

BSPE 00370-717-1

연안해역에 있어서 고주파 주위잡음에 관한 연구

A study on the high frequency
ambient noise in the coastal region

1994. 7.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “연안해역에 있어서 고주파 주위잡음에 관한 연구” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

1994년 7월

한국해양연구소

연구책임자 : 김봉채 (해양물리연구부)

연구 원 : 최복경, 김대원

요 약 문

I. 제 목

연안해역에 있어서 고주파 주위잡음에 관한 연구

II. 연구개발의 목적

연안해역에 있어서 고주파 대역을 포함한 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨의 변동을 조사함과 동시에 풍속과 주위잡음 레벨과의 관련에 관하여 조사함으로써 주위잡음의 특성을 이해하고자 함

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨의 평균 및 표준편차 조사
2. 주파수 대역별 주위잡음 스펙트럼 패턴 조사
3. 해표면에서의 풍속과 주위잡음 레벨과의 관련 분석

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

연안해역에 있어서 주위잡음 스펙트럼 레벨의 기초자료로 사용함과 동시에 주위잡음에 관한 수치모델을 개발하기 위한 기초자료로 활용

SUMMARY

I. Title

A study on the high frequency ambient noise in the coastal region

II. Objectives of the study

The goal of this study is to understand the characteristics of the high frequency ambient noise in the shallow water through the investigation of ambient noise level variability and the analysis of relationship between wind speeds and ambient noise levels.

III. Contents

1. Average and standard deviation of ambient noise level
2. Spectral patterns of ambient noise
3. Relationship between wind speeds and ambient noise levels

IV. Suggestions

The results of this study provide the basic data on ambient noise level in the shallow water and also are available to develop the numerical model on ambient noise in the coastal ocean.

목 차

요약문	3
영문 요약문	5
그림목차	11
표목차	12
제 1 장 서론	13
제 2 장 측정 및 분석 방법	14
제 3 장 결과 및 고찰	17
제 4 장 결론	41
참고문헌	42

CONTENTS

Summary	5
List of Figures	11
List of Table	12
Chapter 1. Introduction	13
Chapter 2. Methods of measurement and analysis	14
Chapter 3. Results and discussion	17
Chapter 4. Conclusions	41
References	42

List of Figures

Fig. 1. Hydrophone floating system	16
Fig. 2. Blockdiagrams of recording and spectrum analysis system	16
Fig. 3. Histogram of sea state	24
Fig. 4. Average of measured ambient noise level	24
Fig. 5. Average and standard deviation of measured ambient noise level	25
Fig. 6. Relationship between wind speeds and noise levels (water depth : 30 m)	26
Fig. 7. Relationship between wind speeds and noise levels (water depth : 100 m)	32
Fig. 8. Ambient noise spectra calculated by using the coefficients in Table 1 (water depth : 30 m)	38
Fig. 9. Ambient noise spectra calculated by using the coefficients in Table 1 (water depth : 100 m)	38
Fig. 10. Average deep water ambient noise spectra	39

List of Table

Table 1. Coefficients A and B of straight lines $NL=A+B \cdot W$ derived from a least-square fit to ambient noise levels against wind speeds	40
--	----

제 1 장 서론

해중에서의 주위잡음 레벨 (ambient noise level)은 풍속, 강우량 등 환경의 파라미터 (parameter)를 모니터링 (monitoring)하기 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 뿐만 아니라¹⁾⁻²⁾ 소나 (sonar)와 같은 수중음향 계측기를 설계할 때 신호 대 잡음비 (signal to noise ratio)를 산출하는 데 필요한³⁾ 입력인자중의 하나이다. 원양심해에서의 주위잡음은 1940년대에 측정된 자료를 정리함으로써 많은 사실이 밝혀지게 되었다. 이 결과에 의하면, 20~500 Hz의 주파수 대역에서는 원거리 항행선박 (distant ship traffic)이 주된 잡음원이고, 500 Hz~50 kHz 주파수 대역에서는 주로 해표면에서의 바람 (wind)에 의하여 발생하는 것으로 나타났다⁴⁾. 그러나 연안해역에 있어서의 해수중 주위잡음은 시공간적으로 심하게 변동할 뿐만 아니라 항행선박, 바람 등에 의한 잡음 외에도 수중동물, 해변에서 부서지는 파도 등의 잡음도 첨가되므로 매우 복잡하리라 예측된다. 그리고 한반도 주변 연안해역 뿐만 아니라 타 연안해역에서 조사된 주위잡음도 대부분 20 kHz 이하의 주파수 대역에서 그 특성을 보고하고 있다⁵⁾. 따라서 연안해역에 있어서 20 kHz 이상의 고주파 대역을 포함한 주위잡음을 조사하여 그 특성을 밝히는 것은 기존자료로서의 이용 뿐만 아니라 해양에서의 주위잡음 발생기구의 해석을 위하여도 필요하리라 생각된다.

따라서 여기에서는 동해 중부해역의 연안역에서 비교적 장기간에 걸쳐 해수중 주위잡음을 측정하여 고주파 대역을 포함한 주위잡음 스펙트럼 레벨 (ambient noise spectrum level)의 변동을 조사함과 동시에 풍속과 주위잡음 레벨과의 관련에 관하여 조사함으로써 연안해역에 있어서 고주파 주위잡음의 특성을 밝히고자 하였다.

제 2 장 측정 및 분석 방법

이 연구에 사용된 해수중 주위잡음의 측정 및 분석 방법에 대하여 크게 두 과정으로 나누어 생각할 수 있다. 하나는 해상에서 해수중 주위잡음을 녹음하는 과정이고, 다른 하나는 녹음된 주위잡음의 스펙트럼을 분석하여 처리하는 과정이다.

먼저, 해수중 주위잡음의 녹음은 다음과 같은 방법으로 실시하였다. 화물선 및 여객선의 정기항로로부터 비교적 멀리 떨어져 있는 동해 중부해역의 속초연안(수심 : 200 m)에서 1992~1993년 중에 총 8 회에 걸쳐 조사선상에서 해수중의 주위잡음을 녹음하였다. 이러한 때 회의 해수중 주위잡음의 녹음에는 약 24 시간 동안 실시하였다. 이 때에는 그림 1과 같이 수중 마이크로폰(hydrophone)을 각각 수심 30 m 및 100 m에 위치하도록 하여 동시에 주위잡음을 수파하였으며, 그림 2의 녹음 시스템을 사용하여 매 시간당 10분간 녹음하였다. 해수중 주위잡음을 녹음하는 동안 조사선에서 방사되는 잡음을 가능한 한 줄이기 위하여 조사선의 주기관, 보조기관 등 선내 잡음원의 가동을 중지하였다. 그리고 측전지에서 공급된 직류를 인버터(inverter)에서 교류로 변환시켜 이것을 측정기의 전원으로 사용하였다. 수중 마이크로폰에서 포착된 해수중 주위잡음을 측정용 증폭기(measuring amplifier)로 적정한 레벨이 되도록 증폭시킨 다음, 테이프 레코더(tape recorder)를 사용하여 녹음하였다. 그리고 해수중 주위잡음을 녹음하는 동안의 주위환경으로서 매 5분의 간격으로 풍향풍속계에 의하여 풍속을 측정하였으며, 레이더(radar)에 의하여 조사선 주위에서 항행하는 선박의 척수를 조사하였다.

