

## 3.5 kHz 천부지층탐사자료의 너울영향제거

이호영\* · 구남형 · 박근필 · 김정기 · 김원식 · 강동호  
한국지질자원연구원

### Suppression of Swell Effect in 3.5 kHz Subbottom Profiler Data

HO-YOUNG LEE\*, NAM-HYUNG KOO, KEUN-PIL PARK, JUNG-KI KIM,  
WON-SIK KIM, DONG-HYO KANG  
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

3.5 kHz 천부지층탐사기(Subbottom Profiler)는 10~100 m 깊이까지의 천부 해저지층구조를 정밀하게 파악하기 위한 탐사장비이다. 천부지층탐사는 1 m 보다 정밀한 해상도를 요하는 탐사이다. 그러나 해상의 파고는 대부분 1 m 이상인 경우가 많기 때문에 파도에 의한 너울영향으로 자료의 품질이 크게 저하된다. 본 연구에서는 디지털로 취득된 3.5 kHz 천부지층탐사자료에서 너울영향을 제거함으로써 고품질의 지층단면도를 획득할 수 있음을 보였다. 너울효과를 제거하기 전에 해저면 신호의 진폭이 큰 점을 이용하여 해저면 추출심도를 구하였다. 너울영향을 제거하기 위하여 인접트레이스의 추출심도를 이용한 인접심도 평균법과 고주파 제거 필터링법을 각각 적용한 결과, 두가지 모두 양호한 결과를 도출할 수 있었다. 자료의 상태가 매우 불량한 경우와 심도가 얇아 직접파와 중첩되는 경우 등에서 해저면 심도추출이 부정확하여 너울영향제거에 어려움이 있다.

3.5 kHz subbottom profiling systems are useful for delineating of shallow (up to 10~ 100 m below the sea bottom) geological structure. These systems are generally used to image geological structures with less than 1 m of vertical resolution. However swell in the sea is quite often higher than 1 m, causing degradation in the quality of the 3.5 kHz subbottom profiles. In this paper, we show the quality of digitally recorded data can be enhanced by the suppression of swell effect. Prior to suppression of swell effect, sea bottom detection procedure was applied using the characteristics that the amplitude of sea bottom reflection is high. To suppress the swell effect, we applied moving average method and high-cut filtering method using the extracted water depth of adjacent traces. Acceptable results were obtained from both methods. In the case of bad quality data or shallow data interfered with direct wave, the suppression of swell effect is difficult due to incorrect sea bottom detection.

**Key words:** 3.5 kHz subbottom profiling, Suppression of swell effect, Digital, Sea bottom detection

### 서 론

3.5 kHz 천부지층탐사 시스템은 지난 수십년 동안 해저의 천부 지층탐사에 사용되어 왔다(Mosher and Simpkin, 1999). 3.5 kHz 천부지층탐사는 해저골재자원 탐사, 엔지니어링 목적의 기반암 조사(McGee, 1995a), 퇴적 층서연구(Damuth, 1980; Yoo and Park, 2000) 등에 다각적으로 활용되고 있다.

천부지층탐사 시스템의 주 주파수는 3.5 kHz이지만 2~8 kHz 범위내에서 임의의 주파수 사용이 가능하도록 고안되어 있으며, 최근에는 독특한 음원파형을 이용하는 칩(chirp)시스템이 사용되기도 한다. 이러한 시스템은 10~100 kHz의 고주파 성분을 사용하는 수심측정기에 비해서는 저주파를 사용하며, 에어건(airgun), 스파커(sparker), 부머(boomer) 등 수십 Hz~수 kHz의 주파수 대

역을 갖는 탄성과 탐사장비에 비해 고주파를 사용한다.

3.5 kHz 천부지층탐사 시스템은 송신부와 수신부로 구성되며 송신기는 펄스의 길이를 조절할 수 있다. 탐사선의 선체 하부 또는 측면에 부착하거나 예인하기도 한다(Geyer, 1983). 이 시스템은 사용과 유지관리가 용이하며 반복성이 좋은 장점을 가지나 고화된 퇴적물에 투과가 어렵고 펄스의 길이가 긴 단점 등이 있다(Mosher and Simpkin, 1999).

