

BSPE98824-10244-7

쇄파에 의해 발생된 해양잡음 특성 연구

**A study on the characteristics of ocean
noise generated by breaking surf**

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “쇄파에 의해 발생된 해양잡음 특성 연구” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2013. 5.

연구 책임자 : 김 봉 채

참여 연구원 : 최 복 경

“ : 김 병 남

“ : 한 성 민

“ : 김 성 현

“ : 정 의 용

“ : 이 동 완

요 약 문

I. 제 목

쇄파에 의해 발생된 해양잡음 특성 연구

II. 연구개발의 목적

서프 존에서 쇄파가 발생될 때 해양잡음을 전달거리별로 측정함과 동시에 파고 및 수중음속 프로파일 등 주변환경을 관측하여 서프 존 부근의 해양잡음과 주변환경과의 관련을 조사함으로써 쇄파잡음의 특성을 밝히고, 수중음파 전달모델에 의한 수치계산을 수행하여 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전파특성을 조사함으로써 연안해역 해양잡음에 미치는 서프 존 쇄파잡음의 영향을 명확히 하고자 함

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 서프 존 부근에서 거리별 해양잡음 측정 및 특성분석
- 서프 존 부근의 해양잡음과 파고 및 수중음속 프로파일 등 주변환경과의 관련 조사
- 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전달거리에 따른 전파특성 분석
- 서프 존의 쇄파잡음이 연안해역 해양잡음에 미치는 영향 조사

IV. 연구개발결과

동해중부 연안해역인 경포해안의 서프 존에서 쇄파가 발생될 때 서프 존의 부근에서 해양잡음을 측정함과 동시에 파랑의 파고 및 수중음속의 프로파일 등 주변환경을 관측하였다. 그리고 수중음파 전파모델에 의해 서프 존

에서 발생한 쇄파잡음의 전달손실을 계산하여 연안해역의 해양잡음에 미치는 서프 존 쇄파잡음의 영향을 조사하였다. 쇄파잡음 전파의 수치계산 결과 쇄파잡음은 해수중 음속구조 및 주파수의 영향을 받아 전파하였다. 즉 쇄파잡음은 하계에 비해 동계일 때 양호하게 전파하였고, 주파수가 높을수록 양호하게 전파하였다. 그리고 해양잡음의 측정결과, 해안선으로부터 다양한 거리에서 주파수 50~5000 Hz 대역의 해양잡음 스펙트럼 레벨은 동일한 거리일 때 파고가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였으며, 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리에 따라 심하게 변동하였다. 또한 주파수 300~5000 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리가 증가함에 따라 서서히 증가하였다. 그러나 주파수 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터 약 2.5 km 이내에서 거리의 증가와 함께 급격히 감소하였으나, 약 2.5 km 이상에서 거리가 증가함에 따라 서서히 증가하였다. 따라서 서프 존에서 발생한 쇄파잡음은 해안선으로부터 2.5 km 이내에서 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음에 주로 영향을 미치고 있었다.

V. 연구개발결과의 활용방안

서프 존의 쇄파에 의해 발생한 해양잡음에 관한 연구는 연안해역 해양잡음의 변동특성을 연구하는 기초자료로 활용될 수 있으며, 연안해역에서 수중 음향 감시체계를 개발할 때 신호 대 잡음비를 산출하여 탐지성능을 예측하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 또한 여기에 적용된 해양잡음의 측정 및 분석방법은 제안하려는 해양잡음 및 선박 수중 방사잡음의 모니터링 시스템 구축연구의 기초자료로 활용될 수 있다.

SUMMARY

I. Title

A study on the characteristics of ocean noise generated by breaking surf

II. Objectives of the study

The purpose of this study is to analyze the characteristics of ocean noise generated by breaking waves in surf zone through measurements of oceanic ambient noise at various ranges from shoreline and observations of wave heights and sound speed profiles. And the propagation phenomena of surf noise are investigated by a sound propagation model in order to understand the effect of surf noise on ocean noise in coastal waters.

III. Contents

- Measurements of ocean noise at various ranges from shoreline and analyses of ocean noise characteristics
- Investigation on relationship between ocean noise levels and wave heights
- Analyses of propagation characteristics of ocean noise generated by breaking waves in surf zone
- Investigation on effect of surf noise on ocean noise in coastal waters

IV. Results

The ocean noise was measured at various ranges from the shoreline in the Gyeongpo beach of the eastern middle coast of the Korean Peninsula. At the

same time, the wave heights and the sound speed profiles were observed as environmental parameters. And the propagation phenomena of surf noise were investigated by a sound propagation model in order to understand the effect of the surf noise on the ocean noise in coastal waters. According to the results of numerical analyses, the surf noise propagation is strongly influenced by the sound speed profiles and the sound frequencies. The surf noise propagates well in the wintertime than in the summertime. And the higher the frequency of surf noise, the more the propagation occurs. According to the results of measurements of ocean noise and observations of wave heights, the spectrum levels of ocean noise at a fixed range are increasing with the increase of wave height. And the spectrum levels of ocean noise at a same wave height are variable, regardless of the increase in range from the shoreline. The ocean noise band level of 300 to 5000 Hz at a certain wave height is increasing gradually as the range from the shoreline increases. And the ocean noise band level of 50 to 300 Hz is decreasing rapidly with increase of range from the shoreline within range of 2.5 km, but the band level is increasing slowly with increase of range from the shoreline above range of 2.5 km. As a result, the surf noise generated by breaking waves in the surf zone affects the ocean noise within range of 2.5 km from the shoreline.

V. Future plan for application of the results

The study on the characteristics of ocean noise can provide basic data to be necessary to research a variation of oceanic ambient noise in shallow water. And the results of the study can be used to predict the detection performance of sound surveillance system in coastal waters as one of sonar parameters. Also this methods of the measurement and the analysis on ocean noise can be utilized in a future study on development of monitoring system on ocean noise

목 차

제 1 장 서 론	11
제 2 장 해양잡음 특성	14
1. 측정 및 자료분석 방법	14
2. 측정결과 및 고찰	18
제 3 장 결 론	47
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도	48
1. 연구개발목표 달성도	48
2. 대외 기여도	48
제 5 장 연구개발결과의 활용방안	49
참고문헌	51
별첨 1. 연구개발사업 제안 요구서	53

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	11
Chapter 2. Acoustic characteristics of ocean noise measured in shallow water around surf zone	14
1. Measurement and data analysis methods	14
2. Measurement results and discussion	18
Chapter 3. Conclusion	47
Chapter 4. Degree of achievement and contribution to the relevant area	48
1. Degree of achievement	48
2. Contribution to the relevant area	48
Chapter 5. Future plan for application of the results	49
References	51
Appendix 1. RFP (Request for proposals)	53

List of Figures

Figure 1. Measurement site and bathymetric contours in the site of oceanic ambient noise generated by breaking surf	16
Figure 2. Depth profile along mooring positions of the self-recording hydrophones	17
Figure 3. Photographs of the self-recording hydrophone and the wave height meter used for measurements of ocean noise and water wave, respectively	17
Figure 4. Sound velocity profiles and sound velocity contours measured by CTD along the mooring positions of the self-recording hydrophones on July 5, 2012	21
Figure 5. Wave height and wave period measured by the wave height meter moored on bottom of 0.94 km from shoreline during July 5 to 7, 2012	22
Figure 6. Propagation loss contours calculated by RAM in case of a source of 250 m range and 1 m depth using sound velocity profiles measured on July 5, 2012 and sand bottom conditions as model input parameters	23
Figure 7. Photograph of breaking surf on Gyeongpo beach taken on July 7, 2012	25
Figure 8. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various ranges from shoreline during July 5 to 7, 2012	25

Figure 9. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during July 5 to 7, 2012	28
Figure 10. Band levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during July 5 to 7, 2012	30
Figure 11. Sound velocity profiles and sound velocity contours measured by CTD along the mooring positions of the self-recording hydrophones on December 22, 2012	34
Figure 12. Wave height and wave period measured by the wave height meter moored on bottom of 0.94 km from shoreline during December 22 to 24, 2012	35
Figure 13. Propagation loss contours calculated by RAM in case of a source of 250 m range and 1 m depth using sound velocity profiles measured on December 22, 2012 and sand bottom conditions as model input parameters	36
Figure 14. Photograph of breaking surf on Gyeongpo beach taken on December 23, 2012	38
Figure 15. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various ranges from shoreline during December 22 to 24, 2012	39
Figure 16. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during December 22 to 24, 2012	41
Figure 17. Band levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during December 22 to 24, 2012	43

제 1 장 서 론

해수중에는 대기중에서와 마찬가지로 다양한 잡음이 항상 존재한다. 해양잡음의 발생 및 변동성 등은 해양음향 특성을 나타내는 주요 현상의 하나이다. 해양잡음은 해저지진, 해표면상의 바람과 강우, 서프 존(surf zone)의 쇄파(breaking wave), 고래류 및 어류 등의 해양동물 및 항행선박에 의해 주로 발생하는 것으로 알려져 있다(Urick 1984). 해군작전의 요구에 따라 1940~1960년대에 미국, 러시아 등 해양 선진국에 의해 해양잡음에 관한 연구가 활발히 추진되었고, 학문적인 관심 및 해양 환경 모니터링(monitoring)으로의 활용 가능성 때문에 1980~1990년대에 미국, 캐나다 및 영국 등에서 해표면에서 발생한 해양잡음에 관해 연구를 왕성하게 추진하였다(Kerman ed. 1988; Kerman ed. 1993; Buckingham and Potter eds. 1995). 점차 증가하고 있는 선박 통행량, 해저유전 개발, 해상 어로작업 및 연안 토목공사 등에 의해 해양잡음이 점차 증가하리라 예상되어 수중음파를 활용하는 대형 고래류 등의 생태 환경을 양호하게 보전하기 위해 2000년대에 들어와 해양잡음에 관한 연구의 필요성이 국제적으로 다시 제기되고 있다(National Research Council 2003).

해양잡음은 수중음파를 신호로 다룰 때 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)를 산출하는 데 쓰이어 기존의 수중음향 장비를 사용하는 경우 적용범위를 예측할 때와 새로운 수중음향 장비를 개발하는 경우 설계지침을 마련할 때 필요하다(Urick 1983). 특히 한반도 연안해역에서 수중음향 감시체계를 운용할 때 탐지성능을 파악하기 위해서는 해양잡음 자료가 요구되고 있다. 그리고 최근 멸종위기에 처한 고래류 등 해산 포유류의 서식환경을 보전할 목적으로 조용한 해양을 유지하기 위한 활동이 활발하므로(National Research Council 2005) 한반도 연안해역의 경우에도 해양잡음 특성에 관한 연구가 중요하다. 해양잡음은 발생원인에 따라 그 특성이 서로 다르므로 해양잡음의 특성을 파악하여 역으로 해표면상의 풍속 및 강우량 등 해양 환경을 원격적으로 측정하는 데 사용될 수 있을 뿐만 아니라(Nystuen et al. 2010) 해저지진 활동을 모니터링하는 데 활용될 수 있다(Goslin et al. 2005). 그리고 해양잡음은 고래류와 어류 등의 자원분포 및 이동경로를 추정하기(Stanford 1998) 위한 기초자료로 활용되고 있으며, 연안해역에서 수중표적을 식별하기 위한 영상화에도 활용될 가능성이 있다(Mori et al. 2011).

연안해역에서 잠항중인 미국 해군 잠수함의 소나 운용자(sonar operator)들은 오래 전부터 서프 존에서 발생된 쇄파잡음(surf noise)의 비트(beat)를 듣고 있었지만, 측정상의 어려움 때문에 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 실체를 파악하지 못하였다. 드디어 1980년대에 미국 해양음향 연구자들은 지향성 소노부이(directional sonobuoy)를 사용하여 연안해역에서 해양잡음을 측정하여 특성을 조사한 결과, 서프 존의 쇄파에 의해 발생된 잡음은 해안선으로부터 수 km까지 영향을 미치고 있음을 보고하였다(Wilson et al. 1985). 미국 해양음향 연구자들은 1990~2000년대에 서프 존의 쇄파에 의한 해양잡음을 측정하여 쇄파잡음의 음원레벨(source level)을 추정하였을 뿐만 아니라(Wilson et al. 1997; Fabre and Wilson 1997) 쇄파잡음에 의한 파랑의 파고 측정 가능성을 검토하였다(Sarah and Hay 1997). 또한 서프 존의 쇄파에 의한 잡음의 발생기구에 관해 다양한 이론을 제안하였으며(Deane 1997; Deane 1999; Deane 2000), 최근에는 쇄파의 종류(plunging breaker 및 spilling breaker)에 따라 발생하는 쇄파잡음의 특성이 서로 다를 것을 보고하였다(Means and Heitmeyer 2002). 그리고 러시아 해양음향 연구자는 최근까지 수행된 서프 존의 쇄파에 의해 발생된 잡음의 연구결과를 종합하여 쇄파잡음의 발생기구에 따라 쇄파잡음을 공기역학적인 잡음(pneumatic noise), 수력학적인 잡음(hydrodynamic noise) 및 역학적인 잡음(mechanical noise)으로 분류하여 그 특성을 조사하였고, 해양지질에 따라 서로 다른 발생기구가 우세하므로 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 특성은 해안을 구성하는 해양지질에 따라 서로 다를 것을 보고하였다(Bardyshev 2008). 최근 국내 해양음향 연구자들은 절벽으로 형성된 해안에 부딪혀 발생된 쇄파에 의한 잡음을 직접 측정하여 음원레벨을 추정하였고, 수치모델(numerical model)에 의한 수치계산을 수행하여 쇄파잡음의 전파특성을 보고하였다(Cho and Choi 2010). 그러나 측정상의 어려움과 수치모델링의 복잡함 때문에 쇄파잡음의 전파특성 및 변동성 등 구체적인 특성에 관해서는 명확하게 밝혀져 있지 않은 실정이고, 특히 한반도 연안해역에서 쇄파잡음에 관한 연구는 거의 행해지지 않고 있다.

해저지질이 모래로 형성된 해안의 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 특성을 밝히기 위하여 연구를 수행하였다. 서프 존에서 쇄파가 발생될 때 해양잡음을 해안선으로부터 전달거리별로 동시에 측정하고, 파랑의 파고 및 수중음속의 프로파일(sound velocity profile) 등 주변환경을 관측하여 서프 존의 쇄파잡음과 주변환경과의

관련을 조사하였다. 그리고 수중음파 전파모델에 의한 수치계산을 수행하여 서프존에서 발생된 쇄파잡음의 전파특성을 조사함으로써 연안해역 해양잡음에 미치는 서프 존 쇄파잡음의 영향을 조사하였다.

제 2 장 해양잡음 특성

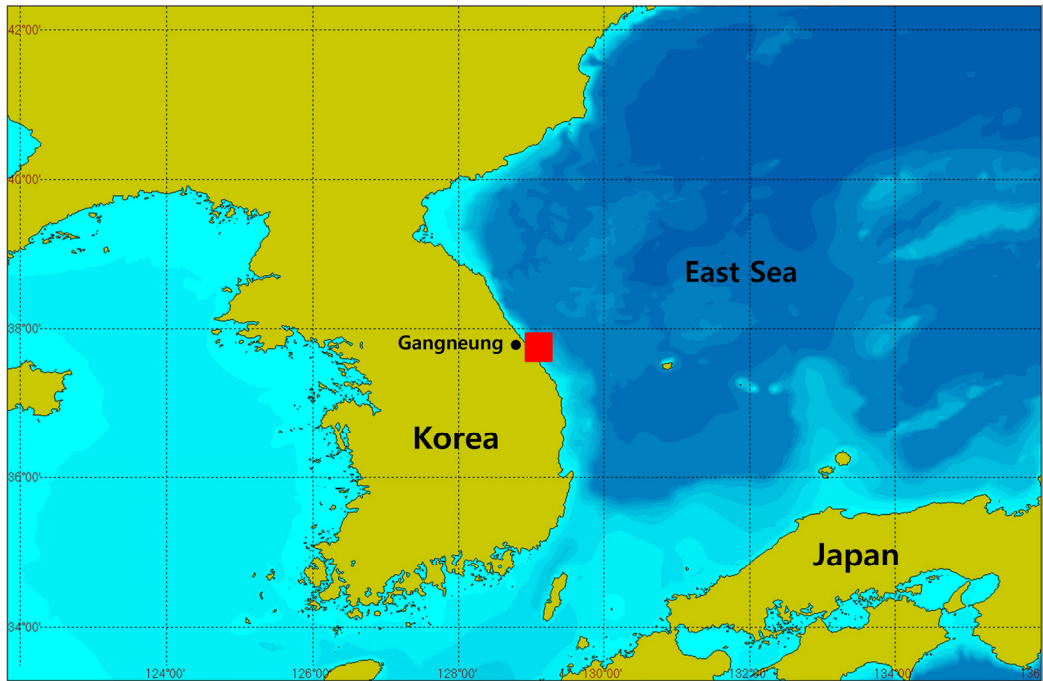
1. 측정 및 자료분석 방법

쇄파잡음과 관련된 해양잡음의 측정은 2012년 7월 상순과 12월 하순 등 2회에 걸쳐 실시되었다. 해양잡음은 동해중부 연안해역인 강원도 강릉시 경포해안에서 측정되었다. 해양잡음 측정 사이트의 위치 및 수심의 수평분포를 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)에서 해양잡음의 측정해역을 빨간색의 사각형으로 나타내고 있다. 그리고 그림 1(b)에서 빨간색의 선으로 나타낸 바와 같이 해안선에 기준점($37^{\circ} 47.741' N$, $128^{\circ} 55.126' E$)을 설정하고, 기준점으로부터 먼바다 쪽으로 해안선에 수직하게 직선을 그어 측정선(measurement line)을 정하였다.

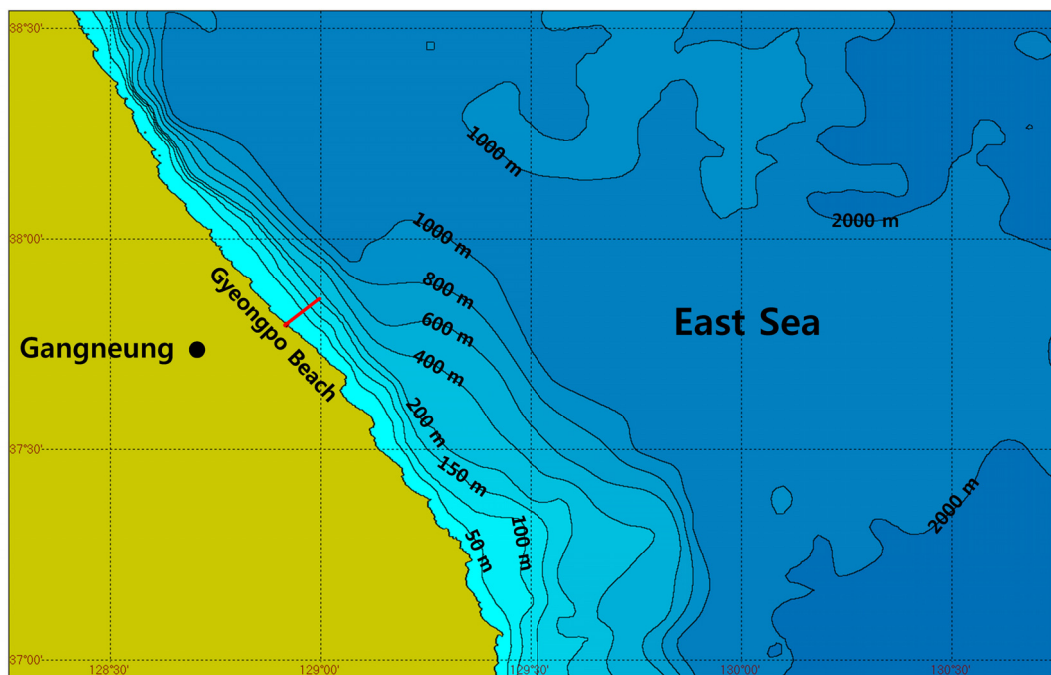
조사선에 장착된 음향측심기(echo sounder)를 사용하여 측정선상에서 수심을 측정하였다. 이때 측정된 해양잡음 측정선상의 수심 수직단면을 그림 2에 나타내었다. 수심은 해안선으로부터 먼바다 쪽으로 나아감에 따라 서서히 깊어지고 있었으며, 측정선상에서 해저수심의 기울기는 약 1° 이었다. 해양잡음의 측정에는 자체적으로 개발한 자동기록식 수중청음기(self-recording hydrophone)를 사용하였다(Kim 2006). 그림 2에 나타낸 바와 같이 서프 존에서 발생한 쇄파잡음의 전파특성을 조사하기 위해 해양잡음 측정선상의 여러 곳에 자동기록식 수중청음기 5대를 동시에 계류하였으며, 이때 각각의 수중청음기는 설치하는 곳에서 해수 중간층에 위치하도록 하였다. 자동기록식 수중청음기의 계류위치는 해안선으로부터 각각 약 0.64 km, 1.25 km, 1.88 km, 3.75 km 및 6.25 km 만큼 떨어진 곳이었으며, 수중청음기 계류위치에서 수심은 약 12~114 m의 범위내에 있었다. 그리고 파랑의 파고 및 주기를 측정하기 위해 해안선으로부터 약 0.94 km 만큼 떨어진 해저에 수압감응식 파고계(wave height meter)를 계류하였다(그림 2). 해양잡음 측정 및 파랑 관측에 사용된 자동기록식 수중청음기 및 파고계의 사진을 그림 3에 나타내었다. 여기서 그림 3(a)는 자동기록식 수중청음기의 사진이고, 그림 3(b)는 파고계의 사진이다. 또한 해양잡음의 전파환경을 파악하기 위해 해양잡음 측정선상의 여러 곳에서 CTD(SBE 19 plus) 관측을 수행하여 해수중 음속을 구하였다.