여기에 사용된 수중 마이크로폰(Bruel & Kjaer사, Model 8101)은 모든 방향에 대하여 수파감도(receiving sensitivity)가 거의 일정한 무지향성

으로서 주파수 1 Hz~60 kHz의 대역에서 평탄한 주파수 특성 (± 2 dB 이내)을 갖고 있다. 그리고 측정용 증폭기 (Bruel & Kjaer사, Model 2636)는 주파수 2 Hz~200 kHz의 대역에서 그 특성 (± 0.5 dB 이내)이 평탄하고, 테이프 레코더 (METRUM사, Model RSR 512)는 주파수 대역 DC~80 kHz에서 평탄한 특성을 갖고 있다.

다음에, 해수중 주위잡음의 스펙트럼 분석은 실험실에서 그림 2의 분석 시스템을 사용하여 실시하였다. 녹음된 해수중 주위잡음을 테이프 레코더로 재생하여, 이것을 FFT 분석기 (FFT analyzer, AND사, Model AD-3525)에 의하여 1/3 옥타브 밴드 (octave band)로 25 Hz~50 kHz의 34개 중심 주파수 (center frequency)에서 분석치를 구하였다. 이 때의 분석치들은 FFT 분석기에 내장된 Hanning window를 사용하여 overlapping 75 %로 256 개를 선형평균함으로써 얻어졌다. 얻어진 분석치에 수중 마이크로폰의 수파감도, 측정용 증폭기의 증폭도 (gain) 및 스펙트럼 분석의 밴드폭 (band width)을 보상하여 각각의 중심 주파수에서의 스펙트럼 레벨을 구하였다. 여기에서는 1 μ Pa을 0 dB로 하였다. 그리고 이 연구에서는 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨의 자료로서 조사선을 중심으로 반경 9 마일 이내에 항행선박이 없을 경우, 해표면에 비가 내리지 않을 경우 및 돌고래 등 수중 생물잡음이 우세하지 않을 경우만을 사용하였다.

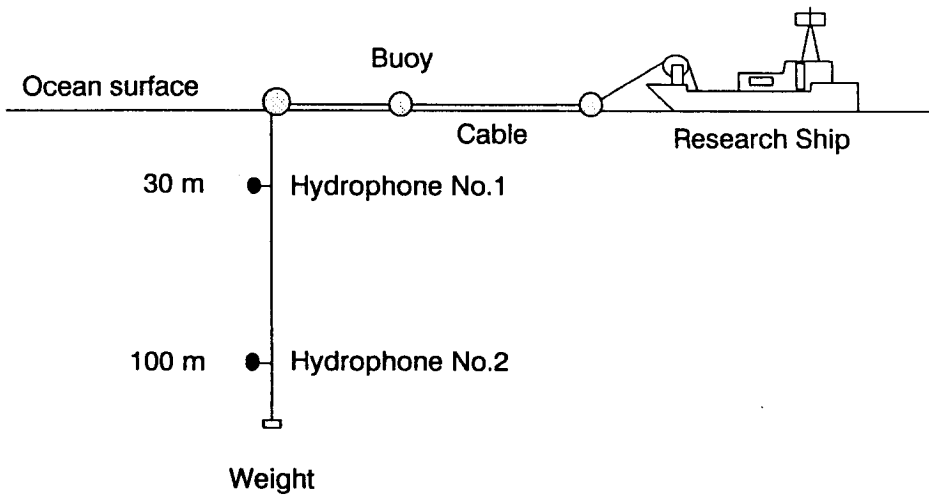


Fig. 1. Hydrophone floating system.

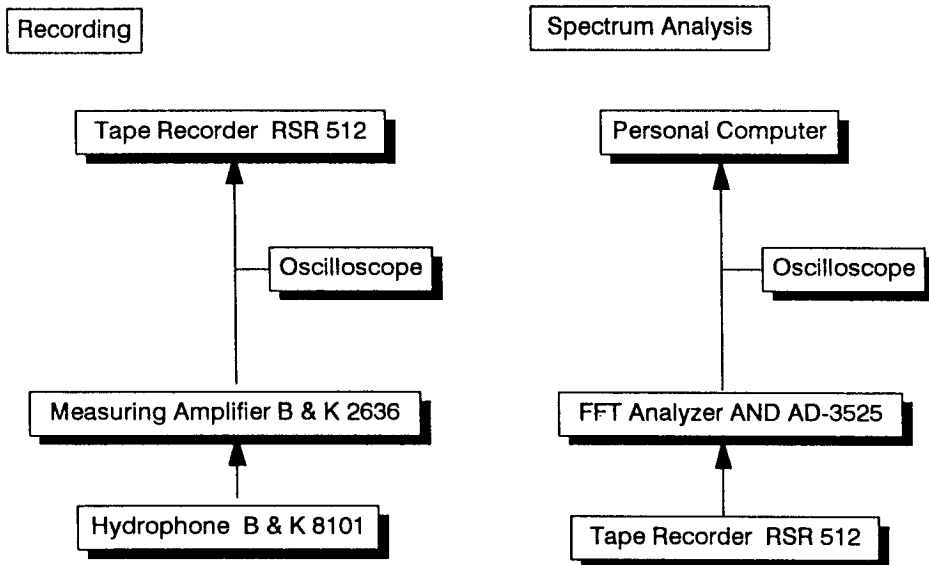


Fig. 2. Blockdiagrams of recording and spectrum analysis system.

