

상호상관기법을 이용한 고분해능 천부해저탄성파탐사 자료에서의 너울효과 제거

김종천* · 이호영** · 김지수* · 강동효**
*충북대학교 지구환경과학과 · 기초과학연구소
**한국지질자원연구원

요 약

고분해능 천부해저탄성파탐사는 석유탄사에서 사용되는 다중채널 탄성파탐사를 소규모의 천부탐사에 적용한 것으로 단층의 1 m 내외 나뭇가지 구분해 낼 수 있을 만큼 분해능이 높은 탐사를 일컫는다. 육상탐사에서 천부 불균질대에 의한 반사영상의 왜곡처럼 해상 탐사에서는 일반적으로 바다에 항상 존재하는 1 m 내외의 파도에 의해서 그 분해능이 저하될 수 있는데 고분해능 해저 탄성파탐사에서는 이와 같은 너울효과를 제거함으로써 분해능을 향상시킬 수 있다. 기존의 인접심도 평균법을 극복하기 위해 새로이 상호상관 기법을 이용하여 개발된 방법은 해저면의 심도를 보다 정확히 추출함으로써 자료의 분해능을 크게 향상시키는 것으로 나타났다.

주요어: 고분해능 천부해저 탄성파탐사, 너울효과, 상호상관

Jong Chon Kim, Ho Young Lee, Ji Soo Kim and Dong Hyo Kang, 2003, Suppression of swell effect in high-resolution marine seismic data using cross-correlation scheme. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 6, n. 1, p. 31-38

ABSTRACT: Multi-channel seismic survey, which has been mainly employed in oil prospecting, is carried out as a high resolution shallow marine seismic exploration. Fault drop as small as 1 m can be resolved by employing high-resolution seismic survey. Similar to the effect of shallow inhomogeneities in the land seismic data, due to occurrence of swell quite often higher than 1 m, shallow marine seismic data tend to be severely degraded. Suppression of such a swell effect is critical in processing of steps of marine seismic shallow high-resolution data. Compared to the moving average depth method, a newly developed method using cross-correlation technique is found out to be very effective in increasing the resolution of the shallow reflection events by accurately elucidating the depth of sea bottom.

Key words: high-resolution shallow marine seismic exploration, swell effect, cross correlation

(Jong Chon Kim and Ji Soo Kim, Department of Earth and Environmental Sciences, College of Natural Sciences and Institute for Basic Science Research, Chungbuk National University, San 48, Gaesindong, Heungduggu, Chungju, Chungbuk, 361-763, Korea, e-mail: winschool@hanmail.net; Ho Young Lee and Dong Hyo Kang, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resource, 30 Gajung dong, Yuseong, Daejeon, 305-350, Korea)

1. 서 론

지난 수십년간 고분해능 천부해저 탄성파탐사는 골재, 가스하이드레이트 등 해저에 부존하는 자원탐사와 해저지층의 퇴적환경연구, 교량, 원전

부지, 해상 시설물 등의 부지 기반조사에 널리 활용되고 있다. 이러한 탐사에서는 해저지층을 높은 분해능의 영상으로 재현시켜 실제의 모양에 가깝고 정밀 지층구조를 파악하는 것이 중요하다. 1990년대 후반부터 고분해능 천부해저 탄성파탐

사의 분해능을 향상시키기 위해 석유탐사에서 발전된 다중채널 디지털 탄성과 탐사법을 천부에 적용하기 위한 많은 연구들이 시도되어 왔다 (McGee, 1995a, 1995b; Lee *et al.*, 1996; Mosher and Simpkin, 1999; Morend, 2002; 이호영 외, 2002b; Lee *et al.*, 2003; 이호영 외, 2003).

