연구논문

탄성과 단면 영상화 및 자료처리 적용을 위한 3축 정밀 위치제어 탄성과 축소모형 시스템 개발

김대철¹⁾ · 신성렬^{2)*} · 정우근²⁾ · 하지호³⁾ · 임경민¹⁾

Development of 3-axis Precise Positioning Seismic Physical Modeling System for Seismic Imaging and Data Processing

Daechul Kim, Sungryul Shin*, Wookeen Chung, Jiho Ha and Kyoungmin Lim

(Received 2 January 2020; Final version Received 14 February 2020; Accepted 21 February 2020)

Abstract : A seismic physical modeling system capable of automatic 3-axis positioning control of seismic sources and receivers was developed to allow more accurate seismic imaging and data processing. To verify the applicability of the system, data were acquired for sources and receivers at various depths. Comparison to numerical data showed that the acquired data showed similar reflected wave trends. A multi-channel seismic survey was performed at a salt dome model to determine the applicability of the seismic physical modeling system, and data processing such as velocity analysis and Kirchhoff migration was carried out. The seismic cross-section image acquired was consistent with that of the geological model, and the primary reflection, multiple reflection, and diffraction data obtained agreed with real wave propagation data. The seismic physical modeling system developed allows the acquisition of modeling data that is similar to field data in an economical and efficient manner. This data can be used for various purposes, such as to simulate seismic data acquisition, design seismic explorations, and investigate data processing algorithms.

Key words : Seismic Physical Modeling, Marine Seismic Survey, 3-axis Precise Position Control, Seismic Data Processing

요약 : 음원 및 수신기의 3축 자동위치제어가 가능하고 정밀도가 향상된 탄성과 단면 영상화 및 자료처리 적용을 위한 해양 탄성과 축소모형 시스템을 개발하였다. 개발한 축소모형 시스템의 성능 검증 및 적용성을 파악하기 위하여 음원 및 수신기의 심도 변화에 따른 탄성과 자료를 취득하였다. 취득한 자료를 수치모형 실험 자료와 비교해본 결과 반사파의 경향이 일치하였다. 탄성과 축소모형 시스템의 적용성을 파악하기 위하여 암염 돔 모델에서 다중채널 탄성과 탐사를 수행하였으며, 속도 분석, Kirchhoff 구조보정 등의 자료처리 기법 적용하였다. 취득한 탄성과 단면과 지층 모델 단면이 일치하였으며, 실제 파동 전파 현상으로 나타나는 반사, 다중반사, 회절 등과 같은 현상이 발생한 것을 확인하였다. 본 연구에서 개발한 해양환경 탄성과 축소모형 시스템을 활용하여 현장 탐사와 유사한 자료를 경제적으로 취득이 가능하며, 탄성과 탐사 기법 모사, 현장 탐사 설계, 자료처리 알고리즘 검증 등에 활용될 것으로 판단된다.

주요어 : 탄성과 축소모형 실험, 해양 탄성과 탐사, 3축 정밀위치제어, 탄성과 자료처리

서론

탄성과 축소모형 실험은 현장 탐사의 규모를 실험실 규모로 축소하여 탄성과 자료를 취득하는 실험으로 지층 모

델로 탄성 매질을 사용하고 탄성파가 실제로 탄성 매질에서 전파하기 때문에 현장 탐사를 모사할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 현장 탐사보다 탐사 시간이나 비용적인 측면에서 이점이 있으며, 현장 탐사의 환경을 모사하기 어려운 수치모형 실험의 단점을 보완 가능하다(Stewart and Cheadle, 1989). 탄성과 축소모형 실험은 탄성과 이방성 특성 분석, 탄성과 탐사 기술, 구조보정 등 다양한 연구 주제로 연구가 수행되고 있으며, 육상환경보다 해양환경에서의 탄성과 축소모형 실험이 활발하게 수행되었다(Shin *et al.*, 2017).