제 3 장 결과 및 고찰

먼저, 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨의 자료가 얻어졌을 때의 주위환경으로서 해상상태 (sea state)의 상대도수 분포를 그림 3에 나타내었다. 여기에서는 총 74 개의 해상상태의 자료를 사용하였다. 이 결과에 의하면, 해상상태 4 (풍속 17~21 knots)의 상대도수가 0.28로 가장 크게 나타났다. 그리고 그 다음으로 해상상태 3 (풍속 11~16 knots) 및 해상상태 1 (풍속 4~6 knots)의 상대도수가 각각 0.23 씩이었으며, 해상상태 1/2 (풍속 1~3 knots)의 경우가 0.11, 해상상태 2 (풍속 7~10 knots)의 경우가 0.08이었고, 해상상태 5 (풍속 22~27 knots)의 경우가 0.07로 가장 작게 나타났다.

이러한 해상상태의 조건하에서 얻어진 수심별 (수심 30 m 및 100 m) 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨의 평균치를 그림 4에 나타내었으며, 각각의 수심 (수심 30 m 및 100 m)에 있어서 주위잡음 스펙트럼 레벨의 평균치 및 표준편차를 각각 그림 5 (a)~(b)에 나타내었다. 이 그림에서는 1/3 옥타브 밴드의 각각의 중심 주파수에 있어서 주위잡음 레벨의 평균치를 중심으로 증가 및 감소하는 방향으로 표준편차의 범위를 동시에 표시하였다 (즉, 평균치±표준편차). 그리고 여기에서는 해수중 주위잡음을 녹음한 조사선을 중심으로 반경 9 마일 이내에 항행선박이 없을 경우, 해표면에 비가 내리지 않을 경우 및 돌고래 등 수중 생물잡음이 우세하지 않을 경우 등 총 74 개의 주위잡음 스펙트럼 레벨의 자료를 통계처리하여 사용하였다.

우선, 그림 4로부터 수심의 차이 (즉, 수심 30 m와 100 m)에 의한 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨 평균치의 차이가 그다지 크게 나타나고 있지 않음을 알 수 있다. 그러나 주파수 125 Hz 이하의 대역 및 16 kHz 이상의 대역에서는 수심 100 m에서의 주위잡음 레벨이 수심 30 m에서의 레벨

보다 약간 크게 나타나고 있지만, 그 이외의 주파수 대역에서는 수심 30 m에서의 주위잡음 레벨이 수심 100 m의 레벨보다 약간 크게 나타나고 있다. 비록 작은 값이더라도 수심에 따라 주위잡음 레벨에 있어서 차이가 생기는 원인에 대하여 이 연구에서는 밝힐 수가 없지만, 이러한 문제는 주위잡음 측정시 보다 정밀하고 다양한 주위환경을 동시에 측정함으로써 구명할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 5 (a)로부터 수심 30 m에 있어서 해수중 주위잡음 레벨 평균치의 스펙트럼 패턴 (spectrum pattern)을 자세히 살펴보면, 주파수 대역 25 ~500 Hz에서는 약 - 6.5 dB/oct의 기울기로 주파수의 증가와 함께 주위잡음의 레벨이 감소하였다. 그리고 500 Hz~1 kHz의 주파수 대역에서는 약 - 3.2 dB/oct, 1~31.5 kHz의 대역에서는 약 - 5.5 dB/oct, 31.5~50 kHz의 대역에서는 약 - 2.9 dB/oct의 기울기로 주위잡음의 레벨이 각각 저하하였다. 그리고 그림 5 (b)로부터 수심 100 m에 있어서 주위잡음 스펙트럼 레벨의 평균치는 주파수 대역 25~160 Hz에서 약 - 8.8 dB/oct, 160 Hz~31.5 kHz의 대역에서 약 - 5.1 dB/oct, 그리고 31.5~50 kHz의 대역에서 - 2.3 dB/oct의 기울기로 주파수가 증가함에 따라 각각 감소하였다. 원양심해의 경우 일반적인 해수중 주위잡음의 스펙트럼 패턴으로서 주파수 대역 20~500 Hz의 대역에서는 주로 원거리 항행선박에 의하여 발생한 것으로 다소 불규칙한 변동을 보이고, 500 Hz~50 kHz의 대역에서는 주로 해표면에서의 바람에 의하여 발생한 것으로 약 - 5~- 6 dB/oct의 기울기를 갖고 있는 것으로 알려져 있다³⁾. 이 연구에서 얻어진 연안 천해역에서의 해수중 주위잡음 측정결과를 이러한 원양심해의 자료와 비교하여 보면, 우선 절대적인 주위잡음 레벨에 있어서는 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 연안역에서의 주위잡음 레벨이 원양심해보다 약 10~20 dB 정도 높게 나타났다. 그러나 연안역에서의 주위잡음 스펙트럼 패턴은 주파수 대역 25~500 Hz에서 다소 불규칙한 변동을 보였고, 그리고 500 Hz~31.5 kHz의 대역에서 약 - 5~- 6 dB/oct의 기울기를 갖고 있어 원양심해의 그것과 매우 비슷하게 나타났다. 다만, 특이하게 31.5~50 kHz의 고주파 대역

에서 연안역의 주위잡음 레벨 기울기가 약 $-2 \sim -3$ dB/oct로 원양심해의 그것보다 작게 나타났다.

해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨의 표준편차를 그림 5 (a)~(b)로부터 자세히 살펴보면, 수심 30 m의 경우, 주위잡음 레벨의 표준편차는 3.4~8.2 dB의 범위내에 있었다. 그리고 주파수 1 kHz에서 표준편차가 3.4 dB로 가장 작은 값을 보인 반면, 주파수 25 Hz에서 8.2 dB로 가장 큰 값을 보였다. 수심 100 m에 있어서 해수중 주위잡음 레벨의 표준편차는 2.6~8.1 dB의 범위내에 있었으며, 주파수 50 kHz에서 2.6 dB로 가장 작았고, 주파수 25 Hz와 31.5 Hz에서 8.1 dB로 가장 크게 나타났다.

주파수 25 Hz로부터 50 kHz까지의 $1/3$ 옥타브 밴드의 34 개 중심 주파수에 있어서 해수중 주위잡음 레벨과 풍속과의 관계를 조사한 다음, 대표적인 것만을 택하여 수심 30 m의 경우에는 그림 6 (a)~(l)까지에, 그리고 수심 100 m의 경우에는 그림 7 (a)~(l)까지에 나타내었다. 이들 그림에서 ●는 실측치를 나타내고 있으며, 여기에서도 각각의 경우에 74 개의 자료가 사용되었다. 그리고 풍속과 특정 주파수에 있어서 주위잡음 레벨과의 관계를 다음과 같은 1차식으로 근사하여 최소자승법 (least square method)으로부터 그 관계식의 계수를 구하여 이들 그림에서 실선으로 표시하였다⁶⁾.

$$NL = A + B \cdot W$$

여기서, NL은 특정 주파수에 있어서 해수중 주위잡음의 레벨 (dB), A는 상수 (dB), B는 1차항의 계수 (dB/knots), W는 풍속 (knots)으로서 그 범위는 0~30 knots이다. 그리고 이 계산결과를 표 1에 요약하여 나타내었다. 이 표에는 풍속과 특정 주파수의 주위잡음 레벨과의 상관계수가 표시

되어 있으며, 특정 주파수에 있어서 1차식으로 근사한 경우에 대한 실측치의 표준편차도 나타내고 있다.