고분해능 천부해저 탄성과탐사는 발파간격과 수신기 채널의 간격을 조밀하게 구성하여 석유탐사에 비해 수평 및 수직 해상도가 높게 고안되며 음원으로 칩(chirp) 시스템, 스파커(sparker), 부머(boomer) 등이 사용되나 일반적으로 주 주파수 대역이 100 ~ 500 Hz인 에어건을 음원으로 사용하도록 구성된다. 에어건은 음원의 파형이 다른 음원에 비해 스파이크 형태로 비교적 안정되어 있어 자료처리시 디콘볼루션을 적용한 수직분해능의 향상이 쉽다(Lee *et al.*, 2003).

고분해능 탐사의 수직분해능은 해수의 평균속도 1500 m/s를 고려하였을 때 약 1 m 내외의 낙폭을 가지는 단층도 구분할 수 있을 만큼 높다. 이러한 수직 분해능은 마치 육상탐사에서 천부 불균질대에 의한 반사영상의 왜곡처럼, 현장탐사시 해상에 존재하는 1 m 내외의 파도에 의해서 저하될 수 있다. 파도에 의한 분해능 저하현상을 너울효과라고 하며 이를 제거함으로써 자료의 분해능을 향상시킬 수 있다(Park *et al.*, 1997; 이호영 외, 2003; Lee *et al.*, 2003).

최근 너울효과를 제거함으로써 고분해능 천부해저 탄성과탐사 자료의 분해능을 향상시키기 위해 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 인접심도 평균법, 주파수 제거법 등의 여러가지 방법들이 고안되고 있다(Wilson *et al.*, 1994; Park *et al.*, 1997; 이호영 외, 2002a). 인접심도 평균법을 이용하여 너울효과 제거를 위해서는 정확한 심도추출이 필수적인데 기존의 인접심도 평균법(이호영 외, 2002a)으로는 날씨가 좋지 않은 경우 해저면의 신호가 불규칙하여 해저면의 심도를 정확히 추출해 내지 못했다.

이 연구의 목적은 고분해능 천부해저 탄성과탐사를 적용한 여수 근해의 천부 미세 퇴적층 연구를 위해 한국지질자원연구원의 탐사선 탐해 2호를 이용하여 취득된 자료 중 너울효과로 인해 분

해능이 저하된 축선에서 자료의 유사성을 평가하는 상호상관 기법으로 해저면의 신호를 증폭한 후 심도를 추출하여 너울효과를 제거하고 분해능을 향상시켰다.

2. 연구지역

연구지역은 한반도 남해 연안의 북위 34° 24'에서 34° 46'과 동경 127° 45' 부터 128° 06' 사이에 위치한 내대륙붕 해역이다(Fig. 1a). 연구지역의 평균 수심은 약 20 ~ 50 m 정도로 비교적 얕은 천해이며 돌산도, 남해도, 금오도와 소리도 등과 같은 크고 작은 섬들이 위치하고 있다.

연구지역의 육상지질은 하양층군과 유천층군을 불국사 화강암이 관입한 형태로 존재하고 있으며 해저 표층 퇴적물은 주로 미세 실트나 점토로 구성되어 있고 모래의 함량이 거의 없는 것이 특징이다. 조립질의 입자는 만의 안쪽으로 갈 수록 점차적으로 증가하며 연구지역의 남동쪽을 제외하고는 연구지역 전반에 걸쳐 니질 퇴적물이 우세하게 나타난다(Fig. 1b, 홍석구, 1991).

3. 자료취득

자료수집은 한국지질자원연구원의 물리탐사선 탐해 2호를 이용하여 수행되었다. 취득된 자료는 7개 축선으로 축선의 총 길이는 240 km이다(Fig. 1a). 너울효과를 보정효과를 규명하기 위한 이 연구에서는 너울효과가 심하지 않은 날씨에 수행한 Line 1과 좋지 않은 날씨로 인해 너울효과가 많이 일어난 Line 2만을 선정하여 대비, 분석하였다.