수직 해상도는 지층내에서 전파속도를 1800 m/s로 가정하고, 주 주파수 파장의 1/8~1/4(Sheriff, 1977)로 볼 때, 이론적으로 약 6~13 cm의 정밀도를 갖는다. 그러나 음원 펄스의 길이, 잡음, 기록계의 속도, 음원의 특성 등에 따라 실제 지층구조파악 정밀도는 수십 cm 정도이다. 3.5 kHz 천부지층탐사의 투과 깊이는 음원의 세기와 해저 지층의 지질에 따라 약 10~100 m이다.

3.5 kHz 천부지층탐사자료는 수십 cm의 수직해상도를 갖는 고 해상(high-resolution) 탐사자료이므로 수직해상도보다 큰 해상도의

\*Corresponding author: hylee@kigam.re.kr

파도(너울, swell)에 큰 영향을 받는다. 이와 같이 자료취득 시 너울이 심한 경우 탐사선의 위치가 수직 방향으로 변동되므로 해저면 하부 지층과의 거리가 너울에 따라 변하게 되어 지층이 수평한 경우에도 탐사 기록에는 굴곡을 이루는 것처럼 나타난다. 수직 해상도 보다 큰 너울은 흔히 발생하며 탐사에 큰 영향을 주어 해상도를 저하시킨다.

이와 같은 3.5 kHz 천부지층탐사자료는 대부분 아날로그 방식으로 기록되어 왔으며 이러한 너울의 영향을 제거하기 위하여 아날로그 너울필터(swell filter)가 개발되기도 하였다(Geyer, 1983).

그러나 최근에 PC와 주변기기의 발달로 디지털 자료취득이 경제적으로 가능해짐에 따라 천부 해저지층 탐사자료의 디지털 자료취득이 증가하고 있다(Lee *et al.*, 1996; Mosher and Simpkin, 1999). 따라서 3.5 kHz 천부지층탐사와 칩(chirp) 탐사 등의 디지털 자료의 전산처리에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다(McGee, 1995a, 1995b; Quinn *et al.*, 1998; Bull *et al.*, 1998).

본 연구에서는 3.5 kHz 천부지층 탐사자료를 디지털로 취득하고, 전산처리를 통하여 해저면의 심도변화를 수치화하여 너울영향으로 왜곡된 부분을 제거함으로써 탐사자료의 품질이 크게 향상될 수 있음을 보였다. 심도를 수치화하기 위하여 해저면의 진폭이 큰 점을 이용하였으며 너울영향제거를 위하여 인접트레이스의 심도를 평균하는 방법과 해저면의 심도변화값에서 너울영향에 의한 고주파성분을 제거하는 방법을 사용하였다.

### 자료취득

너울영향 제거를 위해 사용된 탐사자료는 진해 근해(측선 1)와 제주 근해(측선 2)에서 한국지질자원연구원의 탐해2호 선저에 부착되어 있는 GeoAcoustics사의 3.5 kHz 천부지층탐사장비로 취득한 것이다. 자료취득 매개변수는 Table 1에 나타낸 바와 같이 0.5 sec 간격의 발파로 이루어졌으며 아날로그 자료기록은 현장에서 열감응 기록계(EPC 9800)로 기록하였다. Fig. 1에는 측선 1과 측선 2의 현장 아날로그 기록을 나타내었다. 두 경우 모두 해저면이 너울의 영향을 받아 심하게 굴곡을 이루고 있음을 보인다.

디지털 자료취득은 PC에 A/D 변환기를 장착한 KDAS 시스템(Lee *et al.*, 1996)을 사용하였으며, 매 발파 시 0.3 sec 또는 0.25 sec를 0.05 msec의 추출간격으로 기록하였다(Table 1). Fig. 2는 자료취득 시의 모니터 화면을 나타낸 것이다.