자동기록식 수중청음기는 샘플링 주파수(sampling frequency)를 60 kHz, 고역통

과 필터(high-pass filter)의 차단 주파수(cut-off frequency)를 40 Hz, 자료기록 시간을 30 분 간격으로 10분 동안 연속적으로 기록하고 20분 동안 휴지하도록 각각 설정되어 해양잡음 연속측정에 사용되었다. 해양잡음의 분석에는 기록된 음향자료를 자세히 청음하여 근거리에서 항행하는 선박의 방사잡음이 포함되어 있지 않은 것만을 사용하였다. 그리고 음향자료를 분석할 때에는 1초 간격으로 스펙트럼 레벨(spectrum level)을 구한 다음, 10분 동안의 스펙트럼 레벨 자료를 통계처리하여 하나의 해양잡음 스펙트럼 레벨의 평균값을 산출하여 그 시간에 해당되는 30분 동안의 대표값으로 하였다. 파랑은 매 30분 동안의 파고 및 주기 자료를 통계처리하여 하나의 유의파 파고(significant wave height)와 유의파 주기(significant wave period)를 각각 구하였다.



(a)



(b)

Figure 1. Measurement site (a) and bathymetric contours in the site (b) of oceanic ambient noise generated by breaking surf. The measurement area and line are marked as a box and line with red color in the figures, respectively.

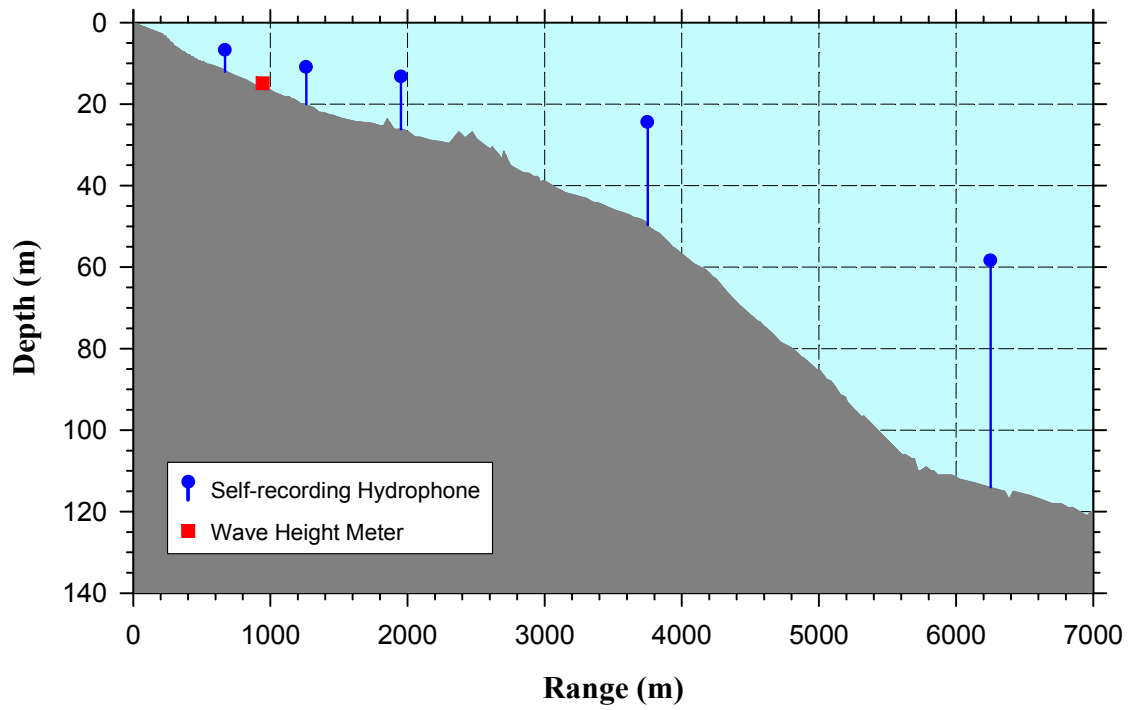


Figure 2. Depth profile along mooring positions of the self-recording hydrophones.

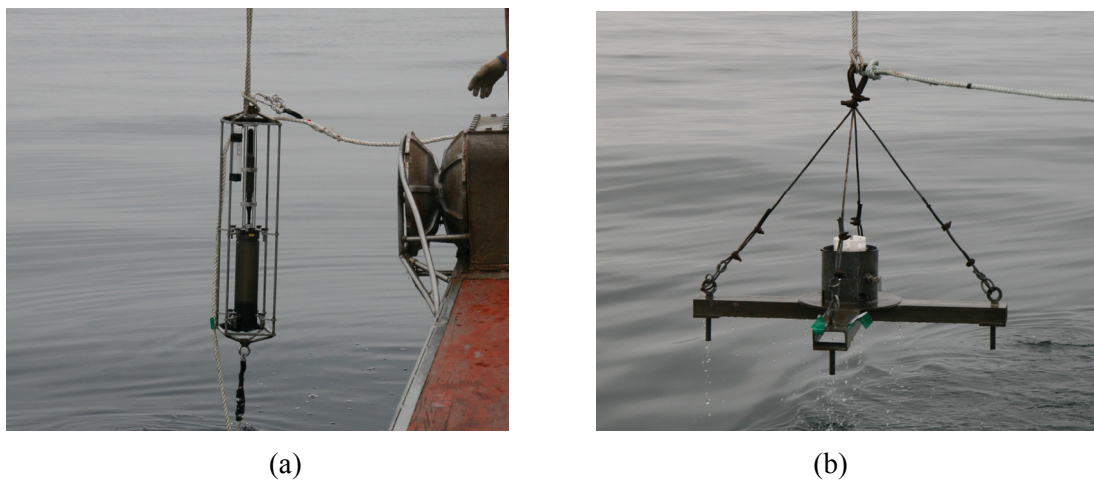


Figure 3. Photographs of the self-recording hydrophone (a) and the wave height meter (b) used for measurements of ocean noise and water wave, respectively.

2. 측정결과 및 고찰

가. 7월 측정

해양잡음의 1차 측정은 2012년 7월 5일부터 7일까지 3일 동안 실시되었다. 이 때 해양잡음 측정선상의 여러 곳에서 CTD(conductivity, temperature, depth) 관측을 실시하여 구한 해수중 음속을 그림 4에 나타내었다. 여기서 그림 4(a)는 해수중 음속의 프로파일이고, 그림 4(b)는 해수중 음속의 등치선도(contour)이다. 해수중 음속은 해표면 근방에서 약 1520 m/s이었으나, 수심 100 m의 해저 근방에서 약 1460 m/s이었다. 따라서 해표면과 해저에서 음속의 차는 약 60 m/s로 크게 나타났다. 그리고 해수중 음속구조는 수심이 증가함에 따라 음속이 급격히 감소하여 마이너스(minus)의 큰 기울기를 갖고 있었으며, 수평방향으로 잘 성층화된 분포를 나타내고 있었다. 해안선으로부터 약 0.94 km 만큼 떨어진 해저에서 파고계로 관측한 파랑의 유의파 파고 및 유의파 주기를 그림 5에 나타내었다. 여기서 그림 5(a)는 유의파의 파고이고, 그림 5(b)는 유의파의 주기이다. 해양잡음을 측정하는 동안 파고는 약 0.1~0.7 m의 범위내에서 분포하여 그다지 크지 않았으며, 파랑의 주기는 약 5~6 s의 범위내에서 분포하였다.

서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전파양상을 음파전파 수치모델을 사용하여 조사하였다. 여기에 사용된 모델은 파동 방정식(wave equation)을 포물형 방정식(parabolic equation)으로 근사한 RAM(range-dependent acoustic model)을 사용하였다. RAM은 수중음파 전파환경이 거리종속 환경(range-dependent environment)에서도 사용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 쇄파잡음의 음원은 해안선으로부터 거리 250 m 및 수심 1 m인 곳에 위치하는 것으로 가정하였고, 해저는 모래층(음속 1721 m/s, 밀도 1957 kg/m³, 감쇠계수 0.51 dB/m/kHz)만으로 구성된 것으로 가정하였다. 쇄파잡음의 주파수로서 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz 및 800 Hz 각각에 대해 수중음속 자료 및 해저지질 자료를 사용하여 음파의 전달손실(propagation loss)을 계산하였다. 그리고 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 여기서 그림 6(a), 그림 6(b), 그림 6(c) 및 그림 6(d)는 주파수가 각각 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz 및 800 Hz인 경우의 전달손실 등치선도이다. 그림 6에 의하면, 수심의 증가에 따라 마이너스의 기울기를 갖는 해수중 음속구조의 영향을 받아 쇄파잡음은 해저에서 반사를 되풀이하면서 해저 부근을 따

라 주로 전파하는 양상을 보이고 있다. 그리고 주파수 100 Hz인 경우의 전달손실이 비교적 크게 분포하여 전파상태가 가장 불량하였고, 주파수 800 Hz인 경우의 전달손실이 비교적 작게 분포하여 전파상태가 가장 양호하였다. 즉 쇄파잡음의 주파수가 낮을수록 전파상태가 불량하였다. 이것은 주파수가 낮을수록 파장(wavelength)이 커지므로 쇄파잡음의 음원 부근에 형성된 얇은 수심의 영향을 받아 저주파의 쇄파잡음이 이곳에 갇혀 전파하기가 어렵기 때문으로 생각된다. 전체적으로 어느 주파수의 경우에도 해안선으로부터 약 1 km 만큼 떨어진 곳에서는 전달손실이 약 50~80 dB의 범위내에서 분포하였다. 따라서 서프 존에서 발생한 쇄파잡음은 해안선으로부터 거리 1 km 이상으로 전파가 양호하지 않을 것으로 생각된다.

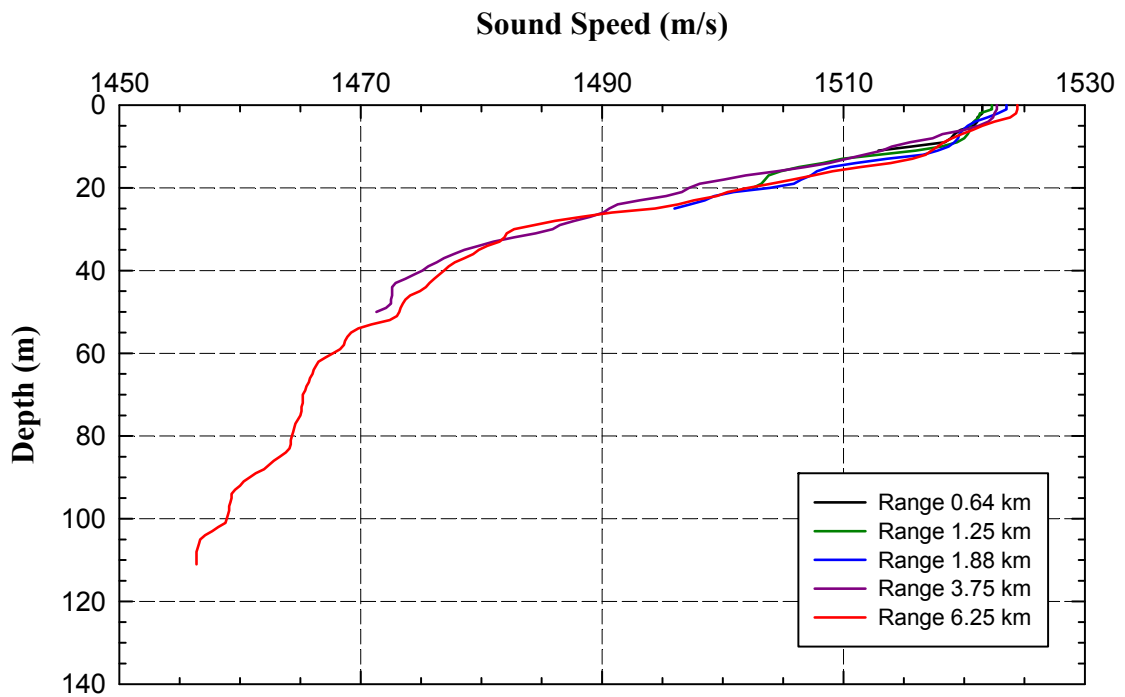
해양잡음을 측정하는 동안 경포해변에서 촬영한 서프 존에서 발생한 쇄파의 사진을 그림 7에 나타내었다. 쇄파의 종류에 따라 발생하는 쇄파잡음의 특성은 서로 다르다는 것이 보고되어 있는 데(Means and Heitmeyer 2002), 해저 기울기 및 파랑 기울기(파랑의 파장에 대한 파고의 비)에 따라 서프 존에서 발생하는 쇄파는 스펠링 타입(spilling type), 플런징 타입(plunging type) 및 서어징 타입(surging type) 등으로 구분되고 있다. 그림 7에 의하면, 해양잡음을 측정하는 동안 경포해변에서 발생한 쇄파의 종류는 플런징 타입인 것으로 판단된다.

2012년 7월 상순에 해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 해양잡음의 스펙트럼 레벨을 그림 8에 나타내었다. 이들 그림에서는 주파수 50~5000 Hz 범위내의 스펙트럼 레벨을 표시하고 있다. 여기서 그림 8(a), 그림 8(b), 그림 8(c), 그림 8(d) 및 그림 8(e)는 해안선으로부터 각각 0.64 km, 1.25 km, 1.88 km, 3.75 km 및 6.25 km 떨어진 곳에서 측정된 것이다. 해양잡음을 측정하는 동안 파랑의 파고는 0.1~0.7 m 범위내에서 변동하여 대체로 약한 쇄파가 발생하고 있었다. 그림 8에 의하면, 해안선으로부터 거리 3.75 km 이내에서 파고가 증가함에 따라 해양잡음 레벨은 점차 증가하는 경향을 보였다. 즉 파고 0.7 m인 경우의 해양잡음 레벨이 가장 높게 나타났으며, 파고 0.1 m인 경우의 해양잡음 레벨이 가장 작게 나타났다. 그러나 해안선으로부터 거리 6.25 km에서 파고가 증가함에 따라 해양잡음 레벨이 일률적으로 증가하지 않았다.

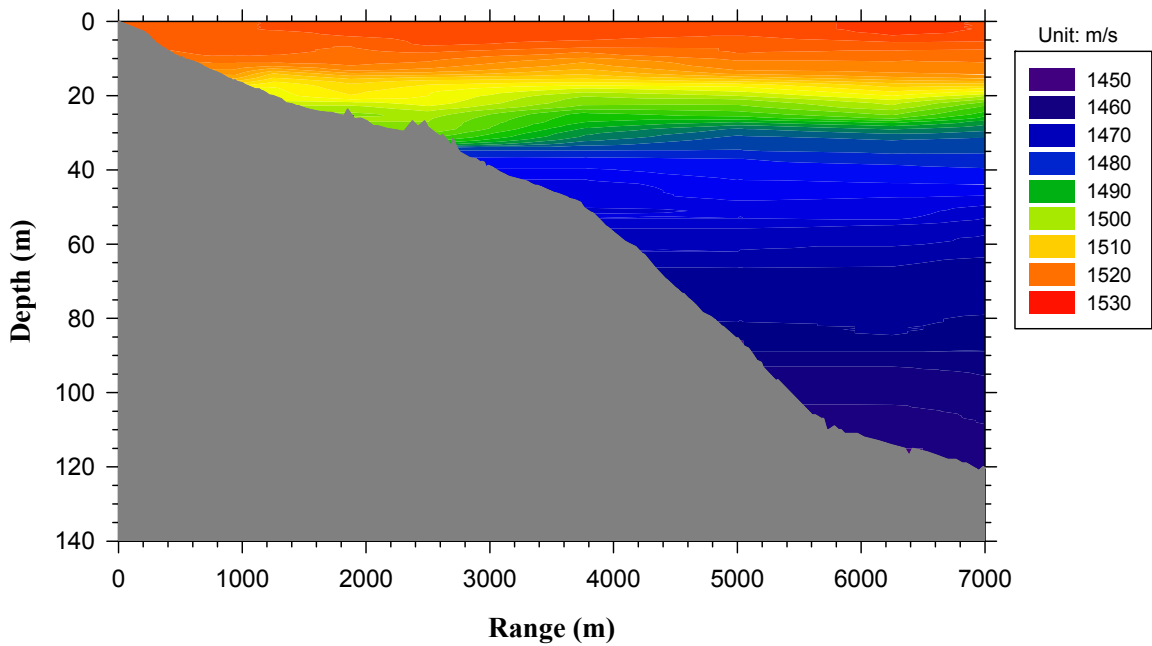
해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 해양잡음의 스펙트럼 레벨에 관한 자료로부터 다양한 파랑의 파고에 대한 해양잡음 스펙트럼 레벨을 그림 9에 나타내었

다. 여기서 그림 9(a), 그림 9(b), 그림 9(c) 및 그림 9(d)는 파고가 각각 0.1 m, 0.3 m, 0.5 m 및 0.7 m인 경우에 대해 나타낸 것이다. 그림 9에 의하면, 해양잡음 스펙트럼 레벨은 해안선으로부터의 거리에 따라 심하게 변동하는 것으로 나타났다. 이러한 해양잡음 스펙트럼 레벨의 변동은 파고가 작을수록 심하게 나타났다. 그리고 주파수 약 300 Hz 이하의 대역에서 주파수가 낮을수록 해양잡음의 스펙트럼 레벨이 더욱 심하게 변동하였다.

서프 존에서 파고 0.7 m 이하의 비교적 약한 쇄파가 발생하는 동안 해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 해양잡음 스펙트럼 레벨로부터 해양잡음의 밴드 레벨 (band level)을 구하여 그림 10에 나타내었다. 여기서 그림 10(a)는 주파수 50~300 Hz의 밴드 레벨이고, 그림 10(b)는 주파수 300~5000 Hz의 밴드 레벨이다. 그림 10에 의하면, 주파수 300~5000 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리에 관계없이 거의 일정하였으나, 동일한 거리일 때 파고가 증가함에 따라 거의 일정한 비율로 증가하고 있었다. 그리고 주파수 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리에 따라 변동하였다. 즉 해안선으로부터 거리 약 2.5 km 이내에서 거리가 증가함에 따라 해양잡음의 밴드 레벨은 급격히 감소하였으나, 거리 약 2.5 km 이상에서 거리가 증가함에 따라 해양잡음의 밴드 레벨은 서서히 증가하였다. 또한 주파수 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 거리일 때 파고가 증가함에 따라 일정하게 증가하지 않았다.

