

## 제 출 문

한국지질자원연구원장 귀하

본 보고서를 “가스하이드레이트 시추 예정지역의 탄성파자료 반사계수 특성 분석” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 11.

위탁연구기관명 : 한국해양연구원

위탁연구책임자 : 김 한 준

연 구 원 : 주 형 태

연 구 원 : 권 미 홍

# 요 약 문

## I. 제 목

가스하이드레이트 시추 예정지역의 탄성파자료 반사계수 특성 분석

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 울릉분지에서의 2007년 시추를 통하여 시추지점에서의 가스하이드레이트 농도가 밝혀졌으며 2010년에 예정된 시추로 분지의 여러 지역에 대한 가스하이드레이트 부존 및 농도가 밝혀질 것임.
- 가스하이드레이트의 정량적인 분포와 퇴적환경을 정확히 파악하기 위해서는 지금까지 얻은 많은 양의 탄성파자료를 결과 및 검증자료를 연계하여 해석하는 것이 필수적임.
- 하지만 탄성파 자료에서 나타나는 파형은 광대역 영위상이라는 가정은 탄성파 자료를 해석할 때 범하기 쉬운 오류이며, 실제 자료는 대부분이 자료 처리가 끝나더라도 영위상 파형이 아닌 복합위상(mixed phase)의 파형을 가지고 있음. 복합위상의 경우 층의 경계면과 파의 마루(peak)나 골(trough)이 일치하지 않아서 정확한 지층의 구분이 어려우며, 퇴적층의 탄성파 속성 분석이나 amplitude variation with offset(AVO) 분석 등과 같이 반사파의 정확한 진폭 규모, 극성, 그리고 위치가 중요한 연구의 경우 잘못된 분석을 초래할 수 있음.
- 이와 같은 오류를 줄이기 위해서는 최대 진폭점을 중심으로 대칭 형태를 보여 반사경계면이 최대진폭점이 되는 영위상 파형 변환이 필요함.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 동해 울릉분지에서 2005년 가스하이드레이트 연구 목적으로 취득된 다중 채널 탄성파 자료와 시추자료와 연계해석하기 위해 다음을 연구하였음.

- 통계학적 디컨볼루션 통계학적 방법인 트레이스별 최소위상 스파이킹 디컨볼루션과 결정론적 방법인 트레이스 평균 최소위상 파형요소를 이용하는 방법, 그리고 확률통계학적 방법으로서 검증자료로부터 계산된 위상이 고려된 혼합위상의 파형요소를 이용하는 방법 등을 적용하고 비교함으로써 각 방법의 특성과 적용성을 분석하였음.

#### IV. 연구개발결과

- 파형요소가 최소위상임을 가정하는 앞의 두 가지 디컨볼루션 방법은 실제로 디컨볼루션 적용 후에도 파형요소의 위상이 복합적인 양상을 보여 음향 임피던스의 차이가 생기는 지층경계나 해저면 모방 반사면의 위치를 해석할 때 문제를 야기할 수 있음.
- 지질학적인 해석만을 고려한다면 수 ms 정도의 매우 작은 시간차이는 무시할 수 있지만 정확한 지층경계에서의 진폭값을 이용하는 AVO나 탄성과 속성분석 시에는 잘못된 결과를 야기할 수 있음.
- 가스하이드레이트 자원량을 유추하는 데 있어서는 퇴적 지층구분, 해저면 모방 반사면 정확한 위치, 정확한 반사 진폭의 해석 등이 필수적이므로 세 번째로 적용한 영위상 디컨볼루션은 반드시 수행 되어야 함.

#### V. 연구개발결과의 활용계획

- 한국지질자원연구원에서 획득한 탄성과자료를 이용하여 가스 하이드레이트 유망구조를 해석하고 시추를 계획하는 작업에 이 연구의 결과를 적용할 수 있다.
- 가스 하이드레이트와 그 아래 자유가스의 분포를 확인하고 이들과 관련된 지하의 물성을 유추하는 것은 탄성과 탐사자료 처리의 궁극적 목표이다. 이 연구에서 수행한 방법은 탄성과 역산과 가스의 존재에 대한 자료 분석 등에 매우 중요하게 사용될 수 있을 것으로 기대한다.
- 탄성과 자료로부터 파형요소를 정확히 구할 수 있으면 AVO 분석과 모델링 등에 유용하게 적용될 수 있다.



## SUMMARY

### I. Title:

Quantitative analysis of reflectivity and source wavelet from gas hydrate exploration data

### II. Necessity and Objectives of the Study

- The occurrences of gas hydrates in the Ulleung Basin were physically proved by drilling in 2007. Dilling in 2010 is expected to define the occurrences and reserves of gas hydrates in many places in the Ulleung Basin.
- The precise definition of the occurrences of gas hydrates in a quantitative manner and geologic environment necessitate correlation between well logs and seismic data acquired so far.
- However, a mistake made easily is the assumption that the source waveform in seismic data is broad-band and minimum-phase. In reality, the source wavelet is mixed-phase even after the completion of processing. The mixed-phase waveform makes the discrimination of geological layers difficult because its peak and trough are not correlated to layer boundaries. It can also lead to wrong analysis of seismic attribute, amplitude variation with offset(AVO), and others in which the correct amplitude, polarity, and positions of reflectivity are important.
- In order to reduce such errors, it is necessary to make the waveform a zero-phase waveform symmetric about the maximum amplitude, which, in turn, is positioned on the reflection boundary.

### III. General Scope of the Study

- Three deconvolution methods were applied to stacked seismic data obtained to investigate gas-hydrates in the Ulleung Basin, East Sea: (1) minimum-phase spiking deconvolution, (2) ganged minimum-phase spiking deconvolution using an averaged wavelet from all traces, and (3) deterministic deconvolution using a wavelet with phases computed from well-logs.
- We analyzed the resolving property of these methods for lithological boundaries.

### IV. Results of the Study

- The first deconvolution method increases temporal resolution but decreases lateral continuity. The second method shows, in an overall sense, similar results to the spiking deconvolution using a minimum phase wavelet for each trace; however, it results in a more consistent and continuous bottom-simulating reflector (BSR) and better resolved sub-BSR reflectors. The results from the third method reveal more detailed internal structures of debris-flow deposits and increased continuity of reflectors; in addition, the seafloor reflection and the BSR appear to have changed to a zero-phase waveform.
- These properties help more precisely estimate the distribution and reserves of gas hydrates in the exploration area by improving analysis of facies and amplitude of the BSR.

### V. Suggestions for Applications

- The result of this study can significantly contribute to the correct interpretation of prospective gas hydrate structure on proposed drilling sites using seismic data obtained by KIGAM.
- The ultimate goal of seismic data processing is to identify gas hydrates and free gas below and address their physical properties. We expect that the method in this study will be used for seismic inversion and analysis of gas.