Houston 대학, Calgary 대학, China National Petroleum Corporation(CNPC) 등에서 탄성과 축소모형 실험을 수행

- 1) 한국해양대학교 해양에너지자원공학과
- 2) 한국해양대학교 에너지자원공학과
- 3) 한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터

*Corresponding Author(신성렬)

E-mail; srshin@kmou.ac.kr

Address; Dept. of Energy & Resources Engineering,
National Korea Maritime and Ocean University,
Busan, Korea

하기 위한 실험 장치인 탄성과 축소모형 시스템을 구축하고 연구에 활용하고 있다. Houston 대학에서는 2개의 음원과 4개의 수신기로 구성되어 있는 육상환경 탄성과 축소모형 시스템과 2개의 음원과 16개의 수신기로 구성되어 있는 해양환경 탄성과 축소모형 시스템을 보유하고 있다(Allied Geophysical Laboratories, 2019). 보유한 탄성과 축소모형 시스템을 활용하여 해양환경을 모사하고 VTI 매질에서 취득한 3차원 탄성과 자료를 활용하여 다양한 구조보정 기법 적용에 따른 결과를 비교 분석하는 연구(Chen *et al.*, 2006)와, 육상환경과 해상환경에서 fracture plane에 따른 신호 특성을 비교 분석하는 연구(Stewart *et al.*, 2013)를 수행하였다. Calgary 대학의 탄성과 축소모형 시스템은 육상환경과 해상환경을 공동으로 모사할 수 있고 위치 정밀도가 0.1 mm 미만인 3축(x, y, z)의 위치제어가 가능하다(Wong *et al.*, 2009). Arthur *et al.*(2012)는 수직 단층 모델에서 취득한 탄성과 축소모형 실험 자료를 자료처리한 탄성과 단면과 현장 자료를 비교하여 유사성을 분석하는 연구를 수행하였으며, Innanen and Mahmoudian(2015)은 탄성과 축소모형 시스템을 통하여 취득한 자료로 AVO 분석을 수행하여 제시한 이론과 비교하는 연구를 수행하였다. CNPC는 3축의 위치 정밀도가 0.1 mm인 해양 탄성과 축소모형 시스템을 구축하여 균열이 탄성과 감쇠에 미치는 영향에 관한 연구를 수행하였다(Ekanem *et al.*, 2014).

국내의 경우 Kim *et al.*(1988)이 최초로 파형재생법에 대하여 탄성과 축소모형 실험을 수행하였다. Choi *et al.*(1995)는 압전소자(piezoelectric ceramics)를 사용하여 탄성과 신호를 송수신하는 탄성과 축소모형 시스템을 개발하였고 육상 탄성과 탐사를 모사하였다. Shin *et al.*(2001)은 자동으로 x, y축의 위치제어가 가능하며, 위치 정밀도가 0.01 mm인 해상 탄성과 축소모형 시스템을 구축하였다. 가스 하이드레이트 부존지역에서의 탄성과 특성, 지층 정보 및 속도를 규명하기 위하여 탄성과 축소모형 실험을 활용한 연구(Shin *et al.*, 2006), VTI, TTI 매질에서 취득한 축소모형 실험 자료를 활용하여 탄성과 이방성 특성을 분석한 연구(Ha and Shin, 2011), spectral ration법을 탄성과 축소모형 실험 자료와 현장자료에 적용하여 감쇠의 영향에 대해 분석하는 연구(Lee *et al.*, 2014) 등 물리적인 특성에 관한 연구들이 주로 수행되고 있다. 탄성과 축소모형 실험을 통해 탄성과 단면 영상화 및 자료처리 적용을 위한 연구는 미비한 실정이다. 기존에는 축소모형 실험에 활용되는 지층 모델은 제작할 때에는 절삭 가공으로 제작하였기 때문에 3D SEG/EAGE salt model(Aminzadeh *et al.*, 1997), Marmousi2(Martin *et al.*, 2006)와 같은 복잡한 지층 구조를 제작하기에는 어려움이 있었다. 그러나 최근에 3D 프린팅 기술의 발전을 통하여 복잡한 지층 구조의 모델 구현이

가능해지면서 지하 단면 영상화 및 자료처리에 관한 연구가 필요한 상황이다.