### 자료처리

#### 디지털 기록

디지털로 기록된 측선 1과 측선 2의 자료를 특별한 전산처리과정 없이 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 1의 아날로그 기록과 동시에 취득한 자료이며 전체적인 신호는 유사하다. 역시 해저면 하부 지층구조가 너울영향으로 굴곡을 이루고 있음을 보인다. Fig. 1의 열

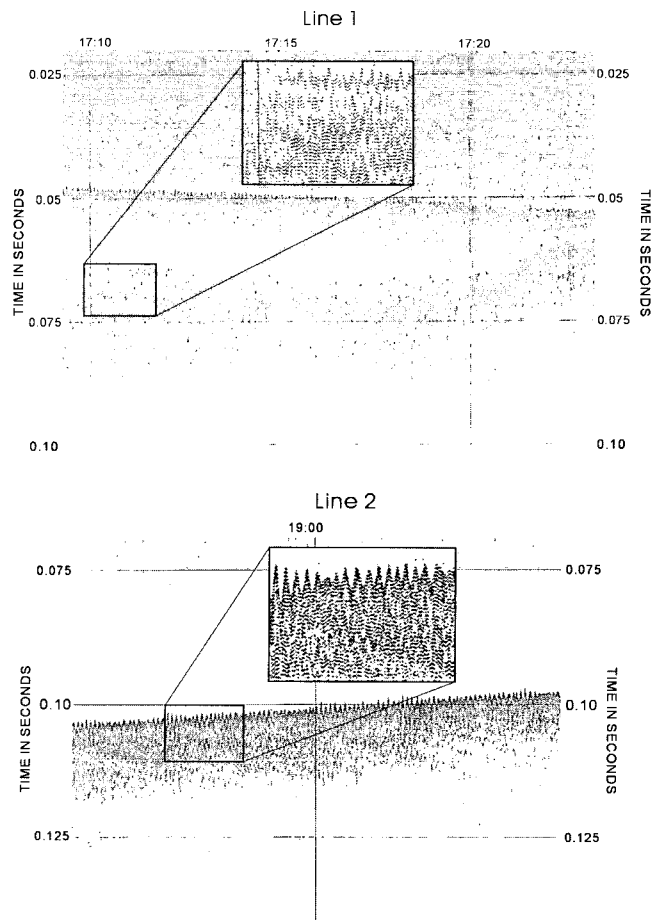


Fig. 1. Analog 3.5 kHz subbottom profiler data of Line 1(off Jinhae) and Line 2(off Jeju).

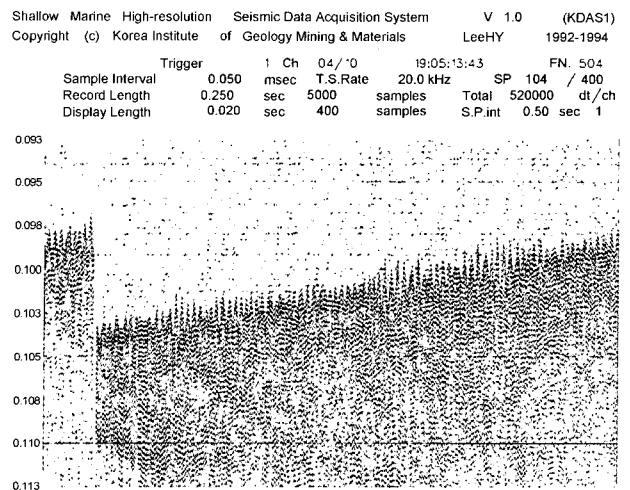


Fig. 2. KDAS(KIGAM Data Acquisition System) monitor screen.