## CONTENTS

Summary .....	2
Contents .....	8
List of Figures .....	9
<b>Chapter 1. Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>Chapter 2. Status of technology in Korea and overseas ...</b>	<b>13</b>
<b>Chapter 3. Contents and Results of the Study .....</b>	<b>17</b>
1. Geologic environment of the study area	
2. Analysis of data	
2.1 Data	
2.2 Method and model	
3. Discussion and conclusions	
4. Conclusions	
<b>Chapter 4. Objectives of study and external contribution</b>	<b>29</b>
<b>Chapter 5. Suggestions for application .....</b>	<b>30</b>
<b>Chapter 6. References .....</b>	<b>31</b>



## 목 차

요약문 .....	2
목차 .....	8
그림 및 표목차 .....	9
제 1 장 서 론 .....	11
제 2 장 국내외 기술개발현황 .....	13
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과 .....	15
제 1 절 연구지역 지질환경	
제 2 절 자료분석	
2.1 연구자료	
2.2 방법 및 모델	
제 3 절 결과 및 토의	
제 4 절 결론	
제 4 장 연구개발목표 및 대외기여도 .....	29
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 .....	30
제 6 장 참고문헌 .....	31

## 그림 목차

### List of Figures

- Fig. 3-1. (a) Physiographic map of the East Sea. Box represents the Ulleung Basin shown in Fig. 3-1b. (b) Bathymetry of the Ulleung Basin and location of the multi-channel seismic reflection profile and the UBGH01-14 well.
- Fig. 3-2. Density, P-wave velocity, and impedance logs from the UBGH01-14 well.
- Fig. 3-3. Seismic profile showing a strong BSR in debris-flow deposits (DFD). See Fig. 3-1b for location.
- Fig. 3-4. (a) Pseudo density, P-wave velocity, and impedance logs. (b) Synthetic impedance model.
- Fig. 3-5. (a) Ormsby wavelet to be convolved with the model in Fig. 3-4b. (b) Source wavelet obtained from autocorrelation of Fig. 6a assuming minimum-phase. (c) Source wavelet with amplitude spectrum obtained from autocorrelation of Fig. 6a and phase spectrum obtained from the pseudo well logs.
- Fig. 3-6. (a) Synthetic seismic profile from convolution of source wavelet in Fig 3-5a and impedance model in Fig. 3-4b. (b) Result of minimum-phase spiking deconvolution of (a). (c) Result of deconvolution of (a) using source wavelet in Fig. 3-5b. (d) Result of deconvolution of (a) using source wavelet in Fig. 3-5c.
- Fig. 3-7. (a) Source wavelet obtained from autocorrelation of Fig. 3-8a assuming minimum-phase. (b) Source wavelet computed from amplitude and phase spectra each obtained from autocorrelation of Fig. 3-8a and from the well logs.

Fig. 3-8. (a) Segment of seismic profile in Fig. 3-3. (b) Minimum-phase spiking deconvolution of (a). (c) Deterministic deconvolution of (a) using a source wavelet of Fig. 3-7a. (d) Deterministic deconvolution of (a) using a source wavelet of Fig. 3-7b. Boxes indicate the zones where seismic facies changed before and after deconvolution. BSR: bottom-simulating reflector, DFD; debris-flow deposits. See Fig. 3-1b for location.

## 제 1 장 서론

탄성파탐사시 얻는 트레이스는 일반적으로 음원의 파형요소(source wavelet)와 음향임피던스(acoustic impedance) 차이가 발생하는 지층경계의 반사계수와와의 컨볼루션(convolution)으로 나타낼 수 있는데, 파형요소의 위상특성에 따라 암층경계의 해석이 달라질 수 있다(Yilmaz, 2001). 또한 동일한 진폭 스펙트럼을 갖는 파형에서 영위상 스펙트럼을 가진 파형이 최소위상 스펙트럼을 가진 파형보다 높은 분해능을 보인다(Schoenberger, 1974).

최종 처리된 탄성파 자료는 광대역 영위상 파형으로 구성되어 있을 것이라는 가정은 탄성파 자료를 해석할 때 범하기 쉬운 오류이며, 실제 자료는 대부분이 자료 처리가 끝나더라도 영위상 파형이 아닌 복합위상(mixed phase)의 파형을 가지고 있다. 복합위상의 경우 층의 경계면과 파의 마루(peak)나 골(trough)이 일치하지 않아서 정확한 지층의 구분이 어려우며, 퇴적층의 탄성파 속성 분석이나 amplitude variation with offset(AVO) 분석 등과 같이 반사파의 정확한 진폭 규모, 극성, 그리고 위치가 중요한 연구의 경우 잘못된 분석을 초래할 수 있다. 이와 같은 오류를 줄이기 위해서는 최대 진폭점을 중심으로 대칭 형태를 보여 반사경계면이 최대진폭점이 되는 영위상 파형 변환이 필요하다(Henry, 1997a, 1997b).

파형요소를 원하는 광대역 영위상 파형으로 변환하는 자료처리 과정인 디컨볼루션(deconvolution)은 파형요소를 알고 있을 때, 역필터를 통해 파형요소의 영향을 제거하여 원하는 광대역 영위상 파형을 얻는 것이다. 일반적으로 사용되는 디컨볼루션에는 탄성파 자료로부터 파형을 통계학적으로 추측하는 통계적 디컨볼루션과 측정이나 역산을 통해 파형요소를 추측하고 역필터링을 하는 결정론적 디컨볼루션이 있다. 탄성파 음원의 파형요소를 직접 측정해서 구하는 것은 비용과 기술적인 면에서 많은 문제점이 있기 때문에(Ziolkowski, 1991; Dragoset, 2000), 일반적인 탄성파 자료 처리과정에서는 통계학적 방법을 이용하여 탄성파자료로부터 파형요소를 추정한다.

파형요소는 진폭 스펙트럼과 위상스펙트럼으로 정의되며, 진폭 정보는 탄성파 자료의 자기상관(autocorrelation)을 통해 구할 수 있지만 위상에 관한 정보는 직접 얻을 수 없다. 탄성파 탐사에 사용되는 음원 중 점음원(point source: 다이내마이트, 에어건)의 경우 파형의 에너지가 앞쪽에 집중되어 최소위상에 가까운 파형 특성을

나타내며, 이러한 특징은 위상 스펙트럼이 최소 위상이라 가정하고, 진폭 스펙트럼의 대수(logarithm)에 대한 힐버트 변환(Hilbert transform)으로부터 위상 스펙트럼을 추정할 수 있다(Hargreaves, 1992). 하지만, 실제 획득된 자료의 경우 최소위상보다는 복합위상 형태를 보이므로 통계적 방법으로 음원 파형을 예측할 때 전제되었던 조건(최소위상)에 부합되지 않으므로, 디컨볼루션 후에도 원하는 광대역 영위상 단면이 아닌 복합위상 단면을 얻게 된다.

복합위상 파형 자료를 광대역 영위상 파형으로 변환하기 위해서는 정확한 위상정보가 필요하다. 정확한 위상정보를 가진 음원 파형 예측을 위한 많은 연구가 진행되었으며(Ziolkowski et al., 1982; Dragoset, 1984; Ziolkowski and Metselaar, 1984), 본 연구에서는 동해 울릉분지에서 2005년 가스하이드레이트 연구 목적으로 취득된 다중 채널 탄성과 자료에 일반적으로 사용되는 통계적 방법인 (1) 트레이스별 최소위상 스파이킹 디컨볼루션과 (2) 트레이스 평균 최소위상 파형요소를 이용하는 방법, (3) 검층자료로부터 계산된 위상이 고려된 혼합위상의 파형요소를 이용하는 결정론적 방법 등을 적용하고 비교함으로써 각 방법의 특성과 적용성을 분석하였다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### □ 국내의 경우

국내의 경우 탄성과 탐사자료 처리 분야에서 디컨볼루션에 대한 연구가 상당히 이루어져 왔음. 가장 흔하게 사용되는 예측 디컨볼루션(predictive deconvolution)에 관한 이론은 외국에서 1970년대까지 완성되어 현재 대부분의 상용 자료처리 소프트웨어에서 구현되고 있으므로 국내에서는 외국에서 구입한 상용 자료처리 소프트웨어를 이용하여 예측 디컨볼루션을 수행하고 있음.