얇은 층이나 트랩(trap) 구조의 발견에 장점이 있는 광대역 탄성과 탐사기술 중 하나인 가변 심도 스트리머(Soubaras and Dowle, 2010), 유체 판별 및 균열 파악, 고해상도 이미징 영상화에 장점이 있는 해저면 다성분 탄성과 탐사(Ikelle and Amundsen, 2005; Chopra and Stewart, 2010) 등 최신 탄성과 탐사 방법을 구현하기 위해서는 수신기의 심도를 제어할 수 있어야 한다.

또한, 현장 탐사의 규모를 실험실 규모로 축소하여 수행하는 탄성과 축소모형 실험에서 축소비를 1:10,000으로 설정하였을 때, 탄성과 축소모형 실험에서 음원 및 수신기 위치의 1 mm 오차는 현장 탐사에서 10 m의 오차로 나타날 수 있으므로 음원 및 수신기의 정밀한 위치제어가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 3축의 위치제어와 x, y축 2 μm , z축 0.05 mm의 위치 정밀도(축소비 1:10,000 일 경우, 각각 0.02 m 및 5 m)를 구현 가능한 탄성과 축소모형 시스템을 개발하였다. 3축 위치제어 성능 검증을 위하여 음원 및 수신기 심도 변화에 따른 탄성과 자료를 취득하고, 위치 정밀도 검증을 위해 수치모형 실험 결과와 비교하였다. 또한, 탄성과 축소모형 시스템의 적용성을 파악하기 위하여 압연된 모델을 대상으로 다중채널 탄성과 탐사를 구현하고 속도 분석, Kirchhoff 구조보정 등의 자료처리 기법을 적용하였다.

탄성과 축소모형 시스템

본 연구에서 개발한 해양환경 탄성과 축소모형 시스템(Fig. 1(a))은 음원 및 수신기의 기능을 하는 초음파 트랜스듀서의 위치를 제어하는 위치제어부(position control system), 신호를 생성 및 제어, 수신하는 신호제어부(source control system), 탄성과 축소모형 실험 자료를 저장하는 자료취득부(data acquisition system)로 구성되어 있다(Fig. 1(b)). 또한, 해양환경을 모사하기 위하여 수조를 설치하였다.

위치제어부는 모터(motor), 서보 드라이버(servo driver), 자동 컨트롤러(automation controller), 터치 스크린 패널(touch screen panel)로 구성되어 있다. 3축을 자동으로 구동하기 위하여 x, y축에는 linear motor, z축에는 rotary motor를 사용하였으며, x, y축의 위치 정밀도는 2 μm , z축의 위치 정밀도는 0.05 mm이다. 축소비가 1:10,000일 때, 현장 탐사 규모로 나타내면 x, y축의 위치 정밀도는 0.02 mm, z축의 위치 정밀도는 0.5 m이다. 위치 정밀도는 음원 및 수신기의 위치좌표를 입력하였을 때, 입력된 좌표와 실제 위치의 오차 정도를 말한다. 각 축은 최소 0.1 mm간격으로 이동이 가능하기 때문에 음원 및 수신기에 따른 정밀한

(a)

(b)

Fig. 1. Developed 3-axis precise positioning seismic physical modeling system: (a) photograph and (b) the diagram.

탐사 설계가 가능하다. 컴퓨터에 입력된 음원 및 수신기의 좌표는 자동 컨트롤러에 전달되어 8개의 servo drive에 명령되며, motor를 구동시켜 음원 및 수신기를 입력된 좌표에 위치시킨다. 추가적으로 touch screen panel을 설치하여 수동으로도 음원 및 수신기의 위치를 제어할 수 있다.

신호제어부는 신호발생기(pulsar/receiver), 증폭기(amplifier), 트랜스듀서(transducer), 전치 증폭기(pre-amplifier)로 구성되어 있으며, 신호발생기는 펄스 높이(pulse height)가 최대 900 V인 신호를 생성하고 gain, filter 기능이 있어 신호의 제어가 가능하다. 신호발생기에서 생성된 신호는 증폭기에 의해 증폭되며, source transducer로 전달된다. Source transducer에서 방사된 신호는 지층 모델에서 반사되어