Table 1. Data acquisition parameters

Line Name	Survey Area	Sample Interval	Record Length	S.P. Interval
Line 1	Off Jinhae	0.05 msec	0.3 sec	0.5 sec
Line 2	Off Jeju	0.05 msec	0.25 sec	0.5 sec

감응 기록의 해상도는 200 dpi로 낮지만 열감응정도에 따라 강약을 표현할 수 있으며, Fig. 3은 600 dpi 해상도를 갖는 프린터로 출력한 것으로 해상도는 높으나 강약은 표현할 수 없어 각각 표현의 특성이 다르게 나타난다.

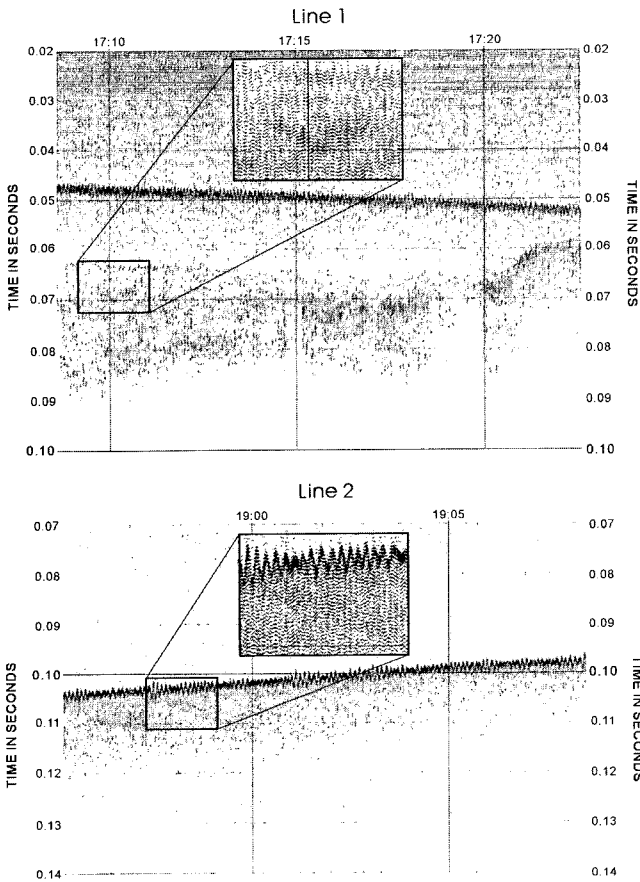


Fig. 3. Digital 3.5 kHz subbottom profiler data of Line 1 and Line 2.

**주파수 스펙트럼 분석**

측선 1과 측선 2 자료 중 임의의 한 트레이스를 선정하여 진폭 스펙트럼을 분석한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 두 자료 모두 주파수는 2~5 kHz에 분포하며 주 주파수는 3.4~3.5 kHz를 나타내었다.

**심도추출**

Fig. 5에는 Fig. 3 측선 1 자료의 좌측 해저면 부근 기록을 확대하여 나타내었다. 너울의 영향으로 해저면 심도가 굴곡을 이루

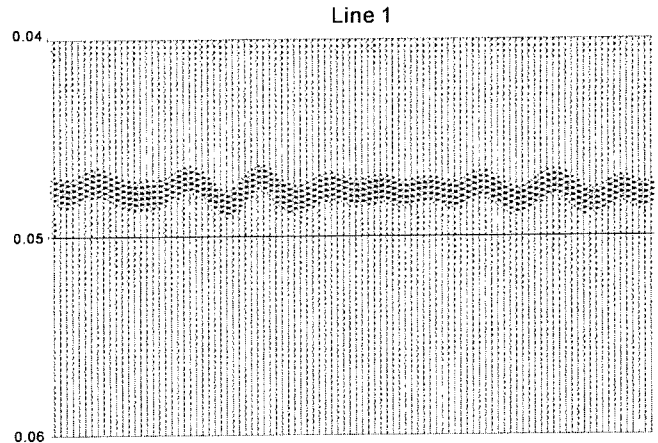


Fig. 5. Enlarged profile of Fig. 3 Line 1 data.