### □ 국외의 경우

예측디컨볼루션이 연산에 있어서 안정적이고 상당한 효과를 보이지만 파형요소가 최소위상이어야 하며 반사계수의 확률밀도함수가 가우스분포를 가져야 한다는 가정을 전제로 하므로 파형요소를 이상적인 영위상 내지는 impulse의 형태로 변환시키는 것은 어려움. 따라서 MED (minimum entropy deconvolution) (Wiggins, 1978), FMED (frequency domain MED) (Sacchi et al., 1994), 그리고 확률통계학적(stochastic) 역산으로서 IWM (iterated window maximization) (Kaaresen, 1997)을 이용한 디컨볼루션 방법들이 연구되어 응용된 바 있다. MED는 예측디컨볼루션의 가지는 제약을 극복하는 방법으로서 탄성과자료의 엔트로피를 최소화하는 방식으로 디컨볼루션 필터를 구한다 (Wiggins, 1978)에 의해 제시되었다.

Levy and Fullagar (1981)은 탄성과 자료와 부합하는 최소 절대 norm (minimum absolute norm)을 이용하여 반사계수를 구하는 선형 프로그래밍 (LP: linear programming)방법을 제시하였으며 Lines and Clayton (1977)은 탄성과 자료의 스펙트럼을 복소 AR (autoregressive) 모델로 계산하여 반사계수의 저주파 및 고주파 성분을 구하는 방법을 제시하였다. 하지만 이들 방법에서는 파형요소 (wavelet)를 미리 알아야 하는 단점이 있다. 탄성과자료에서 파형요소를 추정하는 것은 매우 어려운 문제이다. Sacchi et al. (1994)은 반사계수 스펙트럼에서 손실된 주파수 대역에 관한 norm을 극대화하는 비선형 연산을 수행함으로써 선형연산이 제대로 처리하지 못하는 주파수 대역이 제한된 자료를 처리할 수 있는 FMED

(MED with frequency domain constraints)를 제시한 바 있다. 이 방법은 LP와 MED(minimum entropy deconvolution)를 연결하는 특성을 갖지만 반사계수를 완벽한 스파이크의 형태로 구하지 못하는 단점이 있다.

최근에는 확률통계이론을 이용하는 stochastic inversion 방법이 제시되고 있다. 이 방법에서는 구하고자 하는 반사계수를, 특정한 분포를 가지는 확률적인 변수로 고려함으로써 적절한 선형적 (a priori) 분포를 생각한다. 그 다음에 반사계수의 posteriori 확률밀도를 최대화하는 MAP (maximum a posteriori) 추정치에 의해 반사계수를 계산한다. Singh and Minshull (1994)도 stochastic inversion의 일환으로 global waveform inversion을 개발하여 가스하이드레이트 탐사에 직접 응용한 바 있다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 연구지역 지질환경

동해는 유라시아판의 동쪽 주변부에 위치하는 후열도분지로 한반도와 일본 열도 사이에 위치하며, 올리고세 초기에 다축방향의 확장에 의해 열린 세 개의 분지(일본, 야마토, 울릉분지)로 구성 된다 (Lee et al., 1999) (Fig. 3-1a). 연구지역인 울릉분지는 동해의 남서부에 위치하며 한반도와 한국대지, 남서 일본열도의 대륙사면에 의해 둘러싸여 있다 (Fig. 3-1b). 울릉분지의 최대수심은 약 2000~2100 m 정도이며, 분지 해저면은 매우 평탄하고 북동방향으로 완만하게 깊어져서 일본분지로 연결된다. 울릉분지의 동쪽은 완만하게 오키나와 뱅크와 접하고, 서쪽은 가파른 경사를 가지며 한반도의 대륙사면과 만난다. 남쪽은 완만한 경사를 갖는 일본의 대륙사면과 연결되며 북쪽으로는 지형의 굴곡이 심한 한국 대지로 둘러싸여 있다. 울릉분지의 퇴적층 두께는 평균 4 km 이상에 달하며 분지 남쪽에서는 최대 10 km 이상에 달한다 (Lee et al., 2001). 대륙사면 대부분 지역에서는 쇄설류 퇴적물(debris-flow deposit)이 넓게 분포하는 반면, 분지 중앙부에서는 저탁류 및 반원양성 퇴적물(turbidite/hemipelagic sediment)이 우세하게 분포한다 (Lee and Suk, 1998).



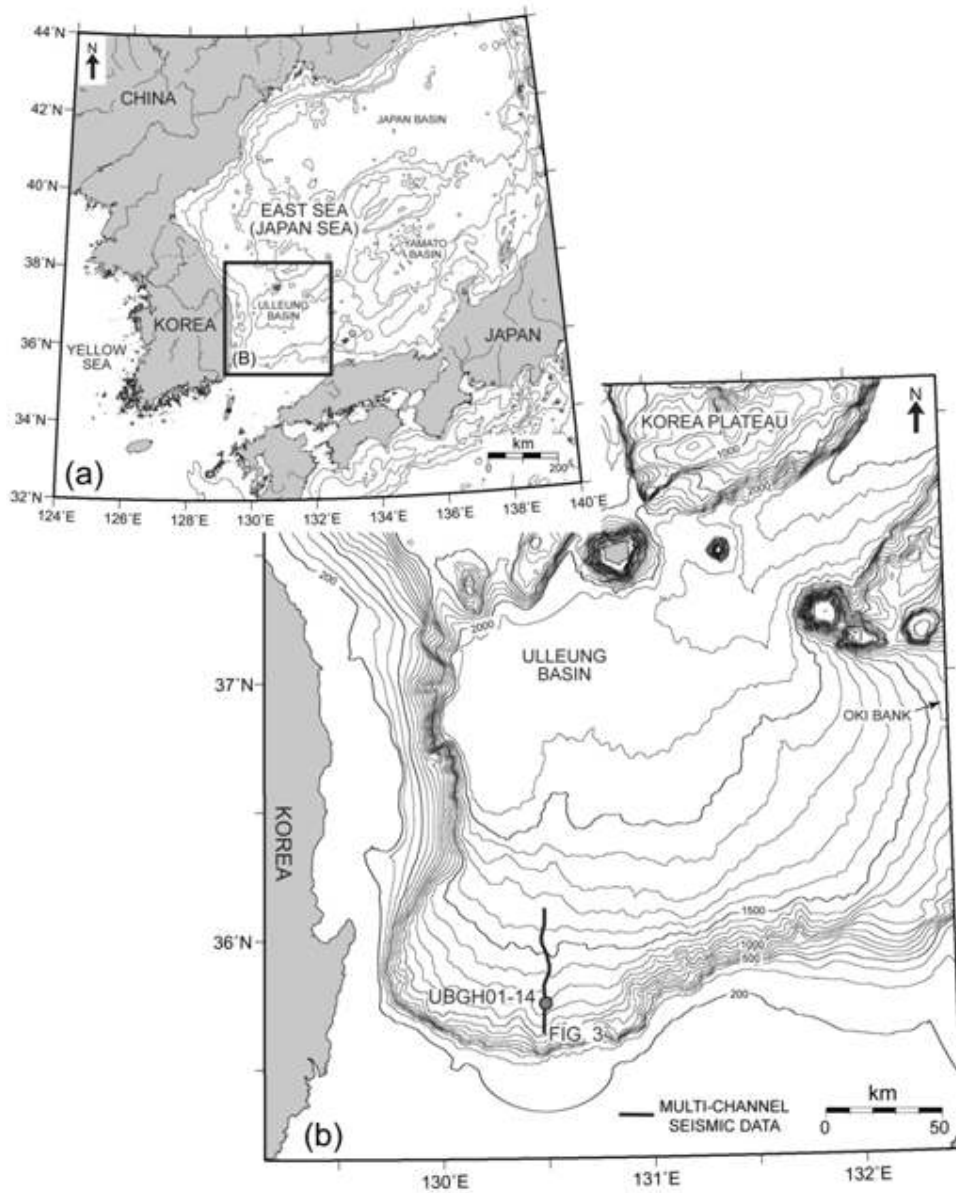


Fig 3-1. (a) Physiographic map of the East Sea. Box represents the Ulleung Basin shown in Fig. 3-1b. (b) Bathymetry of the Ulleung Basin and location of the multi-channel seismic reflection profile and the UBGH01-14 well.