receiver transducer에 수신되고 수신된 신호는 전치 증폭기에서 증폭된다. 증폭된 반사 신호는 디지털 오실로스코프(digital oscilloscope)에 의해 취득되고 컴퓨터에 저장되게 된다. 증폭기는 26 dB, 30 dB, 32 dB, 34 dB로 선택하여 증폭할 수 있으며, 전치 증폭기는 5 ~ 40 dB 범위에서 5 dB 단위로 조절이 가능하기 때문에 상황에 따라 적절한 증폭 제어가 가능하다. 음원 및 수신기의 기능을 하는 transducer는 주파수가 1 MHz이며, 수중에서 사용해야 하므로 수침용(immersion type)의 transducer를 사용하였다. Fig. 2(a), (b)는 음원으로 사용한 transducer의 제조사에서 제공한 음원의 파형과 주파수 스펙트럼이다. Fig. 2(c)는 transducer의 빔(beam) 전개와 방사 반각을 나타낸 그림으로 N은 큰

Fig. 2. Seismic characteristics of source transducer: (a) signal waveform, (b) frequency spectrum and (c) beam spread and half angle for radiation pattern.

거리장(near field)의 범위를 나타낸 것이다. Transducer의 근거리장 범위 내에서의 신호는 복잡한 형태를 보이며, 본 연구에서 활용한 transducer의 주파수가 1 Mhz, transducer의 직경이 1.27 mm일 때에는 근거리장 거리는 26.5 mm이다(Shin *et al.*, 2001). Digital oscilloscope는 최대 샘플링 레이트가 2 GSa/s이기 때문에 1 Mhz의 신호를 문제없이 변환 및 취득이 가능하다.

탄성과 축소모형 실험 자료 취득

본 연구에서 개발한 해양환경 탄성과 축소모형 시스템의 3축 위치제어 성능을 검증과 적용성을 파악하기 위하여 두 가지 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험은 탄성과 축소모형 시스템의 3축 위치제어 성능을 파악하기 위하여 acrylonitrile butadiene styrene(ABS) 플라스틱과 아크릴(acrylic)로 구성된 2층 수평 모델을 대상으로 음원 및 수신기의 심도 변화에 따른 공통 발파점 모음을 취득하였다. 두 번째는 개발한 시스템의 적용성을 파악하고 취득한 탄성과 축소모형 실험 자료를 활용하여 자료처리 기법을 적용하기 위하여 압염 돔 구조에서 다중 채널 탄성과 탐사를 수행하였다. 압염 돔 구조는 고속도층을 포함하여 트랩 구조, 퇴적층 등 다양한 지층 구조를 포함하고 있기 때문에 탄성과 단면 취득에 적합하다고 판단되어 압염 돔 구조의 지층 모델을 선정하였다.

탄성과 축소모형 실험의 경우 현장 탐사의 규모를 축소하기 때문에 크기가 다르다. 따라서 축소비(scale factor)를 고려하여 탄성과 축소모형 실험과 현장 탐사간의 크기가 맞도록 설계해야한다. 축소비는 식 (1)과 같으며, 속도 변수(α_c), 주파수 변수(α_f), 모델 크기 변수(α_λ)로 구성되어 있다(Vogel *et al.*, 1985).

$$\alpha_c = \alpha_f \cdot \alpha_\lambda \quad (1)$$

탄성과 축소모형 실험과 현장 탐사의 축소비가 1:10,000일 때, 탄성과 축소모형 실험에서의 모델 크기 1 mm는 현장 탐사에서 10 m로 표현되고 주파수 1 MHz는 100 Hz로 표현된다.

음원 및 수신기의 심도 변화에 따른 탄성과 자료 취득

속도 변수의 경우 매질의 고유 특성이기 때문에 조작에 어려움이 있어 주파수 변수와 모델 크기 변수를 조작하였다. 음원 및 수신기의 심도 변화에 따른 공통 발파점 모음 취득을 위한 실험에서는 1:10,000 축소비를 설정하였으며, 취득 변수는 Table 1과 같다. 탐사 환경은 Fig. 3과 같으며, 2층 수평 모델에서 자료를 취득하였다. 취득한 자료의 헤더(header) 값은 축소비를 고려하여 환산한 현장 탐사 규모로 입력하였다. Table 2는 탄성과 축소모형 실험에서 사용한 지층 모델 매질의 p파 속도와 밀도를 나타낸 표이다.

