음원과 근거리 트레이스의 거리가 10 m인 end-on 배열의 자료를 획득하였다. 탐사측선은 NE - SW 방향으로 NE 방향의 끝 부분을 첫 번째 발파점으로 하여 총 217개의 발파점에 대한 자료를 획득하였다. 자료획득 초기의 기상상태는 구름이 없는 맑은 날씨였으나 발파점 100 - 200번 구간에는 강한 바람에 의한 잡음이 많이 발생하여 신호대 잡음비가 불량하였다.

3. 자료처리

자료의 주된 처리과정은 매킨토시 컴퓨터에 설치된 Parallel Geoscience Cooperation사의 SPW 소프트웨어를 사용하여 수행되었으며, 자료의 최종 도시를 위하여 Colorado school of mines의 SU 소프트웨어를 사용하였다. 획득된 자료들은 Fig.2와 같은 순서로 처리되었으며 각각의 과정을 간략하게 기술하면 다음과 같다.

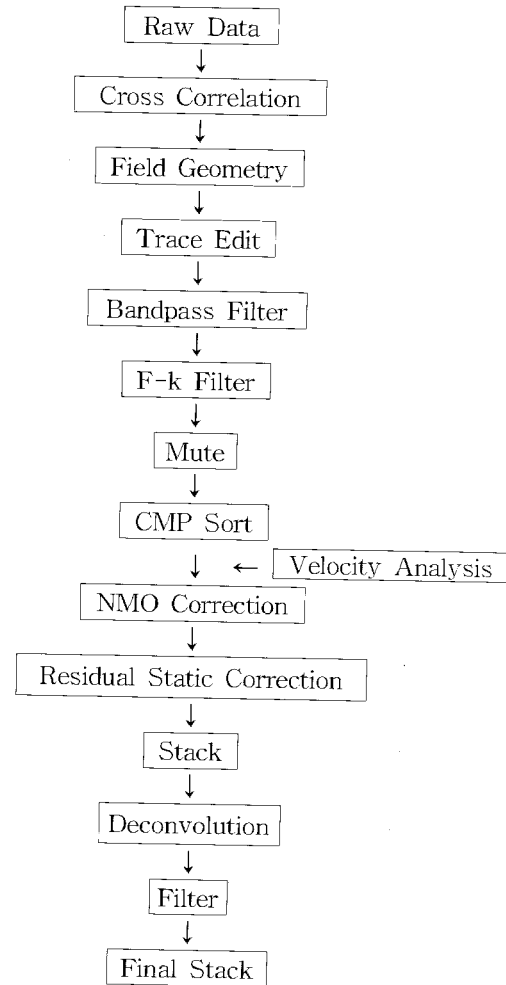


Fig. 2. Data processing sequence.

3.1. 상호상관

원시자료는 DAS-1 기록계를 이용하여 5.2 s 동안 기록된 것이다. 원시자료는 Fig. 3과 같이 반사

파 기록을 구분할 수 없으므로, 원시자료를 이동식 진동기에서 전달되어진 스윕신호(Fig. 3b)와 서로 상호상관(crosscorrelation)하여 저장하였다. 상호상관은 DAS-1 기록계에 내장되어 있는 프로그램을 이용하였다. Fig. 4는 Fig. 3의 자료에 상호상관을 수행한 원시 발파점 기록으로서 레일레이파, 약 340 m/s의 속도를 갖는 공기파, 반사파 등이 나타난다. 또한 단면 전체적으로 수평성분의 잡음이 주기적으로 나타남을 알 수 있다. 탐사에서 이동식 진동기의 가동에 필요한 전원공급용 발전기를 수진기에서 최대한 멀리 떨어뜨려 가동시켰는데, 발전기에 의한 잡음이 수평성분의 잡음으로 기록된 것이다.

