

## 동해 옥계, 북평 연안 기반암의 지음향 속도와 제3기 퇴적층

양우현<sup>1</sup> · 권이균<sup>2,\*</sup> · 진재화<sup>2</sup> · 김현태<sup>2</sup> · 이치원<sup>2</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 지구과학교육과/과학교육연구소, 561-756 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

<sup>2</sup>한국지질자원연구원 석유해저자원연구부, 305-350 대전광역시 유성구 가정동 30

### Geoacoustic Velocity of Basement and Tertiary Successions of the Okgye and Bukpyeong Coast, East Sea

Woo-Hun Ryang<sup>1</sup>, Yi-Kyun Kwon<sup>2,\*</sup>, Jae-Hwa Jin<sup>2</sup>, Hyun-Tae Kim<sup>2</sup>, and Chi-Won Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Science Education/Institute of Science Education, Chonbuk National University,  
Jeonbuk 561-756, Korea

<sup>2</sup>Petroleum and Marine Resources Division, Korea Institute of Geoscience and Mining Resources  
(KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

**Abstract:** A geoacoustic modeling has been developed to predict sound transmission through the submarine layers of sediment and rock. It demands a geoacoustic model with the measured, extrapolated, and predicted values of geoacoustic parameters controlling acoustic propagation. In the coastal areas of Okgye and Bukpyeong, the East Sea, the marine succession consists of Quaternary/Tertiary deposits and acoustic basement. The basement of Okgye coastal area is indicative of siliciclastics of the Pyeongan Group in Paleozoic, and the average velocities of P-wave and S-wave are 4276 m/s and 2400 m/s, respectively. The basement of Bukpyeong coastal area is indicative of limestone of the Joseon Supergroup in early Paleozoic, and the average velocities of P-wave and S-wave are 5542 m/s and 2742 m/s, respectively.

**Keywords:** geoacoustics, basement, Okgye, Bukpyeong, East Sea

**요약:** 지음향 모델링은 해저지층을 통한 음파 전달과정을 모형하기 위해 발달해 왔다. 이러한 작업은 음파 전달을 제어하는 지층의 지음향 특성값을 측정·추론·예측한 값을 필요로 한다. 동해안 옥계와 북평지역 연안에서, 해저지층은 제4기층과 함께 제3기 퇴적층, 음향학적 기반암 등으로 구성된다. 옥계 연안지역 해저지층의 기반암은 주로 고생대 평안층군의 암석으로 해석되며, 이 암석의 평균 P파와 S파 속도값은 각각 4276 m/s와 2400 m/s이다. 북평 연안지역 해저지층의 기반암은 주로 고생대 초기 조선누층군의 석회암으로 해석되며, 이 암석의 평균 P파와 S파 속도값은 각각 5542 m/s와 2742 m/s이다.

**주요어:** 지음향, 기반암, 옥계, 북평, 동해

## 서론

지음향 모델링은 해저지층을 통한 음파 전달과정을 모형하기 위해 발달해 왔다(Hampton, 1974; Pace, 1983; Stoll, 1989; Hovem et al., 1991). 이는 잠수함의 이동을 감지하고 이동경로를 추적하기 위한 군사적인 목적으로 시작되었다. 이러한 작업은 음파 전달

을 제어하는 지층의 지음향 특성값을 측정·추론·예측한 실제 지층/기반암의 종합적인 층서모델과 지음향모델을 필요로 한다. 층서모델은 해저 지층의 2차원 층형 단면과 실제 단위 지층의 윤곽을 설정하며(Hamilton, 1987), 지음향모델은 해저면으로부터 음향기반암까지 해저지층의 여러가지 음향특성값을 도표화하는 작업이다(Hamilton, 1980; Bachman et al., 1996). 특히, 수심이 200 m 이하인 천해 퇴적 환경(대륙붕과 대륙사면)에서는 해저면, 천부·심부 해저지층의 단위 퇴적층 특성과 함께 기반암의 P파, S파 속도와 같은 지음향적 특성이 중요한 변수로 작용한다

\*Corresponding author: kyk70@kigam.re.kr

Tel: 82-42-868-3394

Fax: 82-42-862-7275

(Zhou et al., 1987; Badiey et al., 1998; Abbot et al., 2001).