자료수집시 음원으로 Bolt사의 30 in³ 에어건을 사용하였으며, 수신기는 8채널 고분해능 스트리머를 사용하였다. 수신기에서 수신된 아날로그 신호는 EPC-열감응 기록계로 기록하였고, A/D 변환기에서 변환된 디지털 신호는 PC 기반의 디지털 자료 기록시스템인 KDAPS(KIGAM Data Acquisition and Processing System)를 사용하여 기록하였다. 해저 탄성과탐사에서는 정확한 선위의 측정이 필수적인데 탐해 2호는 GPS 위성용

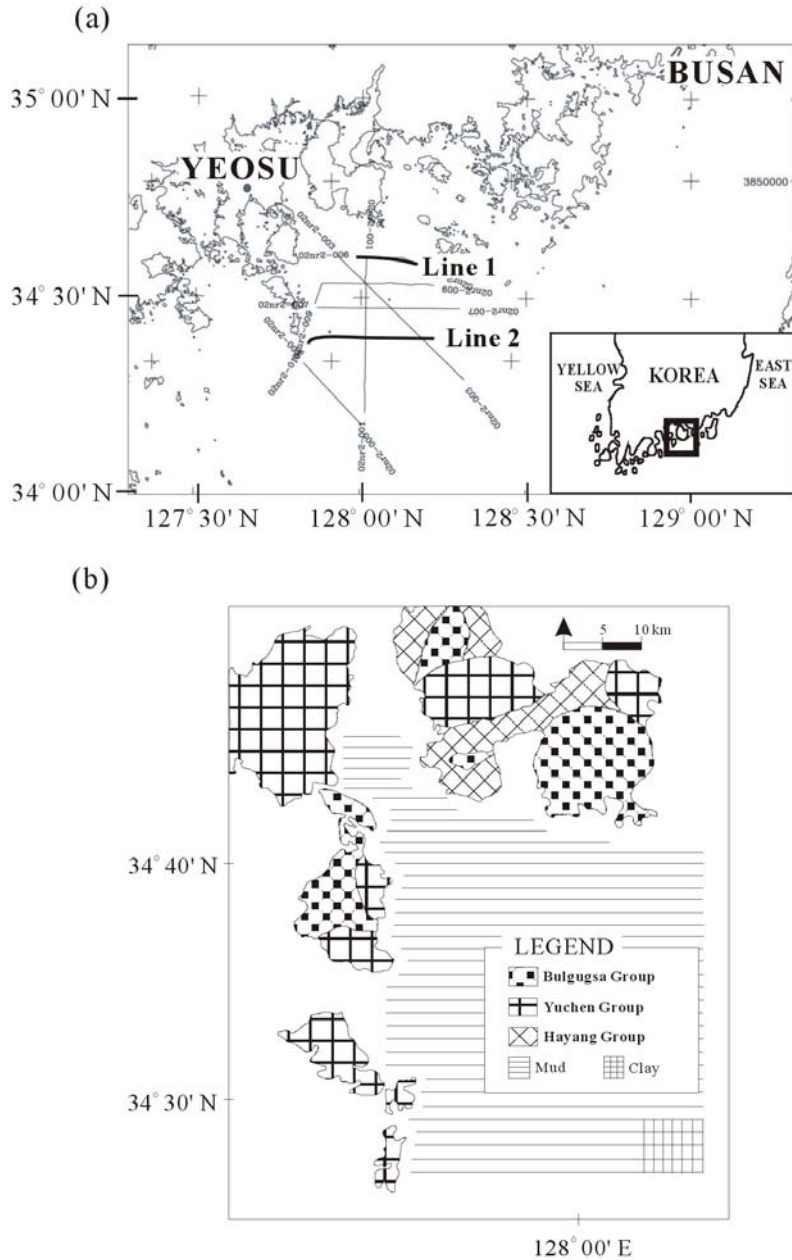


Fig. 1. (a) Survey area and seismic track line. The sea was not swollen during the survey for the Line 1, while it was swollen during the survey for the Line 2. (b) Geology map of survey area.

이용하여 매 발파점마다 선위를 측정하여 기록하였다.

에어건의 발파심도는 3 m, 발파간격은 2 sec (약 5 m) 이었다. 음원과 첫번째 채널까지의 거리는 20 m, 수신기의 각 채널별 간격은 5 m 이

었다. 스트리머는 별도의 수심 유지장치를 부착하지 않고 수심 3 m 내외를 유지하도록 하였다. 자료수집 간격은 0.1 ms이고 기록시간은 1 sec 이었다.