그림 6 (a)~(l) 및 표 1로부터 수심 30 m의 경우에 있어서 풍속과 해수중 주위잡음 레벨과의 관계를 조사한 결과에 의하면, 먼저 풍속과 주위잡음 레벨과의 상관계수는 주파수 160~200 Hz에 있어서 약 0.3 이하로 주위잡음 레벨은 풍속에 대하여 거의 직접적인 상관관계를 보이지 않았다. 그러나 주파수 25~50 Hz 및 630 Hz~50 kHz에서는 상관계수가 약 0.7 이상으로 해수중 주위잡음 레벨은 풍속과 매우 높은 상관이 있는 것으로 나타났다. 다음에, 풍속에 대하여 주위잡음 레벨을 1차식으로 근사한 경우의 1차항의 계수 B는 0.16~0.99 dB/knots의 범위내에 있었으며, 주파수에 따라 그 값이 다르게 나타났다. 이것을 주파수 대역별로 자세히 살펴 보면, 주파수 대역 160~250 Hz에서 1차항의 계수는 약 0.2~0.3 dB/knots, 주파수 대역 50~125 Hz 및 315 Hz~6.3 kHz에서는 약 0.4~0.5 dB/knots, 주파수 대역 40 Hz 및 8~50 kHz에서는 약 0.6~0.7 dB/knots 그리고 주파수 대역 31.5~40 Hz에서는 약 0.9~1.0 dB/knots를 갖고 있었다. 또한 각각의 주파수에 있어서 1차식으로 근사하였을 때 실측치의 표준편차는 1.8~5.1 dB의 범위내에 있었으며, 주파수 20 kHz에서 표준편차가 1.8 dB로 가장 작게 나타났고, 주파수 80 Hz에서 5.1 dB로 가장 크게 나타났다.

수심 100 m의 경우에 대하여 풍속과 주위잡음 레벨과의 관계를 조사한 그림 7 (a)~(l) 및 표 1에 의하면, 풍속과 주위잡음 레벨과의 상관계수는 주파수 200 Hz에서 약 0.3 이하로 낮은 상관을 보인 반면, 주파수 25~31.5 Hz 및 400 Hz~50 kHz에서는 약 0.7 이상으로 높은 상관을 나타내었다. 그리고 1차항의 계수 B는 0.19~0.86 dB/knots의 범위내에 있었다. 이것을 주파수 대역별로 자세히 살펴 보면, 주파수 대역 100~315 Hz 및 50 kHz에서는 약 0.2~0.3 dB/knots, 주파수 대역 50~80 Hz, 400 Hz~630 Hz 및 31.5~40 kHz에서는 약 0.4~0.5 dB/knots, 주파수 대역 31.5 Hz,

800 Hz~2 kHz 및 16~25 kHz에서는 약 0.6~0.7 dB/knots, 그리고 주파수 대역 25~31.5 Hz 및 2.5~12.5 kHz에서는 약 0.8~0.9 dB/knots를 갖고 있었다. 각각의 주파수에 있어서 1차식으로 근사한 경우 실측치의 표준편차는 1.6~5.8 dB의 범위내에 있었으며, 주파수 16 kHz 및 20 kHz에서 1.6 dB로 가장 작았고, 주파수 31.5 Hz에서 5.8 dB로 가장 크게 나타났다.

연안역에 있어서의 풍속과 주위잡음 레벨과의 관계를 분석한 결과, 대체적으로 해표면에서의 바람은 주파수 대역 25~40 Hz 및 630 Hz~50 kHz의 해수중 주위잡음 레벨에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 풍속에 대한 주위잡음 레벨의 증가율로서 25~40 Hz의 주파수 대역에서는 약 0.7~0.9 dB/knots, 630 Hz~50 kHz의 주파수 대역에서는 약 0.4~0.7 dB/knots인 것으로 나타났다. 그러나 해표면에서의 바람은 주파수 대역 160~250 Hz의 주위잡음에는 그다지 영향을 미치지 않고 있었다. 원양심해의 경우 주파수 대역 약 500 Hz~50 kHz의 주위잡음이 해표면에서의 바람에 의하여 주로 발생하는 것으로 알려져 있으므로⁴⁾ 이 대역에 관하여는 이 연구에서 얻어진 연안 천해역에서의 분석결과와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 매우 특이한 결과로서 원양심해의 경우와는 달리, 여기에서는 주파수 대역 25~40 Hz에서의 해수중 주위잡음이 바람의 영향을 크게 받는 것으로 나타났으나, 이러한 원인에 관하여 이 연구에서는 명확히 하는 것이 거의 불가능하다. 다만, 해수중 주위잡음의 녹음시 필터(filter)의 사용 및 주위잡음의 스펙트럼 분석시 상한 레벨의 조정 등에 의하여 해수중 주위잡음을 충실히 녹음하고 분석하려고 노력하였으나, 이 연구에서 사용하였던 해수중 주위잡음의 녹음방식에 의하여 특히 바람이 센 경우 저주파 대역에서 인공잡음 또는 유체잡음이 해수중 주위잡음에 다소 영향을 미쳤을 가능성도 배제할 수 있다. 따라서 이에 관하여는 해수중 주위잡음의 측정방식의 검토 뿐만 아니라 다각적인 검토가 필요할 것으로 보인다.