3.2. 자료변환 및 편집

기록계에서 원시자료 및 상호상관된 발파기록을 SEG-2 포맷으로 기록한다. 발파자료를 SPW 소프트웨어에 사용하기 위하여 SPW 내부포맷으로 자료를 변환하였다. 음원과 수진기간의 위치를 이용하여 자료의 각각의 트레이스별로 CDP 번호, 거

리 등의 정보를 트레이스 헤더(trace header)에 입력하는 과정을 거쳤다. 이후 기록이 안된 트레이스를 제거하는 자료편집을 수행하였다. 탐사지역의 지표가 평평하게 이루어져 자료편집 후에 일반적으로 수행되는 정보정 과정은 생략하였다.

3.3. 필터링 및 뮤트

발파자료에 나타나는 주파수 영역의 잡음을 제거하기 위한 방안으로 70, 120, 500, 700의 모서리 주파수를 갖는 대역필터를 적용하였다. 이어서 공기파 및 레일레이파 성분을 제거하고 반사파의 연속성을 향상시키기 위하여 1000 m/s 보다 작은 속도를 갖는 신호를 제거하는 f-k 필터를 적용하였다. f-k 필터링 후에도 공기파, 레일레이파들이 남아 있었으므로 이들을 제거하기 위하여 거리-시간 영역에서 뮤트를 적용하였다. Fig. 5는 Fig. 4의 발파자료에 대역필터부터 뮤트에 이르는 일련의 잡음제거 과정을 거친 자료로서 반사파들의 연속성이 향상되고 공기파에 의한 잡음이 대부분 제거되

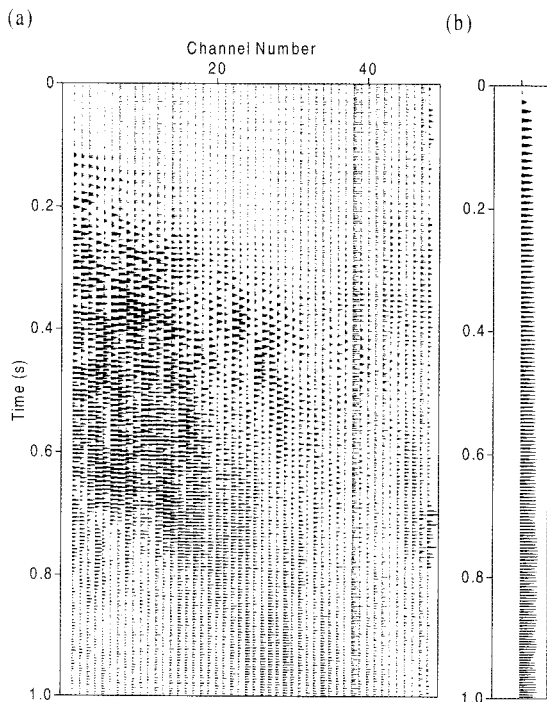


Fig. 3. An uncorrelated shot gather (a) and the sweep signal recorded in an auxiliary channel. (b) Only the first 1 s of the 5 s sweep is shown for graphical purpose.

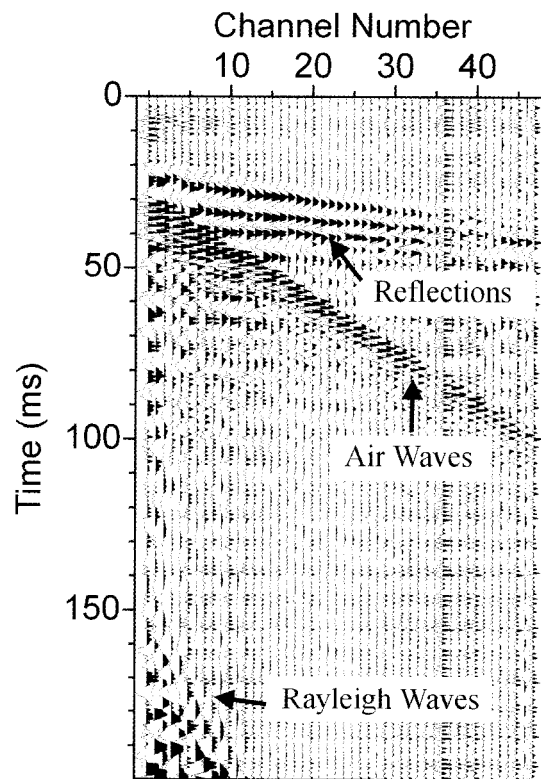


Fig. 4. The shot gather in Figure 3 after crosscorrelation.