Table 1. Seismic physical modeling parameters are converted into field survey acquisition parameters according to scale factor

	Seismic physical modeling	seismic survey
Frequency (Hz)	1,000,000	100
Scale factor	1 : 10,000	
Near offset (m)	0.02	200
Receiver interval (m)	0.0002	2
Number of channels	201	201
Sample interval (s)	2.6×10^{-8}	2.6×10^{-4}
Number of samples	2,695	2,695

Table 2. Characteristics of geological model materials used in the seismic survey according to the depth of source and receiver

Material	Vp (m/s)	Density (g/cm ³)
ABS plastic	2,150	1.0
Acrylic	2,750	1.2

Fig. 3. Seismic survey geometry according to the depth of source (S) and receiver (R) (a) Case 1 (S: 20 mm, R: 20 mm), (b) Case 2 (S: 10 mm, R: 20 mm), (c) Case 3 (S: 20 mm, R: 10 mm) and (d) Case 4 (S: 10 mm, R: 10 mm).

Fig. 4는 탄성과 축소모형 시스템을 활용하여 음원 및 수신기 심도 변화에 따른 공통 발파점 모습이며, ABS와 acrylic에서 반사된 신호를 확인할 수 있다. Fig. 4에서 0초

부분에서 수평하게 취득된 것은 신호발생기에서 생성되는 전기적 잡음이다. Fig. 4에서 직접파가 반사파보다 약한 신호로 취득되는 것을 확인할 수 있다. 이는 탄성과 축소모형

Fig. 4. Common shot gather obtained by seismic physical modeling (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3 and (d) Case 4.

Fig. 5. Common shot gather obtained by numerical modeling (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3 and (d) Case 4.

실험에서 사용한 음원인 transducer의 경우에 수직 하부 쪽으로 빔 형태로 방사되기 때문이다. Fig. 4에서 파란색 화살표로 표시된 N1, N2의 경우 수심(20 mm)이 transducer의 근거리장 거리(26.5 mm)보다 작기 때문에 발생하는 일종의 잡음이다. Case 2와 case 3의 경우 음원 및 수신기의 위치가 상반되나 탄성파의 주시는 같기 때문에 reciprocity가 성립됨을 확인할 수 있다. 탄성과 축소모형 시스템을 활용하여 취득한 자료를 검증하기 위하여 Seismic Un*x를 통

해 수치모형실험 자료(Fig. 5)를 생성하였으며, 비교해본 결과 각 층의 반사파의 경향이 일치하는 것을 확인할 수 있다. Table 3은 탄성과 축소모형 실험 자료와 수치모형 실험 자료의 첫 번째 반사파 도달시간을 비교한 표로 도달시간이 유사한 것을 확인할 수 있다.

다중채널 탄성과 탐사 자료 취득

사용한 지층 모델은 암염 돔 구조를 모사한 3차원 지층 모

텔이며, 압염 돔을 모사하기 위하여 고속도의 매질인 알루미늄을 사용하였다(Fig. 6). 압염 돔을 모사한 지층 모델의 매질의 p파 속도와 밀도는 Table 4와 같다. 탐사 측선은 음원 및 수신기의 3축 위치제어가 가능하기 때문에 inline과 crossline으로 설정하였으며, 압염 돔 부분을 통과하도록 하였다. 축소비는 1:10,000으로 설정하였으며, 탄성과 축소모형 실험에서 주파수는 1 MHz이지만 설정한 축소비를 고려하여 환산하면 현장 탐사 규모에서는 100 Hz이고 2 mm의 음원 간격은 20 m로 나타난다(Table 5). Fig. 7은 해양환경 탄성과 축소모형 시스템을 활용하여 자료취득을 하는 장면이다. 수조 내에 지층 모델을 설치하고 탐사 측선 위에 음원 및 수신기의 기능을 하는 transducer를 위치시킨 후 설정한 간격에 따라 이동하며 자료를 취득한다.

Fig. 6. A schematic of multi-channel seismic survey.