우리나라 동해안 지역에서는 제4기층뿐만 아니라 제3기층을 포함하는 다양한 시기에 형성된 퇴적층 또는 다양한 기원의 음향학적 암반이 존재한다. 이는 정확한 음파의 경로를 추적하는 지음향 연구를 연안에 적용할 때, 퇴적학 또는 분지해석의 연구결과가 제공되어야 함을 의미한다. 지음향 탐지의 정밀성을 위해서는 2층, 3층 또는 다층 구조의 해저 지층모형이 요구되며, 컴퓨터 기술의 발달에 따라 설정된 층형에 따라 음파의 전파를 예측하는 다양한 방법론이 제시되고 있다(Frisk et al., 1986; Cederberg et al., 1995). 그러므로 더욱 정확한 수중음향 또는 지음향 음파전달 모델링의 예측 결과를 얻기 위해서는 더 많은 해저/육상 지층의 정보와 지음향 특성값이 요구된다.

## 지음향 연구

지음향 연구는 지음향 모델을 구성하는 작업에서 시작한다. 지음향모델 구성 작업은 크게 두가지 방법론에 의해 접근된다(Hamilton, 1974): (1) 경험적인 방법론, (2) 수학적인 방법론. 대상 지역 지층의 지음향 특성값(P파·S파 속도 및 음감쇠)을 직접 측정하는 것이 가장 양질의 자료를 얻을 수 있는 방법이지만, 이는 엄청난 비용과 노력을 필요로 한다. 그러므로 경험적인 방법론은 동일한 해저 퇴적환경에서 수집된 지음향 특성값의 방대한 실측 자료를 통계 처리하여 회귀분석 방정식을 구하고, 측정된 퇴적물 물성값에 근거해서 실측하지 못한 특성값을 외삽 또는 추정한다(예, Hamilton, 1980). 수학적인 방법론은, 퇴적물과 토질역학 물성값을 실측하여, P파·S파 속도와 음감쇠값 등을 역학모형을 통해 계산·예측해 내는 것이다. 대표적인 예로는 미고화·다공성 매질의 역학이론을 세웠던 Biot의 이론을 기초로 100% 해수로 포화된 변형 가능한 다공성 매질인 해저지층에 적용한 모형이 있다(Stoll, 1989; Badiey et al., 1998).

이 논문에서는 대상 연구 해역의 주변 해안에서 채취한 기반암 시료를 처리하여 연구실에서 P파·S파 속도값을 직접 측정하여 얻고자 한다. 이러한 P파·S파 속도값은 연구 해역에서 해저 인공음원의 위치를 감지하고 추적하는 과정에서 지음향 기초자료로 활용된다.