특정의 주파수에 있어서 풍속과 해수중 주위잡음 레벨과의 관계를 1차



식으로 근사한 표 1의 값을 이용하여 수심 30 m 및 100 m의 경우, 각각의 해상상태에 있어서 주위잡음 레벨을 계산하여 그림 8 및 그림 9에 나타내었다. 여기에서는 각각의 해상상태에 대하여 풍속의 중간값을 사용하여 계산하였다. 그리고 참고로 그림 10에는 원양심해에 있어서 해수중 주위잡음의 스펙트럼 레벨을 나타내었다.³⁾

그림 8 및 그림 9로부터 해상상태의 변동에 따른 연안 천해역에서의 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨을 살펴보면, 표 1로부터 기대할 수 있었던 것과 같이 주파수 200 Hz 근방의 대역을 제외하고 해상상태가 증가함에 따라 주위잡음 레벨이 증가하고 있음을 보여주고 있다. 특히 40 Hz 이하의 주파수 대역에서 해상상태의 증가에 따른 주위잡음 레벨의 증가가 현저하게 나타나고 있다. 앞서서도 언급하였던 것과 같이 이러한 원인에 대하여는 이 연구만으로 명확히 할 수 없는 실정이다. 그러나 기존에 알려져 왔던 것과는 달리, 최근에 해표면에서 바람이 불면, 해수중에 기포군이 형성되어 이것이 집단운동을 함에 따라 주파수 100 Hz 이하의 대역에도 영향을 미치리라는 것이 보고되어 있다⁷⁾. 따라서 저주파 대역에서의 주위잡음 레벨과 해표면에서의 바람과의 관련에 대한 보다 정밀한 현장측정 및 수치모델 연구가 필요할 것으로 생각된다.

그림 8 및 그림 9의 다른 특징으로는 주파수 대역 약 500 Hz 이상의 경우, 해상상태 0부터 해상상태 1까지는 해상상태의 증가에 따른 주위잡음 레벨의 증가가 매우 미미하지만, 해상상태 2부터는 해상상태가 증가함에 따라 거의 일정한 간격으로 주위잡음 레벨이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이 측정결과를 그림 10의 원양심해에서의 측정결과와 비교하여 보면, 주파수 약 500 Hz 이상의 대역에서 해상상태 2 이상의 경우에는 비교적 잘 대응하고 있음을 알 수 있다. 그러나 위에서도 언급한 것과 같이 연안해역의 경우 100 Hz 이하의 주파수 대역에서도 해상상태의 증가에 따라 주위잡음 레벨이 증가하고 있으나, 원양심해의 경우 이러한 경향은 보이지 않고 있다. 그리고 원양심해의 경우 주파수 대역 500 Hz 이상의 주위잡음

레벨은 해상상태 0~1에서 해상상태의 증가에 따라 급격히 증가하고 있는데 반하여, 연안 천해역의 경우 약간 증가하는 데 그치고 있음을 보여주고 있다.

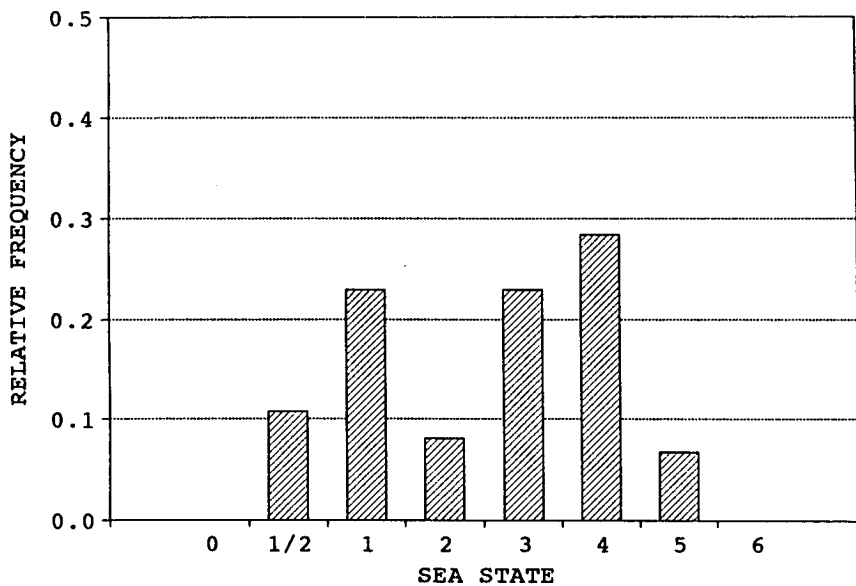


Fig. 3. Histogram of sea state.