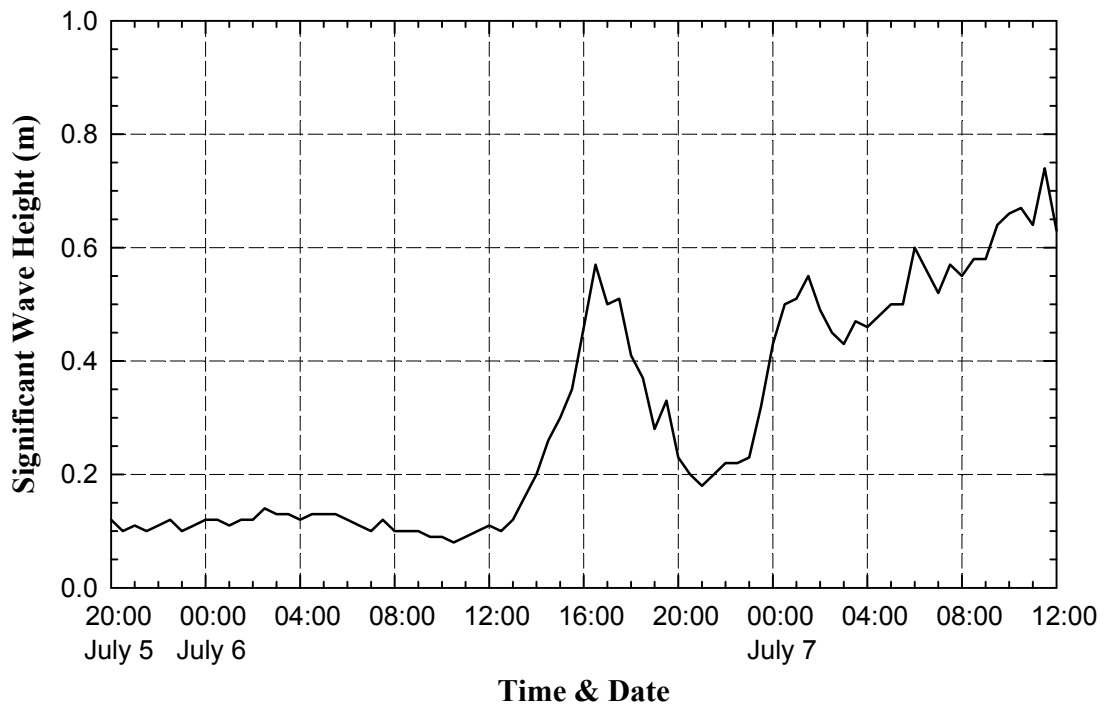


(a)

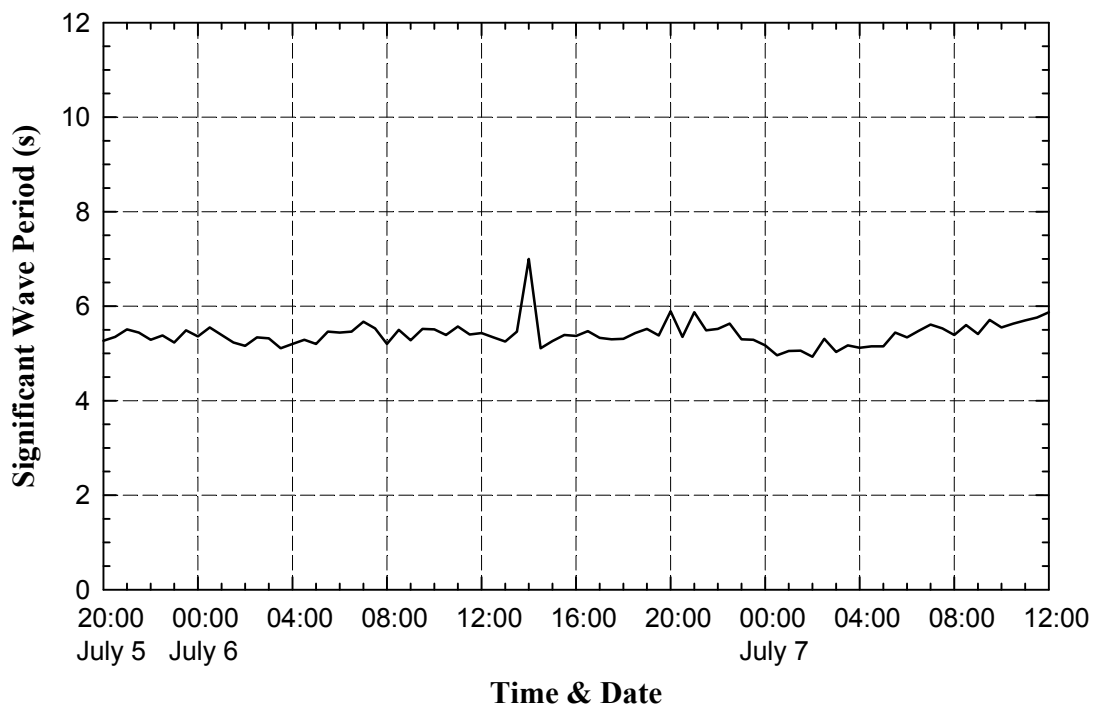


(b)

Figure 4. Sound velocity profiles (a) and sound velocity contours (b) measured by CTD along the mooring positions of the self-recording hydrophones on July 5, 2012.



(a)



(b)

Figure 5. Wave height (a) and wave period (b) measured by the wave height meter moored on bottom of 0.94 km from shoreline during July 5 to 7, 2012.

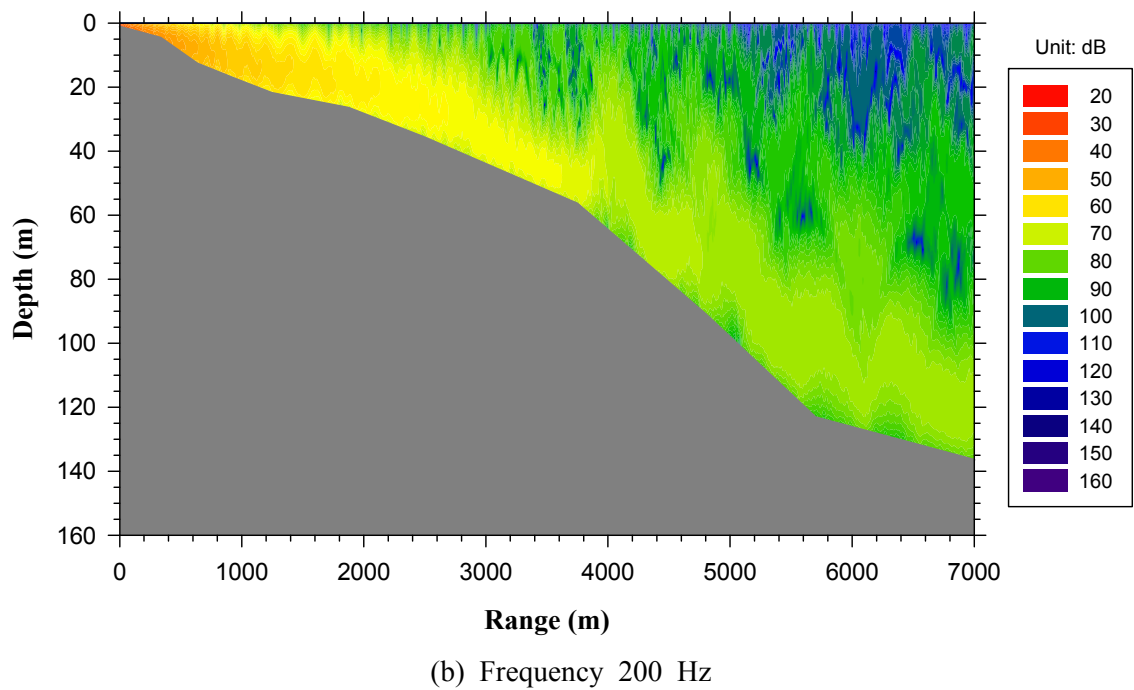
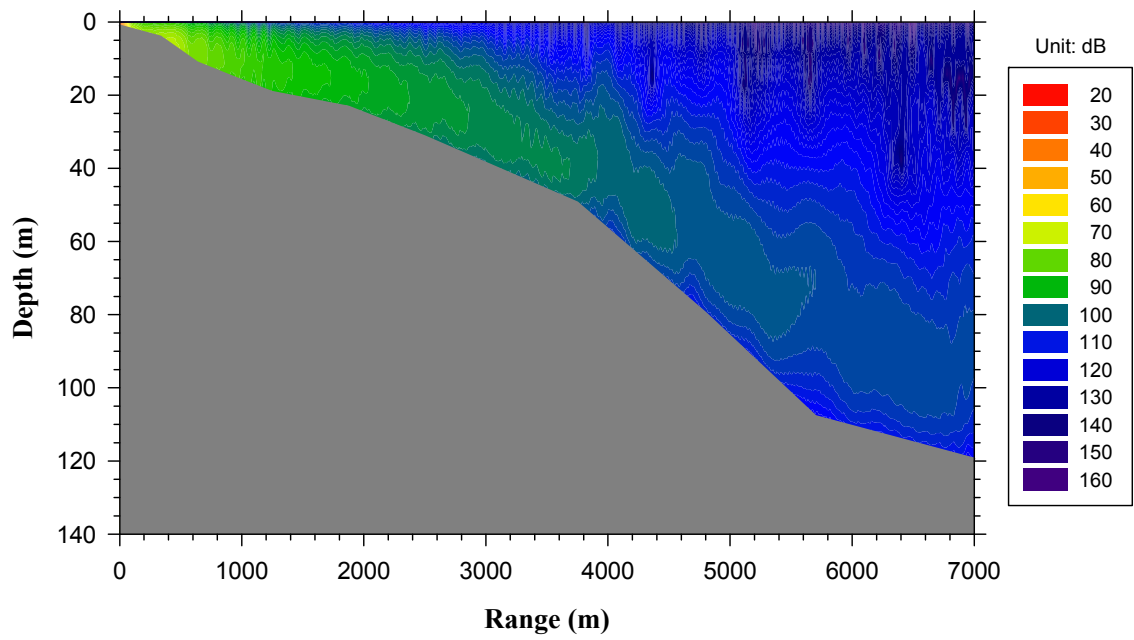
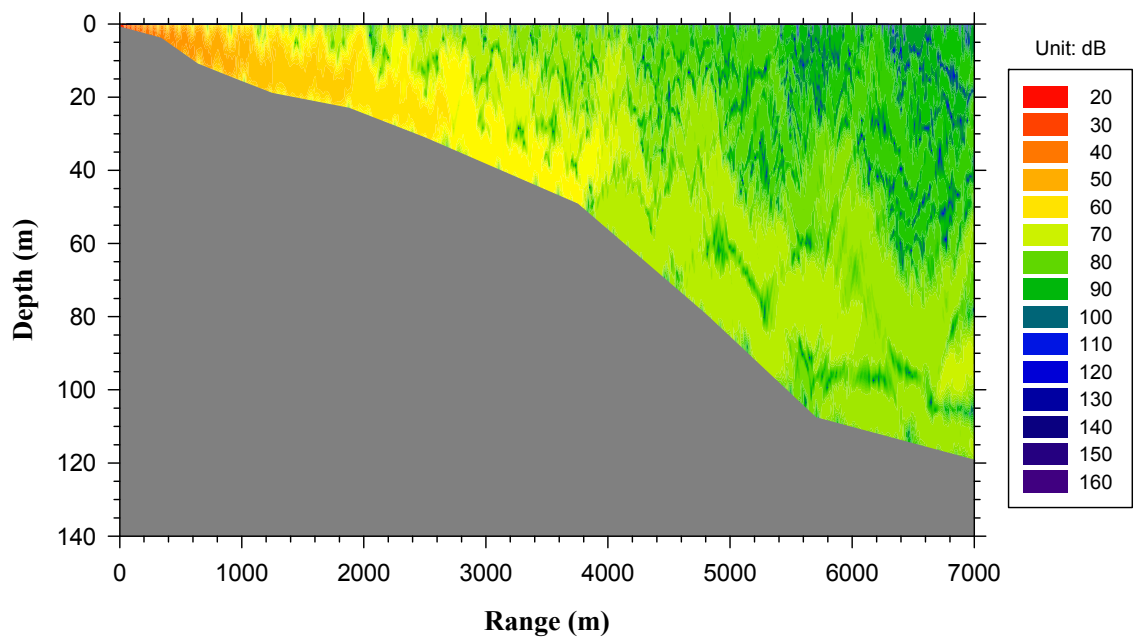
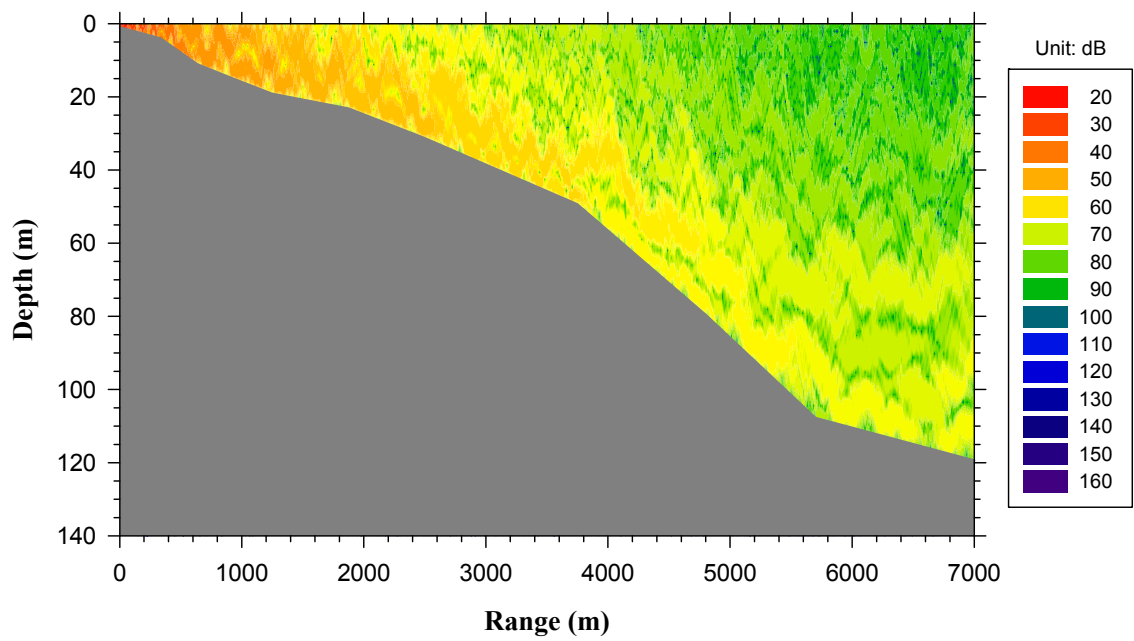


Figure 6. Propagation loss contours calculated by RAM in case of a source of 250 m range and 1 m depth using sound velocity profiles measured on July 5, 2012 and sand bottom conditions as model input parameters.



(c) Frequency 400 Hz

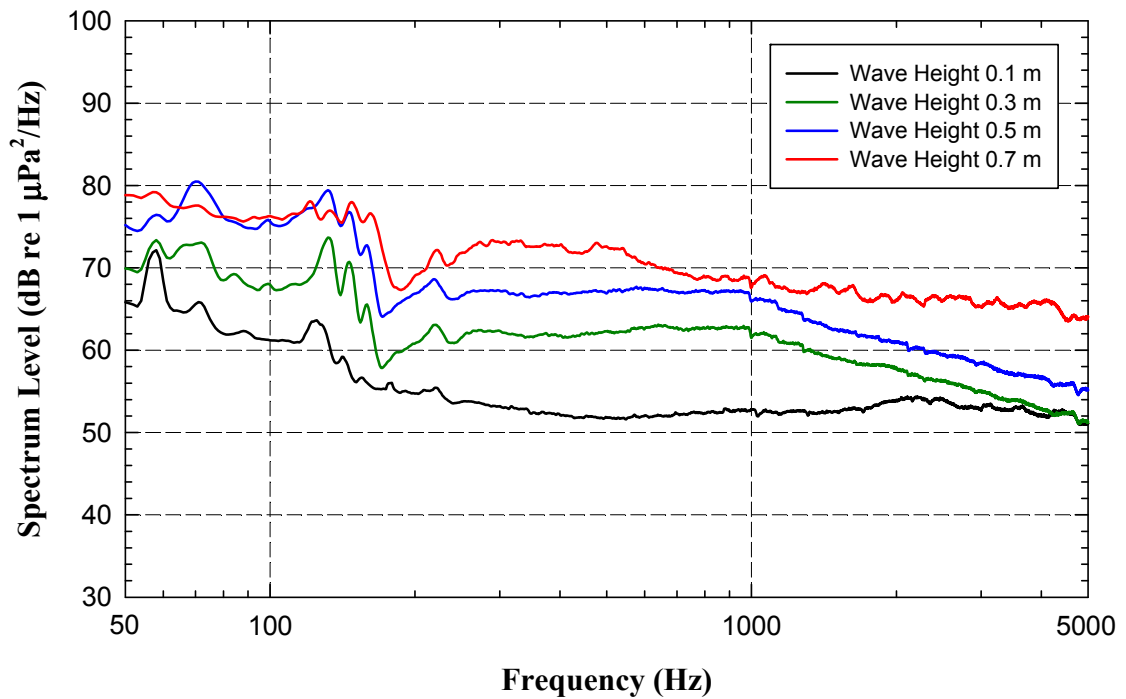


(d) Frequency 800 Hz

Figure 6. Continued.



Figure 7. Photograph of breaking surf on Gyeongpo beach taken on July 7, 2012.



(a) Range 0.64 km

Figure 8. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various ranges from shoreline during July 5 to 7, 2012.