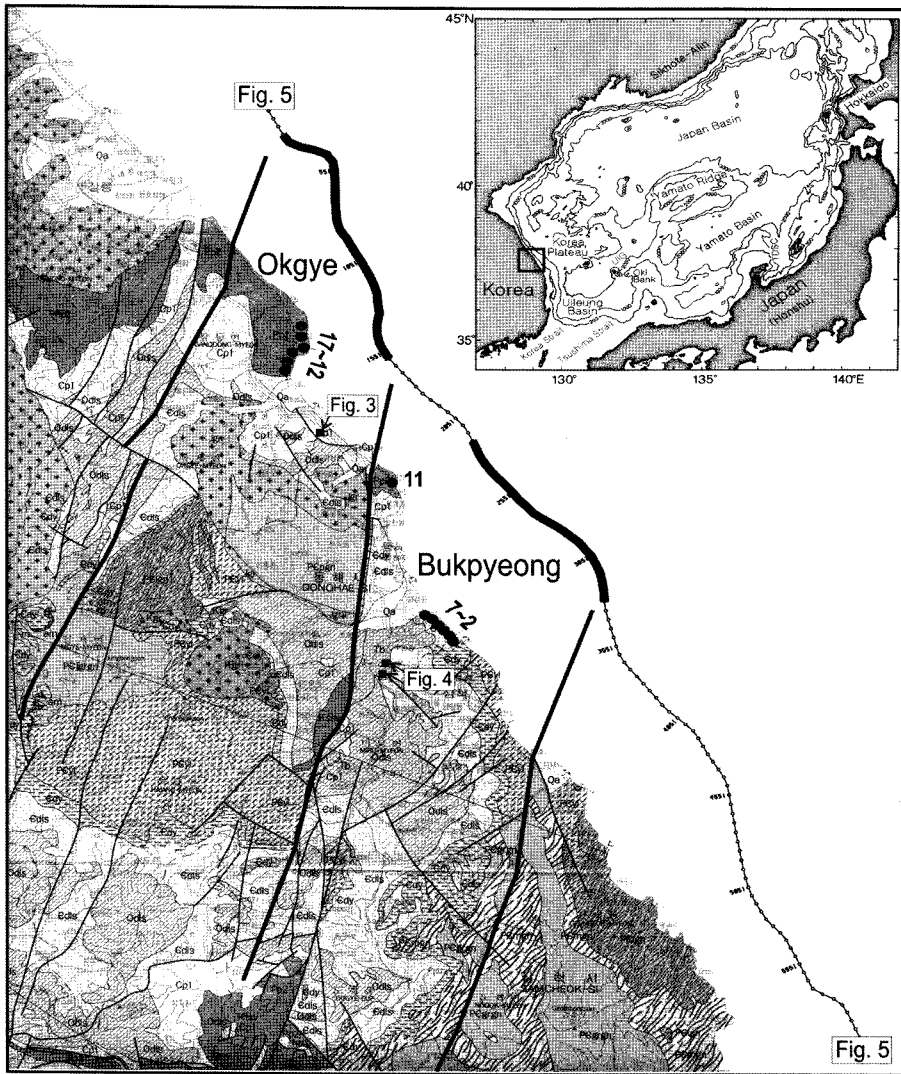
## 연구 대상 및 방법

연구대상은 옥계, 북평 지역의 육상 제3기 퇴적층/암반과 해저 퇴적층/기반암이다(Fig. 1). 해저지층 자료는 한국지질자원연구원에서 기 획득한 고해상 탄성과 탐사단면 자료와 시추코어 자료를 이용하였다. 해양퇴적층의 연구는 탄성과 단면상의 암·시층서 단위들을 비교 분석하여 각 지층단위의 음향학적 특성, 퇴적과정, 생성시기를 규명하고 순차층으로 재구성된 층서모형을 구성한 후, 해수면 변동과 관련된 단위층 형성 과정으로 복원하였다(Kwon, 2005; Kwon et al., 2007). 또한 탄성과 단면에 나타난 지층 경계면, 내부 반사형상, 기하학적 외형, 시추코어 자료 등을 기준으로 층서학적 지층단위와 지음향적 지층단위로 구분하고 분류하였다(Ryang et al., 2007).

암반시료는 해양 탄성과 자료와 육상 지질자료를 종합하여 탄성과 자료의 기반암으로 추정되는 인근 육상 해안에서 풍화받지 않은 암석을 채취하였다(Fig. 1). 시료는 압편으로 만들어 표준해수에 24시간 포화시킨 후, Sonic Velocity Measuring Equipment (Sonic Viewer Model 5217A)를 이용하여 압편의 P파와 S파 속도를 측정하였다(Fig. 2). 측정과정은 압편을 송신자와 수신자 사이에 끼우고 가압하여 탄성파가 송신자로부터 시험편을 거쳐 수신자에 도착하는 시간을 오실로스코프의 파형으로부터  $10^{-7}$ 초 단위로 계측하여 시험편의 길이를 소요된 시간으로 나눔으로써 탄성과 전파속도를 결정하였다. 송신자와 수신자(transmitting and receiving transducer: Model 5224)의 측정 주파수는 P파 500 kHz, S파 100 kHz이다.

## 육상 지질

지질도는 한국지질자원연구원에서 간행한 1:250,000 강릉-속초 지질도폭과 인근 지역 1:50,000 지질도를 참조하였다(김정찬 외 5인, 2001). 연구 지역의 육상 단층은  $N20^{\circ}\sim 30^{\circ}E$  방향으로 매우 뚜렷한 선형구조를 보이는데(Fig. 1), 이들 대부분은 주향이동단층 또는 쓰러스트이며 백악기 후기에서 제3기 초기에 활동한 것으로 해석되고 있다(김정찬 외, 2001). 또한 주향이동단층 운동이 발생한 백악기 후기에서 제3기 초기에 만들어진 동서 방향의 습곡축을 갖는 습곡구조가 존재한다. 이러한 육상 단층과 습곡구조는 동일한 해저지질구조로 연결되는 것으로 해석된다(Kwon, 2005;