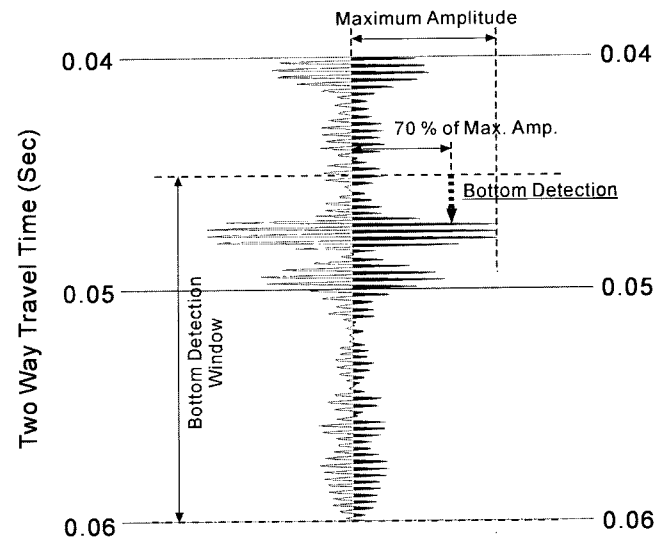


Fig. 6. Bottom detection procedure using the maximum amplitude within time window.

고 있음을 보인다. Fig. 6은 해저면 심도 추출과정을 나타낸 것으로 정해진 구간내에서 최대 진폭의 약 70%(이 값은 자료에 따라 적절히 변경함) 진폭 보다 큰 진폭이 처음으로 나타나는 지점을

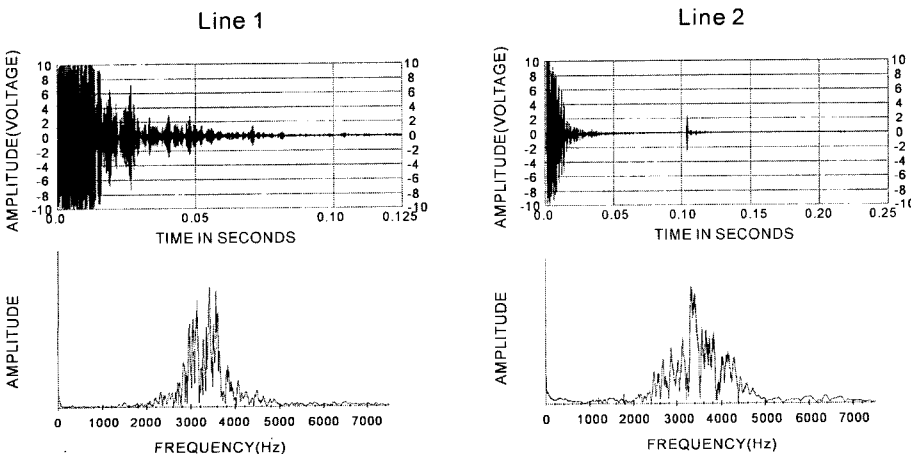


Fig. 4. Amplitude spectrum of Line 1 and Line 2 data.

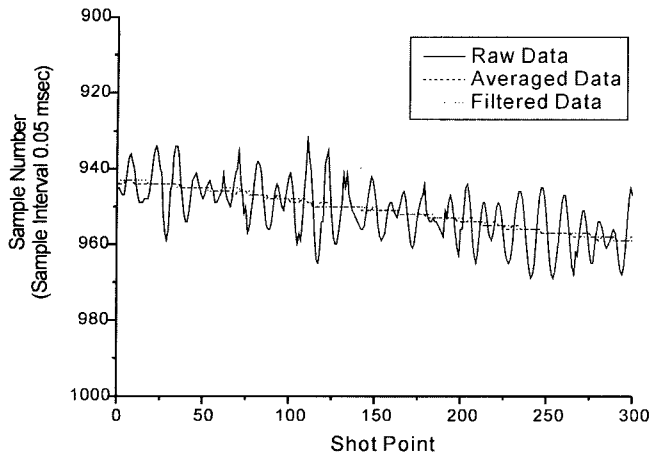


Fig. 7. Swell effect suppression results using moving average method and high-cut filtering method.