## 제 2 절 자료 분석

### 2.1 연구자료

이 연구에 사용된 다중채널 탄성과 자료는 2005년 동해 울릉분지에서 가스하이드레이트 연구를 목적으로 한국지질자원연구원(KIGAM)이 탐해II호를 이용하여 취득한 것이다 (Fig. 3-1b). 자료의 취득을 위해 사용한 음원은 6개 에어건 배열로 구성된 총  $1035\text{-in}^3$  (2000 psi) 용량의 에어건이다. 수진기는 240채널로 채널간격이 12.5 m이며, 발파간격은 25 m로 중합도는 60이다. 자료처리 과정은 탄성과 탐사자료의 필드 자료와 지형자료 통합, 불량 트레이스 제거, 실진폭 회수, 주파수 필터링, 속도 분석, NMO보정(normal moveout correction), 중합 등이 포함되어 있다. 시추공 UBGH01-14 물리검층 자료는 감마선, 비저항, 밀도, P파 속도, 그리고 공극률로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 속도 모델의 기초가 될 음향 임피던스를 구하기 위해 속도 로그와 밀도 로그를 사용하였다 (Fig 3-2). 이 연구의 탄성과 측선지역은 동해 울릉분지 남부 사면 지역으로 쇄설류 퇴적물이 우세하다. 해저면 약 230 ms 하부에 주변의 쇄설류 퇴적물을 가로지르는, 해저면과 반대 극성의 강한 해저면 모방 반사면(BSR, bottom-simulating reflector)이 나타나는 것을 볼 수 있는데 해저면 모방 반사면은 가스하이드레이트의 가장 일반적인 탄성과 지시자이다 (Fig 3-3).

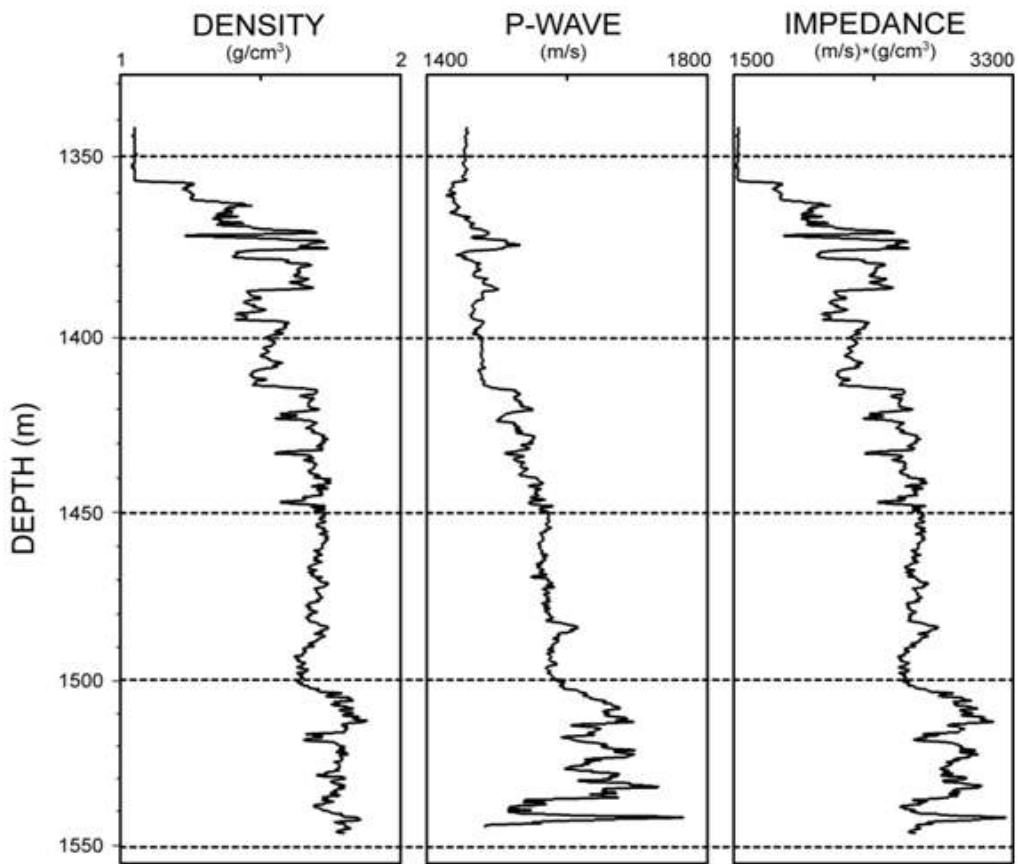


Fig. 3-2. Density, P-wave velocity, and impedance logs from the UBGH01-14 well.

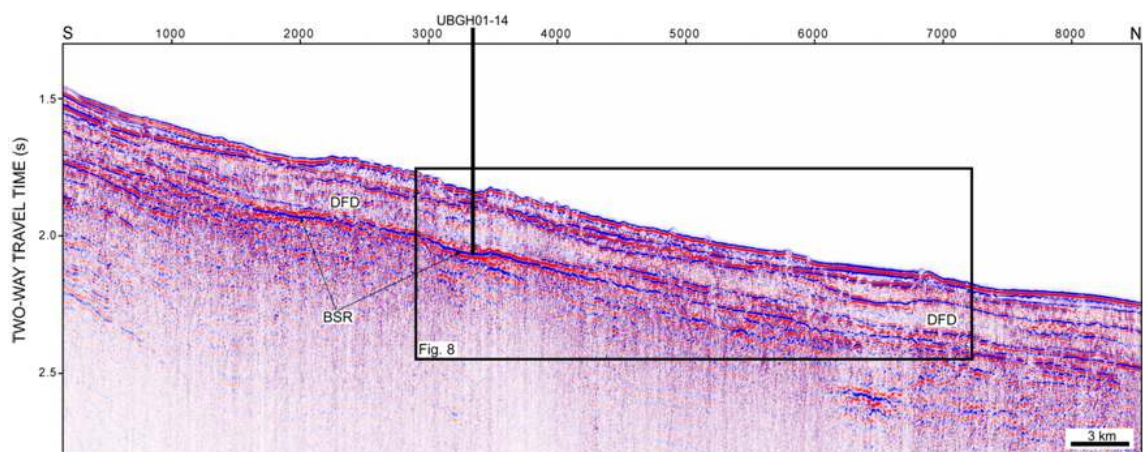


Fig. 3-3. Seismic profile showing a strong BSR in debris-flow deposits (DFD). See Fig. 3-1b for location.

## 2.2 방법 및 모델

세 가지 다른 디컨볼루션의 결과를 비교하기 위하여 간단한 의사 임피던스 로그(Fig. 3-4a)와 임피던스 모델(Fig. 3-4b)을 만들어보았다. Fig. 3-5의 a, b, 그리고 c에 그려진 3개의 파형은 각각 영위상 옴스비 파형요소(Ormsby wavelet)를  $45^\circ$  위상 회전시킨 후 35 ms 시간 이동시킨 가상 파형요소, Fig. 3-6a의 자기상관 자료와 최소위상 가정을 통해 예측된 파형요소, 그리고 Fig. 3-6a의 자기상관 자료와 물리검층 자료로부터 구한 위상 정보를 토대로 계산된 파형요소이다.

