

## 탄성과 자료 고해상도 재처리를 통한 동해해역의 제4기 단층 및 천부 가스 인지

정미숙\* · 김기영\*\* · 허식\* · 김한준\*

한국해양연구소\* · 강원대학교 자연과학대학 지구물리학과\*\*

### 요 약

심부 지층구조 연구를 위해 획득된 다중채널 반사파 자료를 재처리하여 제4기 단층 및 해저면 부근 천연 가스층 탐지를 위한 고해상도 단면도를 작성하였다. 사용된 자료는 한국해양연구소에서 동해해역 퇴적분지 지각구조 연구를 목적으로 1994년부터 1997년까지 기록한 총 1900 km의 다중 채널 반사파 자료 중 근거리 12채널 자료이다. 고해상도용 재처리과정은 자료복사 및 자료편집, 참진폭 회수, 공심점 분류, 초기 뮤트, 중합전 디컨볼루션, 대역필터, 중합, 고주파 통과필터, 중합후 디컨볼루션, 구조보정, 자동이득조절 등의 순서로 이루어지며, 이 중 예측 디컨볼루션, 고주파 통과필터, 짧은 창길이의 자동이득조절 적용 등이 해상도를 높이는데 가장 중요한 처리단계이다. 해저면 하부 약 1초 정도까지의 지층을 대상으로 처리된 중합 및 구조보정 단면상에는 총 200개 이상의 제4기 단층이 인지되며, 이들 대부분은 대륙사면과 울릉분지 경계부에 밀집되어 나타나지만 분지 내에도 상당수 존재한다. 이들 단층중 상당수는 기반암과 제3기 퇴적층에 발달된 단층의 재활성화와 화산활동을 포함한 지구조 운동에 의해 형성된 것으로 추정되며 동해가 구조적으로 다소 불안정된 상태에 놓여 있을 가능성을 지시한다. 또한 3개소 이상에서 발견된 천부 가스층의 존재는 시추나 해저 케이블 및 파이프라인 등 해양구조물 설치시 반드시 경계해야 할 위험 요소가 존재하고 있음을 보여준다. 이러한 천부 가스층의 발견은 최근 관심이 고조되고 있는 가스수화물의 근원 물질이 동해에 존재한다는 긍정적인 면이 있으나, 해저면에 평행한 반사면 등 가스수화물의 전형적인 탄성과 특징은 울릉분지 서부 대륙사면 및 중앙부의 재처리 단면상에서는 발견되지 않는다.

**주요어:** 제4기 단층, 천부 가스층, 예측 디컨볼루션, 고주파 통과 필터, 자동이득조절

**Jung, Mee-Sook, Kim, Ki Young, Huh, Sik and Kim, Han-Joon, 1999, Identification of Quaternary Faults and shallow gas pockets through high-resolution reprocessing in the East Sea, Korea, Journal of the Korean Geophysical Society, v. 2, n. 1, p. 39-44.**

**ABSTRACT:** High-resolution images are drawn from existing seismic data which were originally obtained by Korea Ocean Research & Development Institute (KORDI) during 1994-1997 for deep seismic studies on the East Sea of Korea. These images are analyzed for mapping Quaternary faults and near-bottom gas pockets. First 12 channels are selected from shot gathers for reprocessing. The processing sequence adopted for high-resolution seismic images comprises data copy, trace editing, true amplitude recovery, common-midpoint sorting, initial muting, prestack deconvolution, bandpass filtering, stacking, highpass filtering, poststack deconvolution, f-x migration, and automatic gain control (AGC). Among these processing steps, predictive deconvolution, highpass filtering, and short window AGC are the most significant in enhancement of resolution. More than 200 Quaternary faults are interpreted on the migrated sections in the shallow depths beneath the seafloor. Although numerous faults are found mostly at the western continental slope and boundaries of the Ulleung Basin, significant amount of the faults are also indicated within the basin. Many of these faults are believed to be formed with reactivation of basement, from geotectonic activities including volcanism, and often originated in Tertiary, indicating that the tectonic regime of the East Sea might be unstable. Existence of shallow gas pockets casts real hazardous warnings

to deep-sea drillings and/or to underwater constructions such as inter-island cables and gas pipelines. On the other hand, discovery of these gas pockets heightens the interests in developing natural resources in the East Sea. Reprocessed seismic sections, however, show no typical seismic characteristics for gas hydrates such as bottom-simulating reflectors in the western continental slope and ocean floor.