있으며 발전기에 의한 수평성분의 잡음이 대부분 제거되었다.

3.4. 속도분석 및 NMO 보정

각각의 자료 내에 입력되어 있는 헤더정보를 이용하여 공심점 분류를 수행한 후 CDP 20개 간격 (5 m)마다 속도분석을 수행하였다. 속도분석시 상 속도 중합단면을 이용하였다. 지층의 속도분포는 대체로 20 ms까지 900 m/s의 RMS 속도를 보이며, 20 - 30 ms 사이의 구간속도(interval velocity)는 1600 m/s, 30 - 50 m/s 사이는 대체로 2600 m/s 내외의 구간속도를 갖는 것으로 나타났다. 속도분석을 통하여 구한 속도정보를 이용하여 NMO 보정후 중합을 수행하였다.

3.5. 잔여정보정

지표의 기복, 지표의 속도 변화 등에 의하여 NMO 보정 후의 반사파들이 수평적으로 정렬되지 못하는 경우가 많다. 이를 정렬하기 위하여 Wiggins *et al.* (1976)의 알고리즘을 이용한 잔여정보정(residual static correction)을 수행하였다. 이때 파일럿 트레이스(pilot trace)로는 NMO 자료를 일차적으로 중합한 트레이스를 이용하였으며, NMO 자료에 나타난 15 ms부터 40 ms의 구간의 신호를 정렬하기 위한 잔여정보정 값을 계산하였다. Fig. 6a는 Fig. 7에서 수평거리 106 m 지점의 CMP 자료에 대한 NMO 보정 후의 단면으로 22, 33, 55 ms에 나타나는 반사파들이 수평적으로 정렬되지 않고 불규칙하게 나타났으나 Fig. 6b와 같이 잔여정보정 처리 후 잘 정렬된 형태를 보인다.

3.6. 중합후 처리

중합단면에 나타나는 잡음을 약화시키고 신호를 부각시키기 위한 방안으로 중합자료에 대하여 디컨볼루션을 적용하였다. 또한 자료의 연속성을 높이기 위하여 f-k 필터를 적용하였다. 이때 필터의 설계는 중합단면에서 나타나는 1250 m/s 보다 작은 속도를 갖는 잡음성분의 경사를 제거하기 위한 f-k 필터를 설계하고 적용하였다. 또한 단면에 나타나는 저주파 잡음을 제거하여 반사파 신호를 부각시키기 위한 방안으로 중합자료에 180 Hz 고주파 통과필터를 적용하였다. 자료의 최종도시를 위하여 10 ms의 AGC를 적용하고 그 단면을 Fig. 7에 도시하였다.

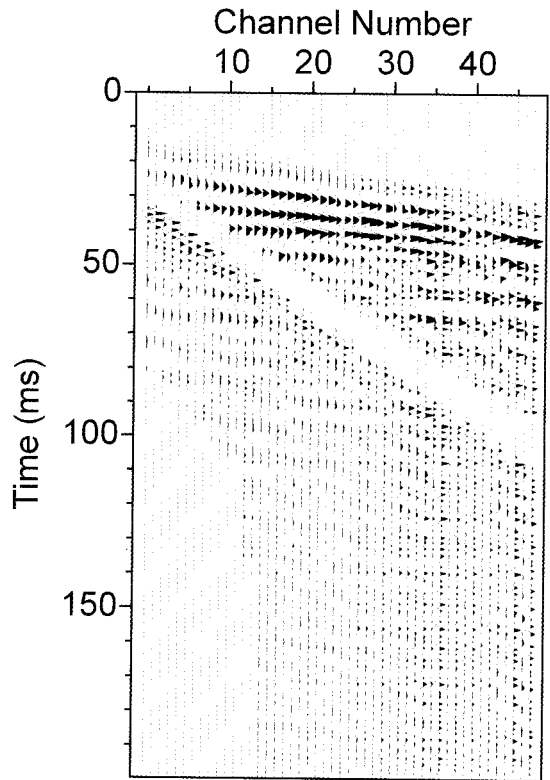


Fig. 5. The shot gather after shot-domain processing. The shot-domain processing includes bandpass filter, f-k filter, and mute.