Fig. 3-6a는 Fig. 3-4b의 임피던스 모델에 Fig. 3-5a의 파형을 대합(convolve)하여 만든 합성 탄성과 자료이며, Fig. 3-6b는 통계적 방법의 디컨볼루션 중, 가장 많이 사용되는 최소위상 스파이킹 디컨볼루션의 결과이다(Yilmaz, 2001). 초기 컨볼루션 모델과 비교하였을 때 비교적 파형이 압축되어 뚜렷한 반사경계면을 나타내지만 해저면과 해저면 모방 반사면에서 볼 수 있듯이 영위상이 아닌 최소 위상에 가까운 복합위상의 트레이스를 보여준다. 또한 층 내부에 많은 인공물(artifact)들이 확인된다.

Fig. 3-6c는 각각의 트레이스로부터 최소위상을 가정하고 파형요소를 추정한 다음, 추출된 파형요소를 더하여 최종 파형요소(Fig. 3-5b)를 구하고 역필터링한 결과이다. 트레이스별 최소위상 스파이킹 디컨볼루션과 마찬가지로 정확한 위상정보를 얻지 못해 비대칭의 복합위상의 트레이스를 보여주고 있다.

Fig. 3-6d는 결정론적 디컨볼루션 방법 중 미상의 위상 정보를 물리검층 자료로부터 유추하여 단일 음원 파형을 구해 역필터링하는 방법의 결과를 보여주는 그림이다. 진폭 스펙트럼은 최소위상 스파이킹 디컨볼루션과 같이 자기상관을 통하여 구하고, 위상정보의 경우 위상회전을 통해 각각의 위상별 합성파를 만들어 탄성과 자료와 상호 상관도가 가장 높은 하나의 위상값(constant phase)을 선택해 최적의 파형요소(Fig. 3-5c)를 구하였다. 다른 디컨볼루션과는 달리 파형이 영위상의 특성을 보이며 각 층의 경계면과 파형의 최대에너지가 일치한다.

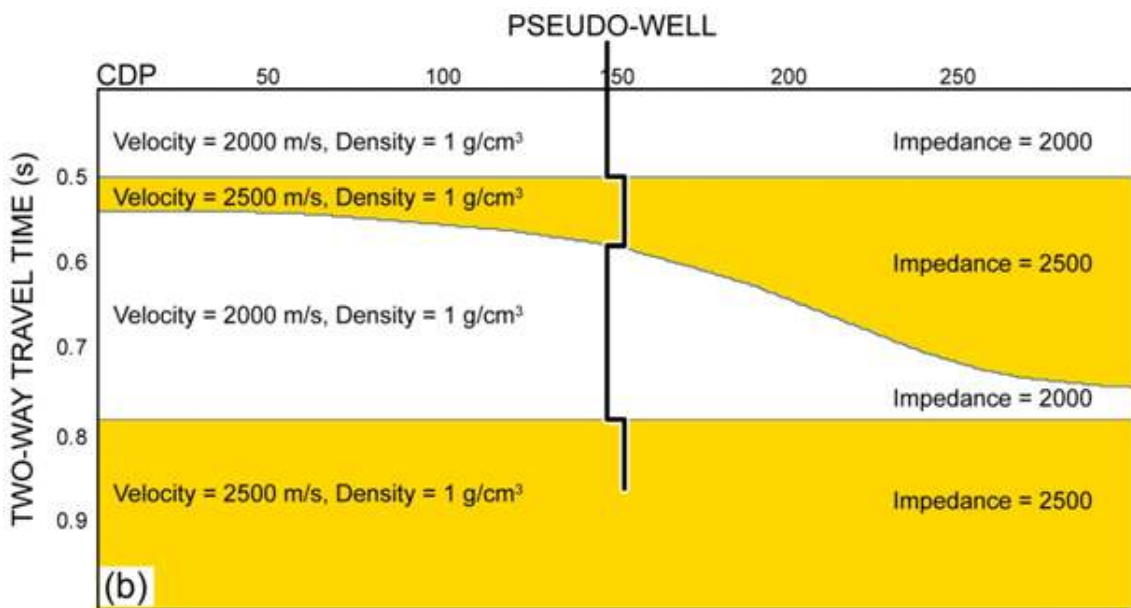
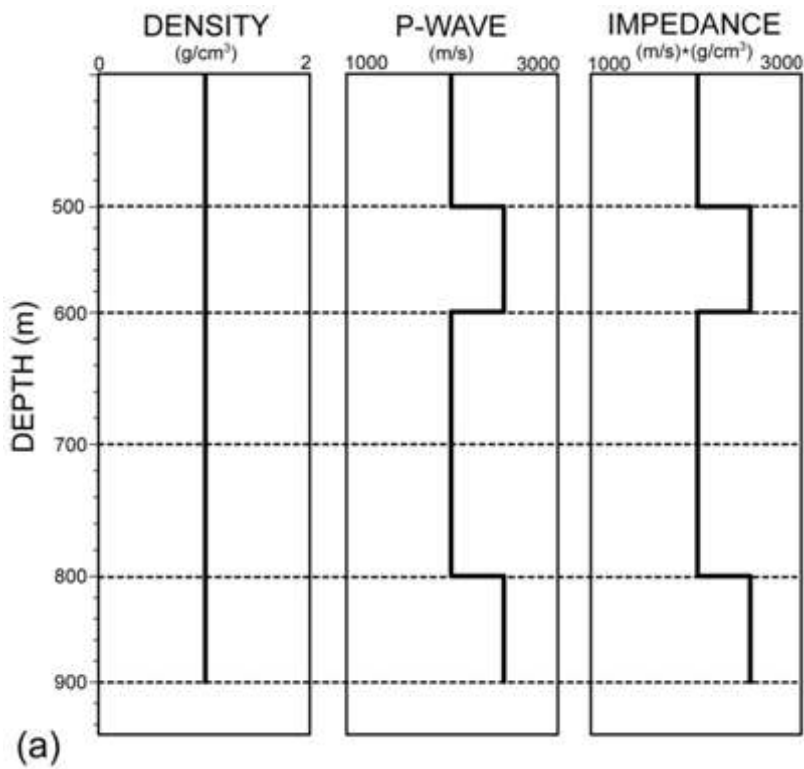


Fig. 3-4. (a) Pseudo density, P-wave velocity, and impedance logs. (b) Synthetic impedance model.

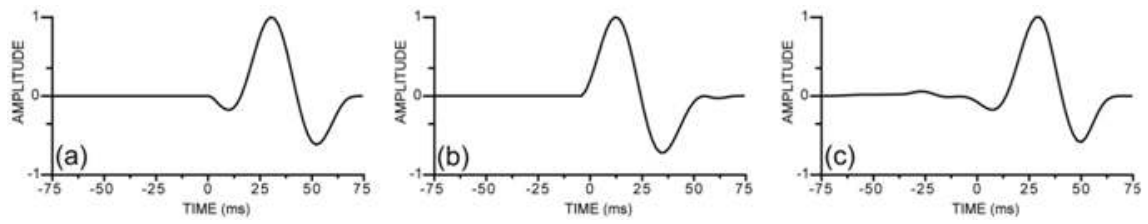


Fig. 3–5. (a) Ormsby wavelet to be convolved with the model in Fig. 3–4b. (b) Source wavelet obtained from autocorrelation of Fig. 6a assuming minimum–phase. (c) Source wavelet with amplitude spectrum obtained from autocorrelation of Fig. 6a and phase spectrum obtained from the pseudo well logs.