Line 1의 자료를 취득할 당시는 해상의 날씨가

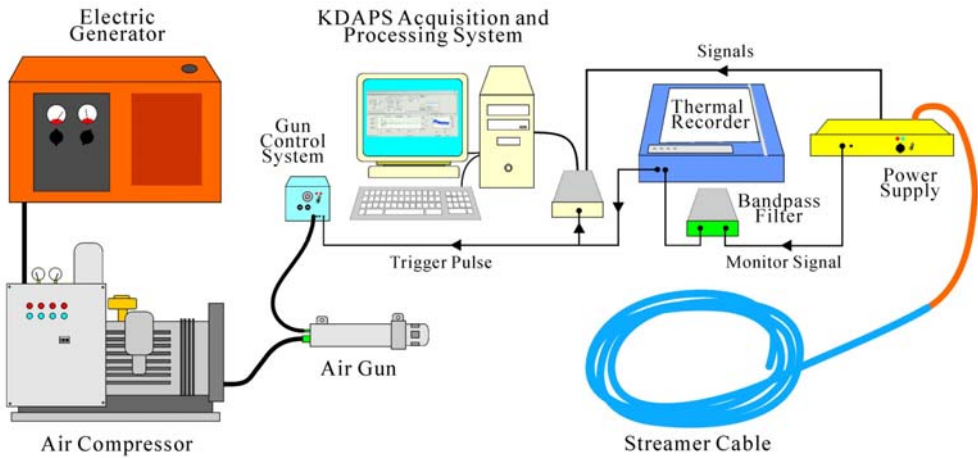


Fig. 2. Layout of seismic exploration data acquisition instruments.

좋았으나 Line 2의 자료를 취득할 때는 해상의 날씨가 좋지 못하여 수집된 자료에 너울효과가 많이 포함되었다.

Figure 2는 본 탐사에 활용된 탄성파탐사 장비의 구성을 보여준다.

4. 자료처리

4.1. 기본자료처리

자료처리 과정은 편의상 일반적인 반사법탐사 자료처리 과정을 포함하고 있는 기본자료처리 과정과 상호상관을 이용하여 너울효과를 제거하기 위한 과정으로 구분하였다. 먼저 기본자료처리 과정에서는 이득회수, 스파이킹 디콘볼루션(spiking deconvolution), 필터링, 동보정, 중합 등 일반적인 반사법 탐사 자료처리 과정을 적용하였다.

Figure 3a와 Figure 3b는 각각 Line 1과 Line 2의 단면도로서 50분간 탐사를 진행한 자료이다. 두 자료 모두 1500개의 발파점으로 구성되고 수평거리는 탐사선의 평균속도 9 km/hour를 고려할 때 약 7.5 km이다. Line 1에 비해 Line 2는 자료수집 당시 해상의 날씨가 좋지 못하여 너울효과가 심하게 나타나고 있다.

Figure 3a는 0.04 ~ 0.05 sec 구간 자료의 해저면이 보이고 있으며 0.05 ~ 0.06 sec 구간 자료에는 반사계수의 차이를 보이지 않는 현생 퇴적물이 하나의 층(layer)처럼 쌓여 있는 것으로 해

석된다. 0.06 ~ 0.09 sec 구간 자료에는 퇴적현상에 따른 모래와 점토가 혼합된 미세 퇴적층의 구조를 보이며 0.09 sec 이하의 구간 자료는 퇴적시기가 오래된 자갈과 빨층이 혼합된 오래된 퇴적층으로 해석된다.

Figure 3b는 너울효과로 인해 0.07 ~ 0.08 sec 구간 자료의 해저면과 0.09 ~ 0.10 sec 구간 자료의 현생 퇴적물과 모래와 점토가 혼합된 층과의 경계면이 너울에 의해 왜곡되어 있음을 보이고 있다. 0.10 ~ 0.14 sec 구간 자료의 천부 미세 지층 반사면들도 연속성이 떨어져 탄성과 단면도의 분해능이 현저히 저하되어 정확한 지층 반사면들에 대한 해석이 불가능 하다.