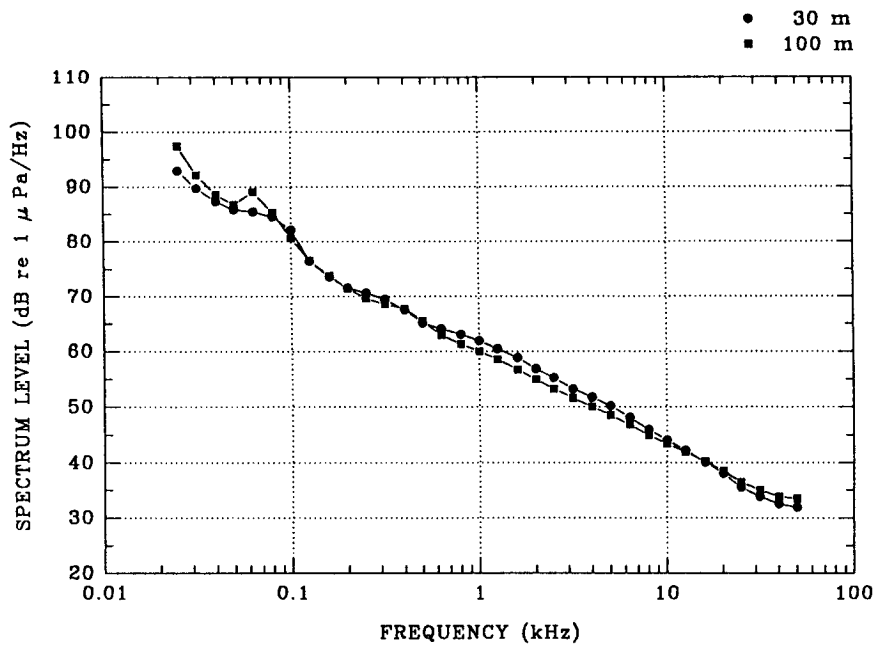
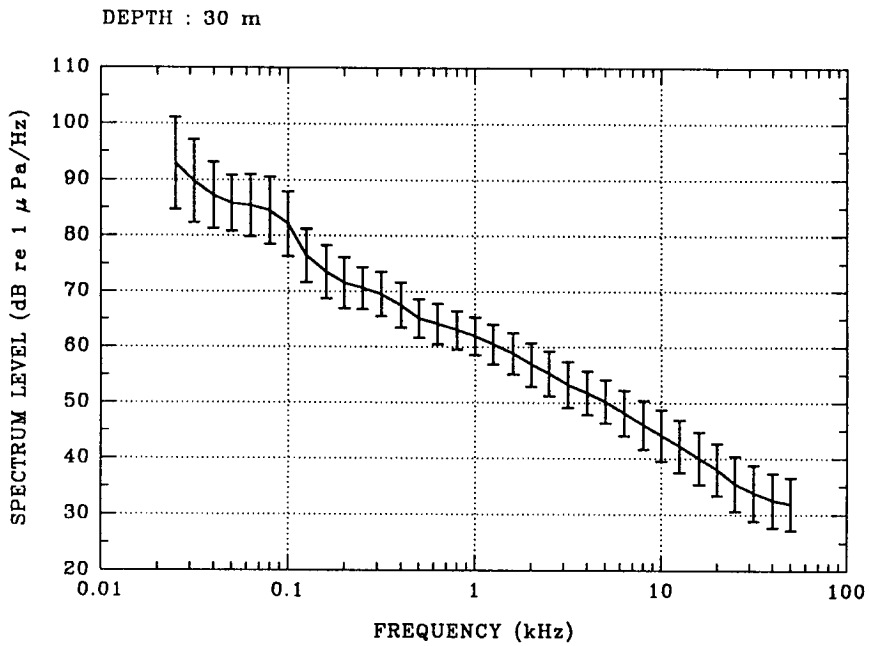
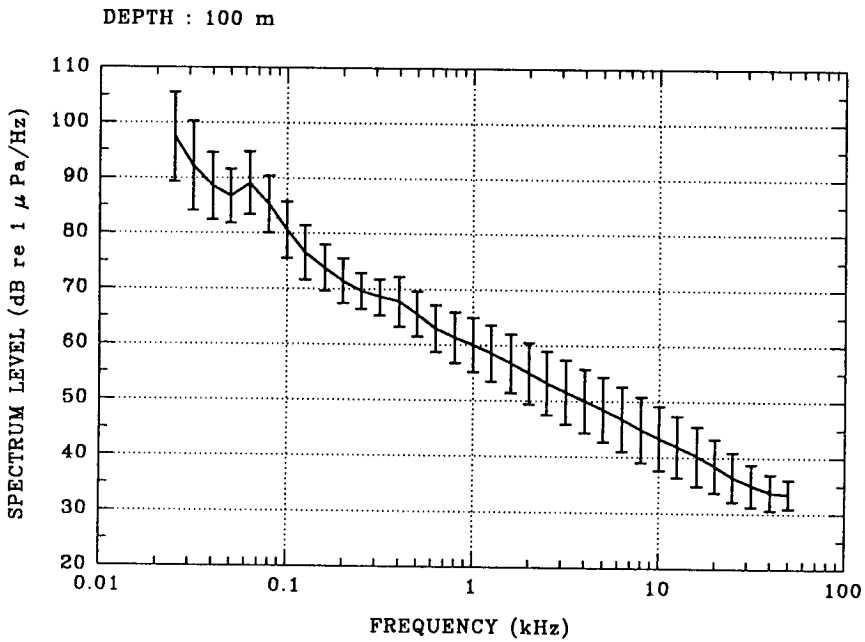


Fig. 4. Average of measured ambient noise level.



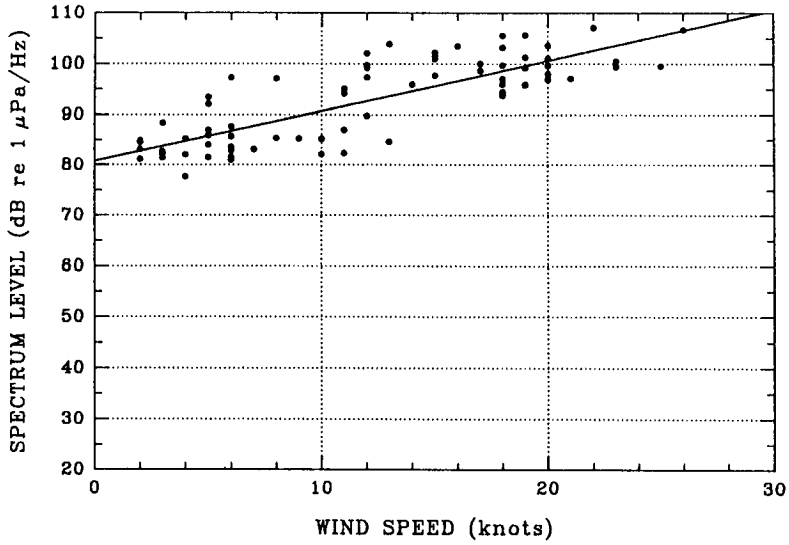
(a)



(b)

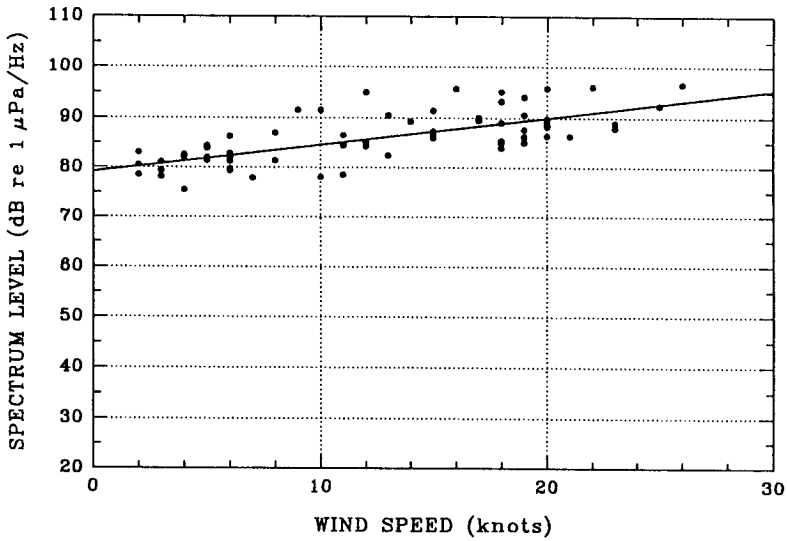
Fig. 5. Average and standard deviation of measured ambient noise level.

DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 25 Hz



(a)

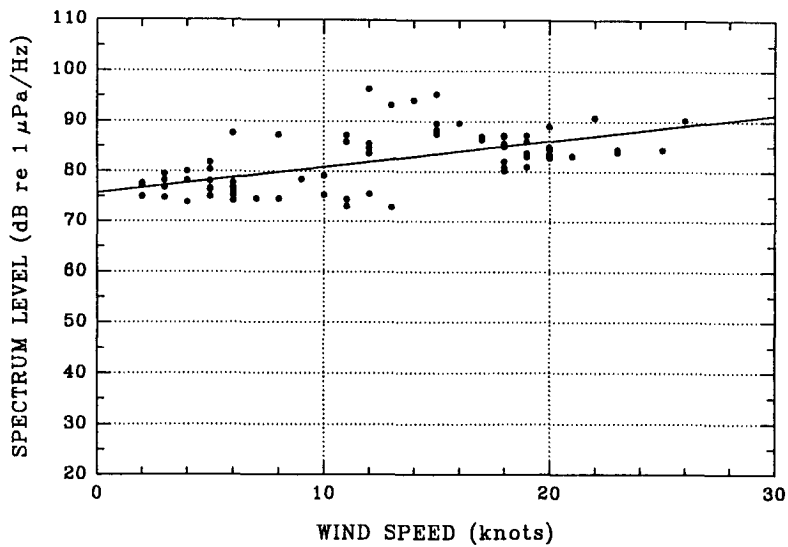
DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 50 Hz



(b)

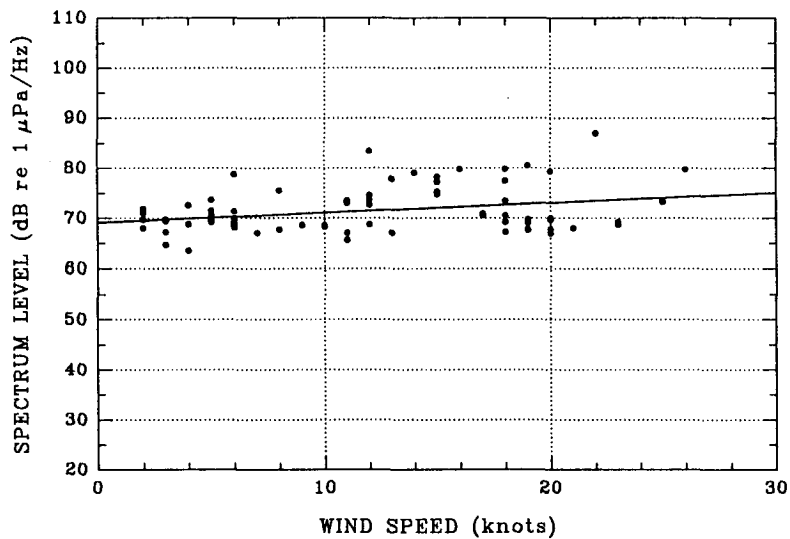
Fig. 6. Relationship between wind speeds and noise levels in a water depth of 30 m (● : measured value, — : least-square fit).

DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 100 Hz



(c)

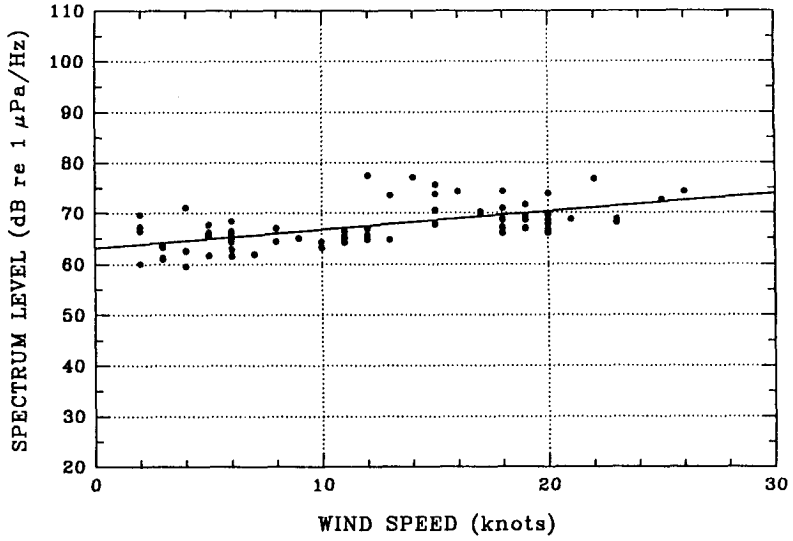
DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 200 Hz



(d)

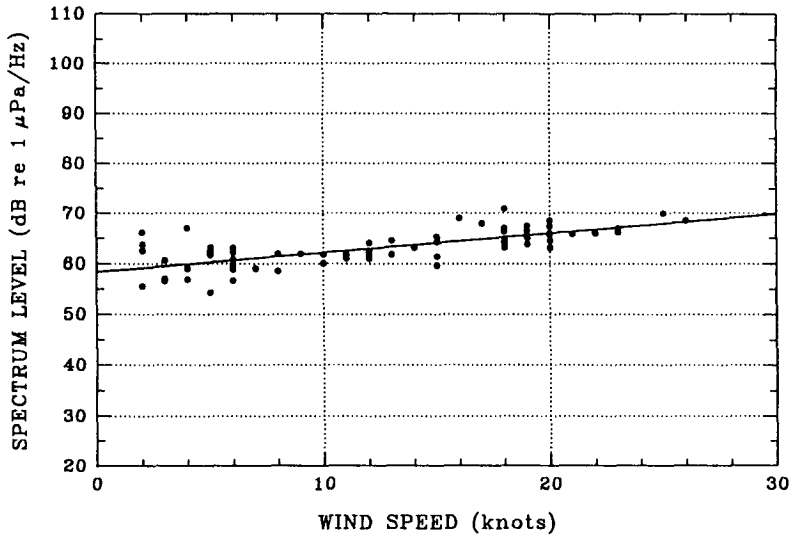
Fig. 6. (Continued).

DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 400 Hz



(e)

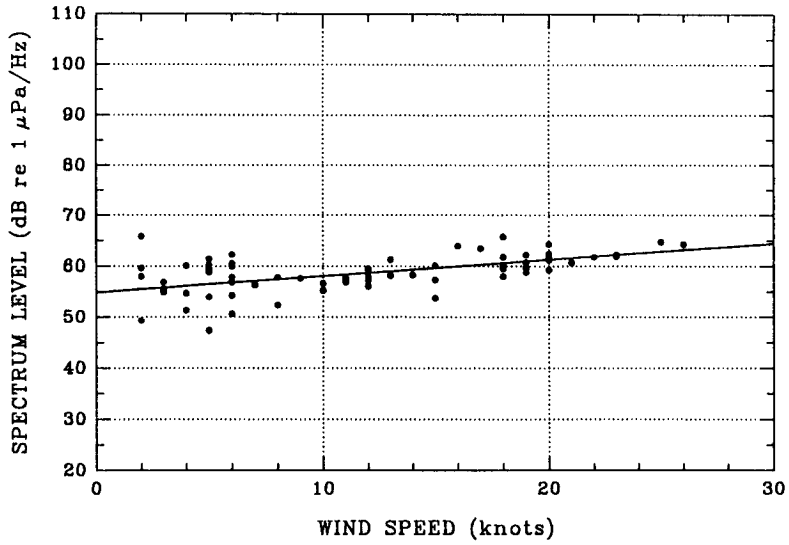
DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 800 Hz