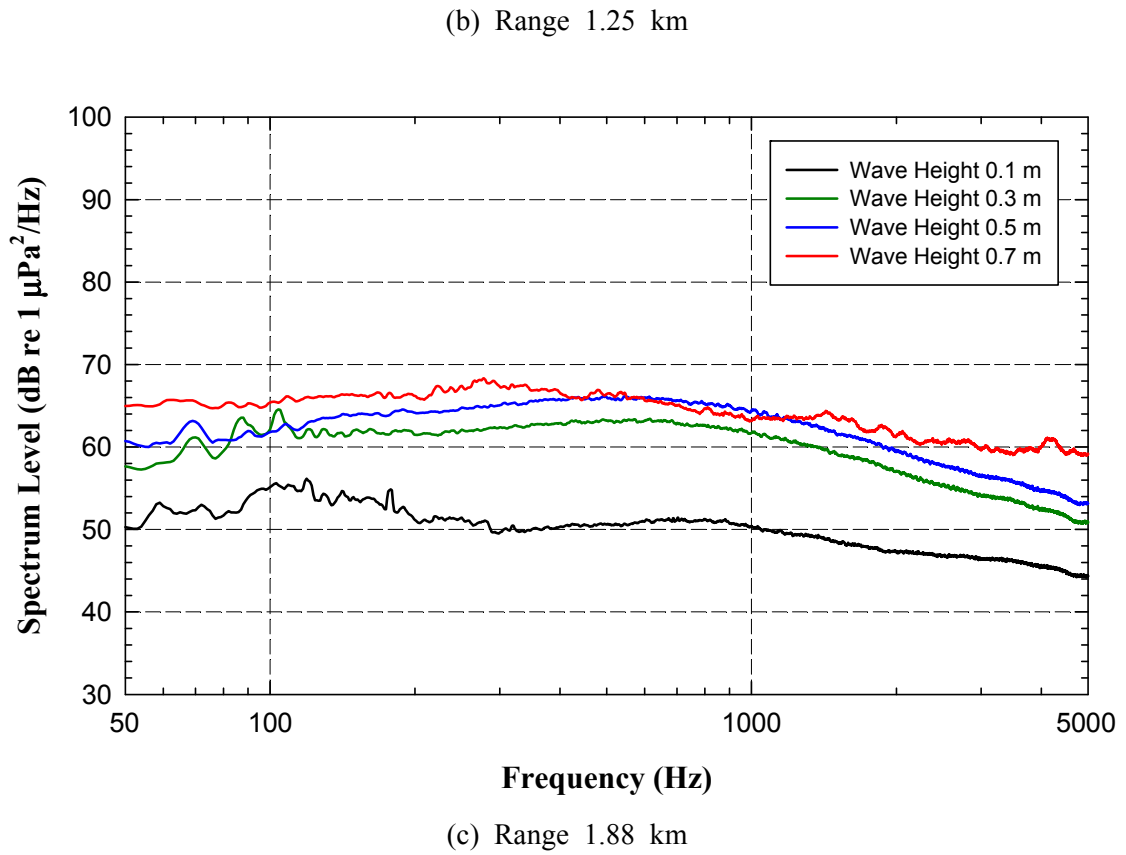
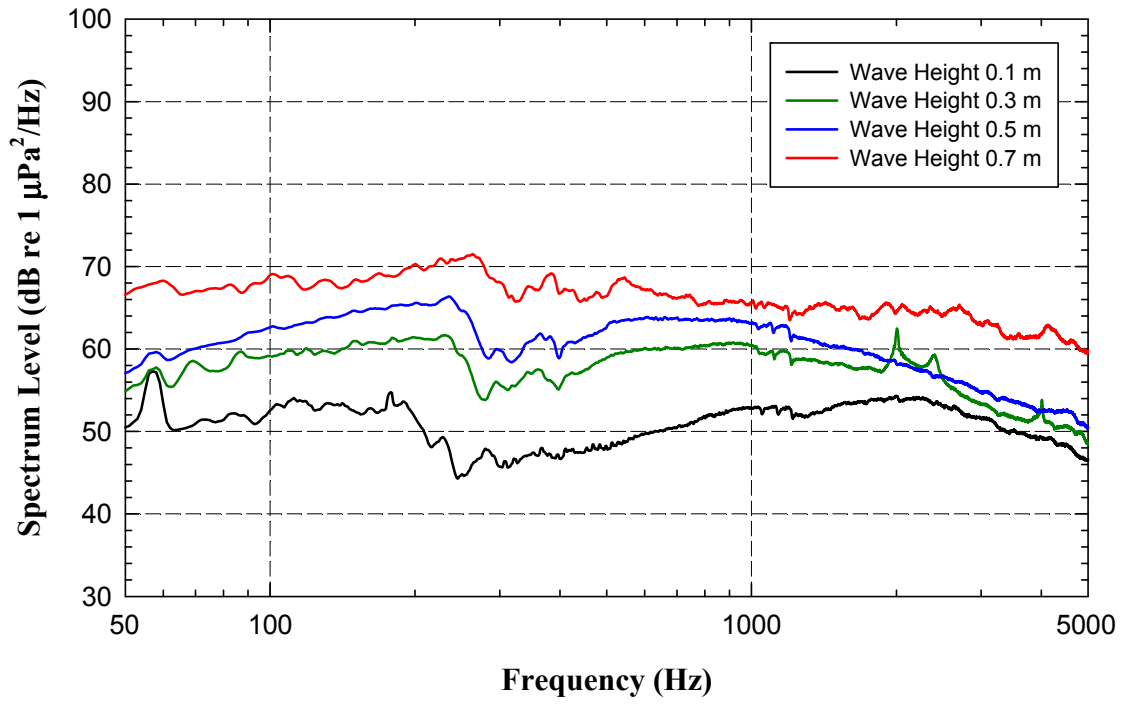
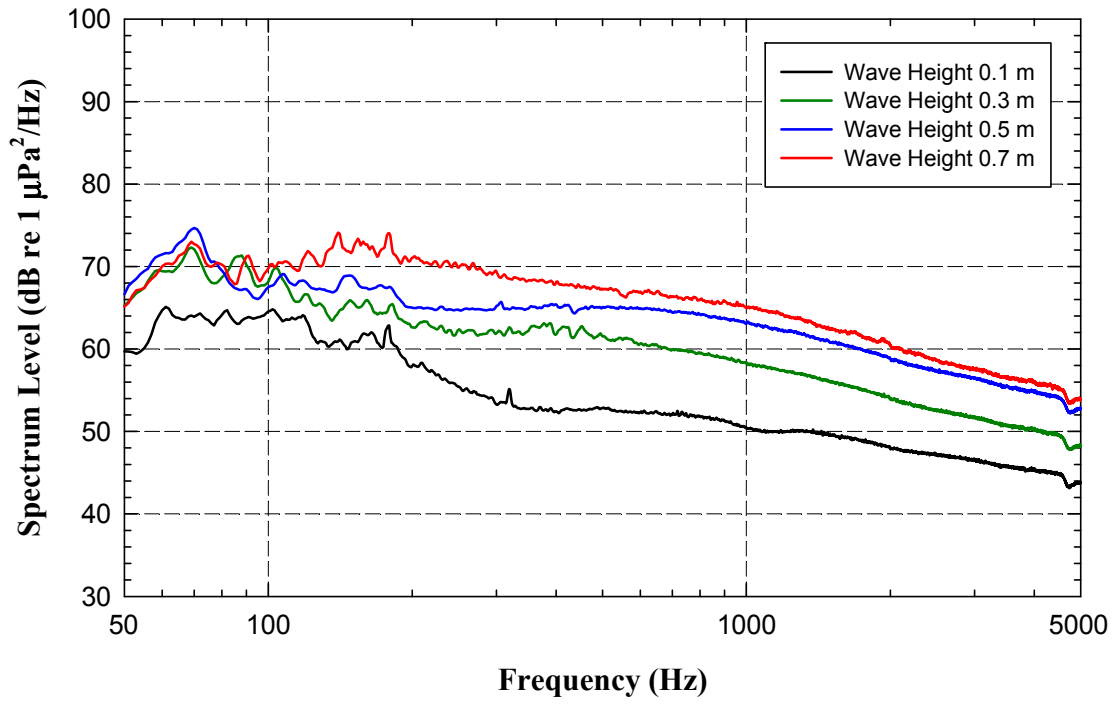
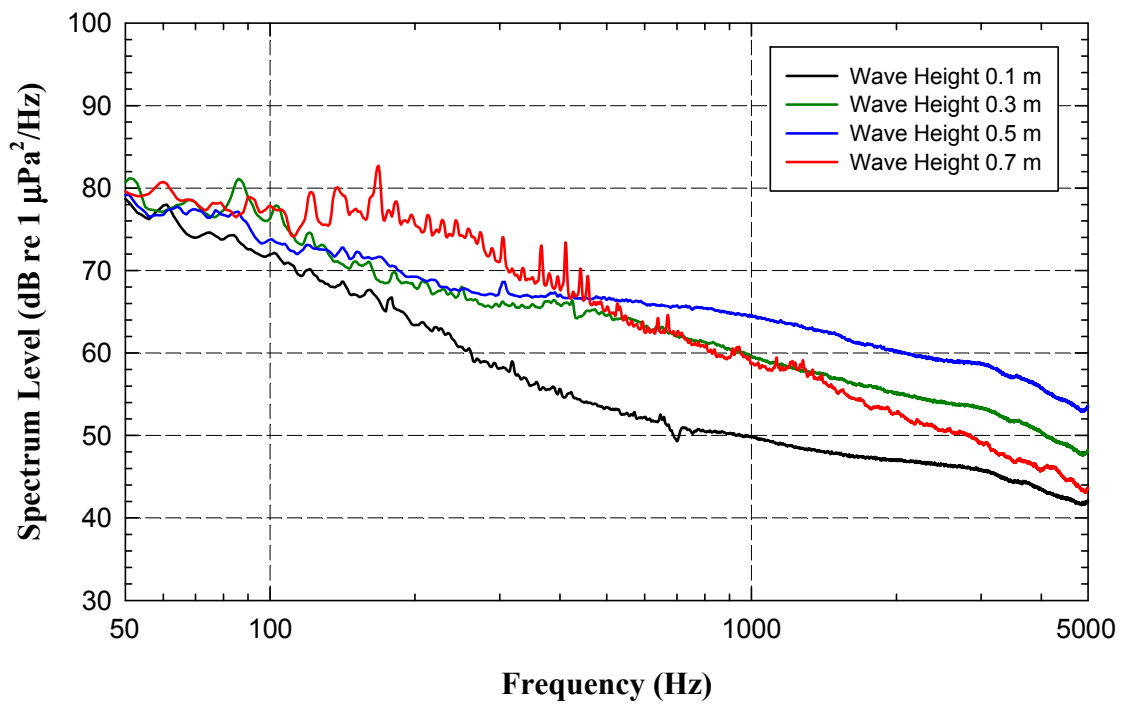


Figure 8. Continued.

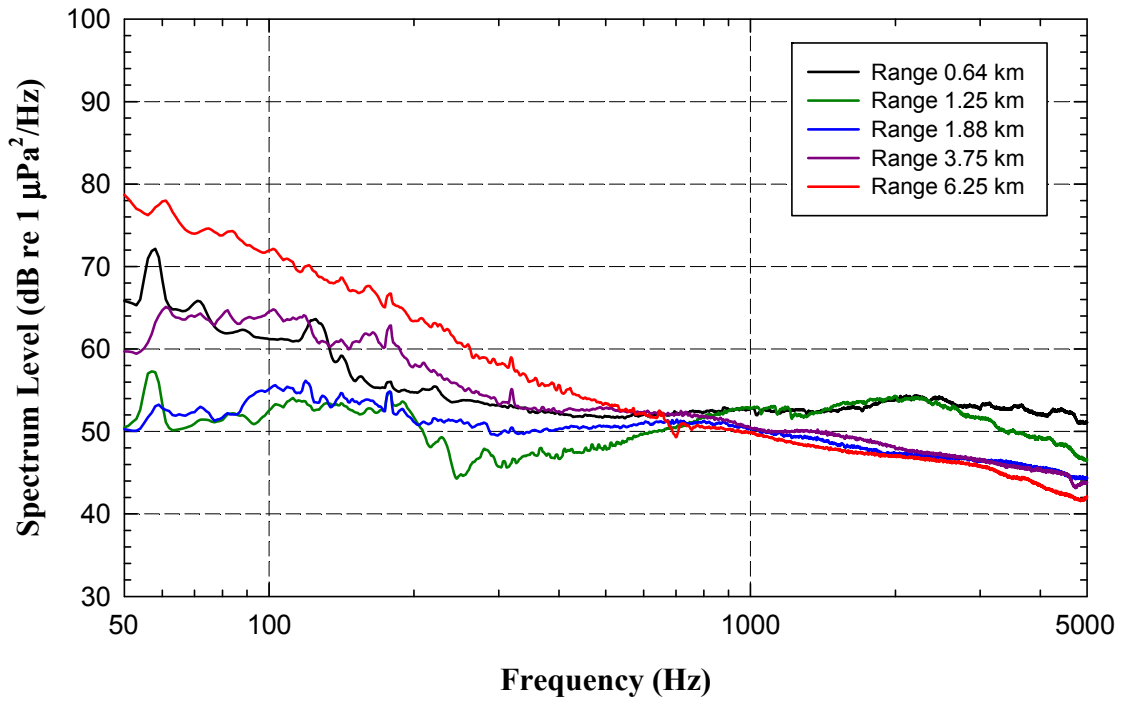


(d) Range 3.75 km

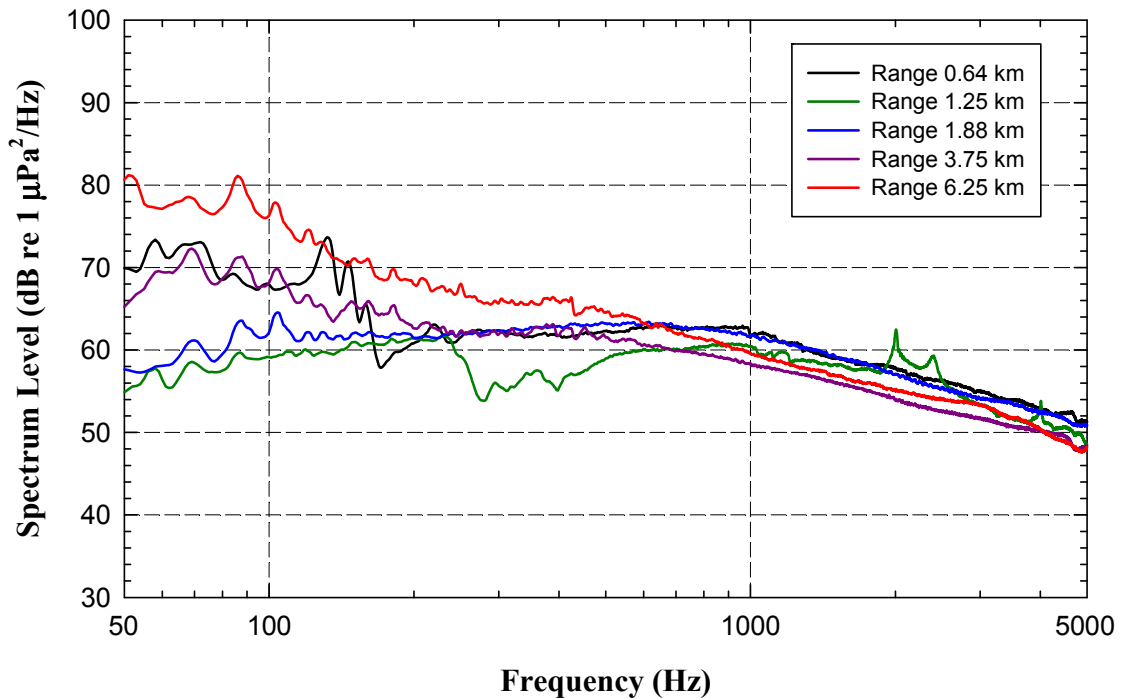


(e) Range 6.25 km

Figure 8. Continued.

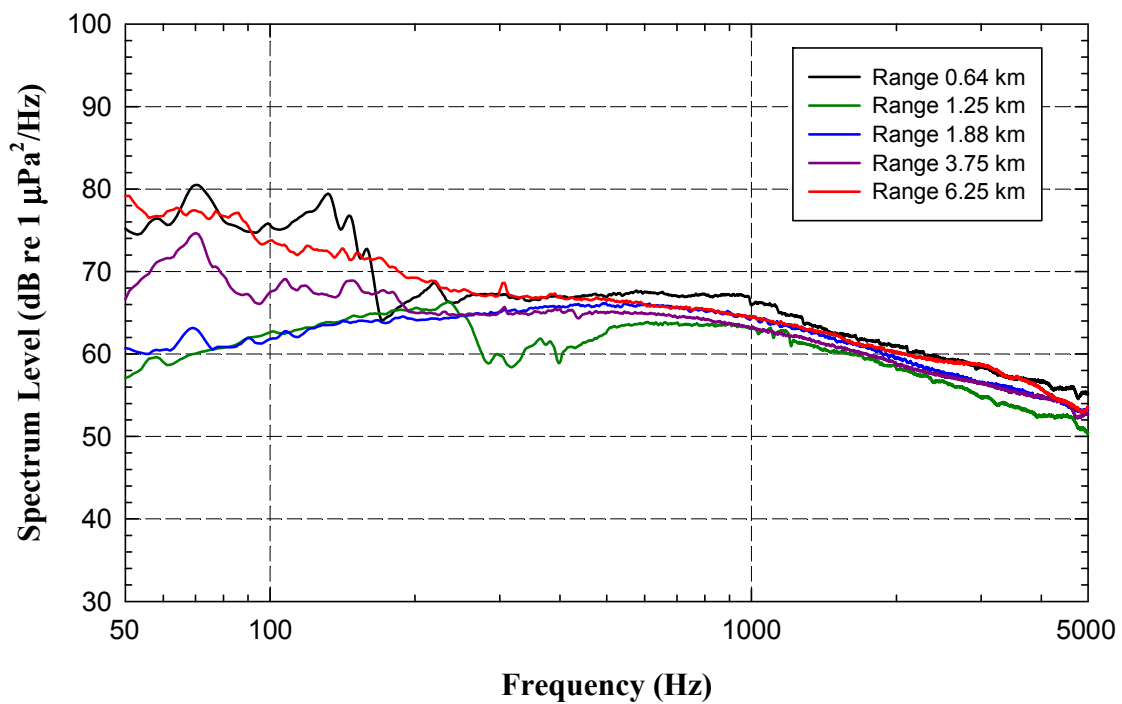


(a) Wave height 0.1 m

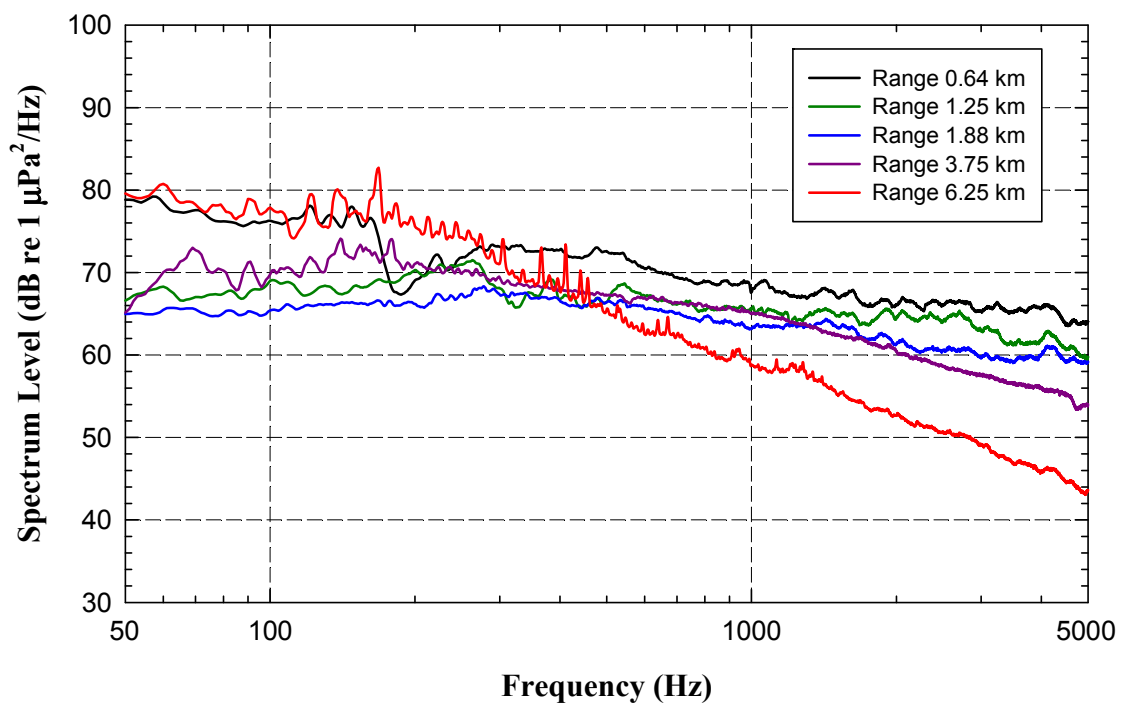


(b) Wave height 0.3 m

Figure 9. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during July 5 to 7, 2012.

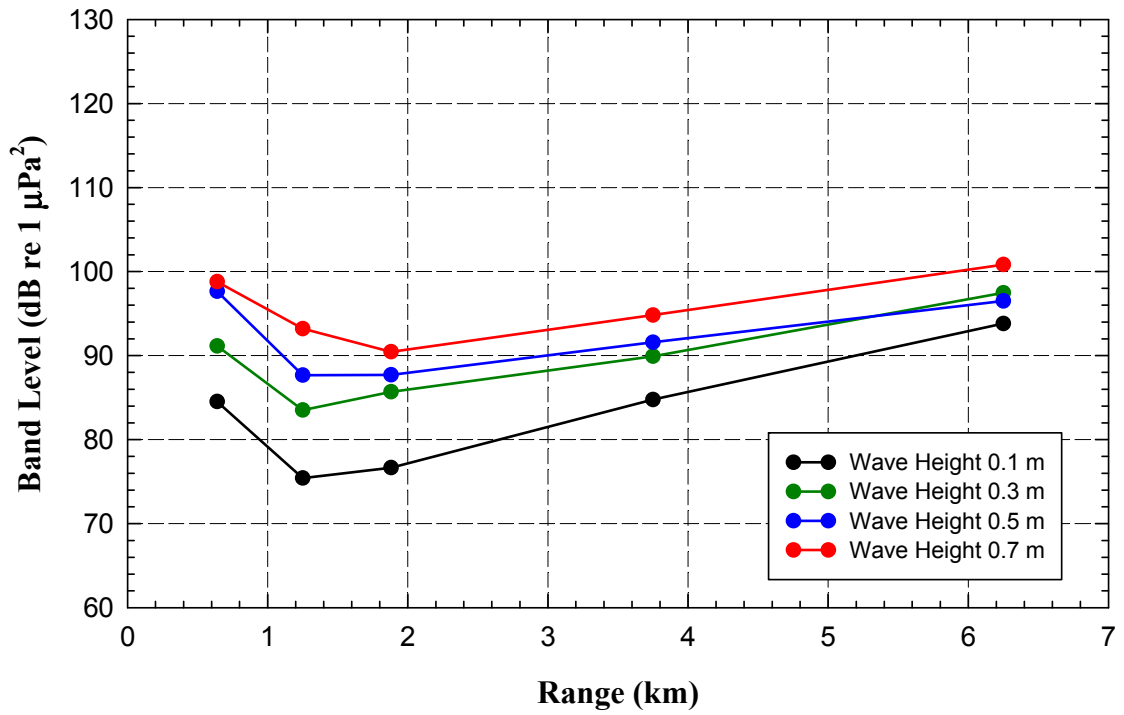


(c) Wave height 0.5 m

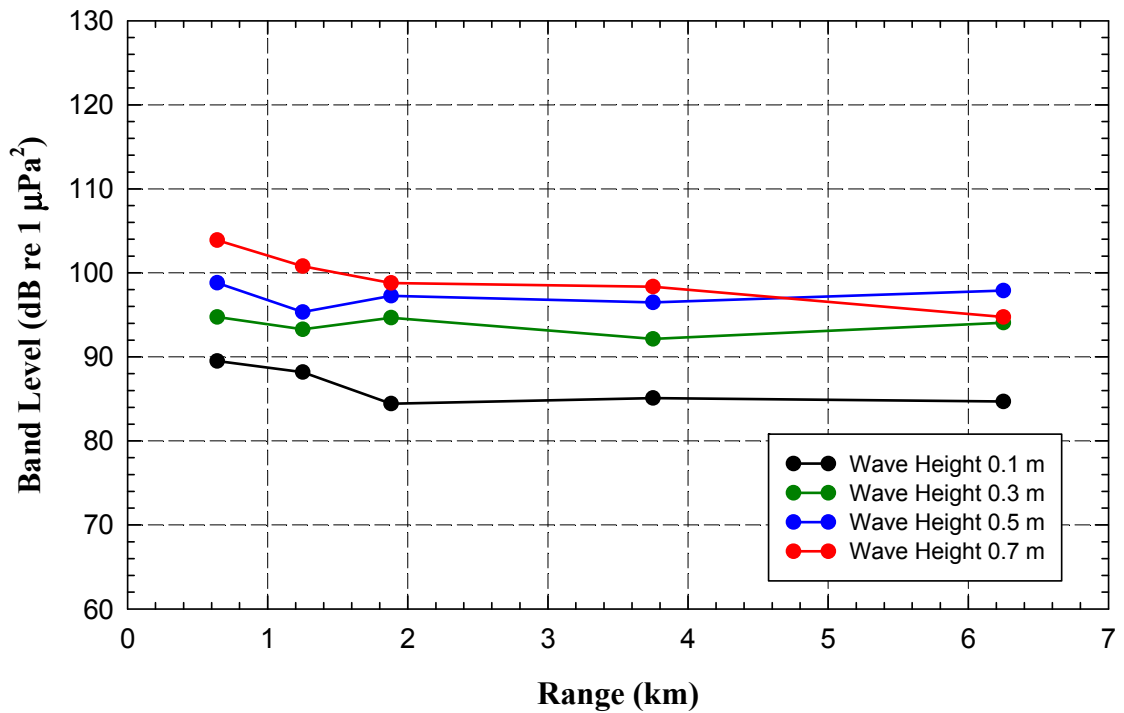


(d) Wave height 0.7 m

Figure 9. Continued.