Table 3. Comparison of travel time between seismic physical modeling and numerical modeling

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Seismic physical modeling	0.293 ms	0.237 ms	0.237 ms	0.185 ms
Numerical modeling	0.298 ms	0.236 ms	0.235 ms	0.180 ms
Error	0.005 ms	0.001 ms	0.002 ms	0.005 ms

Table 4. Characteristics of materials of the geological model used to simulate multi-channel seismic survey

Material	Vp (m/s)	Density (g/cm ³)
ABS plastic	2150	1.0
Polycarbonate	2250	1.2
Acrylic	2750	1.2
Aluminum	6300	2.7

Table 5. Seismic physical modeling parameters are converted to seismic acquisition parameters according to scale factor of multi-channel survey

	Seismic physical modeling	Seismic survey
Frequency (Hz)	1,000,000	100
Scale factor	1 : 10,000	
Near offset (m)	0.02	200
Receiver interval (m)	0.0002	2
Shot interval (m)	0.002	20
Inline	Number of channels	151
	Number of shots	93
Crossline	Number of channels	151
	Number of shots	63
Sample interval (s)	4×10^{-8}	4×10^{-4}
Number of samples	2499	2499

취득한 탄성과 축소모형 자료를 활용하여 탄성과 단면을 영상화하고 자료처리 기법을 적용하였다. 탄성과 축소모형 실험 자료의 경우 사용하는 주파수 단위가 MHz 단위이고 샘플링 간격은 μs 단위이기 때문에 탄성과 축소모형 실험 규모로 헤더 값을 입력하면 자료처리 수행 시 서버 또는 PC에 과부하가 발생하게 된다. 따라서 현장 탐사 규모로 헤더 값을 입력하였다. 전처리 과정을 통하여 전기적 잡음과 직접파를 제거하였고 일반적으로 해양 탄성과 탐사 자료처

리에 활용되는 대역 통과 필터링(bandpass filtering)을 수행하여 신호 대 잡음비를 향상시켰다. 통과 주파수 대역은 15, 30, 100, 135 Hz로 설정하였다. 이후, semblance 영역에서 속도분석을 위하여 CMP 100개마다 picking을 수행하고 NMO (normal moveout), 중합(stack)을 수행하여 탄성과 단면을 도출하였다(Fig. 8). Fig. 8(a)과 (b)의 지층 모델 크기는 축소비를 고려하여 현장 탐사 규모로 표기하였다. 취득한 단면과 지층 모델 단면을 비교하였을 때, 각 층

Fig. 7. Photographs of (a) salt dome model and (b) seismic physical modeling on the crossline.

Fig. 8. Comparison between salt dome model and stacked image: (a) geological cross section, (b) stacked image from inline, (c) cross section and (d) stacked image from crossline.

Fig. 9. Kirchhoff migration image for (a) inline and (b) crossline.

Fig. 10. Fence diagrams of (a) salt dome model and (b) Kirchhoff migration image.

의 경계가 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 현장 탐사에서 나타나는 현상 중 하나인 회절 현상과 다중 반사파도 발생하는 것을 확인할 수 있다. 추가적으로 Kirchhoff 구조보정을 수행하였으며, 회절에 대한 영향이 감소하고 반사 신호가 명확해지는 것을 확인할 수 있다(Fig. 9). Fig. 10은 Kirchhoff 구조보정을 통해 얻은 단면을 탐사 축선과 동일하게 교차시킨 그림으로 서로 반사면이 일치하는 것을 확인할 수 있으며, 지층 모델과 비교하여도 일치하는 것을 확인할 수 있다.

결 론

본 연구에서는 3축의 위치제어가 자동으로 가능하며, 위치 정밀도가 x, y 축 2 μ m, z 축 0.05 mm로 향상된 탄성파 이미징 영상화 및 자료처리 적용을 위한 탄성파 축소모형 시스템을 개발하였다.

스택을 개발하였다.