**Key words:** Quaternary fault, gas pocket, predictive deconvolution, highpass filtering, automatic gain control

(Jung, Mee-Sook, Huh, Sik and Kim, Han-Joon, Korea Ocean Research & Development Institute Ansan P.O. Box 29, Ansan, Gyeonggi-do 425-600, Korea; Kim, Ki Young, Department of Geophysics, Kangwon National University 192-1 Hyoja-2-dong Chunchon 200-701, Korea. email: msjung@kordi.re.kr)

## 1. 서 론

고해상도 다중채널 반사파 자료 재처리 기법은 시추작업시 위험 요소인 천부 가스층의 정확한 위치 파악과 별도의 다중채널 반사파 조사 수행시 소요되는 경비, 시간, 인원 등을 절약할 목적으로 개발되었다(Cowlard, 1996). 심부 지층조사용으로 획득된 기존자료의 근거리 트레이스만을 재처리하는 고해상도 처리기법은 Newman (1985)이 처음 발표한 이래 꾸준히 계속되어 왔으며(Cowlard, 1996; Gafford, 1996), 최근에는 기존 탄성과 자료를 재처리하여 시추지 선정, 시추 구조물 설치, 파이프라인 건설 등에까지 광범위하게 활용하고 있다(Kinsland *et al.*, 1991; Hill, 1996; Williams and Andersen, 1996). 국내에서는 김기영 외(1997)와 Kim *et al.* (1997)이 기존 획득 자료를 재처리하여 고해상도 지질단면을 작성하는 연구를 진행시켜 왔다.

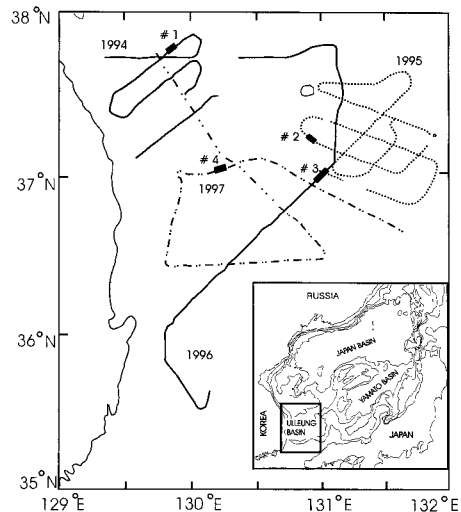
동해는 일본분지(Japan Basin), 야마토분지(Yamato Basin), 울릉분지(Ulleung Basin) 등 3개의 분지와 한국대지(Korea Plateau), 야마토 해령(Yamato Ridge), 오키 뱅크(Okai Bank)로 구성되어 있다. 이번 연구해역은 한국대지와 접한 대륙붕과 대륙사면, 그리고 한국대지의 퇴적분지와 울릉분지를 포함한다(Fig. 1).

이 연구에서는 심부 지층구조 연구를 위해 동해에서 획득된 다중채널 반사파 자료를 재처리하여 고해상도 반사파 단면을 작성하고, 제4기 단층 및 해저면 부근 가스층을 탐지하였다.

## 2. 자료획득

이 연구에 이용된 자료는 해양(연)에서 동해해

역 퇴적분지 지각구조 연구를 목적으로 1994년부터 1997년까지 기록한 총 1900 km의 다중채널 반사파 자료 중 근거리 12채널 자료이다. 이 자료들은 N45°E 방향의 1994년도 3개 측선과 1996년도 1개 측선 그리고 이들 측선을 가로지르는 1997년도 조사측선을 따라 획득된 자료이다(Fig. 1). 자료 획득 당시 사용한 파원은 총부피 11.3 l의 8개 HGS사 슬리브진 배열로 13.3 MPa의 압력으로 25 혹은 50 m 간격으로 발파하였다. 수신기는 그룹간격 25 m의 AMG사 이날로그 스트리머로 56-58개 채널을 사용하였으며, 파원 및 수신기 깊이는 파고, 풍속 등 현장사정에 따라 6-10 m로 조정하였



**Fig. 1.** Location map showing seismic lines shot during 1994 through 1997 by the seismic research team at KORDI.

다. 탄성과 자료는 2 ms의 샘플간격으로 SERCEL 사의 SN358-DMX 기록장비에 5-10 s 동안 기록하였다. 기록 당시 8-154 Hz 이널로그 필터와 60 Hz 노치필터를 사용하였다(Table 1).