(a) Frequency band 50~300 Hz



(b) Frequency band 300~5000 Hz

Figure 10. Band levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during July 5 to 7, 2012.

나. 12월 측정

해양잡음의 2차 측정은 2012년 12월 22일부터 24일까지 3일 동안 실시되었다. 이때 해양잡음 측정선상의 여러 곳에서 CTD 관측을 실시하여 구한 해수중 음속을 그림 11에 나타내었다. 여기서 그림 11(a)는 해수중 음속의 프로파일이고, 그림 11(b)는 해수중 음속의 등치선도이다. 해수중 음속은 해표면 근방에서 약 1495 m/s 이었으나, 수심 100 m의 해저 근방에서 약 1475 m/s이었다. 따라서 해표면과 해저에서 음속의 차는 약 20 m/s로 작게 나타났다. 그리고 해수중 음속구조는 해표면상에서 부는 강한 바람의 영향으로 해표면으로부터 수심 약 60 m까지의 사이에서는 혼합층이 발달되어 음속은 일정하였으나, 수심 60 m 아래에서는 수심이 증가함에 따라 음속은 서서히 감소하여 마이너스의 기울기를 갖고 있었다. 해안선으로부터 약 0.94 km 만큼 떨어진 해저에서 파고계로 관측한 파랑의 유의파 파고 및 유의파 주기를 그림 12에 나타내었다. 여기서 그림 12(a)는 유의파의 파고이고, 그림 12(b)는 유의파의 주기이다. 해양잡음을 측정하는 동안 파고는 약 0.8~2.2 m의 범위내에서 분포하였고, 파랑의 주기는 약 8~9 s의 범위내에서 분포하였다.

서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전파양상을 음파전파 수치모델인 RAM을 사용하여 조사하였다. 쇄파잡음의 음원은 해안선으로부터 거리 250 m 및 수심 1 m에 위치하는 것으로 가정하였고, 해저는 모래층만으로 구성되어 있는 것으로 가정하였다. 쇄파잡음의 주파수로서 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz 및 800 Hz 각각에 대하여 수중음속 자료 및 해저지질 자료를 사용하여 음파의 전달손실을 계산하였다. 그리고 그 결과를 그림 13에 나타내었다. 여기서 그림 13(a), 그림 13(b), 그림 13(c) 및 그림 13(d)는 주파수가 각각 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz 및 800 Hz인 경우의 전달손실 등치선도이다. 그림 13에 의하면, 해수중 음속구조의 영향을 받아 해안선으로부터 전달거리 5 km 이내에서는 쇄파잡음이 해수층 전체에 걸쳐 전파하는 양상을 보이지만, 전달거리 5 km 이상에서는 쇄파잡음이 해저에서 반사를 되풀이하면서 해저 부근을 따라 주로 전파하는 양상을 보이고 있다. 그리고 주파수 800 Hz인 경우의 전달손실이 비교적 작게 분포하여 전파상태가 가장 양호하였고, 주파수 100 Hz인 경우의 전달손실이 비교적 크게 분포하여 전파상태가 가장 불량하였다. 즉 주파수가 낮을수록 전파상태가 양호하였는데, 이것은 주파수가 낮을수록 파장이 커져 음원 근방에 형성된 얇은 수심의 영향으로 이곳에 갇혀 전파하기가 어렵기 때문으로 생각된다. 전체적으로 어느 주파수의 경우에도 해안선으로부터

약 1 km 만큼 떨어진 곳에서는 전달손실이 약 40~70 dB 범위내에서 분포하였다. 따라서 서프 존에서 발생한 쇄파잡음은 해안선으로부터 거리 1 km 이상으로 전파가 양호하지 않을 것으로 생각된다.

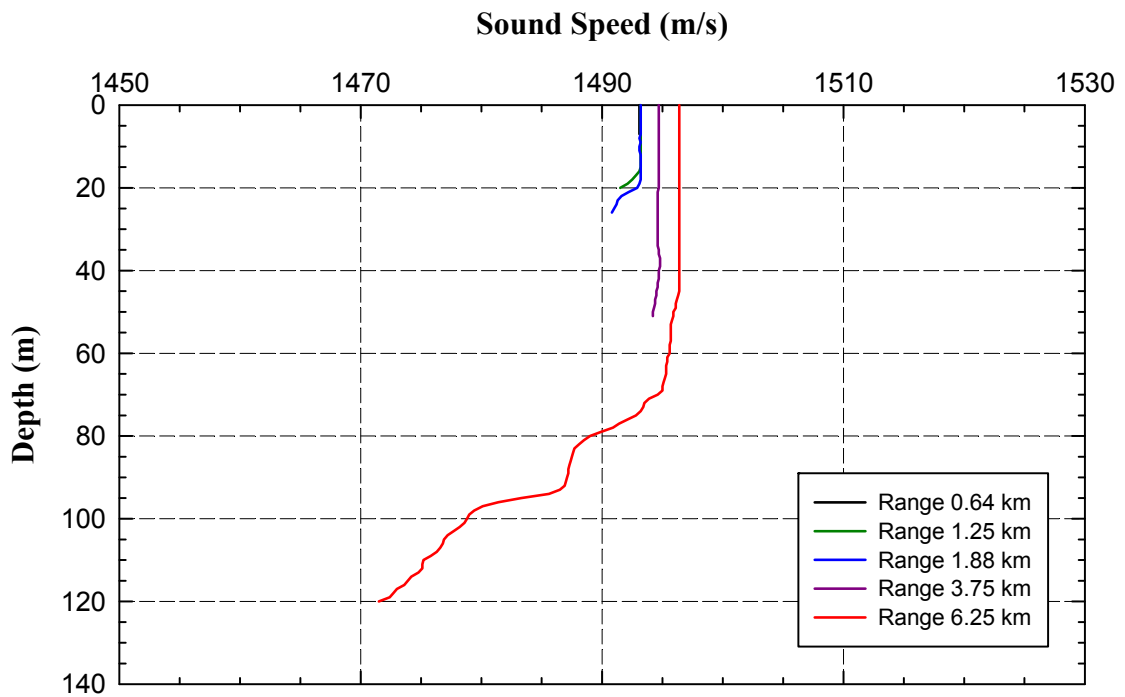
해양잡음을 측정하는 동안 경포해변에서 촬영한 서프 존에서 발생한 쇄파의 사진을 그림 14에 나타내었다. 그림 14에 의하면, 해양잡음을 측정하는 동안 경포해변에서 발생한 쇄파의 종류는 플런징 타입인 것으로 판단된다. 파고가 0.7 m 이하였던 7월 상순에 쇄파잡음을 측정한 경우와 마찬가지로 이번의 경우에는 파고가 대부분 1.0 m 이상이었지만, 동일한 종류의 쇄파가 발생되고 있었다.

2012년 12월 하순에 해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 해양잡음의 스펙트럼 레벨을 그림 15에 나타내었다. 이들 그림에서는 주파수 50~5000 Hz 범위내의 스펙트럼 레벨을 표시하고 있다. 여기서 그림 15(a), 그림 15(b), 그림 15(c), 그림 15(d) 및 그림 15(e)는 해안선으로부터 각각 0.64 km, 1.25 km, 1.88 km, 3.75 km 및 6.25 km 만큼 떨어진 곳에서 측정된 것이다. 해양잡음을 측정하는 동안 파랑의 파고는 주로 1.14~2.20 m 범위내에서 변동하여 비교적 강한 쇄파가 발생하고 있었다. 그림 15에 의하면, 전체적으로 파고가 증가함에 따라 해양잡음 레벨은 점차 증가하는 경향을 보였다. 즉 파고 2.20 m인 경우의 해양잡음 레벨이 가장 높게 나타났으며, 파고 1.14 m인 경우의 해양잡음 레벨이 가장 작게 나타났다. 그러나 스펙트럼 레벨의 패턴은 해안선으로부터의 거리에 따라 서로 다르게 나타났다. 서프 존에 가까운 해안선으로부터 거리 0.64 km인 경우 주파수 300 Hz 이하의 대역에서 해양잡음 레벨은 파고가 증가함에 따라 급격히 증가하였으나, 주파수 300 Hz 이상의 대역에서 해양잡음 레벨은 파고의 증가와 함께 서서히 증가하였다. 그러나 해안선으로부터 거리 1.25 km, 1.88 km, 3.75 km 및 6.25 km인 경우 주파수 300 Hz 이하의 대역에서 해양잡음 레벨은 파고가 증가함에 따라 완만하게 증가하였으나, 주파수 300 Hz 이상의 대역에서 해양잡음 레벨은 파고의 증가와 함께 급격히 증가하였다. 특히 이러한 경향은 서프 존으로부터 먼 거리에 위치한 거리 6.25 km에서 뚜렷하게 나타나고 있었다. 그리고 해안선으로부터 거리 1.25 km인 경우 주파수 300 Hz를 경계로 하여 스펙트럼 레벨의 패턴은 불연속적인 것처럼 나타났다.

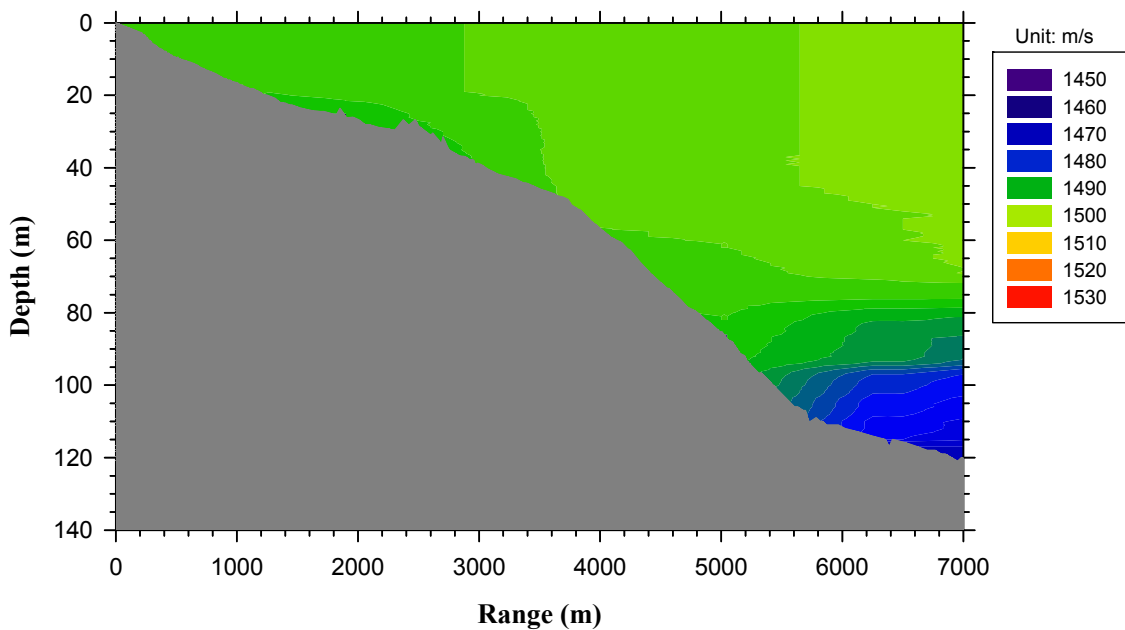
해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 해양잡음의 스펙트럼 레벨에 관한 자료로부터 다양한 파랑의 파고에 대한 해양잡음의 스펙트럼 레벨을 그림 16에 나타

내었다. 여기서 그림 16(a), 그림 16(b), 그림 16(c) 및 그림 16(d)는 파고가 각각 1.14 m, 1.55 m, 1.88 m 및 2.20 m인 경우에 대해 나타낸 것이다. 그림 16에 의하면, 동일한 파고일 때 해양잡음 스펙트럼 레벨은 해안선으로부터의 거리에 따라 심하게 변동하는 것으로 나타났다. 그리고 이러한 경향은 주파수 300 Hz 이상의 대역에 비해 주파수 약 300 Hz 이하의 대역에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 동일한 파고일 때 해안선으로부터 거리 3.75 km 이내의 경우 대체로 거리가 증가할수록 주파수 300 Hz 이하의 대역에서 해양잡음 스펙트럼 레벨은 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 예외적으로 해안선으로부터 거리 6.25 km의 경우 주파수 300 Hz 이하의 대역에서 해양잡음 스펙트럼 레벨은 거리 0.64 km에서 측정된 것과 같이 높게 나타났다. 한편 동일한 파고일 때 주파수 300 Hz 이상의 대역에서 해양잡음 스펙트럼 레벨은 해안선으로부터의 거리가 증가함에 따라 서서히 증가하였다. 즉 해양잡음 스펙트럼 레벨은 거리 6.25 km에서 가장 높게 측정되었고, 거리 0.64 km에서 가장 낮게 측정되었다.

서프 존에서 파고 1.14 m 이상의 비교적 강한 쇄파가 발생하는 동안 해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 해양잡음 스펙트럼 레벨로부터 해양잡음의 밴드 레벨을 구하여 그림 17에 나타내었다. 여기서 그림 17(a)는 주파수 50~300 Hz의 밴드 레벨이고, 그림 17(b)는 주파수 300~5000 Hz의 밴드 레벨이다. 그림 17에 의하면, 주파수 300~5000 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리가 증가함에 따라 서서히 증가하는 경향을 보였다. 특히 이러한 경향은 거리 약 2.5 km 이내에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 그리고 주파수 300~5000 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 거리일 때 파고가 증가함에 따라 거의 일정한 비율로 증가하고 있었다. 그러나 주파수 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리에 따라 심하게 변동하였다. 즉 해안선으로부터 거리 약 2.5 km 이내에서 거리가 증가함에 따라 해양잡음의 밴드 레벨은 급격히 감소하였으나, 거리 약 2.5 km 이상에서 거리의 증가와 함께 해양잡음의 밴드 레벨도 서서히 증가하였다. 그리고 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 해안으로부터 거리 약 2.5 km 이내에서 파고가 증가함에 따라 급격히 증가하였으나, 거리 약 2.5 km 이상에서 파고가 증가하여도 거의 일정하였다.

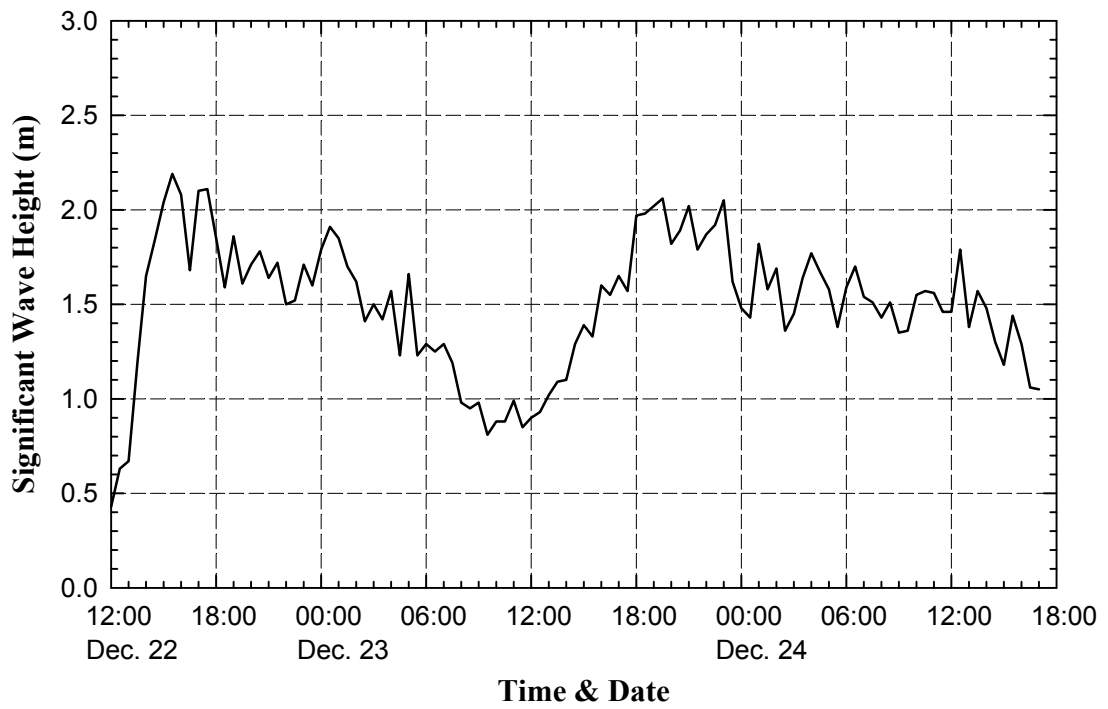


(a)

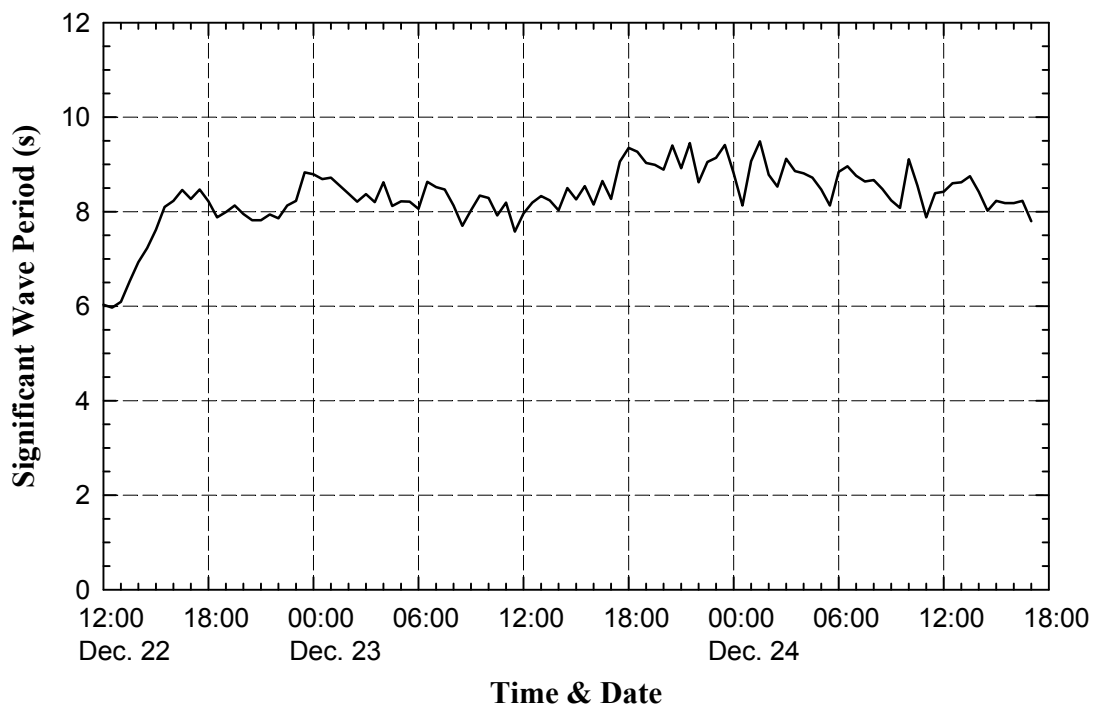


(b)

Figure 11. Sound velocity profiles (a) and sound velocity contours (b) measured by CTD along the mooring positions of the self-recording hydrophones on December 22, 2012.