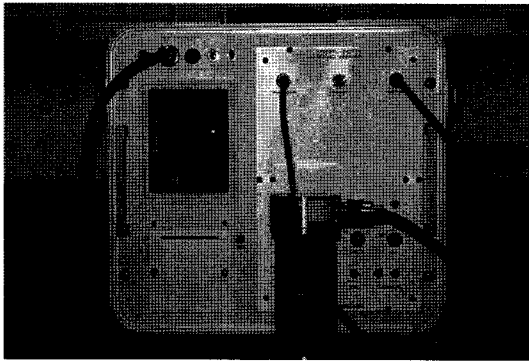


**Fig. 1.** Geological map (1:250,000) of the study areas (Kim et al., 2005). Location of outcrops in Figures 3 and 4, seismic track line in Figure 5, and location numbers of rock specimens in Table 1. Solid lines indicate major faults of strike-slip or thrust origin. Two thick parts of the track line represent the interval of thick sedimentary bodies in the seismic profile of Figure 5. Inset shows study area (solid rectangle) and adjacent land and sea (Chough et al., 2000). [Legend codes of geologic map (Kim et al., 2005): Qa, Quaternary Alluvium; Tb, Tertiary Bukpyeong Group; Kgr, Cretaceous granite; Kssv, Ktsv, Cretaceous Kyongsang Supergroup; Jgr, Jurassic granite; Pp2, Permian Middle Pyeongan Group; Cpl, Carboniferous Lower Pyeongan Group; Odls, Ordovician Upper Great Limestone Group; edls, Cambrian Lower Great Limestone Group; edy, Cambrian Yangduk Group; Pejgrgn, Pegrn, Pelgn, Pemgn, Peyl, Precambrian Metamorphic Complex]

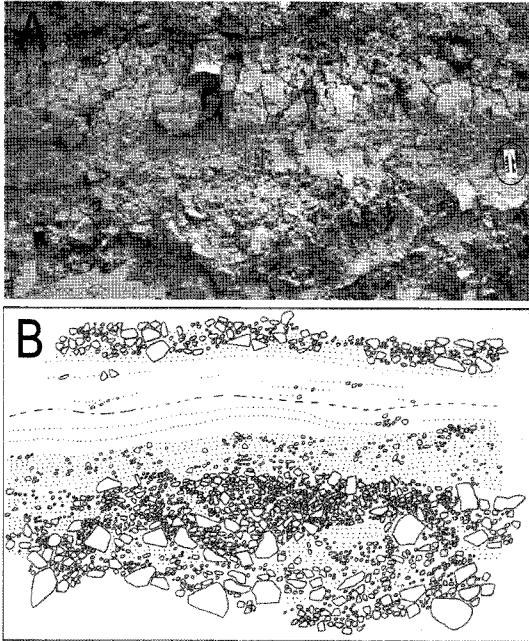
Kwon et al., 2007).

북평 연안지역에 나타나는 기반암은 고생대 초기 석회암이다(Fig. 1). 남쪽에는 선캠브리아기 변성암이 일부 존재한다. 옥계지역 인근 연안에서는 고생대 후기 평안누층군의 퇴적암이 대부분을 구성한다(Fig. 1). 북평과 옥계지역에서 발견되는 제3기 퇴적층은

역질, 사질, 이질 퇴적체의 교호로 이루어져 있으며 (Figs. 3, 4), 수직적·수평적으로 상변화를 보인다. 이들 퇴적체들은 분지 남쪽과 서쪽 경계부에서 퇴적 중심부 방향으로 역암, 역암/사암 교호층, 녹색 이암, 흑회색 이암의 순서로 상향세립 경향을 보여준다. 역질 퇴적체는 주로 왕자갈-잔자갈 크기의 역으로 구성