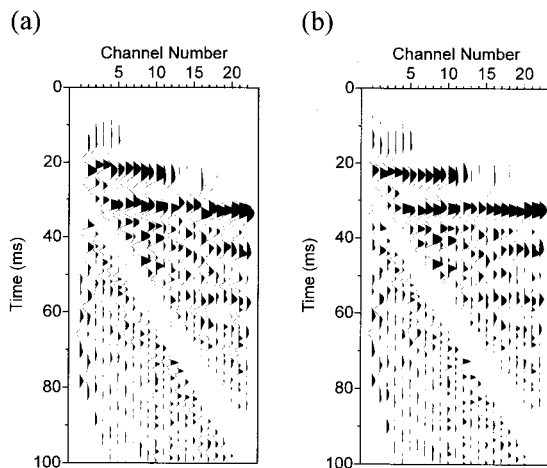


Fig. 6. An NMO corrected CMP gather (a) before and (b) after residual static correction.

4. 고해상 탄성과 단면 해석

탄성과 단면도의 정밀분석을 통해 음향 기반암 위에 두 개의 퇴적층서 즉 상부에서 하부로 가면서 층서단위(unit) I과 층서단위 II가 확인된다. 다시 층서단위 I은 층서단위 Ia과 층서단위 Ib로 세분하였다. 각각의 퇴적 층서의 퇴적환경 및 암상 등에 대한 해석은 시추자료의 결여로 인해 탄성과

단면도상에 나타나는 반사층리의 발달형태(reflection configuration)와 외형(external form) 등을 고려하여 수행하고 그 지층분석 결과를 Fig. 8에 도시하였다.

4.1. 층서단위 I

탄성과 단면도 상에서 최상부를 이루는 이 퇴적단위는 거의 일정한 두께로 넓게 발달하였다. 탄

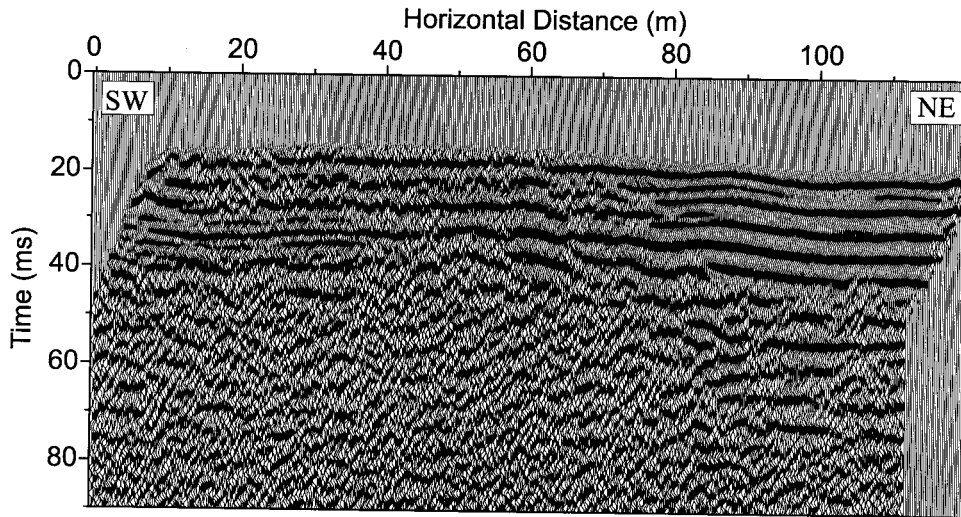


Fig. 7. Stack section after poststack processing.