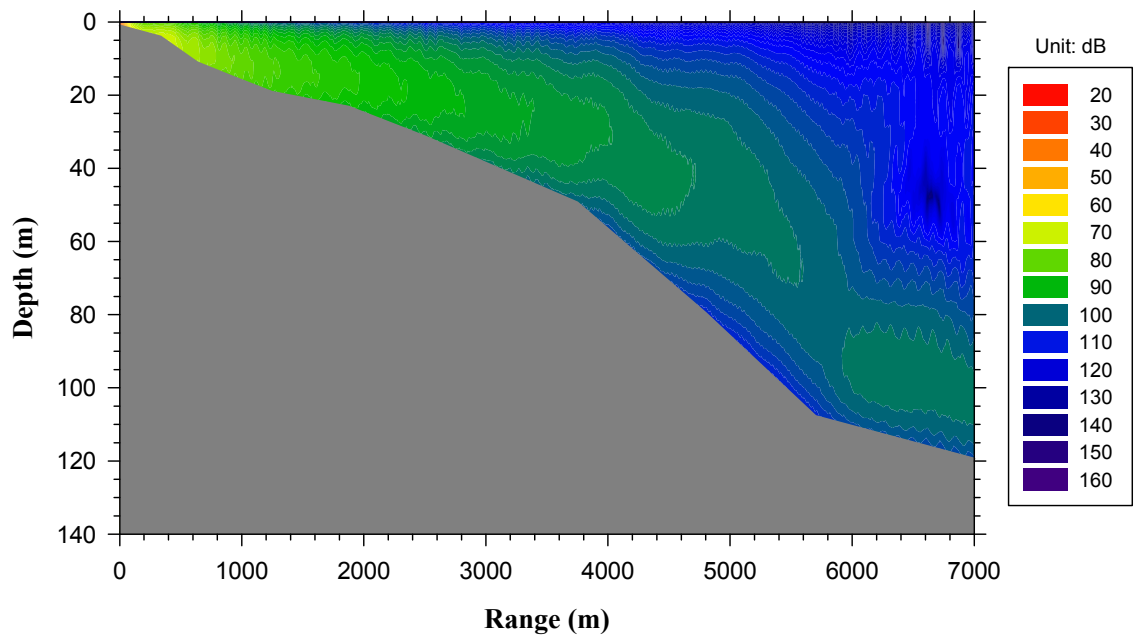


(a)

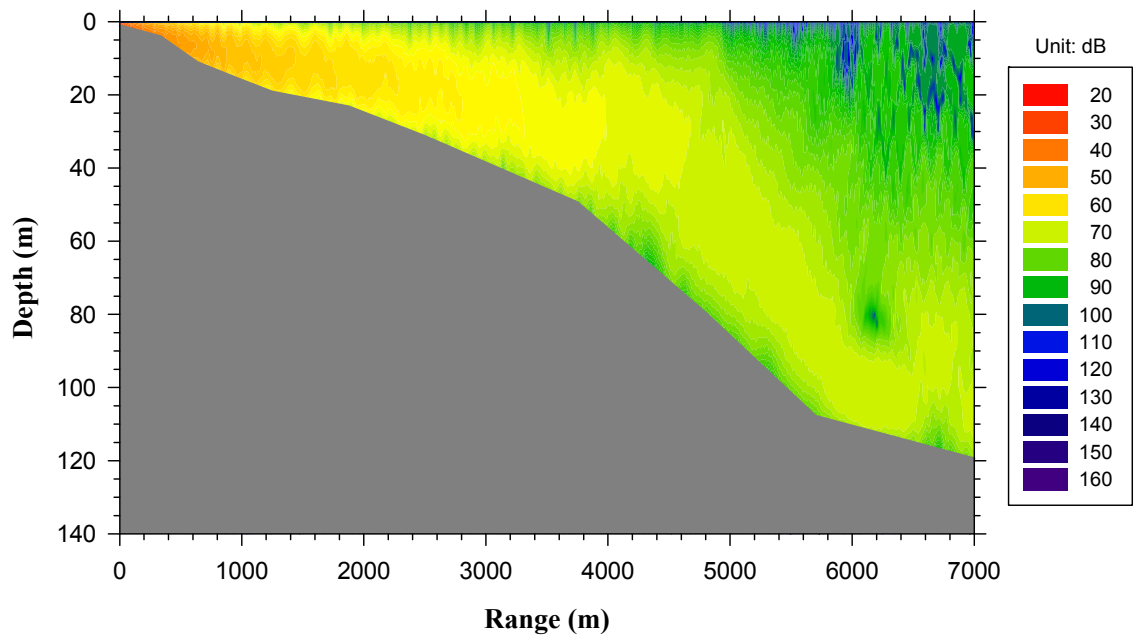


(b)

Figure 12. Wave height (a) and wave period (b) measured by the wave height meter moored on bottom of 0.94 km from shoreline during December 22 to 24, 2012.



(a) Frequency 100 Hz



(b) Frequency 200 Hz

Figure 13. Propagation loss contours calculated by RAM in case of a source of 250 m range and 1 m depth using sound velocity profiles measured on December 22, 2012 and sand bottom conditions as model input parameters.

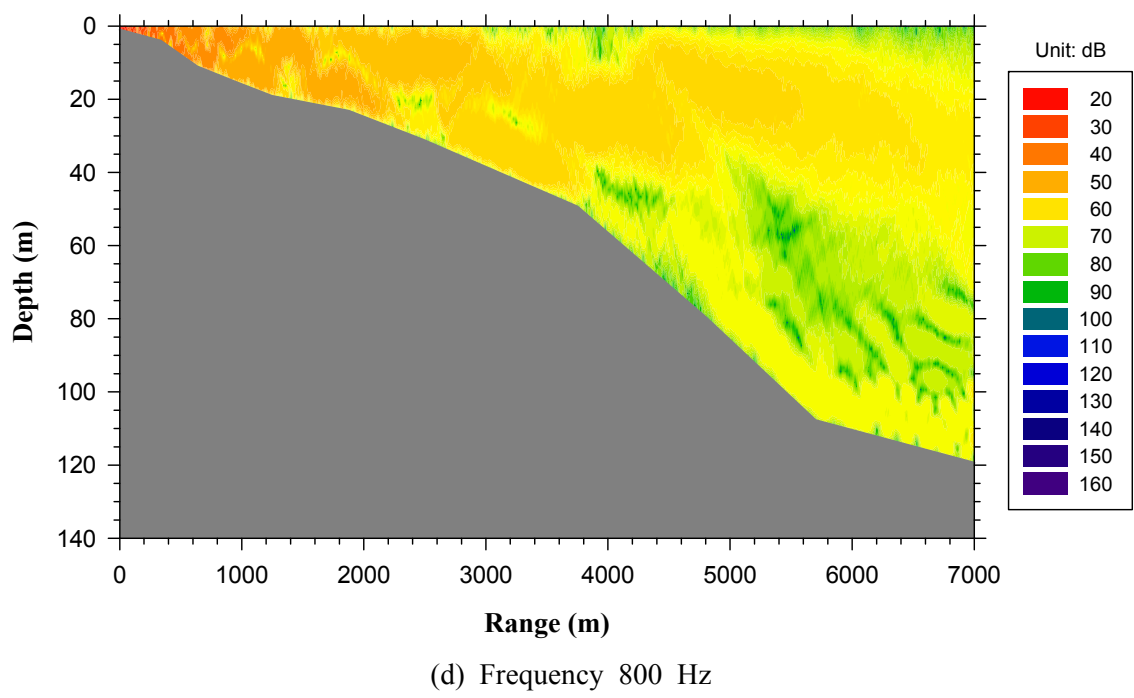
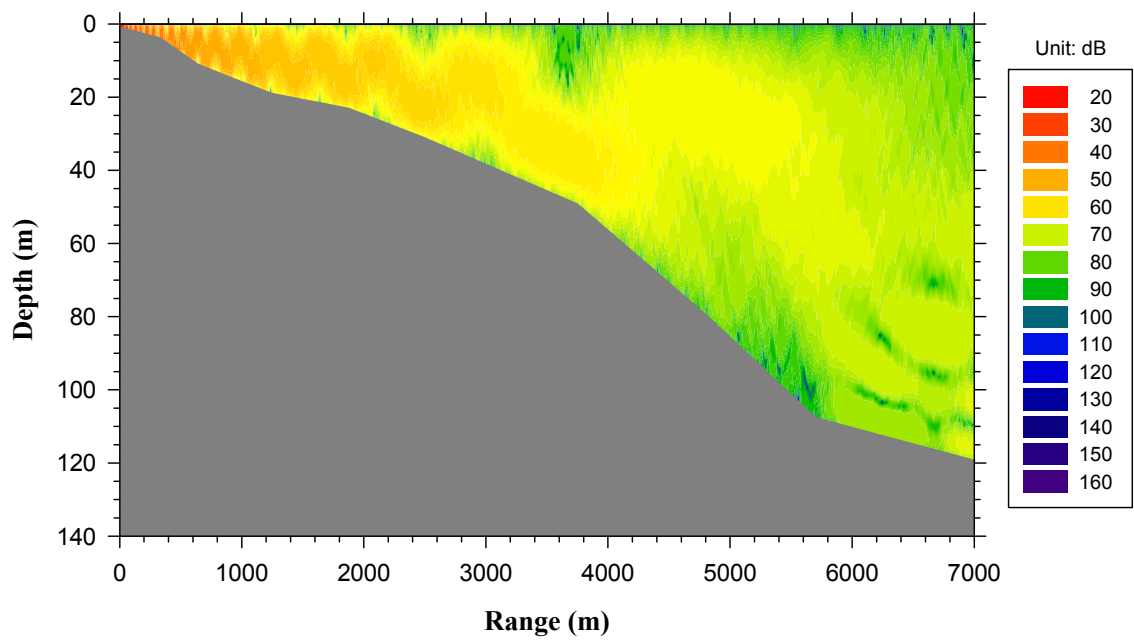
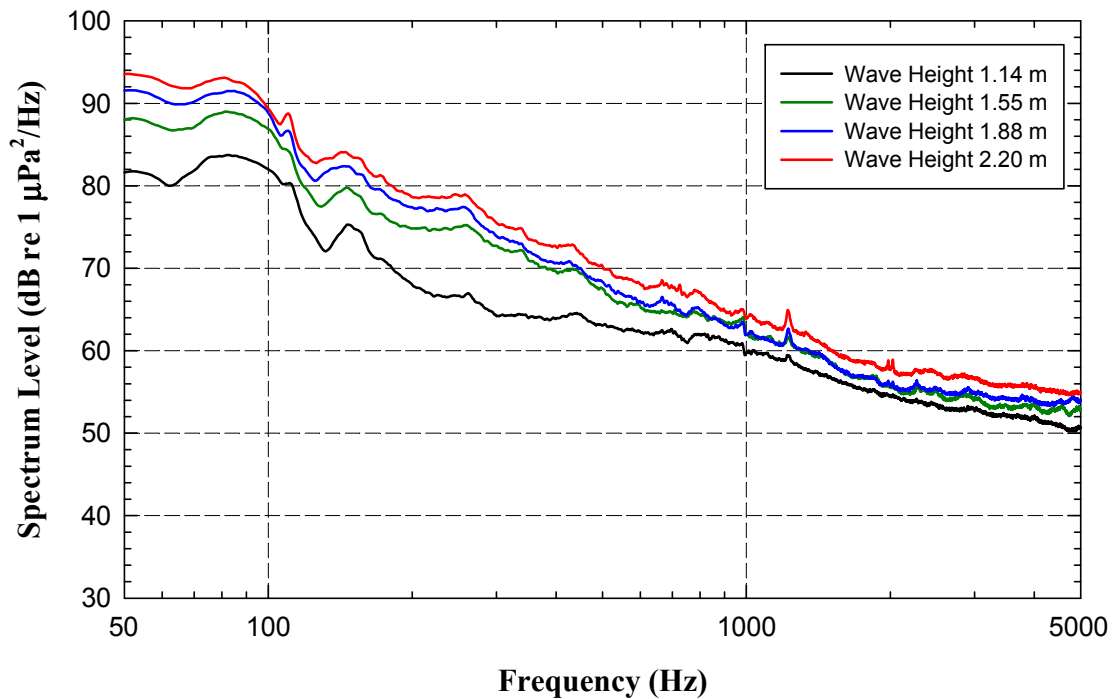


Figure 13. Continued.

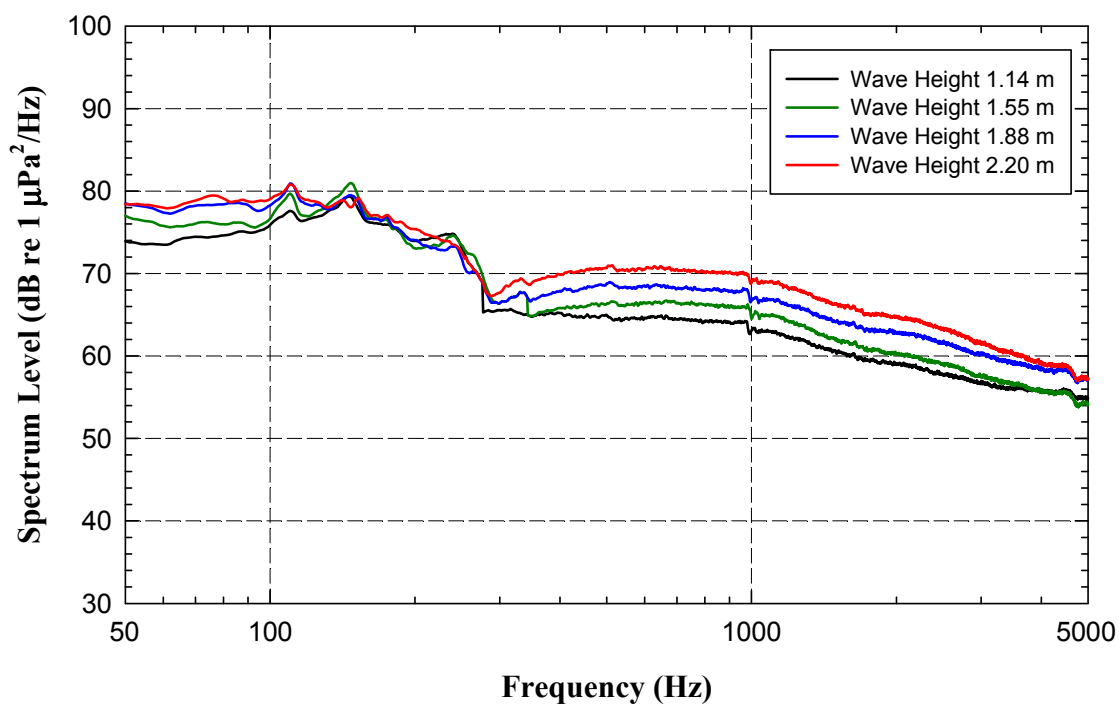


Figure 14. Photograph of breaking surf on Gyeongpo beach taken on December 23, 2012.

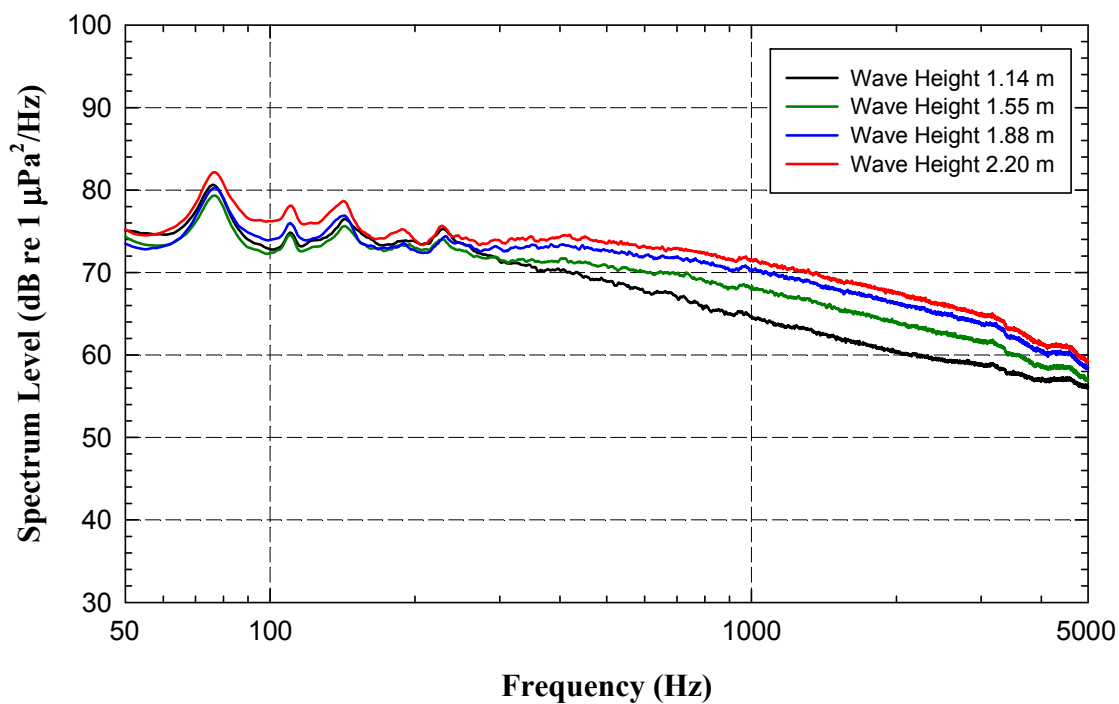


(a) Range 0.64 km

Figure 15. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various ranges from shoreline during December 22 to 24, 2012.



(b) Range 1.25 km



(c) Range 1.88 km

Figure 15. Continued.