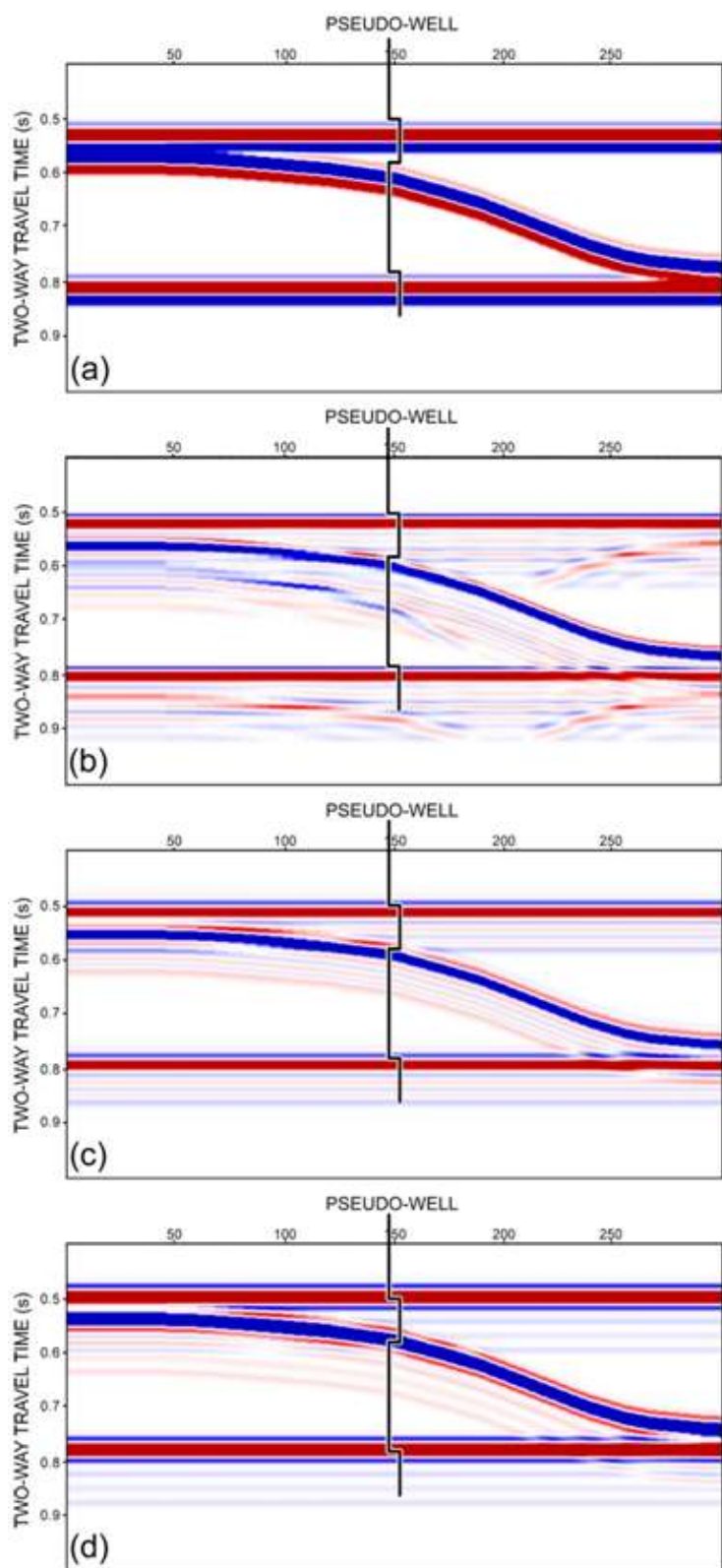


Fig. 3-6. (a) Synthetic seismic profile from convolution of source wavelet in Fig 3-5a and impedance model in Fig. 3-4b. (b) Result of minimum-phase

spiking deconvolution of (a). (c) Result of deconvolution of (a) using source wavelet in Fig. 3-5b. (d) Result of deconvolution of (a) using source wavelet in Fig. 3-5c.

### 제 3 절 결과 및 토의

Fig. 3-7a와 b는 각각 Fig. 3-3의 자기상관 자료와 최소위상 가정을 통해 계산된 파형요소와 Fig. 3-3의 자기상관 자료와 물리검층 자료(Fig. 3-2)로부터 추측한 위상 정보를 토대로 계산된 파형요소이다. Fig. 3-8은 Fig. 3-3의 원시자료에 세 가지 디컨볼루션을 적용한 결과들이다. 디컨볼루션을 적용할 때 진폭 스펙트럼을 구하기 위한 윈도우는 해저면으로부터 왕복주시 300 ms, 연산자 길이(operator length)는 200 ms, 그리고 초기 백색잡음은 5%로 동일하게 적용하였다.

Fig. 3-8a는 자료처리전의 자료이며, Fig. 3-8b는 최소위상 스파이킹 디컨볼루션을 적용한 결과로서 전체적으로 원래 자료와 비교했을 때 파형이 압축되어 향상된 수직 분해능을 보인다. 그러나 파형요소가 최소위상이라면, 지연이 없는 스파이크(zero-lag spike) 형태로 파형이 변환되어야 하는데(Yilmaz, 2001) 파형요소는 최소위상이 아니기 때문에 이상적인 형태의 스파이크를 얻지 못했다. 해저면의 경우 매우 약한 마루 뒤에 강한 골과 강한 마루가 나타난다. 복합위상 음원을 최소위상으로 가정하고 디컨볼브했기 때문에, 파형이 걸리는 반사경계면보다 오히려 직하부의 골에 에너지가 집중되는 양상을 보인다. 해저면 모방 반사면의 경우 해저면과 반대 극성의 강한 마루로 나타나는데 연속성이 원래자료보다 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 단일 음원 파형이 아닌 각 트레이스별 음원 파형으로 디컨볼브하였기 때문에 상대적으로 수평적인 연속성이 떨어지는 것이라고 판단된다. 박스 내부의 경우 원본자료에서 단일 쇄설류퇴적체로 해석된 것이 스파이킹 디컨볼루션 후에는 내부에 반사면이 보이는 것으로 보아 실제로는 보다 복잡한 퇴적층을 가진 것으로 해석된다.

Fig. 3-8c는 통계적으로 구해진 트레이스별 파형요소를 더하여 단일 파형요소를 구하고(Fig. 3-7a) 디컨볼브한 결과로 원래자료(Fig. 3-8a)와 비교했을 때 파형이



압축되어 향상된 수직 분해능을 보인다. 트레이스별 최소위상 스파이킹 디컨볼루션과 비슷한 결과를 보이며, UBGH01-14 하부의 강한 반사층의 경우 원래자료와 유사한 양상을 보인다. 해저면의 연속성은 트레이스별 스파이킹 디컨볼루션의 결과와 비슷하며, 해저면 모방 반사면은 트레이스별 스파이킹 디컨볼루션보다 연속성이 좋다. 그러나 박스 내부의 경우 트레이스별 스파이킹 디컨볼루션보다 수직 분해능이 떨어진다.