4.2. 너울효과 보정

4.2.1. 인접심도 평균법

Line 2에 나타난 너울효과를 보정하기 위해 이호영 외(2002a)에 의해 연구되어진 심도추출법으로 심도를 추출하여 인접심도 평균법을 적용하였다. 기존 연구에서 사용되어진 심도추출기법은 해저면 신호의 강약을 이용하여 심도를 추출하는 방법이다. Figure 4는 기존 심도추출기법으로 너울효과를 보정한 Line 2의 탄성과 단면도이다. 너울에 의해 왜곡되었던 0.07 ~ 0.08 sec 구간 자료의 해저면의 이벤트가 정렬되었지만 지하 미세 지층의 분해능은 너울효과를 보정하기 전보다(Fig. 3b) 저하된 것을 확인할 수 있다.

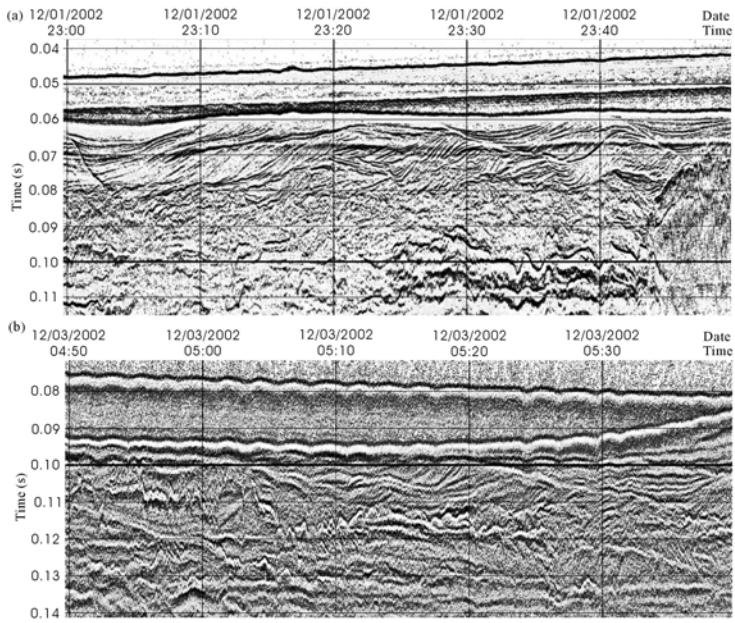


Fig. 3. Seismic section with no swell-correction applied. CMP sorting, gain, spiking deconvolution, filtering, NMO correction, and stacking processes are applied; (a) Line 1, (b) Line 2. Swell effect appears distinctly on the Line 2, because the sea was swollen during the survey.

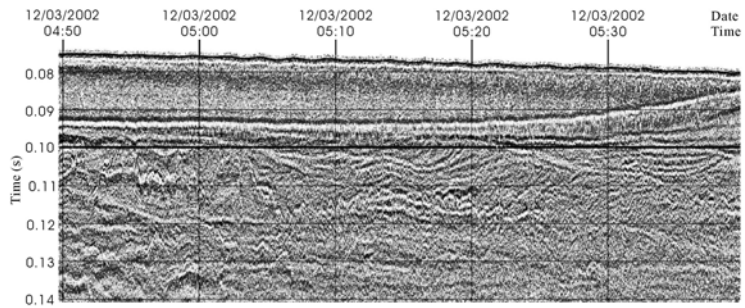


Fig. 4. Seismic section after suppression of swell effect using moving average depth for the Line 2(Fig. 3). CMP sorting, gain, spiking deconvolution, filtering, NMO correction, swell effect correction, and stacking processes are applied.