### 3. 자료처리

전산처리는 강원대학교의 파워맥킨토시(Power Macintosh, 모델 7600) 하드웨어에 설치되어 있는 Parallel Geoscience 사의 SPW (Seismic Processing Workshop) 탄성과 자료처리 시스템을 이용하였으며, 해양(연)의 컨벡스 미니슈퍼 컴퓨터(모델 C24-10)용 GEOVECTEUR 소프트웨어를 활용하였다. Fig. 2는 주요 처리과정 순서도로, 자료복사부터 구조보정 단면도 작성까지 일련의 과정을 보여준다. 김기영 외(1997)는 고해상도용 재처리과정에 관한 자세히 설명한 바 있으며, 간략히 설명하면 다음과 같다.

고해상도 반사파 단면도 작성에서의 주요 처리 과정은 자료복사 및 편집, 참진폭 회수, 공심점 분류, 초기 뮤트, 중합전 디컨볼루션, 대역필터, NMO 보정, 중합, 고주파 통과필터, 중합후 디컨볼루션, 구조보정, 자동이득조절 적용 등의 순서로

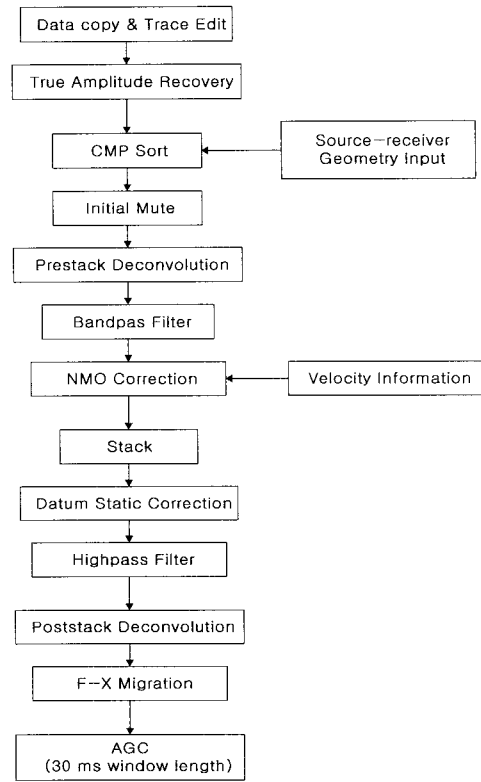


Fig. 2. Processing sequence for the high-resolution reflection images.

Table 1. Acquisition parameters.

	1994	1995	1996	1997
<b>Source</b>				
shot interval	25 m	25 m	50 m	50 m
gun volume	11.31 l (690 in <sup>3</sup> )			
operating pressure	13.3 MPa (1930 psi)			
number of guns	8			
gun depth	6 m	6 m	10 m	10 m
CMP coverage	29	29	28	28
<b>Receiver</b>				
number of recording channels	58	58	56	56
near trace offset	33 m	83 m	90 m	99 m
group interval	25 m			
streamer depth	6 m	6 m	10 m	10 m
<b>Recording</b>				
recording instrument	SN358/DMX			
record length	5 s	6, 6.5 s	10 s	8 s
sampling interval	2 ms			
lowcut filter	8 Hz - 18 dB/octave			
highcut filter	154 Hz - 53 dB/octave			
notch filter	60 Hz			

이루어졌다.

주요처리 변수는 참진폭 회수시 시간 지수 2.0, 중합전 디컨볼루션 적용시 예측거리는 18-20 ms, 연산자 길이는 180-200 ms, 백색잡음 수준이 0.1%인 예측 디컨볼루션을 적용하였다. 중합전에 모서리 주파수가 6, 12, 200, 250 Hz인 광대역 필터를 적용하여, 저주파 및 고주파 잡음을 제거하였다. 중합후에는 18 dB/octave의 경사를 가진 80 Hz 고주파 통과 최소위상 필터를 적용하였다. 중합후 예측거리가 8-10 ms, 연산자 길이가 40 ms이며, 백색잡음 수준이 0.1%인 예측 디컨볼루션을 적용하였다. 구조보정은 f-x 45° 유한차분법을 이용한 방법으로 통과주파수 범위 10-250 Hz, 심도단계 8 ms의 변수를 적용하였으며, 중합속도의 90-95%를 구조보정 속도로 사용하였다. 자료 도시 전에 창 길이(window length) 30 ms의 자동이득조절(AGC)을 적용하여 상대적으로 미약한 신호를 부각시켰다.