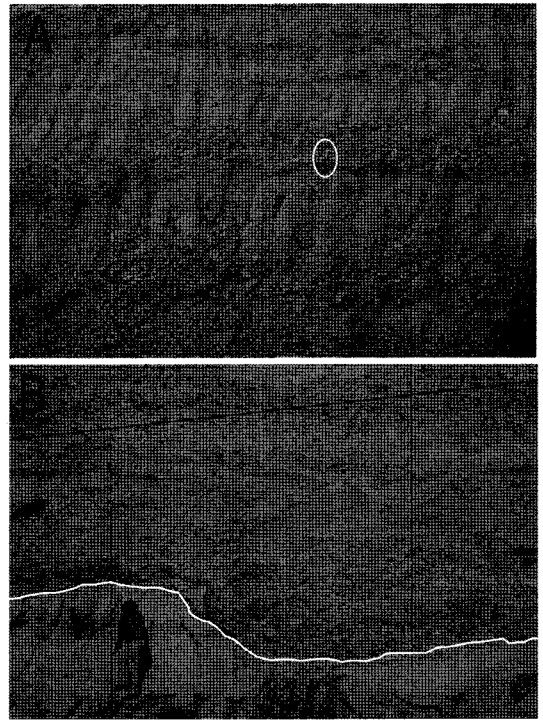


**Fig. 2.** Photograph of sonic velocity measuring equipment comprising oscilloscope, pulse generator, and transducers. Rock sample is set between transmitting and receiving transducers.



**Fig. 3.** Photograph and Sketch of alternated gravelstone and sandstone in Okgye area. Scale in a circle.

되고 수로형태 침식면의 중첩을 잘 보여주는 것으로 보아 층적선상지나 선상지-삼각주 퇴적환경에서 퇴적되었을 것으로 해석된다. 또한 점이층리를 보이는 역암/사암 교호층은 하성퇴적체로 해석될 수 있으며, 녹색이암, 흑회색 이암은 호소환경의 존재를 지시한다. 특히 유기물을 함유한 흑회색 이암은 퇴적분지 당시에 지속적인 호소환경이 상당기간 지속되었음을 의미한다. 최근 북평층의 상부사암층에서 전기 플라



**Fig. 4.** Photographs of alternated gravelstone, sandstone, and mudstone in Bukpyeong area. (A) Note fining-upward units of gravelstone and siltstone beds. Hammer for scale in a circle is 33 cm long. (B) Large-scale channel geometry (white line) shows a distinct scour-and-fill process in the alternating beds of gravelstone and sandstone. A person for scale. Linear line in the upper part is a electric line. For location, see Fig. 1.

이오세를 지시하는 민물어류 이빨 화석이 보고된 바 있다(이용남 외, 2003; Lee, 2004).

## 해양 지질

연구지역인 옥계, 북평 연안해역은 동해 울릉분지 북서부에 위치하고 있다. 연구지역의 기반암은 수차례에 걸친 지구조운동의 영향으로 매우 복잡한 기반암 지형을 형성하고 있으며 그 위에 매우 두꺼운 퇴적층이 분포한다(Figs. 1, 5). 연구지역 지질사에 큰 영향을 준 수차례에 걸친 구조운동은 퇴적층을 변형시켰으며, 일부의 고기 퇴적층은 습곡으로 인해 해저면에 노출되어 있다. 연구지역 연안부의 고기 퇴적층 역시 지구조 운동으로 해저면에 노출되어 있으며, 이 부분을 매우 얇은 현생 퇴적층이 피복하고 있다.

연구지역의 주요한 단층구조는 주향이동 단층의 특

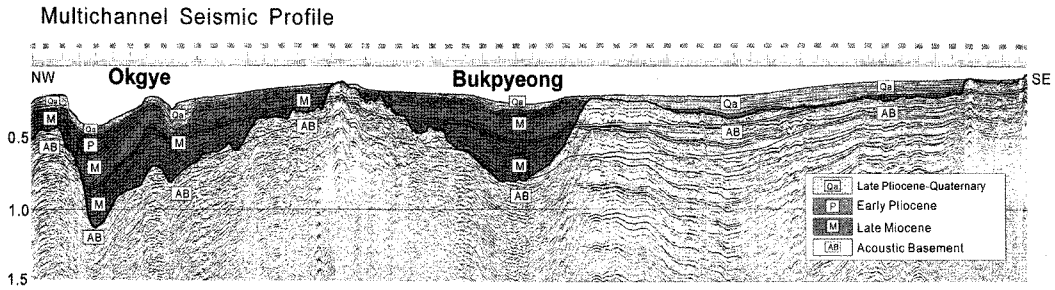


Fig. 5. Parallel seismic section to coastline and its stratigraphic interpretation (Kwon, 2005). For track line, see Fig. 1.