Fig. 3-8d는 대략적인 위상 정보를 시추공 물리검층 자료로부터 구하여 음원 파형을 구하고(Fig. 3-7b) 디컨볼브한 결과이다. 파형이 영위상으로 변환되어, 음향 임피던스에 따른 정확한 반사경계를 확인할 수 있다. 앞서 적용한 다른 디컨볼루션 방법들보다 향상된 수직 및 수평 분해능을 보인다. 해저면의 경우 약한 골, 강한 마루, 그리고 약한 골로 구성되는 전형적인 영위상 파형으로 나타난다. 해저면 모방 반사면의 경우에도 해저면과 다른 극성을 가진 약한 마루, 강한 골, 그리고 약한 마루의 영위상 파형으로 나타난다. 원래자료와 비교했을 때 해저면 모방 반사면은 골이 좀 더 압축되고 연속성이 좋아 더 뚜렷하게 구분하고 해석할 수 있다. UBGH01-14 하부의 강한 반사면도 원래 자료보다 잘 드러난다. 박스 내부의 경우 스파이킹 디컨볼루션보다 더 뚜렷하게 된 반사 경계면을 확인할 수 있으며, 쇄설류 퇴적체가 원래자료에서보다 복잡하게 구성되어 있음을 짐작할 수 있다.

위의 결과에서 관찰할 수 있는 것처럼 디컨볼루션 후 전반적으로 자료의 분해능이 향상된 것을 알 수 있다. 특히 원래자료에서 단일 쇄설류 퇴적물체로 해석되던 것이 디컨볼루션 후에는 두 개 이상의 층으로 구성된 복잡한 쇄설류 퇴적물체로 해석된다. 이러한 결과는 이 지역의 가스하이드레이트 자원량을 유추하는 데에 필요한 퇴적물의 암상 분포를 해석하는 데 매우 중요한 것이다. 또한 해저면과 해저면 모방 반사면의 경우 디컨볼루션 전에는 파형의 변곡점이 지층경계면에 해당되기 때문에 해당 경계의 정확한 위치를 알 수 없지만, 디컨볼루션 후에는 정확한 경계를 알 수 있다. 따라서 가스하이드레이트 안정영역의 하부경계를 나타내는 해저면 모방 반사면(Kvenvolden and Barnard, 1983)의 정확한 깊이를 알 수 있어, 연구지역의 지열류량을 보다 정확하게 유추 할 수 있다. 또한 디컨볼루션의 효과로서 지층 경계에서의 정확한 진폭정보를 알 수 있으므로 가스하이드레이트와 하부 가스의 농도 예측을 위한 AVO 분석의 정확성을 향상할 수 있다(Hyndman and Spence, 1992; Andreassen et al., 1997).

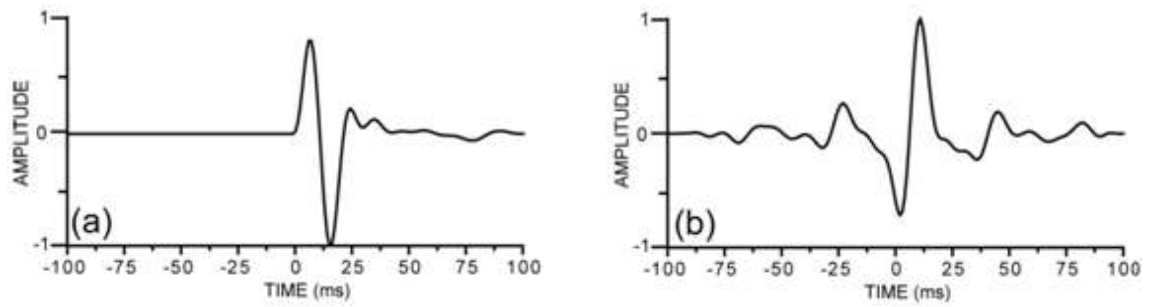


Fig. 3-7. (a) Source wavelet obtained from autocorrelation of Fig. 3-8a assuming minimum-phase. (b) Source wavelet computed from amplitude and phase spectra each obtained from autocorrelation of Fig. 3-8a and from the well logs.

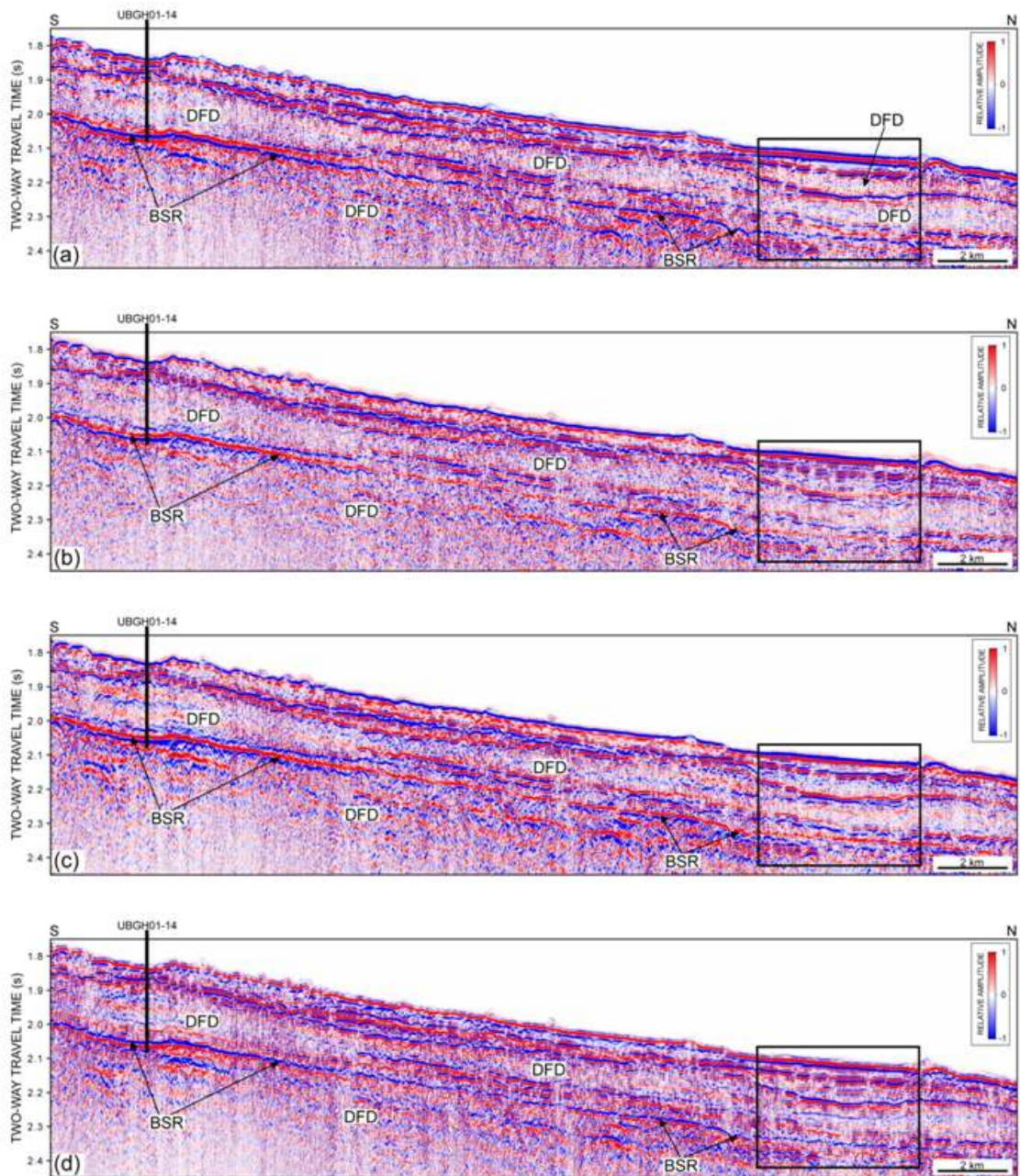


Fig. 3-8. (a) Segment of seismic profile in Fig. 3-3. (b) Minimum-phase spiking deconvolution of (a). (c) Deterministic deconvolution of (a) using a source wavelet of Fig. 3-7a. (d) Deterministic deconvolution of (a) using a source wavelet of Fig. 3-7b. Boxes indicate the zones where seismic facies changed before and after deconvolution. BSR: bottom-simulating reflector, DFD; debris-flow deposits. See Fig. 3-1b for location.