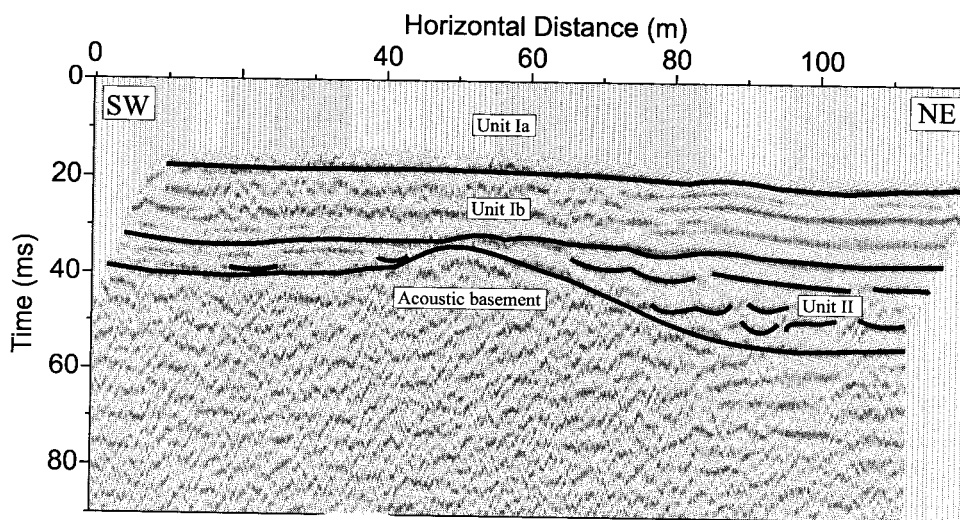


Fig. 8. Interpreted stack section showing two sedimentary units (Units I and II) and acoustic basement.

성과 퇴적상은 평행하고 연속성이 좋은 반사층리가 분포한다. 이 층서단위는 해침 침식면 위에 홀로세 후기 해수면 상승 동안 조간대 퇴적환경 하에서 쌓인 퇴적층으로 해석되며, 구성 퇴적물이 뿔질 퇴적물로 이루어져 있다. 탄성과 속도를 기준으로 층서단위 Ia와 Ib로 세분하였다. 층서단위 Ia는 조간대 퇴적층 상부에 위치하며 약 20 ms의 두께를 갖는다. 층서단위 Ia 내에 존재하는 지층에 의한 반사파는 레일레이파, 공기파와 함께 혼재되어 구분이 거의 불가능할 것으로 예상되어 근거리 윗셋 설정 시 제외되었다. 이에 지층의 두께를 계산하기 위하여 탐사지역 바로 인근(500 m 이내)에서 수행된 홍종국 외(1999)의 결과인 550 m/s의 표층속도를 참조하면 5 m 내외의 두께일 것으로 추정된다. 낮은 탄성과 속도를 고려하면 조사지역의 조간대가 대기에 노출된 후 건조된 것으로 해석된다. 층서단위 Ib는 조간대 퇴적층의 하부를 이루며 구간 속도가 1600 - 1800 m/s의 범위를 갖는 함수퇴적층으로 15 m 이내의 두께로 쌓여 있는 것으로 해석된다.

4.2. 층서단위 II

이 퇴적단위는 단면도상에서 지형적으로 함몰된 하천구조가 나타난다. 층서단위 II와 층서단위 I 사이의 경계면은 경사 부정합 관계를 보이며 광역적으로 분포한다. 이 경계면은 층서단위 I이 퇴적되기 전 층서단위 II 퇴적층이 해침과정에서 해저면 평탄 침식작용에 의한 해침 침식면(ravinement surface)으로 해석된다. 탄성과 퇴적상 발달 특징은 전반적으로 하천의 경사면에 상향결침(onlap)의 탄성과 종결양상을 보이며 퇴적물이 충전되었다. 정밀분석을 통해 하천구조 내에 소규모 수로를 나타내는 구조가 U자형의 함몰형태(concave)로 다수 발견되었다. 이들은 주 하천의 퇴적과정에서 작은 수로들의 퇴적과 침식과정을 거치면서 발달한 사행수로들로 해석된다. 하천 충전 퇴적층은 강한 진폭과 함께 불연속적인 반사층리를 보인다. 퇴적환경은 조간대가 발달되기 이전 염하구환경(estuary)하에 발달한 하천퇴적환경으로 구성 물질은 조립질의 사질 퇴적물이 주를 이룰 것으로 사료된다. 퇴적층의 구간속도는 약 2500 m/s 내외로 관측되며, 층의 두께는 단면의 북동쪽에서 최대 약 20 m에 이르며 중앙부로 갈수록 두께가 얇아지다가 다시 깊어지기 시작한다.