정을 보이며, 북동-남서 방향 내지 북-남 방향으로 발달하고 있다(Fig. 1). 이 주향이동 단층은 인접한 한국대지 서쪽 사면부에 발달한 큰 규모의 주향이동 단층 및 수직단층선과 주로 쌍으로 분포하고 있으며, 반-그라벤(half graben) 형의 사면 걸침 분지가 형성되어 있다. 이러한 사면 걸침분지는 각각 북평분지와 옥계분지로 불린다(Kwon, 2005). 지금까지 북평분지는 한반도 동해 연안에 국한된 것으로 알려져 왔으나, 북평분지가 한국대지 서쪽 사면의 사면걸침분지로 연결됨을 알게 되었다(Kwon, 2005). 또한 북평분지 북부의 옥계지역에 해안선 근처에 역시 제3기 퇴적분지인 옥계분지가 발달하고 있으며, 옥계분지 역시 반-그라벤 형태로 사면걸침 분지로 연결됨을 알 수 있다.

연구해역에 발달하고 있는 퇴적층은 4단계의 층진 역사로 해석될 수 있다(Kwon, 2005; Kwon et al., 2007). 1단계 시기인 전기-중기 마이오세 동안에는 동해가 열리면서 팽창운동의 영향으로 정단층에 의한 열개가 시작하였고, 단층선을 따라 발달한 지형적 저지대를 주로 육상퇴적작용에 의해 조립질 퇴적물이 충전하였다. 2단계 시기인 후기 마이오세 동안에는 동해가 열림과정에서 닫힘과정으로 전환된 이후에 한국대지 서쪽 연안부에는 대규모의 주향이동성 수직단층에 의해 사면걸침분지가 발달하였고, 매우 두꺼운 육성기원의 퇴적층이 퇴적되었다. 북평분지와 옥계분지를 형성한 퇴적층이 주로 이 단계에 형성되었다. 3단계 시기인 전기 플라이오세 동안에 해양 기원의 퇴적층이 마이오세와 플라이오세 경계 시기에 발생한 대규모의 횡압력에 의한 습곡운동에 의한 변형면 위에 형성되었다. 마지막 4단계인 후기 플라이오세에서 현재까지는 중기 플라이오세에 발달한 횡압력에 의한 대규모 습곡운동에 의한 배사구조의 변형면 위에 단성과 반사면 특성상 잘 응리화된 해양성 퇴적층이

피복되었다.

연구지역은 연구해역의 남쪽 연안에서 북쪽으로 발달한 기반암 고지형(basement high)을 경계로 서쪽 분지와 동쪽 분지로 구분된다. 분지 남쪽에서 이 기반암 고지형은 연안에 인접해 발달하여 연안 쪽의 서쪽 분지에서는 기반암이 최상위 퇴적층인 4단계(후기 플라이오세-현재)에 형성된 퇴적층에 의해 얇게 피복되어 있을 뿐이고 대부분의 퇴적층은 이 기반암 고지형에 의해 분리된 동쪽 분지에 발달하고 있다. 이 기반암 고지형은 북쪽으로 갈수록 약화되어 분지 북쪽에서는 이 기반암 고지형에 의해 퇴적층이 분리되는 경향이 약해진다. 이 기반암 고지형의 서쪽 분지의 퇴적층은 기반암 고지형의 서쪽 경계부에 인접하여 심한 습곡구조를 보인다. 이 습곡구조는 이 기반암 고지형을 형성시키는데 영향을 준 단층운동과 연계되어 형성되었을 것이다. 연구지역 중앙지역의 퇴적층은 이 습곡운동의 영향을 가장 크게 받아서 이 부분의 퇴적층은 심한 습곡구조를 보이고 습곡구조의 융기부는 강한 침식을 받아 3단계에 퇴적된 전기 플라이오세의 퇴적층이 해저면에 노출되어 있다. 연구지역의 연안부는 강한 침식에 의해 하부 퇴적층인 후기 마이오세나 전기 플라이오세의 퇴적층이 직접 해저면에 노출되어 있거나 이 하부퇴적층이 강한 침식을 받은 후 후기 플라이오세 이후의 최상위 퇴적층에 의해 얇게 피복되어 있다.