#### 4. 자료분석

이러한 고해상도 처리과정을 거쳐 작성한 구조 보정 단면도를 이용하여 해저면 하부 1 s 이내의 천부지층에서 제4기 단층(Quaternary fault)과 천부 가스층(gas pocket)을 인지하였다.

Fig. 3는 1994년에 획득한 자료를 재처리하여 얻은 고해상도 구조보정 단면도 중의 일부분으로, Fig. 1의 '#1'으로 표시한 축선길이 6.2 km의 구간 내에서 천부 지층구조를 보여준다. 공심점 8000번과 8500번 사이에 10개 이상의 단층이 인지되며, 단층의 경사 방향으로 보아 대부분 정단층이다. 대부분 해저면 부근까지 단층이 연장되어 제4기 지층을 단절하고 있는 모습을 보인다.

Fig. 4는 1995년에 획득된 자료의 일부분(Fig. 1의 '#2' 부분)으로 해저면 근처의 제4기 단층들을 보여준다. 공심점 14400번과 15100번 사이 약 8.7 km 구간에 7개 이상의 단층이 인지되며, 이 단층

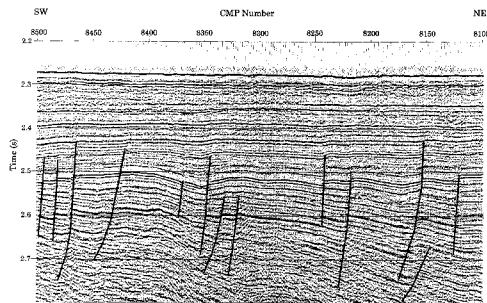


Fig. 3. Migrated section near #1 on the location map in Fig. 1.

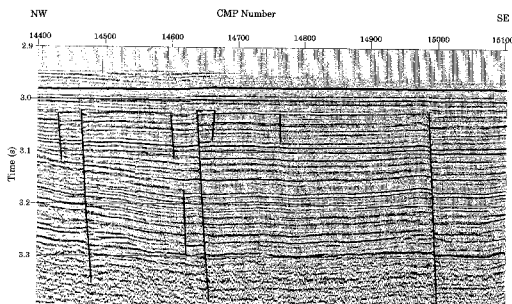


Fig. 4. Migrated section near #2 on the location map in Fig. 1.

이 단절하고 있는 퇴적층 형성 시기에 관하여 Huh *et al.* (1996)은 신생대 제4기일 것으로 추정하였다.

1996년에 기록한 자료는 신호대 잡음비가 매우 낮아 불량하나, Fig. 1의 '#3' 부분 단면도(Fig. 5)는 공심점 6000번과 6600번 사이 약 15 km 구간에서 7개 정도의 단층이 존재하고 있음을 보여준다.

Fig. 6는 1997년 자료의 일부분(Fig. 1의 '#4' 부분)으로 해저면 아래 1 s 이내의 제4기 단층들과 천부 가스층이 존재하는 모습을 보여준다. 공심점 15200번과 15230번 사이에 보이는 둔덕 구조(mound structure) 아래에 진폭공백(acoustic blanking)이 분명하게 나타나 있으며, 또한 공심점 15200번 근처의 저속도로 인한 반사주시가 증가된 현상, 즉 'velocity pull-down' 구조도 인지된다. 진

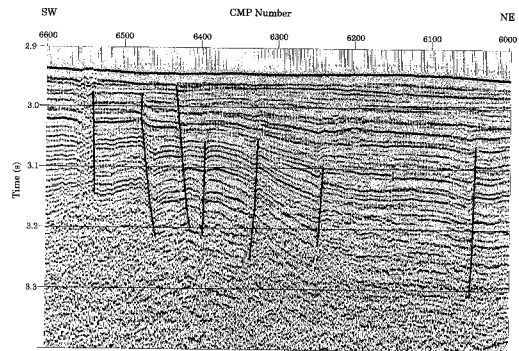


Fig. 5. Migrated section near #3 on the location map in Fig. 1.