해지면 심도로 구하였다. 해저면에서의 진폭은 대체로 가장 큰 편이나, 경우에 따라서는 그 하부의 지층에서 더 큰 진폭을 보이는 경우도 있기 때문에 이러한 경우에도 해저면의 심도를 정확히 구하기 위하여 해지면 심도추출 진폭을 최대진폭보다 일정비율 작게 하였다. 심도추출 및 보정에 사용한 자료처리 매개변수는 Table 2에 나타내었다.

해상의 날씨가 나빠 파도가 높으면 해저면의 신호가 불량하여 정해진 구간내에서 심도를 찾지 못하는 경우도 있으며 그러한 자료에서의 심도보정을 하기는 어렵다. 또한 수심이 얕아 직접파와 해저면 신호가 중첩되는 경우에도 심도를 추출하기 어렵다.

Fig. 3 측선 1의 좌측부분(Fig. 5 포함) 자료에 대한 심도 추출 결과를 Fig. 7에 실선으로 나타내었다. 수심의 변화를 나타내는 심도 추출결과에는 너울에 의한 영향이 뚜렷이 나타난다.

**인접심도 평균법**

너울에 의한 영향을 제거하기 위하여 인접 트레이스들의 심도를 평균하여 너울영향이 제거된 심도를 산출하였다. 이때 트레이스 개수를 좌우 각 10개, 20개, 30개, 40개로 하여본 결과 20개 이상은 유사한 결과를 나타내었다. Fig. 7에는 트레이스 개수 30개(Table 2)로 한 결과를 굵은 점선으로 나타내었다. 이때 너울영향 보정은 최대 30샘플(Table 2), 즉  $\pm 1.125 \text{ m} (\pm 1.5 \text{ msec})$ 를 넘지 않도록 하였다. 너울에 의한 심도변화 영향이 제거되었음을 보인다.

**고주파 제거 필터링법**

심도추출 자료로부터 너울영향을 제거하기 위하여 심도추출자료의 스펙트럼을 구하여 주파수 영역에서 너울의 영향으로 보이

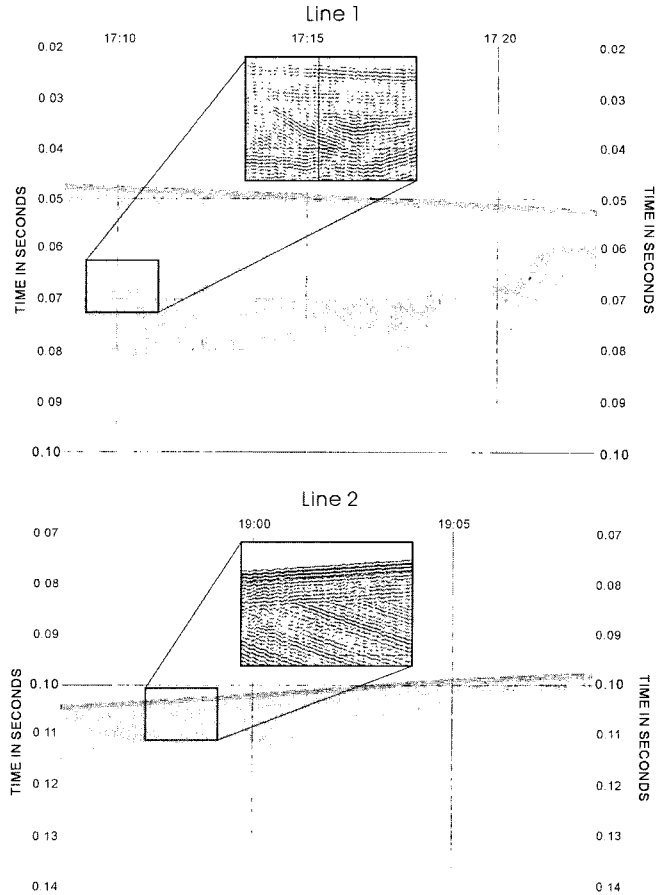


Fig. 8. Final swell effect suppressed profile of Line 1 and Line 2 data.