효과적인 너울효과 제거를 위해서는 정확한 해저면의 심도추출이 필수적인데 Line 2의 자료는 자료수집 당시 해상의 좋지 못한 날씨로 인하여 해저면 반사신호가 불연속적이며 불량하여 기존 연구에서 사용된 해저면 신호의 강약을 이용하여 심도를 추출하는 것이 어려웠다(Fig. 5a).

이 연구에서는 기상의 악화로 인하여 해저면 신호의 파형과 진폭이 일정하지 못하여 심도추출이 불가능한 경우(Fig. 5a) 해저면의 반사신호 기

록들이 일정한 파형(wavelet)을 나타내고 있음을 가정하고 자료의 첫번째 트레이스에서 해저면 신호를 추출해내어 전체 트레이스와 상호상관하여 해저면의 신호를 증폭하였다(Fig. 5b).

4.2.2. 상호상관을 이용한 너울효과 보정

상호상관 기법은 비교되는 두개 파형의 상관성을 나타내는 것으로써 두개 파형의 상관성이 가장 높을 경우 최대값을 나타내게 된다.

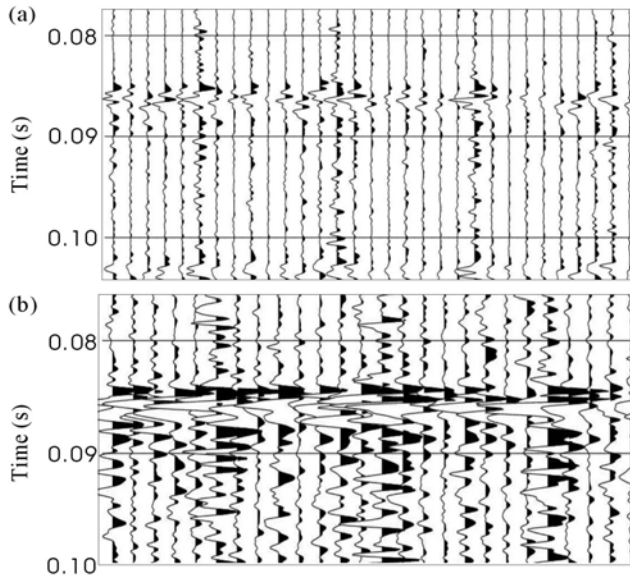


Fig. 5. Close up of sea bottom signals; (a) before application of cross correlation, (b) after application of cross correlation.

Figure 6은 상호상관기법을 이용하여 해저면의 심도를 정확히 추출함으로써 너울효과를 제거하는 과정을 보여준다. 계산은 처음 자료의 첫번째 트레이스에서 해저면의 반사신호를 추출하여 자료내의 전체 트레이스들과 상호상관하는 방법으로 실시하였다. 해저면의 산정은 먼저 해저면 신호가 기록되어 있는 구간을 설정하고 그 범위 내에서 나타나는 신호 중 최대 진폭의 90%에 해당하는 신호가 처음 나오는 곳으로 하였다. 일반적으로 해저면에서의 반사신호가 설정된 구간 내에서 가장 강하지만 잡음이 신호보다 강하게 기록되는 경우도 있으므로 잡음이 해저면으로 오인되는 것을 방지하기 위해 최대 진폭보다 약간 작게 설정하였다.

또한 추출된 심도값의 정확성을 높이기 위해 심도 추출 대상 트레이스의 직전 10개 트레이스에서 추출된 심도값을 평균내어 비교값을 설정하였고 비교값과 비교하였을 때 ± 1 ms 범위안에서만 심도를 추출하도록 하여 추출된 심도값에 신뢰도를 주었다. 너울효과가 제거된 심도를 산출하기 위해 사용되는 트레이스의 수를 50, 100, 150, 200, 250, 300으로 설정하여 너울효과 제거 효과를 비교한 결과 200 이상에서부터 너울효과