### 기반암

해양 시추작업의 막대한 비용으로 인하여 해양분지 기반암의 특성을 직접 측정할 수 있는 시료를 채취하는 것은 매우 어렵다. 본 연구에서도 해양분지의 각 기반암의 시료는 채취하지 못했다. 향후에도 각 해양분지 기반암의 심도까지 시추하여 기반암 시료를

**Table 1.** Basement rock types and measured velocities of P-wave and S-wave. Location numbers of specimens are indicated in Fig. 1

Rock Type	Specimen No.	P-wave Vel. (m/s)	Average P-wave Vel.	Specimen No.	S-wave Vel. (m/s)	Average S-wave Vel.
Carbonates (Cambrian Lower Great Limestone Group)	2	6030	5542	2	2790	2742
	3	5320		3	2720	
	4	4230		4	2420	
	5	5940		5	2970	
	6	5800		6	2640	
	7	5930		7	2910	
	Siliciclastics (Permian Middle Pyeonggan Group)	11		4930	4276	
12		3560	12	1800		
13		5200	13	2550		
14		3870	14	2130		
15		4030	15	2450		
16		3930	16	2290		
17		4410	17	2590		

직접 얻기는 매우 어렵다고 사료된다. 그러므로 연안 해역 탄성과 자료를 해석하여 해양분지의 기반암이 육상으로 연장되는 해안의 암석 시료를 채취하여 해양분지 기반암의 특성을 추정하는 것이 현재로서는 최선의 방법이다(Figs. 1, 5).

연구지역 기반암은 한국지질자원연구원의 기존 지질도(1:250,000/1:50,000)와 새롭게 수행된 해양지질, 육상지질 조사결과를 종합분석하여 옥계지역의 고생대 후기 쇄설성 퇴적암과 북평지역의 고생대 초기 석회암으로 구성되어 있다고 판단한다. 고생대 후기 쇄설성 퇴적암과 고생대 초기 석회암은 주향이동 단층에 의해 구분된다. 이들 쇄설성 퇴적암의 P파 속도값은 약 4276 m/s, S파 속도값은 약 2400 m/s이다(Table 1). 고생대 초기 석회암은 선크브리아기 화강편마암과 주향이동단층에 수반된 쓰러스트 단층에 의해 구분되며, P파 속도값은 약 5542 m/s, S파 속도값은 약 2742 m/s이다(Table 1). 고생대 초기 석회암층과 고생대 후기 쇄설성 퇴적암층은 모두 완만한 서쪽 경사를 보여주는데(10°-30°W), 이들 퇴적층의 하부지층의 두께가 최소 500 m 이상임을 감안하면, 연안으로부터 최소 1 km 이상 이들 퇴적암의 기반암이 연장되어 있을 것으로 예상된다. 이러한 결과는 본 논문의 연구 해역을 포함하는 지역에서 Abbot et al. (2001)가 이 지역의 기반암을 모두 중생대 백악기 암석으로 해석하고 그들의 지음향모델에서 기반암의 속도를 P파 5300 m/s, S파 2700 m/s로 제시한 것을 수정할 수 있는 자료이다.

## 결론

옥계 연안지역 해저지층의 기반암은 고생대 평안누층군의 암석으로 해석되며, 이 암석의 P파 속도값은 약 4276 m/s, S파 속도값은 약 2400 m/s이다. 북평 연안지역 해저지층의 기반암은 주로 고생대 초기 석회암으로 해석되며, 이 암석의 P파 속도값은 약 5542 m/s, S파 속도값은 약 2742 m/s이다. 이러한 결과는 Abbot et al.(2001)가 이 지역의 기반암을 모두 중생대 백악기 암석으로 해석하고 지음향모델의 기반암 속도로 제시한 것을 수정할 수 있는 자료이다. 기반암 위에 육상 제3기층의 퇴적환경과 같은 충적선상지/선상지-삼각주/호소 퇴적환경에서 형성된 역암, 역암/사암 교호층, 이암이 해저지층으로 충전된 것으로 사료된다.

## 사사

논문심사와 함께 논문의 부족한 부분을 세심하게 지적해 주신 익명의 두 분 심사자와 정공수 교수님께 감사드립니다. 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었으며(KRF-2003-003-C00192), 전북대 신입교수 연구비(2002년)에 의해 일부 지원되었습니다. 이 논문은 한국지질자원연구원의 기본과제인 지구환경변화 연구과제(코드: GP2007-011) 수행의 결과입니다. 이 논문의 해양 탄성파자료는 국방과학연구소가 지원하여 한국지질자원연구원이 취득한 자료입니다.