4.3. 음향 기반암

주변 육상 지질을 구성하는 선캠브리아기의 화강암질 편마암이 조간대까지 연장되어 기반암을 이룰 것으로 생각된다(김정환·박노영, 1972). 전체적으로 기반암의 발달 양상은 단면도상에서 중앙부에 용기부가 위치하고 양쪽에 하천구조가 발달하였다. 중앙 용기대는 양쪽의 함몰된 지형을 구성하는 암석보다 강한 침식 저항력을 갖는 암석으로 추정된다. 기반암의 상부는 상당히 풍화되어 암석 강도의 약화와 더불어 많은 균열이 발달하였을 것으로 판단되나 탄성과 단면도상에서는 명확한 구분이 불가능하였다. 특히 단면의 남서쪽에서는 퇴적층과 기반암과의 경계가 뚜렷하지 않았다. 이에 대한 원인으로서는 단면의 중앙부부터 남서쪽 방향의 탐사 시 발생한 심한 바람의 영향과 이동식 진동기의 에너지가 다른 고해상 음원보다 약한 것으로 사료된다.

5. 결론 및 토의

이동용 진동기를 이용하여 과거의 조간대 환경에서 획득한 반사파 자료를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탐사자료의 전산처리 시, 발파점 자료에 대한 중합전 f-k 필터 적용은 반사파의 연속성을 향상시키는 데 유효하였으며, 잔여정보정, 중합후 주파수 필터적용이 단면의 질을 향상시키는데 효과적이었다.
- 2) 탄성과 단면해석 결과에 의하면 조사지역은 탄성과 단면도상에서 음향기반암 위에 두 개의 퇴적층서, 즉 층서단위 I과 층서단위 II로 구분할 수 있음이 밝혀졌다.
- 3) 층서단위 I은 조간대 환경 하에서 퇴적된 뿔질 퇴적물로 구성된 것으로 해석되며 건조된 지층과 함수퇴적층 사이의 경계면이 뚜렷하게 관찰되었다. 건조층은 약 5 m의 두께이며, 함수층은 구간속도가 1600 - 1800 m/s 범위이며 두께가 약 15 m 이내로 관측된다.
- 4) 층서단위 I하부의 층서단위 II는 층서단위 I과 부정합 관계를 이루며, 염하구 하천환경 하에서 퇴적된 사질 퇴적물로 U 자형의 함몰형태가 다수 발견되었다. 이 층의 구간속도는 약 2500 m/s 내외이며 최대 20 m의 두께로 쌓여있을 것으로 해석된다.
- 5) 음향기반암은 주변 육상에 발달한 화강 편마

압이 조간대 기저부를 이루고 있으며 풍화암 혹은 기반암으로 생각된다.

이번 연구결과로 얻어진 탄성과 단면에서 층서 단위 II와 기반암과의 경계면이 명확하지 못한 원인은 주변 잡음 및 불충분한 이동식 진동기의 에너지로 추정된다. 따라서 이동식 진동기는 일반적으로 사용되는 해머, 중력추 등의 고해상 탄성과 음원보다 가탐심도가 적은 것으로 예상된다. 반사층에 대한 가탐심도를 높이기 위해서는 주변잡음을 효과적으로 줄이는 것과 획득시 지주파 성분의 에너지를 더 많이 방출하도록 스윌을 조정하는 것이 필요할 것이다. 이번 연구지역은 건조층에 대한 왕복주기로 20 ms에 이르므로 조간대 환경보다는 건조층이 매우 두꺼웠다. 이와 같이 두꺼운 건조층은 탄성과 에너지를 함수층보다 많이 흡수하므로 지층의 구분을 어렵게 하는 요인으로 작용하였을 것이다.