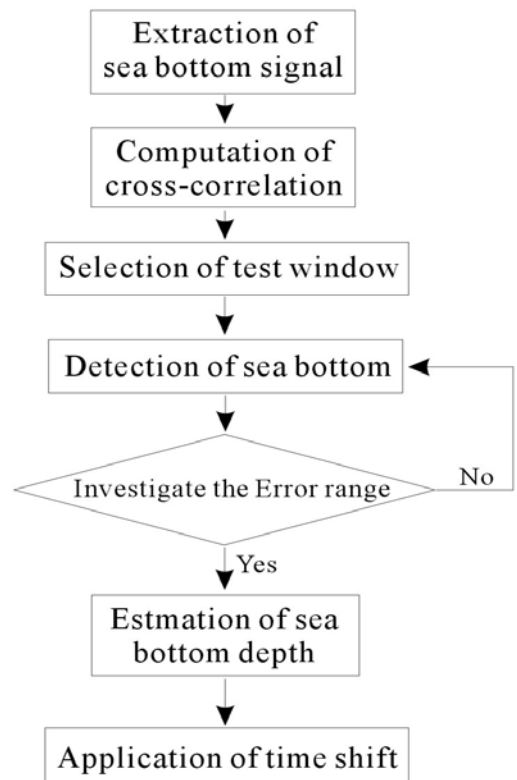


Fig. 6. Flow chart for removing the swell effect using the cross-correlation scheme.

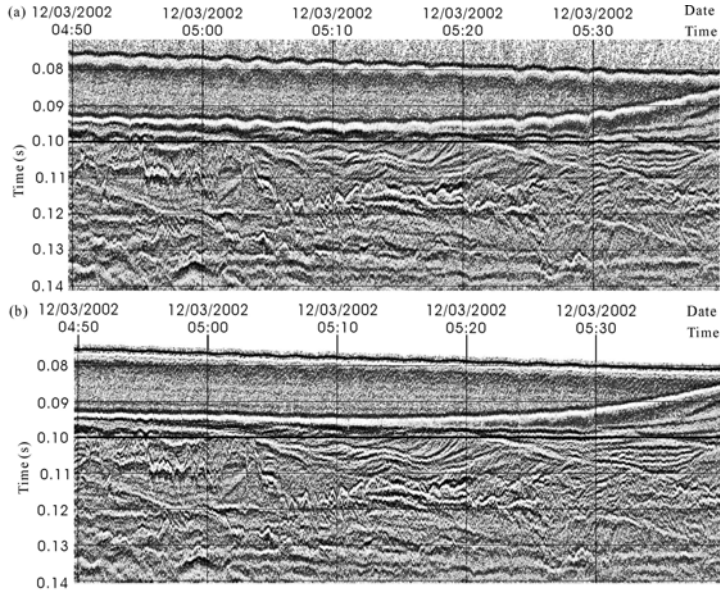


Fig. 7. Seismic sections of (a) before correction of swell effect(Fig.3b is included again only for comparison) and (b) after suppression of swell effect using cross-correlation scheme.

로 인한 해저면의 왜곡이 사라져, 분해능이 크게 향상됨을 확인 할 수 있었다.

Figure 7b는 상호상관을 이용하여 너울효과를 보정한 Line 2의 탄성과 단면도를 나타낸다. 지층 경계면의 신호가 너울효과가 보정이 안된 자료(Fig. 7a)에 비해 가늘게 나타나고 있으며, 0.07~0.08 sec 구간 자료의 해저면 모양이 정렬되어 있음을 볼 수 있다. 또한 0.09 ~ 0.10 sec 구간 자료에서 미세 지층면들이 뚜렷이 보이고 있다. 결론적으로 Figure 7b는 너울효과와 보정 이전의 단면도(Fig. 7a) 보다 분해능이 향상된 것을 확인할 수 있으며 기존 연구에서 사용하였던 인접 심도추출 방법을 이용한 결과(Fig. 4) 보다 반사영상이 향상되었다.

5. 결론

고분해능 천부해저 탄성파탐사는 평균 속도 1500 m/s를 고려하였을 때 수직분해능이 1 m로 그 분해능이 상당히 높은 탐사를 목적으로 한다. 따라서 일반적으로 해상에 존재하는 1 m 내외의 파도에 의해서도 천부해저 자료의 분해능이 현저

히 저하될 수 있다.