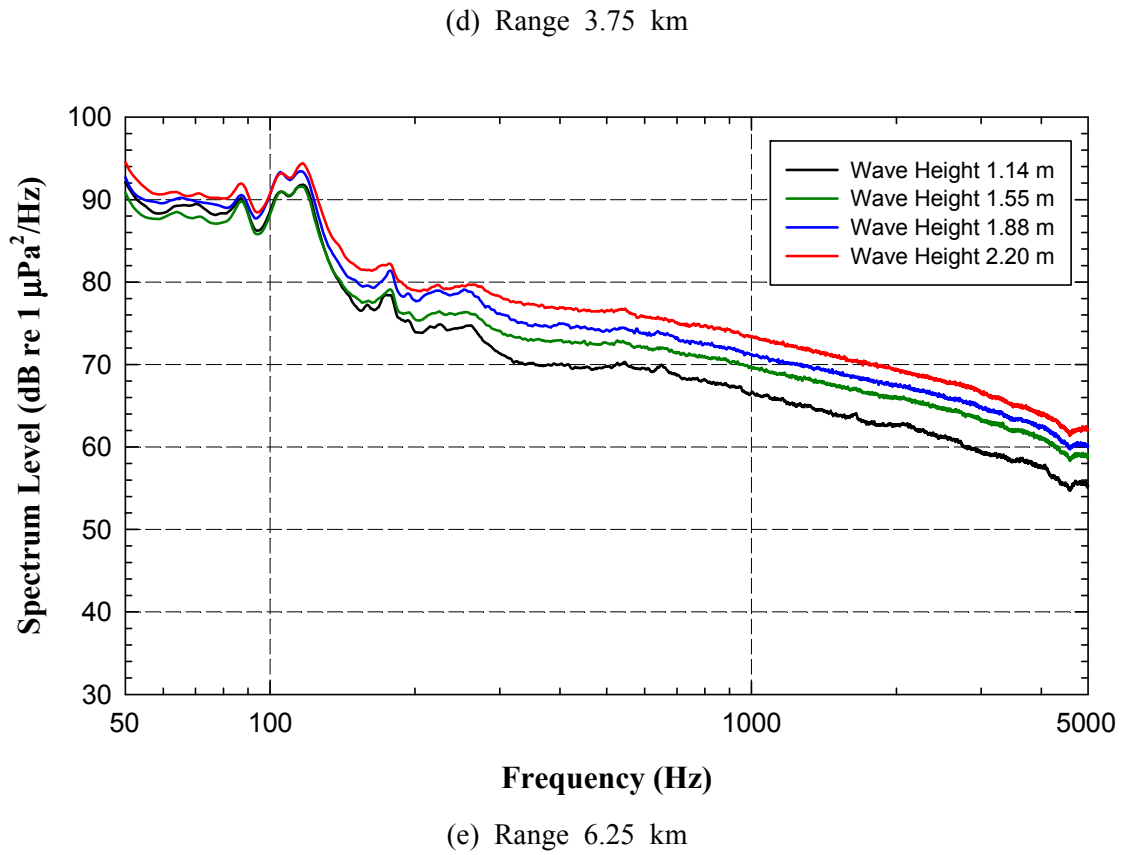
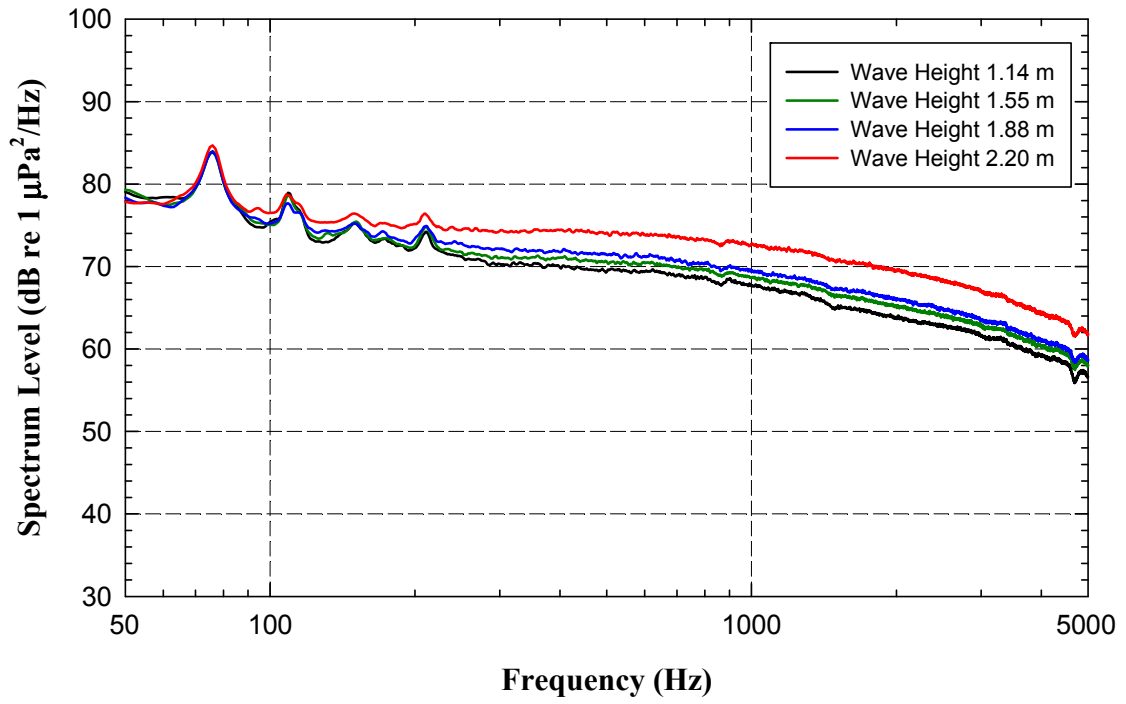
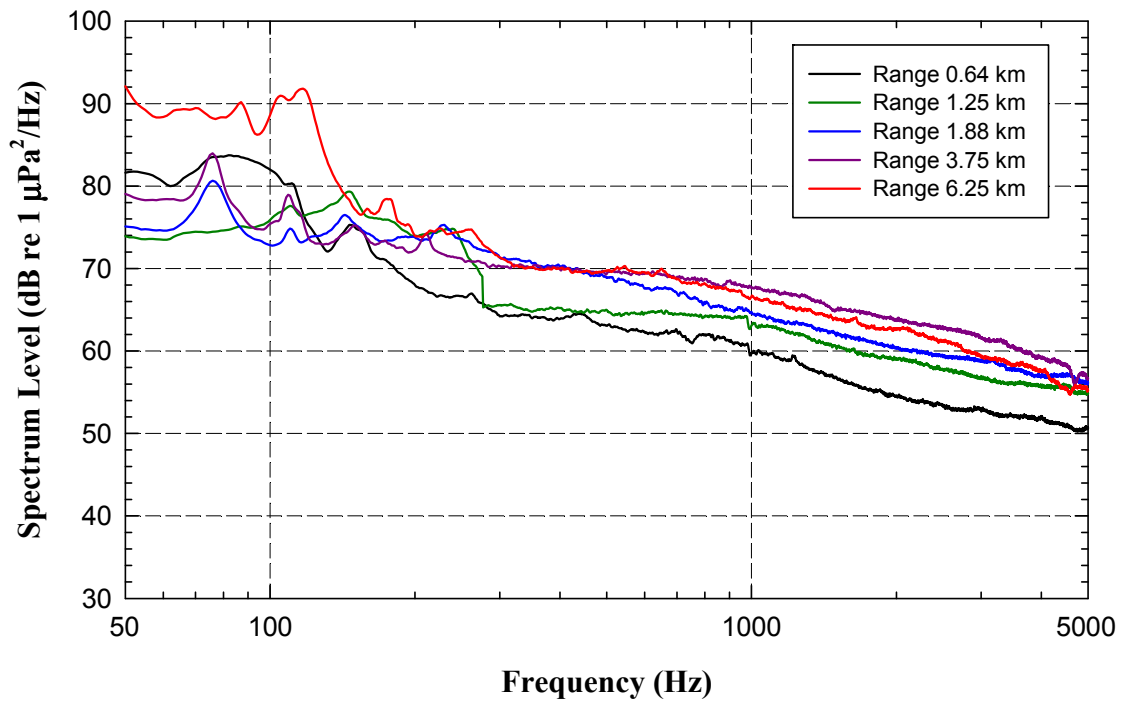
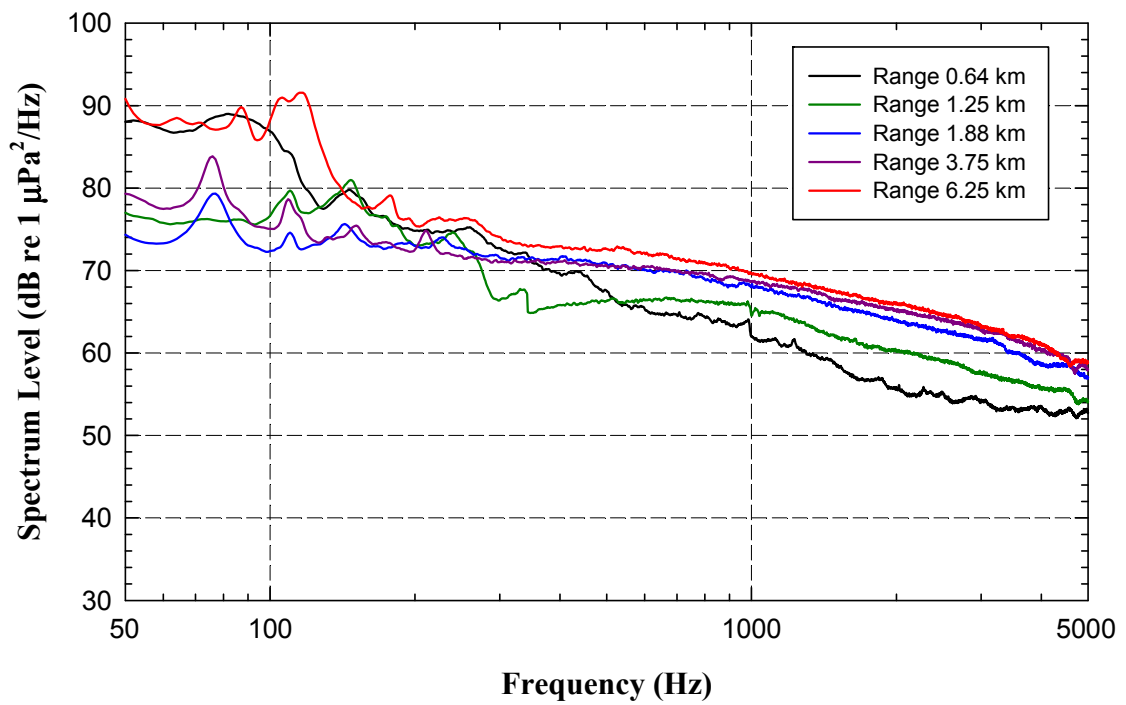


Figure 15. Continued.

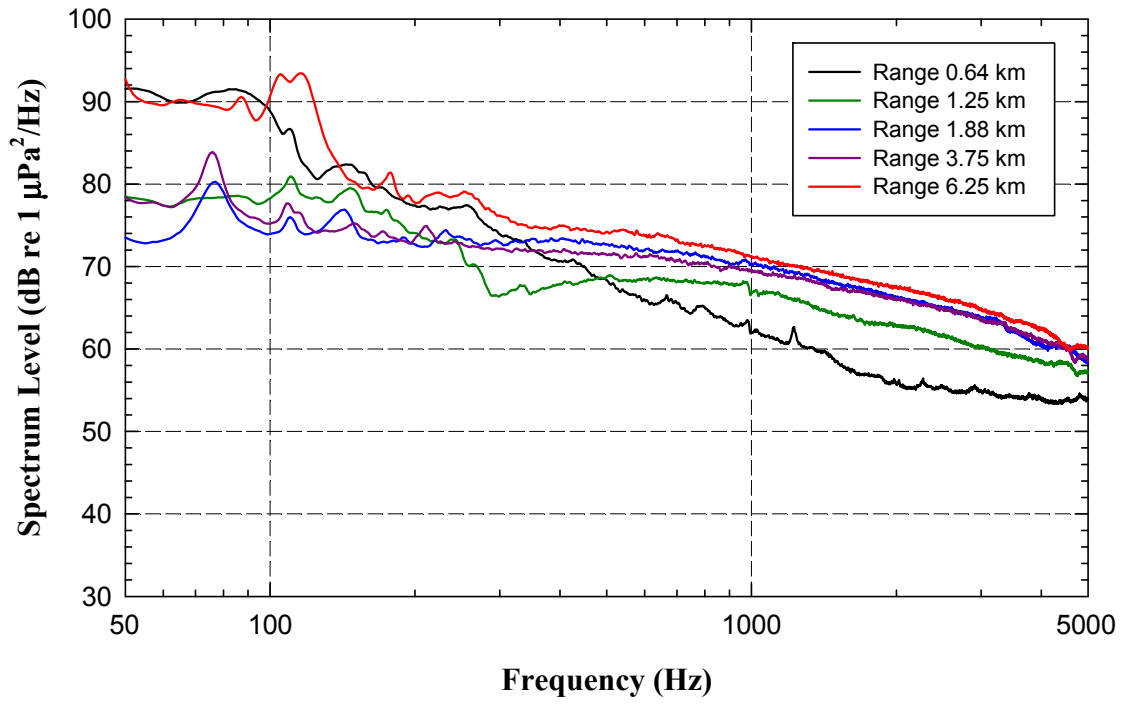


(a) Wave height 1.14 m

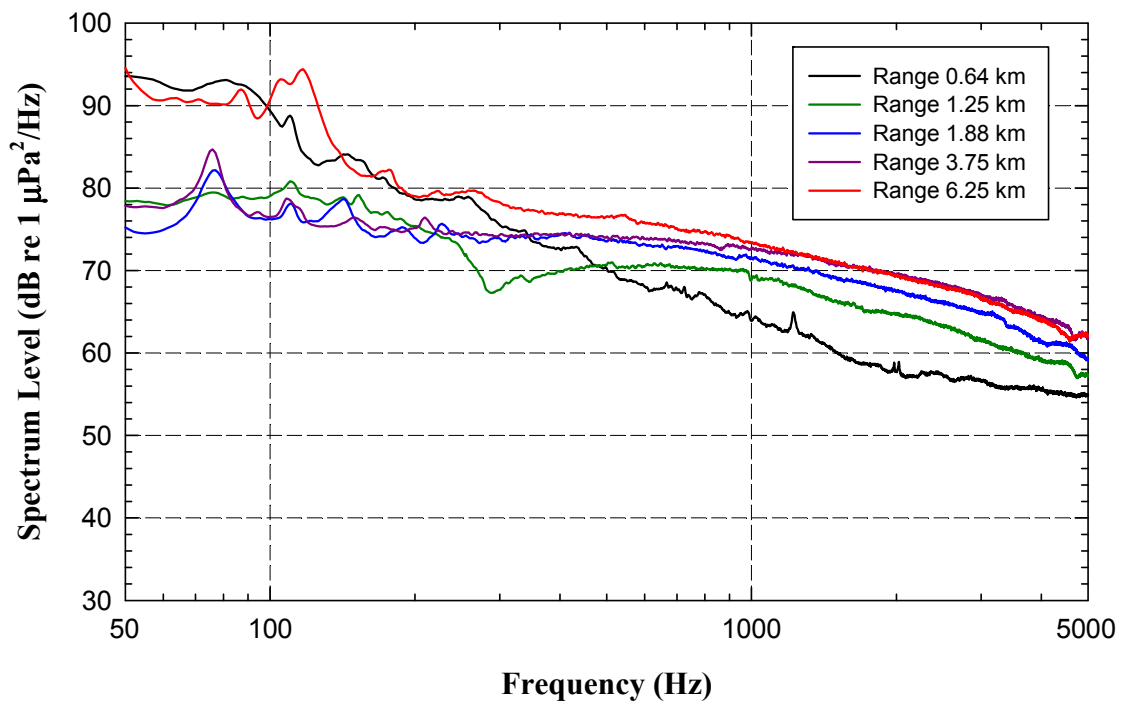


(b) Wave height 1.55 m

Figure 16. Spectrum levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during December 22 to 24, 2012.

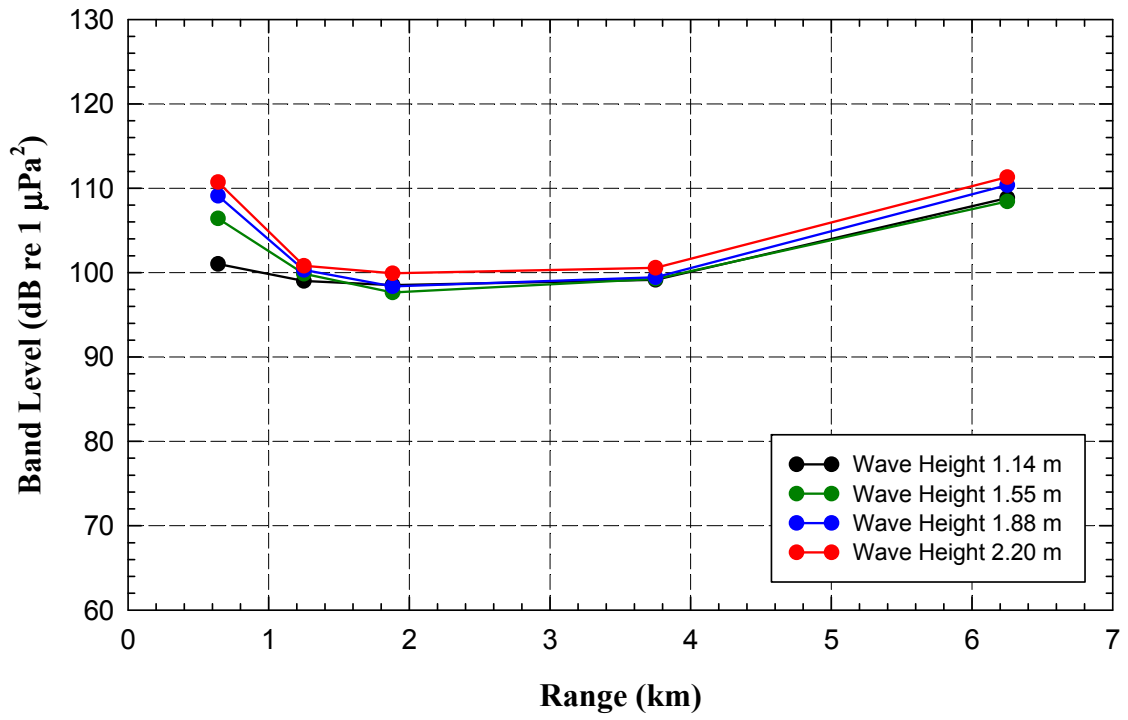


(c) Wave height 1.88 m

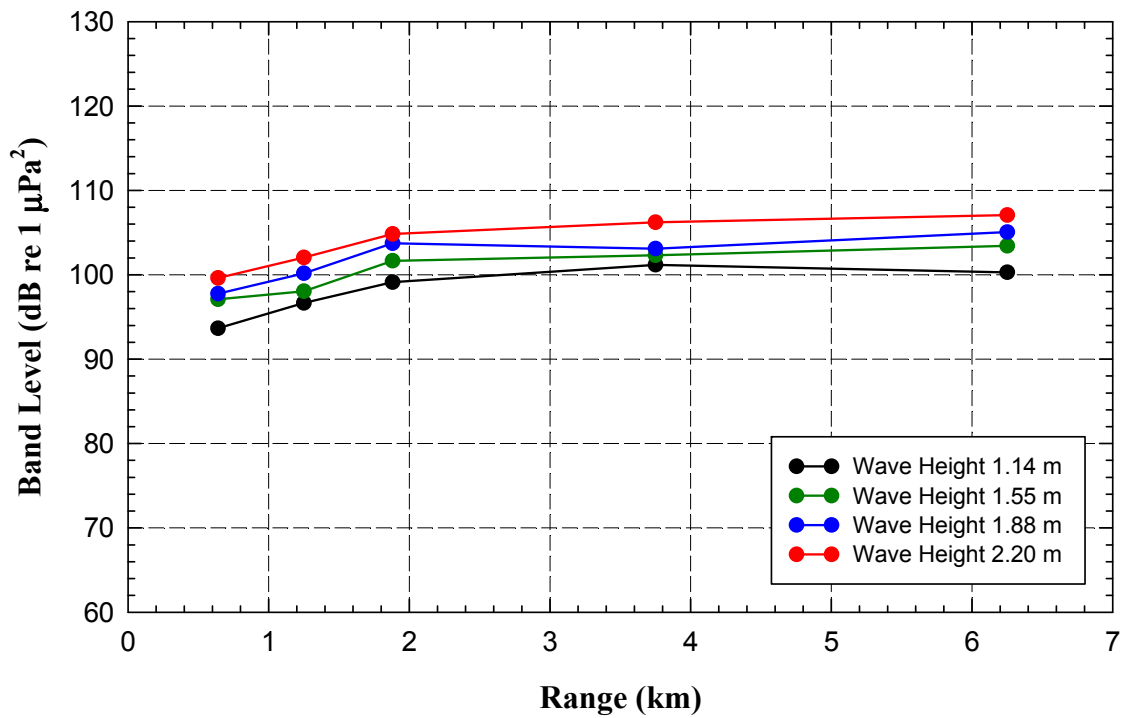


(d) Wave height 2.20 m

Figure 16. Continued.



(a) Frequency band 50~300 Hz



(b) Frequency band 300~5000 Hz

Figure 17. Band levels of oceanic ambient noise measured at various wave heights during December 22 to 24, 2012.

다. 고찰

수중물체 탐지용 소나에서 활용되는 주파수 대역의 해양잡음은 대양 심해의 경우 원거리 항행선박(distant shipping) 및 해표면상의 바람(sea surface wind) 등에 의해 주로 발생되고 있다(Urick 1984). 대체로 원거리에서 항행하는 선박은 주파수 20~200 Hz 대역의 해양잡음을 발생시키고, 해표면 위에서 부는 바람은 주파수 200 Hz~50 kHz 대역의 해양잡음을 발생시킨다. 그리고 바람에 의해 발생된 해양잡음은 해역에 따라 다소 차이가 있지만, 풍속이 2배 증가할 때마다 약 6 dB씩 증가하는 경향이 있다. 그러나 연안 천해의 경우 해양잡음은 원거리 항행선박 및 해표면상의 바람 등에 의해 발생될 뿐만 아니라 그 밖에도 연안 토목공사, 해상 어로작업, 해양 동물 및 서프 존의 쇄파 등에 의해서도 발생되고 있다.

쇄파잡음의 특성을 조사하기 위해 해양잡음은 해안선으로부터 전달거리별로 여러 곳에서 동시에 측정되었고, 해양잡음은 연안 토목공사, 해상 어로작업 및 해양 동물 등에 의해 발생된 것을 가능한 한 배제하도록 하여 주로 야간에 측정된 자료 위주로 분석되었다. 따라서 측정된 주파수 50~5000 대역의 해양잡음은 서프 존의 쇄파, 원거리 항행선박 및 해표면상의 바람 등에 의해 대부분 발생된 것으로 생각 된다.

음파전파 수치모델을 사용하여 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전파양상을 조사한 결과, 7월 초순의 경우는 12월 하순의 경우보다 쇄파잡음의 전파가 대체로 불량하게 나타났다. 그리고 7월 초순의 경우 쇄파잡음은 해저에서 반사를 되풀이하면서 해저 부근을 따라 주로 전파하였으나, 12월 하순의 경우 쇄파잡음은 해수층 전체에 걸쳐 전파하였다. 이것은 해수층 음속구조의 영향에 의한 것으로 생각된다. 즉 7월 초순의 경우 해수층 음속구조는 수심이 증가함에 따라 음속이 급격히 감소하여 마이너스의 큰 기울기를 갖고 있었다. 그러나 12월 하순의 경우 해수층 음속구조는 해표면으로부터 수심 60 m까지의 사이에서 혼합층이 형성되어 음속은 거의 일정하였다. 주파수 100~800 Hz 대역에서 쇄파잡음은 주파수가 높을수록 전파상태가 양호하였고, 주파수가 낮을수록 전파상태가 불량하였다. 이것은 주파수가 낮을수록 파장이 커지므로 쇄파잡음의 음원 부근에 형성된 얇은 수심의 영향을 받아 저주파의 쇄파잡음이 이곳에 갇혀 전파하기가 어렵기 때문으로 생각된다. 전체적으로 어느 주파수의 경우

에도 해안선으로부터 약 1 km 이상 떨어진 곳에서는 전달손실이 수십 dB로 매우 크게 나타났다. 이것은 쇄파잡음의 음원이 해안선으로부터 가깝고 얕은 수심에 위치(해안선으로부터 250 m 떨어진 곳 및 수심 1 m)하였다고 가정한 영향과 해저지질을 모래(음속 1721 m/s, 밀도 1957 kg/m³, 감쇠계수 0.51 dB/m/kHz)만으로 구성되었다고 가정한 영향 때문으로 생각된다.