## 제 4 절 결론

일반적인 탄성과 자료처리 과정이 끝난 중합 단면도에 세 가지의 서로 다른 디컨볼루션을 적용하여 그 결과와 적용성을 비교하였다: (1) 트레이스별 최소위상 스파이킹 디컨볼루션과 (2) 트레이스 평균 최소위상 파형요소를 이용하는 방법, (3) 검층자료로부터 계산된 위상이 고려된 혼합위상의 파형요소를 이용하는 결정론적 방법. 파형요소가 최소위상임을 가정하는 앞의 두 가지 디컨볼루션 방법은 실제로 디컨볼루션 적용 후에도 파형요소의 위상이 복합적인 양상을 보여 음향 임피던스의 차이가 생기는 지층경계나 해저면 모방 반사면의 위치를 해석할 때 문제를 야기할 수 있다. 지질학적인 해석만을 고려한다면 수 ms 정도의 매우 작은 시간차이는 무시할 수 있지만 정확한 지층경계에서의 진폭값을 이용하는 AVO나 탄성과 속성분석 시에는 잘못된 결과를 야기할 수 있다. 가스하이드레이트 자원량을 유추하는 데 있어서는 퇴적 지층구분, 해저면 모방 반사면 정확한 위치, 정확한 반사 진폭의 해석 등이 필수적이므로 세 번째로 적용한 영위상 디컨볼루션은 반드시 수행 되어야 한다.

## 제 4 장 연구개발목표 및 대외기여도

- 동해 울릉분지에서 가스하이드레이트 탐사를 목적으로 획득된 탄성과 중합 자료에 (1) 트레이스별 최소위상 스파이킹 디컨볼루션 (2) 트레이스 평균 최소위상 디컨볼루션 (3) 검층자료를 이용한 디컨볼루션, 트레이스별 최소위상 스파이킹 디컨볼루션을 적용하여 지층경계면을 분해하는 특성을 분석하였다.
- 첫 번째 방법의 경우 수직 분해능은 증가하지만 수평 연장성이 감소하는 경향을 보였다. 두 번째 방법은 전체적으로 트레이스별 스파이킹 디컨볼루션의 결과와 비슷하지만 해저면 모방 반사면이 보다 연속적이고 일관된 결과를 보이며 하부 반사면들이 더 뚜렷하게 나타난다. 세 번째 방법의 결과는 쇄설류 퇴적체 내부가 좀 더 상세하게 나타나며 해저면과 해저면 모방 반사면의 과형이 이상적 영위상 형태를 보이며 반사면의 연속성이 향상되었음을 보여준다.
- 이러한 특성은 가스하이드레이트 안정영역의 하부경계를 지시하는 해저면 모방 반사면의 진폭특성분석과 퇴적상 해석을 향상시키므로 탐사 지역의 가스하이드레이트 분포와 자원량을 정확히 추정하는 데에 도움을 줄 것으로 기대된다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- BSR을 포함하는 탄성파자료를 검층자료와 결합하여 해석할 수 있는 방안을 구축하였음.
- 탄성파 자료로부터 지하의 반사계수를 추출하는 것은 특히 가스 하이드레이트의 기저를 표현하므로 기저를 정확히 지시하는 디컨볼루션 방법으로서 파형요소를 영위상으로 변환시키는 것이 가장 적절하다.
- 탄성파 자료로부터 지하의 구조를 복원하는 것은 가스 수화물의 안정영역과 그 아래 존재하는 가스층으로 이루어진 지질구조의 구명에 매우 유용하다.
- 가스 하이드레이트 안정영역 아래에 가스가 존재할 경우 탄성파의 감쇠가 심하게 발생하므로 이것을 분석할 수 있는 방법이 개발되면 가스의 탐사에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.
- 탄성파 자료에서 보이는 가스 하이드레이트 부존 구조에서 BSR과 그 아래 반사면의 성질을 해석하고 이런 과정을 통하여 유망한 구조를 찾고 탐사의 성공율을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

## 제 6 장 참고문헌

- Andreassen, K., Hart, P.E., and MackKay, M., 1997. Amplitude versus offset modeling of the bottom simulating reflection associated with submarine gas hydrates: *Marine Geology*, **137**, 25–30.
- Dragoset, B., 1984. A comprehensive method for evaluating the design of air guns and air gun arrays: *Presented at Offshore Tech. Conf.*
- Dragoset, B., 2000. Introduction to air guns and airgun arrays: *The Leading Edge*, **19**, 892–897.
- Hargreaves, N.D., 1992. Air–gun signatures and the minimum–phase assumption: *Geophysics*, **57**, 263–271.
- Henry, S.G., 1997a. Catch the (seismic) wavelet: *Explorer* (March).
- Henry, S.G., 1997b. Zero phase can aid interpretation: *Explorer* (April).
- Hyndman, R.D. and Spence, G.D., 1992. A seismic study of methane hydrate marine bottom simulating reflectors: *J. Geophysical Research*, **97**, 6683–6698.
- Kaaresen, K.F., 1997. Deconvolution of sparse spike trains by iterated window maximization. *IEEE Trans. Signal Processing*, v. 45, p.1173–1183.
- Kvenvolden, K.A., and Barnard, L.A., 1983. Hydrates of natural gas in continental margins. In: Watkins, J.S. and Drake, C.L. (Eds.), *Studies in Continental Margin Geology*, pp. 631–640. AAPG Memoir 34.
- Lee, G.H., Kim, H.J., Han, S.J., and Kim, D.C., 2001. Seismic stratigraphy of the deep Ulleung Basin in the East Sea (Japan Sea) back–arc basin: *Marine and Petroleum Geology*, **18**, 615–634.
- Lee, G.H., Kim, H.J., Suh, M.C., and Hong, J.K., 1999. Crustal structure,

- volcanism, and opening mode of the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan): *Tectonophysics*, **308**, 503–525
- Lee, G.H., and Suk, B., 1998. Latest Neogene–Quaternary seismic stratigraphy of the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan): *Marine Geology*, **146**, 205–224.
- Levy, S., and Fullagar, P.K., 1981, Reconstruction of a sparse spike train from a portion of its spectrum and application to high–resolution deconvolution: *Geophysics*, v.46, p.1235–1243.
- Sacchi, M.D., Veils, D.R., and Cominguez, A.H., 1994, Minimum entropy deconvolution with frequency–domain constraints: *Geophysics*, v.59, p.938–945.
- Schoenberger, M., 1974. Resolution comparison of minimum–phase and zero–phase signals: *Geophysics*, **39**, 826–883.
- Wiggins, R.A., 1978, Minimum entropy deconvolution: *Geoexpl.*, v.16, p.21–35.
- Yilmaz, Ö., 2001, Seismic Data Analysis: *Society of Exploration Geophysics*.
- Ziolkowski, A., 1991. Why don't we measure seismic signatures?: *Geophysics*, **56**, 190–201.
- Ziolkowski, A. and Metselaar, G., 1984. The pressure wave field of an air–gun array: *54th Ann. Mtg., SEG, Expanded Abstracts*, 274–276.
- Ziolkowski, A., Parkes, G., Hatton, L., and Haugland, T., 1982. The signature of an air–gun array–Computation from near–field measurements including interactions: *Geophysics*, **47**, 1413–1421.