3축의 자동위치제어 성능을 확인하기 위하여 음원 및 수신기의 수심을 변화시켜 4가지의 상황에서 공통 발파점 모음을 취득하였고 수치모형 실험과 비교를 하였다. 탄성파 축소모형 실험과 수치모형 실험의 공통 발파점 모음 비교를 통하여 개발한 탄성파 축소모형 시스템을 검증하였다. 비교해본 결과, 신호의 경향이 일치하였으며, 반사파의 도달시간도 유사하게 취득되었다. 탄성파 축소모형 실험과 수치모형 실험의 반사파 도달시간의 차이가 발생하였지만 현장 탐사 규모에서 샘플링 간격을 고려해보면 반사파의 도달시간 차이의 영향은 미비하다고 판단된다. 탐사를 설계할 때, transducer의 근거리장 범위를 고려하지 않았을 때, 반사파 이후에 고스트(ghost)와 같은 잡음이 발생하기 때문에 탐사 설계를 할 때, 수심을 근거리장 범위보다 크게 설정하여야한다.

탄성과 축소모형 시스템을 활용하여 탄성과 단면을 취득하고 자료처리를 수행하기 위하여 해양 탄성과 탐사에서 일반적으로 수행하는 다중채널 탄성과 탐사 환경을 구현하여 자료를 취득하였다. 축소비를 고려하여 탐사 설계를 하였고 자료처리 수행을 위하여 취득한 자료에 헤더 값을 입력할 때, 축소모형 실험의 헤더 값을 축소비로 환산하여 현장 규모의 헤더 값으로 입력하였다. 자료처리 과정을 통하여 신호 대 잡음비를 향상시켰으며, 단면 영상을 획득하기 위하여 stack과 구조보정을 수행하였다. 자료처리 수행 후 탄성과 단면과 지층 모델의 단면을 비교해본 결과, 퇴적층, 트랩 구조, 암염 돔 구조 등이 일치하는 것을 확인할 수 있었으며, Kirchhoff 구조보정을 수행 후, 반사층의 신호가 명확해지고 회절 현상이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

탄성과 축소모형 시스템을 활용하여 취득한 자료에서 실제 파동 전파에 따른 반사, 회절, 다중 반사와 등과 같은 현상이 발생하는 것을 통하여 탄성과 축소모형 실험이 현장성을 반영할 수 있는 것을 알 수 있었다. 또한, 수치모형 실험을 통해 취득한 인공합성 자료와 달리 현장에서 나타날 수 있는 물리적인 현상이 재현될 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 이와 같은 물리적인 현상을 제거할 수 있는 자료처리 기법 개발에 기초 자료로 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

개발한 해양환경 탄성과 축소모형 시스템은 3축의 자동 위치제어가 가능하기 때문에 단일채널 탄성과 탐사, 다중채널 탄성과 탐사와 같은 일반적인 해양 탄성과 탐사뿐만 아니라 3D 탄성과 탐사, 광대역 탄성과 탐사와 같은 최신 탄성과 탐사가 가능할 것으로 생각된다. 또한, S파를 수신할 수 있는 transducer로 receiver transducer를 교체하면 해저면 다성분 탐사 수행이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발한 해양환경 탄성과 축소모형 시스템을 활용한다면 경제적인 자료취득이 가능하고 자료처리 수행을 통하여 탄성과 단면을 취득할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 지하 구조 및 지하 매질에 따른 탄성과 특성 연구, 탄성과 탐사 기술 개발, 현장 탐사 설계 등 다양한 연구분야에서 활용될 것으로 생각되며, 자료처리 알고리즘 검증에도 활용될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