참고문헌

김정찬, 고희재, 이승렬, 이창범, 최성자, 박기화, 2001, 1:250,000 강릉-속초 지질도폭 설명서. 한국지질자원연구원, 76 p.

이용남, 이윤수, 윤선, 2003, 강원도 동해시 북평층에서 산출된 잉어과 인두치. 지질학회지, 39, 199-210.

Abbot, P., Celuzza, S., Dyer, I., Gomes, B., Fulford, J., Lynch, J., Gawarkiewicz, G, and Volak, D., 2001, Effects of Korea littoral environment on acoustic propagation. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 26, 266-284.

Bachman, R.T., Schey, P.W., Booth, N.O., and Ryan, F.J., 1996, Geoacoustic databases for matched-field processing: preliminary results in shallow water off San Diego, California. Journal of the Acoustical Society of America, 99, 2077-2085.

Badiey, M., Cheng, A.H-D., and Mu, Y., 1998, From geology to geoacoustics - evaluation of Biot-Stoll sound speed and attenuation for shallow water acoustics. Journal of Acoustical Society of America, 103, 309-320.

Cederberg, R.J., Siegmann, W.L., and Carey, W.M., 1995, Influence of geoacoustic modeling on predictability of low-frequency propagation in range-dependent, shallow-water environments. Journal of the Acoustical Society of America, 97, 2754-2766.

Chough, S.K., Lee, H.J., and Yoon, S.H., 2000, Marine geology of Korean seas, Elsevier, Amsterdam, Netherland, 313 p.

Frisk, G.V., Doust, J.A., and Hays, E.E., 1986, Geoacoustic models for the Icelandic Basin. Journal of the Acoustical Society of America, 80, 591-600.

Hamilton, E.L., 1974, Geoacoustic models of the sea floor. In Hampton, L., (ed.), Physics of sound in marine sediments. Plenum Press, New York, USA, 181-221.

Hamilton, E.L., 1980, Geoacoustic modeling of the sea floor. Journal of the Acoustical Society of America, 68, 1313-1339.

Hamilton, E.L., 1987, Acoustic properties of sediments. In Lara-Saenz, A., Ranz-Guerra, C., and Carbo-Fite, C., (eds.), Acoustics and ocean bottom. Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (C.S.I.C.), Madrid, 3-58.

Hampton, L., 1974, Physics of Sound in Marine Sediments. Plenum Press, New York, USA, 569 p.

Hovem, J.M., Richardson, M.D., and Stoll, R.D., 1991, Shear waves in marine sediments. Kluwer Academic Pubs, Dordrecht, 593 p.

Kwon, Y.K., 2005, I. Sequence stratigraphy of the Taebaek Group (Cambrian-Ordovician), mideast Korea and II. Seismic stratigraphy of the western South Korea Plateau, East Sea. Unpublished Ph.D. thesis, Seoul National University, Seoul, Korea, 205 p.

Kwon, Y.K., Yoon, S.H., Chough, S.K., Lee, C.W., Ryu, B.J., and Kim, Y.G., 2007, Seismic stratigraphy of the western South Korea Plateau, East Sea (Sea of Japan). Island Arc, in review.

Lee, Y.N., 2004, The first Cyprinid fish and small mammal fossils from the Korean Peninsula. Journal of Vertebrate Paleontology, 24, 489-493.

Pace, N.G., 1983, Acoustics and the sea-bed. Bath University Press, Bath, 436 p.

Ryang, W.H., Kwon, Y.K., Jin, J.H., Kim, H.T., Lee, C.W., Jung, J.H., Kim, D.C., Choi, J.H., Kim, Y.G., and Kim, S., 2007, Geoacoustic characteristics of P-wave velocity in Donghae City-Ulleung Island Line, East Sea: Preliminary Results. The Journal of the Acoustical Society of Korea, 26, 44-49.

Stoll, R.D., 1989, Sediment acoustics. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 155 p.

Zhou, J.-X., Zhang, X.-Z., Rogers, P.H., and Jarzynski, J., 1987, Geoacoustic parameters in a stratified sea bottom from shallow-water acoustic propagation. Journal of the Acoustical Society of America, 82, 2068-2074.

2007년 3월 28일 접수

2007년 4월 17일 수정원고 접수

2007년 5월 28일 채택