2012년 7월 상순에 파랑의 파고가 0.1~0.7 m 범위내에서 변동하여 대체로 약한 쇄파가 발생할 때 해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 주파수 50~5000 Hz 대역의 해양잡음 스펙트럼 레벨은 약 42~82 dB의 범위내에서 변동하여 대체로 작게 나타났다. 그리고 해양잡음 스펙트럼 레벨은 동일한 거리일 때 파고가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 즉 파고 0.7 m인 경우의 해양잡음 스펙트럼 레벨이 가장 높게 나타났으며, 파고 0.1 m인 경우의 해양잡음 스펙트럼 레벨이 가장 작게 나타났다. 그리고 해양잡음 스펙트럼 레벨은 해안선으로부터의 거리에 따라 심하게 변동하였다. 이러한 해양잡음 스펙트럼 레벨의 변동은 파고가 작을수록 그리고 주파수 약 300 Hz 이하의 대역에서 주파수가 낮을수록 심하게 나타났다. 주파수 300~5000 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 파고가 동일할 때 해안선으로부터의 거리에 관계없이 거의 일정하였으나, 거리가 동일할 때 파고가 증가함에 따라 거의 일정한 비율로 증가하고 있었다. 그러나 주파수 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고의 경우 해안선으로부터의 거리에 따라 서로 다르게 변동하였다. 즉 해안선으로부터 거리 약 2.5 km 이내에서 거리가 증가함에 따라 해양잡음의 밴드 레벨은 급격히 감소하였으나, 거리 약 2.5 km 이상에서 거리의 증가와 함께 해양잡음 밴드 레벨은 서서히 증가하였다. 따라서 파랑의 파고가 0.7 m 이하일 때 서프 존에서 발생된 쇄파잡음은 해안선으로부터 거리 2.5 km 이내에서 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음에 지대한 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다. 한편 해안선으로부터 거리 2.5 km 이상에서 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음은 원거리 항행선박의 영향을 주로 받는 것으로 판단된다. 그리고 해안선으로부터 어느 거리의 경우에도 주파수 대역 300~5000 Hz의 해양잡음은 해표면상에서 부는 바람의 영향을 주로 받는 것으로 생각된다.

2012년 12월 하순에 파랑의 파고가 1.14~2.20 m 범위내에서 변동하여 비교적 강한 쇄파가 발생할 때 해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 주파수 50~5000 Hz 대

역의 해양잡음 스펙트럼 레벨은 약 50~95 dB의 범위내에서 변동하여 대체로 크게 나타났다. 그리고 해양잡음 스펙트럼 레벨은 파고가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 즉 파고 2.20 m인 경우의 해양잡음 스펙트럼 레벨이 가장 높게 나타났으며, 파고 1.14 m인 경우의 해양잡음 스펙트럼 레벨이 가장 작게 나타났다. 해양잡음 스펙트럼의 패턴은 해안선으로부터의 거리에 따라 서로 다르게 나타났다. 서프 존에 가까운 해안선으로부터 거리 0.64 km에서 측정된 해양잡음 스펙트럼 레벨은 주파수 300 Hz 이하의 대역에서 파고가 증가함에 따라 급격히 증가하였으나, 주파수 300 Hz 이상의 대역에서 파고의 증가와 함께 서서히 증가하였다. 그러나 해안선으로부터 거리 1.25 km 이상에서 측정된 해양잡음 스펙트럼 레벨은 주파수 300 Hz 이하의 대역에서 파고가 증가함에 따라 완만하게 증가하였으나, 주파수 300 Hz 이상의 대역에서 파고의 증가와 함께 급격히 증가하였다. 주파수 300~5000 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리가 증가함에 따라 서서히 증가하는 경향을 보였다. 특히 이러한 경향은 거리 약 2.5 km 이내에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 그러나 주파수 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리에 따라 심하게 변동하였다. 즉 해안선으로부터 거리 약 2.5 km 이내에서 거리가 증가함에 따라 해양잡음의 밴드 레벨은 급격히 감소하였으나, 거리 2.5 km 이상에서 거리가 증가함에 따라 밴드 레벨도 서서히 증가하였다. 따라서 파랑의 파고가 1.14 m 이상일 때 서프 존에서 발생된 쇄파잡음은 해안선으로부터 거리 2.5 km 이내에서 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음에 주로 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다. 한편 해안선으로부터 거리 2.5 km 이상에서 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음은 원거리 항행선박의 영향을 주로 받는 것으로 판단된다. 그리고 해안선으로부터 어느 거리의 경우에도 주파수 대역 300~5000 Hz의 해양잡음은 해표면상에서 부는 바람의 영향을 주로 받는 것으로 생각된다.

제 3 장 결 론

모래 해안의 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 특성을 밝히기 위하여 연구를 수행하였다. 서프 존에서 쇄파가 발생될 때 해양잡음을 해안선으로부터 전달거리별로 동시에 측정하고, 파랑의 파고 및 수중음속의 프로파일 등 주변환경을 관측하여 서프 존 부근의 해양잡음과 주변환경과의 관련을 조사하였다. 쇄파잡음과 관련된 해양잡음은 동해중부 연안해역인 강원도 강릉시 경포해안에서 2012년 7월 상순과 12월 하순 등 2회에 걸쳐 측정되었다. 그리고 수중음파 전파모델에 의한 수치계산을 수행하여 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전파특성을 조사함으로써 연안해역 해양잡음에 미치는 서프 존 쇄파잡음의 영향을 조사하였다.

음파전파 수치모델을 사용하여 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전파양상을 조사한 결과, 해수중 음속구조의 영향을 받아 7월 초순의 경우는 12월 하순의 경우보다 쇄파잡음의 전파가 대체로 불량하게 나타났다. 7월 초순의 경우 쇄파잡음은 해저에서 반사를 되풀이하면서 해저 부근을 따라 주로 전파하였으나, 12월 하순의 경우 쇄파잡음은 해수층 전체에 걸쳐 전파하였다. 그리고 주파수 100~800 Hz 대역에서 쇄파잡음은 주파수가 높을수록 전파상태가 양호하였고, 주파수가 낮을수록 전파상태가 불량하였다.

해안선으로부터 다양한 거리에서 측정된 주파수 50~5000 Hz 대역의 해양잡음 스펙트럼 레벨은 동일한 거리일 때 파고가 증가함에 따라 점차 증가하는 경향을 보였으며, 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리에 따라 심하게 변동하였다. 그리고 주파수 300~5000 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터의 거리가 증가함에 따라 서서히 증가하는 경향을 보였다. 그러나 주파수 50~300 Hz의 해양잡음 밴드 레벨은 동일한 파고일 때 해안선으로부터 거리 약 2.5 km 이내에서 거리의 증가와 함께 급격히 감소하였으나, 거리 약 2.5 km 이상에서 거리가 증가함에 따라 서서히 증가하였다.

서프 존에서 발생된 쇄파잡음은 해안선으로부터 거리 2.5 km 이내에서 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음에 주로 영향을 미치고 있었다. 한편 해안선으로부터 거리 2.5 km 이상의 경우 주파수 대역 50~300 Hz의 해양잡음은 원거리 항행선박의 영향을 주로 받고 있었다. 그리고 주파수 대역 300~5000 Hz의 해양잡음은 해표면상에서 부는 바람의 영향을 주로 받고 있었다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도

1. 연구개발목표 달성도

최종 연구개발목표: 쇄파에 의해 발생된 해양잡음 특성 연구		
연구내용	달성도(%)	비고
○ 서프 존 부근의 거리별 해양잡음 측정 및 특성분석	100	
○ 서프 존 부근의 해양잡음과 파고 및 수중음속 프로파일 등 주변환경과의 관련 조사	100	
○ 서프 존에서 발생된 쇄파잡음의 전달거리에 따른 전파특성 분석	100	
○ 서프 존의 쇄파잡음이 연안해역 해양잡음에 미치는 영향 조사	100	

2. 대외 기여도

서프 존의 부근에는 연안류가 항상 강하게 흐르고 있으므로 서프 존의 근방에서 장시간에 걸쳐 해양잡음을 측정하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 이것은 기존의 쇄파잡음에 관한 연구에서 실측자료를 바탕으로 행해진 것이 매우 부족한 현실로도 충분히 유추될 수 있다. 이번에 수행된 연구에서는 쇄파가 발생될 때 서프 존 부근의 여러 곳에서 해양잡음을 측정함과 동시에 파랑의 파고 및 수중음속 프로파일 등 주변환경을 관측하여 관련자료를 획득한 것은 그 자체로도 매우 의미있는 연구라 할 수 있다. 그리고 서프 존에서 발생된 쇄파잡음이 연안해역의 해양잡음에 미치는 영향을 분석한 것은 뜻있는 결과로 생각된다. 이러한 연구결과는 수중음향 장비개발의 기초자료로 활용될 뿐만 아니라 해양음향학의 발전에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

제 5 장 연구개발결과의 활용방안

- 점차 증가하고 있는 선박 통행량, 해저유전 개발, 해상 어로작업 및 연안 토목공사 등에 의한 인위적인 해양잡음이 점차 증가하고 있는 실정이다. 최근에 수중음파를 활용하는 대형 고래류 등의 생태환경을 양호하게 보전하기 위해 해양잡음에 관한 국제규제의 움직임이 제기되고 있다. 따라서 서프 존의 쇄파에 의해 발생된 해양잡음에 관한 연구는 연안해역에서 해양잡음의 발생 및 변동성을 연구하는 기초자료로 활용되어 연안해역의 해양잡음을 관리하는 데 쓰일 수 있으며, 해양잡음을 예측하고 평가하기 위한 해양잡음 수치모델링의 기초자료로 활용될 수 있다.
- 수중물체 탐지 및 수중통신 등의 장비에서 수중음파를 신호로 다룰 때 해양잡음은 신호 대 잡음비를 산출하기 위한 기초자료로 쓰이고 있다. 따라서 서프 존 부근의 해양잡음 특성에 관한 연구는 연안해역에서 수중음향 장비를 사용할 때 장비의 적용범위를 예측하는 데 활용될 수 있다. 또한 이러한 해양잡음 특성 연구는 연안해역에 새로운 수중음향 감시체계를 설치할 때 감시체계의 최대 탐지거리 및 최적 주파수 등 탐지성능을 예측하는 데 활용될 것이다.
- 자연적인 해양잡음은 해저지진, 해표면상의 바람과 강우, 서프 존의 쇄파, 어류 및 고래류 등의 해양동물에 의해 주로 발생되고 있다. 그리고 인위적인 해양잡음은 선박 통행량, 해저유전 개발, 해상 어로작업, 연안 토목공사 및 수중음향 장비의 소나 핑(sonar ping) 등에 의해 주로 발생되고 있다. 그런데 해양잡음은 발생원인에 따라 서로 다른 특성을 갖고 있다. 따라서 이러한 해양잡음 특성 연구는 해양잡음의 측정에 의해 해표면상의 풍속 및 강우량, 파랑의 파고 등 해양환경을 원격적으로 측정하는 데 활용될 수 있을 뿐만 아니라 해저지진 활동을 모니터링하는 데 사용될 수 있다.
- 다양한 어류와 고래류는 종에 따라 특이한 수중음파를 발생하고 있다. 특히 대형 고래류는 저주파의 강력한 수중음을 발생한다. 해수중에서 해양잡음을 수신하여 어류 및 고래류의 종류를 식별하고, 그것들의 자원량 및 이동경로를 추정하기 위한 연구가 주목을 받고 있다. 따라서 이러한 연안해역의 해양잡음 특성

연구는 해양잡음의 측정으로부터 고래류와 어류 등의 자원분포 및 이동경로를 추정하기 위한 기초자료로 활용될 것이다.

- 서프 존 부근의 해양잡음 특성 연구에 적용되었던 측정 및 분석방법은 대형 연구개발 사업으로 제안하려는 ‘해양잡음 및 선박 수중 방사잡음 모니터링 기반 기술 개발’의 기초자료로 활용될 수 있다 (별첨 1).

참고문헌

- Bardyshev, V.I. 2008. Underwater surf noise near sea coasts of different types. *Acoustical Physics*, 54. 814-822.
- Buckingham, M.J. and J.R. Potter, eds. 1995. Sea Surface Sound '94. Proceedings of the 1994 Lake Arrowhead Conference. World Scientific Publishing Co.
- Cho, S.-H. and J.-W. Choi. 2010. Measurements of breaking wave noise in the sea-cliff zone. *Jpn. J. Appl. Phys.* 49. 07HG05.
- Deane, G.B. 1997. Sound generation and air entrainment by breaking waves in the surf zone. *J. Acoust. Soc. Am.*, 102. 2671-2689.
- Deane, G.B. 1999. Acoustic hot-spots and breaking wave noise in the surf zone. *J. Acoust. Soc. Am.*, 105. 3151-3167.
- Deane, G.B. 2000. A model for the horizontal directionality of breaking wave noise in the surf zone. *J. Acoust. Soc. Am.*, 107. 177-192.
- Fabre, J.P. and J.H. Wilson. 1997. Noise source level density due to surf - Part II: Duck, NC. *IEEE J. Ocean Eng.*, 22, 434-444.
- Goslin, J., N. Lourenco, R.P. Dziak, D.R. Bohnenstiehl, J. Haxel, and J. Luis. 2005. Long-term seismicity of the Reykjanes Ridge (North Atlantic) recorded by a regional hydrophone array. *Geophys. J. Int.*, 162. 516-524.
- Kerman, B.R., ed. 1988. Sea surface sound: Natural mechanisms of surface generated noise in the ocean. Proceedings NATO Advanced Research Series Workshop 1987, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland.
- Kerman, B.R., ed. 1993. Natural Physical Sources of Underwater Sound. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland.
- Kim, B.-C. 2006. Development of a broadband self-recording hydrophone. *Ocean and Polar Research*, 28. 145-151.

- Means, S.L. and R.M. Heitmeyer. 2002. Surf-generated noise signatures: A comparison of plunging and spilling breakers. *J. Acoust. Soc. Am.*, 112. 481-488.
- Mori, K., H. Ogasawara, T. Nakamura, T. Tsuchiya, and N. Endoh. 2011. Design and convergence performance analysis of aspherical acoustic lens applied to ambient noise imaging in actual experiment. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 50. 07HG09.
- National Research Council. 2003. Ocean Noise and Marine Mammals. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 2005. Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects. National Academy Press, Washington, DC.
- Nystuen, J.A., S.E. Moore, and P.J. Stabeno. 2010. A sound budget for the southeastern Bering Sea: Measuring wind, rainfall, shipping, and other sources of underwater sound. *J. Acoust. Soc. Am.*, 128. 58-65.
- Sarah, J.B. and A.E. Hay. 1997. Ambient noise in the natural surf zone: Wave-breaking frequencies. *IEEE J. Ocean Eng.*, 22, 411-424.
- Stanford, K.M., C.G. Fox, and D.S. Clark. 1998. Long-range acoustic detection and localization of blue whale calls in the northeast Pacific Ocean. *J. Acoust. Soc. Am.*, 104. 3616-3625.
- Urick, R.J. 1983. Principles of Underwater Sound. Peninsula Publishing, Los Altos.
- Urick, R.J. 1984. Ambient Noise in the Sea. Peninsula Publishing, Los Altos.
- Wilson, O.B., S.N. Wolf, and F. Ingenito. 1985. Measurements of acoustic ambient noise in shallow water due to breaking surf. *J. Acoust. Soc. Am.*, 78. 190-195.
- Wilson, O.B., M.S. Stewart, J.H. Wilson, and R.H. Bourke. 1997. Noise source level density due to surf - Part I: Monterey Bay, CA. *IEEE J. Ocean Eng.*, 22, 425-433.

별첨 1. 연구개발사업 제안요구서 (RFP)

<p>과제명</p>	<p>해양잡음 및 선박 수중 방사잡음 모니터링 기반기술 개발</p>
<p>사업기간</p>	<p>2014. 7 ~ 2019. 6 (5년)</p>
<p>추정사업비</p>	<p>총 75억원 (15억원/년)</p>
<p>연구개발의 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최근 해양관련 국제규정에 의하여 에너지 절감과 동시에 해양 환경 보호기능이 강화되고 있으며, 해양잡음 증가추세에 따른 해양환경을 보호하기 위해 반드시 확보하여야 할 핵심기술임 ○ 선박 수중 방사잡음에 의한 해양환경 피해가 커짐에 따라 국제해사기구(IMO)에서 선박 방사잡음 규제를 빠른 시일내에 발효할 것으로 예상되고, 선박 방사잡음 저감기술의 필요성이 부각되므로 이에 따라 시급히 개발되어야 할 대응기술임 ○ 해양생태계 보호 및 국제 해양잡음 규제논의를 주도하고 효율적으로 대응하기 위해서는 연안해역의 해양잡음 현황파악 및 모니터링이 필수적임 ○ 해양생태계 보호에 적극 동참하고 국제사회에서 해양환경 보전활동에 선도적인 역할을 강화할 필요가 있음 ○ 국내 해양생태계 보호 및 해양잡음 관련 분쟁에 대비하기 위해 해양잡음 환경기준에 관한 연구가 필요하며, 이에 따라 선행적으로 연안해역 해양잡음 모니터링이 필수적임
<p>연구개발 목표</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국제사회의 해양잡음 규제에 대비하고, 국내 해양생태계 보호를 위한 해양잡음 및 선박 수중 방사잡음 모니터링 기반기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 세부 내용 <ul style="list-style-type: none"> • 해양잡음 및 선박 수중 방사잡음 계측장비 개발 • 연안해역 해양잡음 모니터링 기반시설 및 데이터베이스 구축 • 해양잡음 예측 모델링 기술 개발 • 해양생태계에 미치는 해양잡음 영향 조사

연구개발 내용	<p>[1] 해양잡음 및 선박 수중 방사잡음 계측장비 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 해양잡음 및 선박 수중 방사잡음을 연속적으로 측정하여 자료를 획득하고 신호처리한 후 음향자료를 전송하는 해양잡음 계측장비를 개발하여 운용함 - 해양잡음 계측장비 설계 기술 - 해양잡음 계측장비 운용 기술 - 해양잡음 자료 신호처리 및 전송 기술 <p>[2] 연안해역 해양잡음 모니터링 기반시설 및 데이터베이스 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주요 연안항로 및 어류 산란장 등 특정 연안해역을 선정하여 해양잡음 모니터링 기반시설을 구축하여 해양잡음을 장기간에 걸쳐 연속적으로 측정함으로써 해양잡음 데이터베이스를 구축하고 해양잡음 변동성 및 발생원인 등 특성을 분석함 - 연안해역 해양잡음 모니터링 기반시설 구축 - 연안해역 해양잡음 데이터베이스 구축 - 연안해역 해양잡음 변동성 및 발생원인 등 특성분석 <p>[3] 해양잡음 예측 모델링 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 해상상태 및 강우강도 등 자연적인 주변환경을 고려하고, 선박통행량 및 어로활동 강도 등 인위적인 산업활동을 고려하여 연안해역에 적합한 해양잡음 예측 모델링 기술을 개발함 - 해상상태 및 강우강도 등 자연적인 소음원에 의한 해양잡음 모델링 기술 - 선박통행량 및 어로활동 강도 등 인위적인 잡음원에 의한 해양 잡음 모델링 기술 <p>[4] 해양생태계에 미치는 해양잡음 영향 조사</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주요 어류의 청각을 측정하고, 해양잡음에 대한 어류의 행동반응을 조사하여 해양생태계에 미치는 해양잡음의 영향을 조사함 - 주요 해산어류의 청각능력 측정 및 분석 - 주요 해산어류의 해양잡음 영향 조사 - 해양생태계에 미치는 해양잡음 영향 분석
--------------------	---

<p>기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국제기구 해양잡음 규제에 관한 기술선점 및 자료확보를 통한 규제제정 논의 선도 ○ 해양잡음 계측장비 제작 표준기술 확보 및 관련 국내 기자재 산업 활성화 ○ 국내 해양잡음 환경실태 조사 및 피해 기준자료 확보를 통한 국내 해양환경 장기계획 기틀 마련 ○ 해양생태계 보존 및 해양잡음 분쟁과 관련한 기준 마련에 활용
<p>성과지표 및 목표치</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양잡음 및 선박 수중 방사잡음 계측장비 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 해양잡음 2.0 dB 이하 레벨 계측 ○ 해양잡음 모니터링 장비 연속운용 <ul style="list-style-type: none"> - 6개월 이상의 장기 연속 모니터링 ○ 환경보전 해양잡음 기준설정 <ul style="list-style-type: none"> - 주요 해산어류 해양잡음 노출피해 기준설정 ○ 해양잡음 데이터베이스 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 최소 세 곳 사이트 데이터베이스 구축