사 사

이 연구는 한국해양연구소 연구사업(PE00785-01)의 재정지원이 있었음을 밝혀드립니다. 또한 논문에 대한 심사를 하여주신 충북대 김지수 교수님께 감사드립니다. 아울러 현장조사에 참여하신 한국해양연구소 민동주 박사와 강원대 대학원생 우남철, 김우혁, 김교홍, 이광자 씨께 감사드립니다.

참고문헌

김규한, 공영세, 오진용, 이정모, 1999, 반사법 탄성과 탐사를 이용한 천부지질구조, 물리탐사, 2, 8-16.

김기영, 허식, 1999a, 고해상도 탄성파자료를 이용한 풍암분지 북동부의 퇴적구조 및 퇴적환경 연구, 지구물리, 2, 91-99.

김기영, 허식, 1999b, 풍암분지 중부지역의 고해상도 탄성파자료 해석, 지구물리, 2, 201-208.

박노영, 김정환, 1972, 한국지질도 (1:50,000), 남양도폭, 국립지질조사소.

서만철, 1999, 경북 포항시 일월동 택지개발지구의 지반상태 파악을 위한 탄성파 탐사, 지구물리, 2, 45-56.

신동혁, 1998, 한국서해안 가로림만 조간대 퇴적환경과 홀로세 해수면 변화. 인하대학교 박사학위

논문.

유홍룡 외, 1991, 한국 서남해안 조간대의 종합조사 연구(III), 한국해양연구소.

장진호, 1995, 한국서해안 곰소만 조간대의 퇴적작용. 서울대학교 박사학위논문.

장진호, 박용안, 한상준, 1996, 한국 서해안 곰소만 조간대의 제4기 층서와 해수면 변화, 한국해양학회지(바다), 1, 59-72.

정공수, 박용안, 1978, 남양만 남부 조간대 퇴적환경의 퇴적학적 특징에 관하여, 한국해양학회지, 1, 9-18.

홍종국, 김기영, 김한준, 1999, 조간대 지역에서의 고해상 탄성파 탐사를 위한 파원 특성 분석, 지구물리, 2, 100-110.

Anderson, F.E., Black, L., Watling, L.E., Mook, W., and Mayer L.M., 1981, A temporal and spatial study of mud flat erosion and deposition, Jour. Sed. Petrol., 51, 729-736.

Ghose, R., Nijhof, V., Brouwer, J., Matsubara Y., Kaida, Y., and Takahashi T., 1998, Shallow to very shallow, high-resolution reflection seismic using a portable vibrator system, Geophysics, 63, 1295-1309.

Hunter, J.A., Pullan, S.E., Burns, R.A., Cagne, R.M., and Good, R.L., 1984, Shallow seismic reflection mapping of the overburden-bedrock interface with the engineering seismograph - Some simple techniques, Geophysics, 49, 1381-1385.

Kim, J.L. and Park, S.C., 1985, Intertidal flat sediments and characteristic sedimentary structures in the Changgu Bay, West Coast of Korea, Jour. Oceanol. Soc. Korea, 20, 43-49.

Miller, R.D., Villeda, A., and Xia, J., 1997, Shallow high-resolution seismic reflection to delineate upper 400 m around a collapse feature in central Kansan, Environmental Geophysics, 4, 119-126.

Steeple, D.W. and Miller, R.D., 1990, Seismic reflection methods applied to engineering environmental, and groundwater problems, Geotechnical and environmental geophysics edited by Stanley H.W., Society of Exploration Geophysicists.

Wiggins, R.A, Larner, K.L., and Wisecup, R.D., 1976, Residual static analysis as a general linear inverse problem, Geophysics, 41, 922-938.

1999년 8월 4일 원고접수

1999년 12월 23일 원고채택