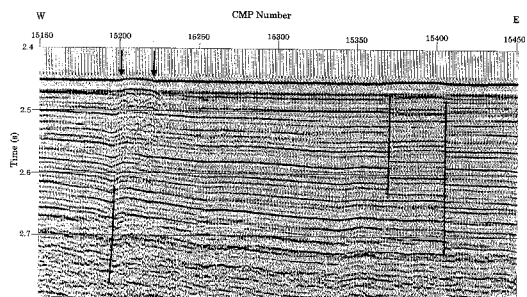


Fig. 6. Migrated section near #4 on the location map in Fig. 1. Acoustic blanking and drawn structure are evident near CMP 15200 due to the presence of shallow gas. A couple of normal faults at CMP 15370 and 15410 are also identified.

폭공백과 velocity pull-down은 해저면 부근에 가스가 존재함을 지시한다. 공심점 15370번과 15410번 사이에도 둔덕 구조가 보이며, 또한 제4기 정단층(Quaternary normal fault)에 의해 생성된 수직변위가 보인다.

Fig. 7은 제4기 단층과 천부 가스층을 탐사측선 상에 도시한 것이다. 이 연구에 사용된 자료는 2차원 탐사 자료로 방향성을 알 수 없으므로, 단층의 방향성을 고려하지 않고 단지 위치만을 도시하였다. 해저면 하부 약 1 s 정도까지의 지층을 대상으로 처리된 고해상도 중합 및 구조보정 단면상에는 총 200개 이상의 제4기 단층이 인지되며, 최소 3개소 이상에서 천부 가스층이 발견된다. Fig. 7에 표시한 단층들은 탄성과 단면도에서 인지한 것이므로, 이들 중 상당수는 서로 연결된 것으로 추측된다. 대부분의 단층이 대륙사면과 울릉분지 경계부에 밀집되어 있으나, 분지 내에도 상당수의 단층이 존재하고 있다. 심부지층 연구용으로 작성된 단면을 참고하여 분석한 결과, 이들 단층중 상당수는 기반암과 제3기 퇴적층에 발달된 단층의 재활성화와(Yoon · Chough, 1995) 화산활동을 포함한 지구조 운동에 의해 형성된 것으로 추정된다.

또한 3개소 이상에서 발견된 천부 가스층은 시추나 해저 케이블 및 파이프라인 등 해양구조물 설치시 반드시 경계해야 할 위험 요소가 존재하고 있음을 보여준다. 이러한 천부 가스층의 발견은 최근 관심이 고조되고 있는 가스수화물의 근원 물질이 동해에 존재한다는 긍정적인 면이 있으나, 김기영 외(1996)가 설명한 바 있는 해저면에 평행한 반사이벤트(BSR) 등의 탄성과 특징은 울릉분지 서부 대륙사면 및 대양저의 재처리 단면상에서는 발견되지 않는다.

## 5. 결론

동해에서 해양(연)이 최근 4년간 획득한 심부 반사파 자료를 재처리하여 얻은 고해상도 반사파 단면에서 제4기 단층과 천부 가스층을 인지하였다.

해저면 하부 약 1초 정도까지의 지층을 대상으로 처리된 중합 및 구조보정 단면상에는 총 200개 이상의 제4기 단층이 인지되며, 서로 연결되어 있을 것으로 추정되는 이들 단층은 대부분 대륙사면과 울릉분지 경계부에 밀집되어 나타나, 분지 내에서도 상당수 존재한다. 이렇게 많은 수의 단

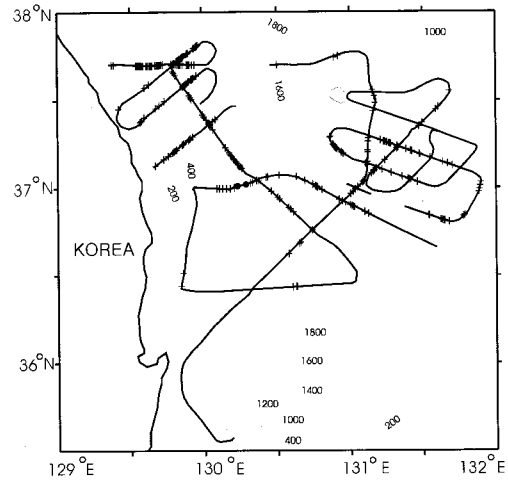


Fig. 7. Quaternary faults and gas pockets identified on the reprocessed seismic sections. Small crosses and solid circles indicate locations for the shallow faults and gas pockets, respectively.