는 일정 파수(wavenumber) 이상의 고주파대역을 제거하는 필터를 적용하였다. 파수를 50, 40, 30, 20, 10으로 하여본 결과 50인 경우에는 너울영향이 많이 남아 있으나 40부터 크게 감소하였다. Fig. 7에는 20 이상을 제거한 결과를 가는 점선으로 나타내었다. 이 때 양쪽 가장자리에 40개의 인위적인 자료를 추가하여 필터링함으로써 필터링 시 왜곡현상이 자료에 영향을 주지 않도록 하였다. Fig. 7의 결과를 보면 고주파 성분인 너울영향이 제거되었음을 보인다.

**너울영향 제거 결과**

위의 두 가지 방법이 거의 차이 없이 근사한 결과를 보이나 인접심도 평균법이 비교적 간단하다. 이 방법을 사용할 때에는 인접 트레이스와 심도차이가 큰 불량 트레이스를 제외시키고 평균함으로써 더욱 양호한 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 8은 Fig. 3의 자료

Table 2. Data processing parameters.

Line Name	Bottom Detection			Swell Suppression		Section Plot	
	Ratio to max amp.	Start of window (sec)	End of window (sec)	Max. correction (sample)	Num. of adjacent traces to average	Hor. Scale (trace interval cm)	Ver. Scale (length(cm)/sample)
Line 1	0.7	0.045	0.06	30	30	0.025	0.02
Line 2	0.7	0.05	0.15	30	30	0.025	0.02

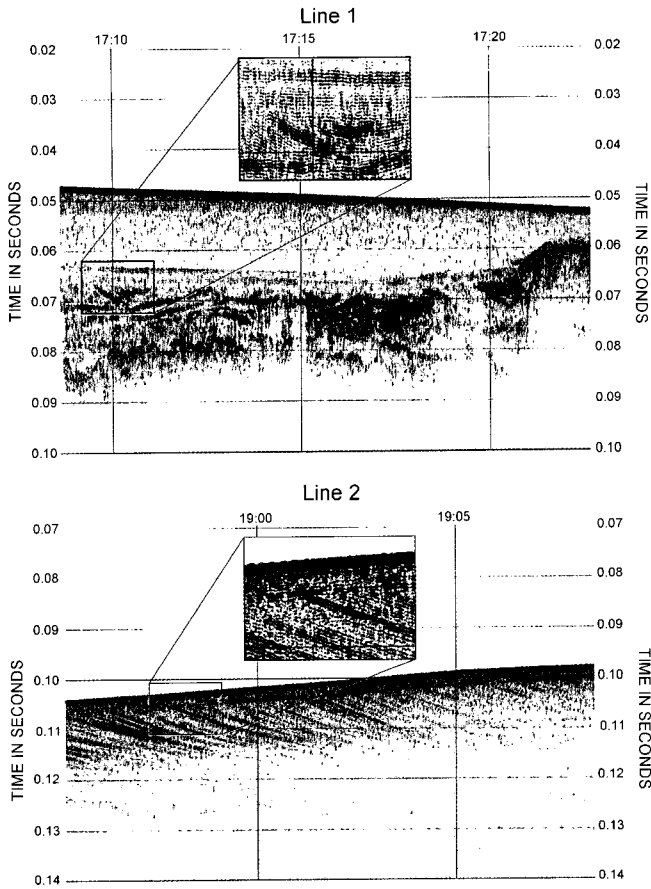


Fig. 9. Colored profile of Fig. 8(Line 1 and Line 2).