이 연구에서는 이와 같은 너울효과를 제거하기 위하여 자료를 디지털로 취득하고 수집된 자료에서 너울효과를 제거하여 분해능을 향상시켰다. 해상 날씨가 좋지 못하여 해저면에서 반사되어 오는 해저면의 파형이나 진폭의 불량할 경우에는 인접심도 평균법에서 사용된 방법보다 상호상관 기법을 이용하여 너울효과를 제거하는 방법이 더욱 효과적이었다. 상호상관 기법을 이용한 너울효과 제거에서는 해저면 신호의 추출이 중요하므로 해저면 신호 추출방법을 보완하는 연구가 필요할 것이다.

사 사

본연구는 과학기술부(MOST)와 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 지원하는 국가지정연구실(NRL) “고해상 디지털 해저 탄성과 탐사기술 개발” 사업으로 수행되었음을 밝히며 이에 감사드린다.

참고문헌

- 이호영, 구남형, 박근필, 유동근, 강동효, 김영진, 서갑석, 황규덕, 강무희, 김종천, 김지수, 2003, 고해상 다중채널 탄성파탐사 자료취득변수에 따른 천부 해저지층영상의 해상도, 한국물리탐사학회지. (In press)
- 이호영, 구남형, 박근필, 김정기, 김원식, 강동효, 2002a. 3.5 kHz 천부지층탐사자료의 너울영향 제거, *The Sea*, 7, 95-99.
- 이호영, 박근필, 구남형, 박영수, 김영진, 서갑석, 강동효, 황규덕, 김종천, 2002b, 에어건과 6채널 스트리머를 이용한 고해상 천부 해저 탄성파탐사, 한국지구물리탐사학회 제 4회 특별심포지움 "땅과 물이 만나는 곳에서의 물리탐사" 논문집, 한국지구물리탐사학회, 한국과학기술회관, 24-25.
- 홍석구, 1991, 한국남해 내대륙붕 퇴적상의 제 4기 탄석과 층서연구, 충남대학교 석사 학위논문.
- Lee, H.Y., Park, K.P., Koo, N.H., Yoo, D.G., Kang, D.G., Kim, Y.G., Hwang, K.D., and Kim, J.C., 2003, High resolution shallow marine seismic surveys off Busan and Pohang Korea using a small-scale multichannel system, *J. Applied Geophys.* (submitted)
- Lee, H.Y., Hyun, B.K., and Kong, Y.S., 1996, PC-based acquisition and processing of high-resolution marine seismic data, *Geophysics*, 61, 1804-1812.
- McGee, T.M., 1995a, High-resolution marine reflection profiling for engineering and environmental purpose, Part A: Acquiring analogue seismic signals, *J. Applied Geophys.*, 33: 271-285.
- McGee, T.M., 1995b, High-resolution marine reflection profiling for engineering and environmental purpose, Part B: Digitizing analogue seismic signals, *J. Applied Geophys.*, 33:287-296.
- Morend, D., Pugin, A., and Gorin, G.E., 2002, High-resolution seismic imaging of outcrop-scale channel and an incised-valley system within the fluvial-dominated Lower Freshwater Molasse (Aquitainian western Swiss Molasse Basin), *Sediment. Geol.*, 149, 245-264.
- Mosher, D.C., and Simpkin, P.C., 1999. Status and trends of marine high-resolution seismic reflection profiling data acquisition, *Geoscience Canada*, 26.
- Park, S.H., Kong, Y.S., Kim, H.J., and Lee, B.G., 1997, Swell correction of shallow marine reflection data using genetic algorithms, the *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 32, 163-170.
- Wilson, W.G., Laidlaw, W.G., and Vasudevan, K., 1994, Residual statics estimation using the genetic algorithm, *Geophysics*, 59, 766-774.
- Yilmaz, O., 1987, *Seismic data processing*, Society of Exploration Geophysics, Tulsa.

2003년 2월 3일 원고접수
2003년 3월 24일 원고채택