References

- Allied Geophysical Laboratories, 2019.11.28. <https://www.agl.uh.edu>.
- Aminzadeh, F., Brac, J., and Kunz, T., 1997. 3-D Salt and overthrust models, SEG.
- Arthur, J.M., Lawton, D.C., and Wong, J., 2012. Physical seismic modeling of a vertical fault. *SEG Las Vegas 2012 Annual Meeting*, SEG, Las Vegas, Nevada.
- Chen, M., Hilterman, F., and Doruelo, J., 2006. 3D common-offset migration on a vertically aligned fracturing model. *SEG/New Orleans 2006 Annual Meeting*, SEG, New Orleans, Louisiana.
- Choi, W.S., Hyun, B.K., and Suh, J.H., 1995. A study on the development of seismic scale modeling. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 32(6), p.437-444.
- Chopra, S. and Stewart, R., 2010. Introduction to this special section: multicomponent seismic. *The Leading Edge*, 29(10), p.936-937.
- Ekanem, A.M., Li, X.Y., Chapman, M., Ian, M., and Wei, J., 2014. Effect of fracture aperture on P-wave attenuation: a seismic physical modelling study. *ISRN GEOPHYSICS*, 2014.
- Ha, Y.S. and Shin, S.R., 2011. Seismic anisotropy characteristics in transversely isotropic media using physical modeling. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 48(2), p.115-126.
- Ikelle, L.T. and Amundsen, L., 2005. Introduction to Petroleum Seismology, SEG, p.273-287.
- Innanen, K.A. and Mahmoudian, F., 2015. Characterizing the degree of amplitude-variation-with-offset nonlinearity in seismic physical modelling reflection data. *Geophysical Prospecting*, 63(1), p.133-140.
- Kim, J.Y., Behrens, J., and Dresen, L., 1988. New operating system for physical seismic modeling. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 25, p.385-392.
- Lee, J.W., Ha, J.H., Ko, H.K., Chung, W.K., and Shin, S.R., 2014. A study on characteristics of seismic attenuation by using spectral ratio method. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 51(5), p.687-695.
- Martin, G., Wiley, R., and Marfurt, K., 2006. Marmousi2: an elastic upgrade for Marmousi. *The Leading Edge*, 25(2), p.156-166.
- Shin, S.R., Lim, C.H., Chung, W.K., Kim, D.C., and Ha, J.H., 2017. R&D trend and outlook of seismic physical modeling. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 51(2), p.171-184.
- Shin, S.R., Shin, C.S., Jang, W.I., and Lim, J.S., 2001. Development of 3-D Seismic physical modeling system.

- Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 38(6), p.424-431.
- Shin, S.R., Yeo, E.M., Kim, C.S., Park, K.P., Lee, H.Y., and Kim, Y.J., 2006. Geophysical characteristics of gas hydrate using 3-D seismic physical modeling experiment. *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 43(3), p.181-193.
- Soubaras, R. and Dowle, R., 2010. *Variable-depth streamer – a broadband marine solution*. First Break, 28(12), p.89-96.
- Stewart, R.R. and Cheadle, S.P., 1989. *Ultrasonic modeling of borehole seismic survey*. CREWES Research Report, Calgary, Canada, p.206-224.
- Stewart, R.R., Dyaar, N., Omoboya, B., Figueiredo, J.J.S.de., Willis, M., and Sil, S., 2013. Physical modeling of anisotropic domains: ultrasonic imaging of laser-etched fractures in glass. *GEOPHYSICS*, 78(1), D11-D19.
- Vogel, J.A., Stelwagen, U., and Breeuwer, R., 1985. Seismic analysis of thin beds aided by 3D physical model experiments. *Proceedings of 14th International Symposium of Acoustical Imaging*, 14, p.53-67.
- Wong, J., Hall, K.W., Gallant, E.V., Bertram., and Lawton, D.C., 2009. Seismic physical modeling at the university of calgary. *SEG Houston 2009 International Exposition and Annual Meeting*, SEG, Houston, Texas.

김 대 철

현재 한국해양대학교 해양에너지자원공학과 박사과정
(本學會誌 第56卷 第3号 参照)

정 우 근

현재 한국해양대학교 에너지자원공학과 부교수
(本學會誌 第56卷 第3号 参照)

임 경 민

현재 한국해양대학교 해양에너지자원공학과 석사과정
(本學會誌 第56卷 第3号 参照)

신 성 렬

현재 한국해양대학교 에너지자원공학과 교수
(本學會誌 第56卷 第3号 参照)

하 지 호

2007년 한국해양대학교 에너지자원공학과
공학사
2011년 한국해양대학교 해양에너지자원
공학과 공학석사
2015년 한국해양대학교 해양에너지자원
공학과 공학박사

현재 한국지질자원연구원 포항지질자원실증연구센터 선임연구원
(E-mail; jihoha@kigam.re.kr)