로부터 인접 심도 평균법으로 너울의 영향을 제거한 결과를 나타낸 것이며 Fig. 9는 진폭에 따라 색상을 달리하여 단면도를 제작한 것이다. 이때 심도추출결과를 활용하여 해저면까지의 직접파와 잡음을 제거하는 뮤팅을 수행하였다. 자료의 품질이 크게 향상되어 해저 지층구조를 보다 선명하게 파악할 수 있음을 보인다.

### 결론

천부의 해저 지층구조를 파악하기 위한 3.5 kHz 탐사자료는 정밀한 수직해상도를 필요로 하므로 해상도의 파도가 높을 경우 품질이 저하된다.

본 연구에서는 이와 같은 너울영향을 제거하기 위하여 자료를 디지털로 취득하고 디지털 자료에서 심도를 구하였다. 이로부터 인접 트레이스의 심도값을 평균하는 방법과 심도자료의 주파수 필터링을 통하여 너울영향을 제거하였다.

두 방법 모두 너울영향이 양호하게 제거되었으나 인접트레이스 평균법이 비교적 간단하다. 정확한 너울영향제거를 위해서는 정확한 심도추출이 전제되므로 자료의 상태가 불량한 경우에 심도추출의 정확성을 높이는 연구가 필요할 것으로 보인다.

PC와 주변기기의 발달로 디지털방식의 탐사자료취득이 경제적

으로 가능해짐에 따라 전산처리를 통한 향상된 품질의 자료산출이 가능해졌다. 이와 같은 전산처리는 현장에서 실시간으로 적용될 수 있으며 너울영향제거 뿐 아니라 해저면 특성 파악 등 다양한 기법이 적용될 수 있을 것이다.

### 사사

본 연구는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 지원하는 국가지정연구실사업(NRL)의 일환으로 수행되었다. 자료취득을 위하여 도움을 주신 한국지질자원연구원의 탐해2호 선박직원 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

- Bull, J.M., R. Quinn and J.K. Dix, 1998. Reflection coefficient calculation from marine high resolution seismic reflection (chirp) data and application to an archaeological case study. *Mar. Geophys. Res.*, **20**: 1-11.
- Damuth, J.E., 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. *Mar. Geol.*, **38**: 51-75.
- Geyer, R.A., 1983. CRC Handbook of geophysical exploration at sea. CRC Press, Inc, Florida, pp. 77-122.
- Lee, H.-Y., B.-K. Hyun and Y.-S. Kong, 1996. PC-based acquisition and processing of the high-resolution marine seismic data. *Geophysics*, **61**: 1804-1812.
- McGee, T.M., 1995. High-resolution marine reflection profiling for engineering and environmental purposes. Part A: Acquiring analogue seismic signals. *J. Applied Geophys.*, **33**: 271-285.
- McGee, T.M., 1995. High-resolution marine reflection profiling for engineering and environmental purposes. Part B: Digitizing analogue seismic signals. *J. Applied Geophys.*, **33**: 287-296.
- Mosher, D.C. and P.G. Simpkin, 1999. Status and trends of marine high-resolution seismic-reflection profiling: data acquisition. *Geosci. Can.*, **26**: 174-188.
- Sheriff R.E., 1977. Limitations on resolution of seismic reflections and geologic detail derivable from them. In: Seismic Stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. Memoir 26, edited by Payton C.E., AAPG, Oklahoma, pp. 3-14.
- Quinn, R., J. M. Bull and J. K. Dix, 1998. Optimal processing of marine high-resolution seismic reflection (chirp) data. *Mar. Geophys. Res.*, **20**: 13-20.
- Yoo, D.-G. and S.-C. Park, 2000. High-resolution seismic study as a tool for sequence stratigraphic evidence of high-frequency sea-level changes: latest Pleistocene-Holocene example from Korea Strait. *J. Sediment. Res.*, **70**: 296-309.

2002년 2월 5일 원고접수

2002년 5월 28일 수정본 채택

담당편집위원: 이상목