층들중 상당수는 기반암과 제3기 퇴적층에 발달된 단층의 재활성화와 화산활동을 포함한 지구조 운동에 의해 형성된 것으로 추정되며, 동해가 구조적으로 다소 불안정된 상태에 놓여 있을 가능성을 지시한다.

또한 3개소 이상에서 발견된 천부 가스층은 시추나 해저 케이블 및 파이프라인 등 해양구조물 설치시 반드시 경계해야 할 위험 요소가 존재하고 있음을 보여준다. 이러한 천부 가스층의 발견은 최근 관심이 고조되고 있는 가스수화물의 근원 물질이 동해에 존재한다는 긍정적인 해석도 가능하나, 자료가 획득된 울릉분지 서부 및 중앙부에서는 해저면에 평행한 반사이벤트 등 가스수화물의 중요한 탄성과 특성들이 발견되지 않으며, 동해의 지열류량이 상당히 높은 점 등은 메탄가스가 수화물 상태로 지층에 남아 있을 가능성이 크지 않음을 보여준다.

## 사 사

이 연구는 해양수산부에서 지원한 ‘동해분지의 해양환경 변화와 지구조 진화연구’ 결과의 일부임을 밝히며, 강원대학교 자원개발연구소의 부분적 지원에 감사드립니다. 이 논문을 심사하여 주시고,

좋은 의견을 많이 주신 박춘병 박사님과 최동림 박사님께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 조사 위치도 작성시 많은 도움을 주신 한국해양연구소의 홍종국 박사님께 진심으로 고마움을 표합니다.

### 참고문헌

- 김기영, 남상현, 박병권, 1996, 가스수화물과 반사파 특성, 지질학회지, 32, 519-525.
- 김기영, 정미숙, 한상준, 1997, 기존 탄성파 자료 재처리를 통한 고해상도 반사파 영상, 자원공학회지, 34, 539-547.
- Cowlard, A. P., 1996, Drill site geohazard identification facilitated by rework of suitable existing 3D seismic data volumes, paper presenter at the 1996 Offshore Technology Conference, Houston, May 6-9, OTC, Houston, 129-136.
- Gafford, W. T., 1996, The use of exploration 3D seismic data for geohazards assessment in the Gulf of Mexico, paper presented at the 1996 Offshore Technology Conference, Houston, May 6-9, OTC, Houston, 277-281.
- Hill, A. W., 1996, The use of exploration 3D data in geohazard assessment: What does the future lie?, OTC, Houston, 113-117.
- Huh, S., Kim, H. J., Hong, J. K., Jou, H. T., Yoon, S. H., Kim, K. Y., Yoo, H. S. and Han, S. J., 1996, Structures of the Onnuri Basin (37-38° N, 129-130° 30' E) near the Korea Plateau in the East Sea, Oceanography, Korea, 177-185.
- Kim, K. Y., Jung, M. S., Han, S. J. and Kim, H. J., 1997, High-resolution processing of existing seismic data in the East sea of Korea, Int'l Symposium on Engineering and Environmental Geophysics, Chungdo, China.
- Kinsland, G. L., McDonald, J. A., and Gardner, G. H. F., 1991, High-resolution three-dimensional seismic survey of a thin sand at depth, Geophysics, 56, 2036-2047.
- Newman, P., 1985, Short offset 3D-A case history, EAEG, Budapest.
- Williams, J. P. and Andersen, P. C., 1996, Application of conventional 3D data to geohazard assessment, OTC, Houston, 257-263.
- Yoon, S. H. and Chough, S. K., 1995, Regional strike slip in the eastern continental margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan), Geological Society of America Bulletin, 107, 83-97.

---

1998년 10월 30일 원고접수

1999년 2월 26일 원고채택