(f)

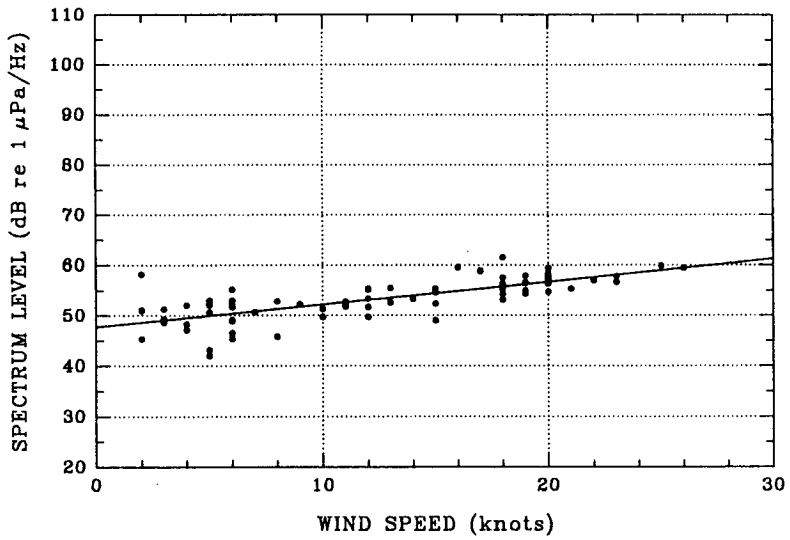
Fig. 6. (Continued).

DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 1.6 kHz



(g)

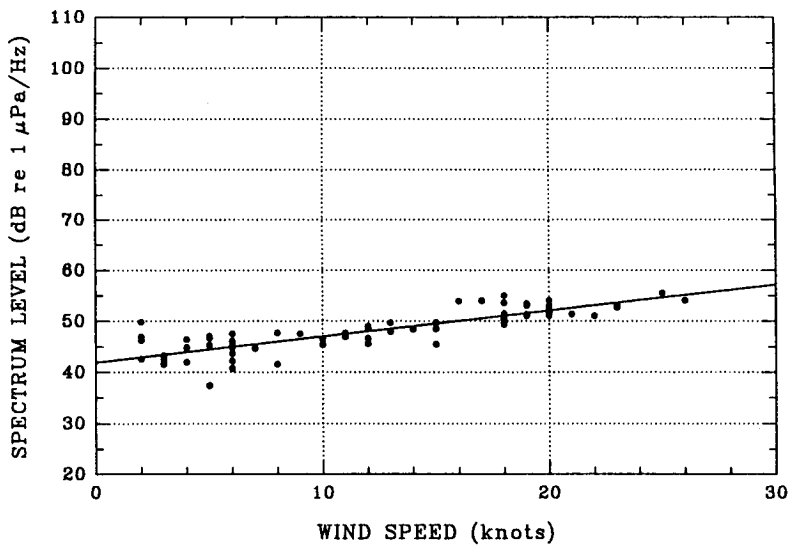
DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 3.15 kHz



(h)

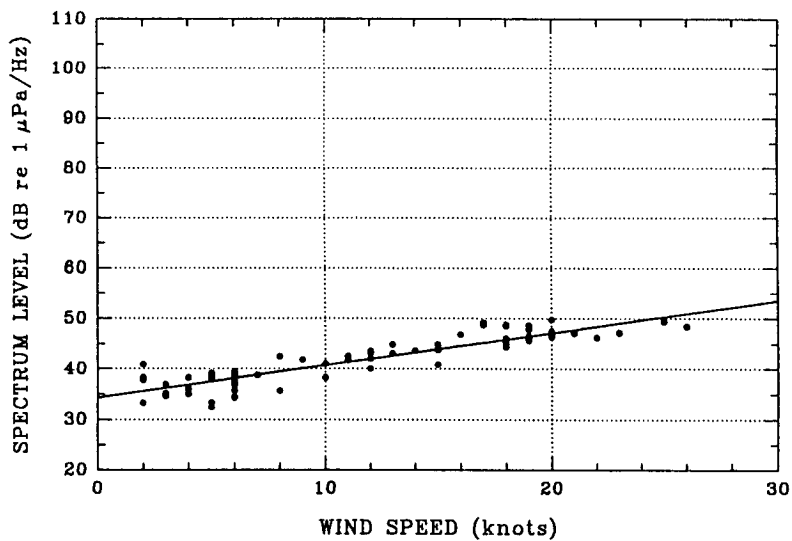
Fig. 6. (Continued).

DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 6.3 kHz



(i)

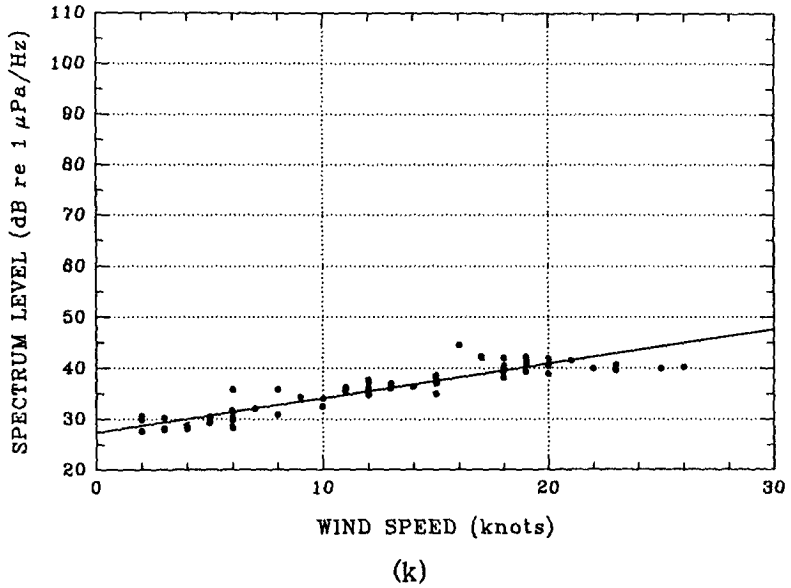
DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 12.5 kHz



(j)

Fig. 6. (Continued).

DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 25 kHz



DEPTH : 30 m
FREQUENCY : 50 kHz

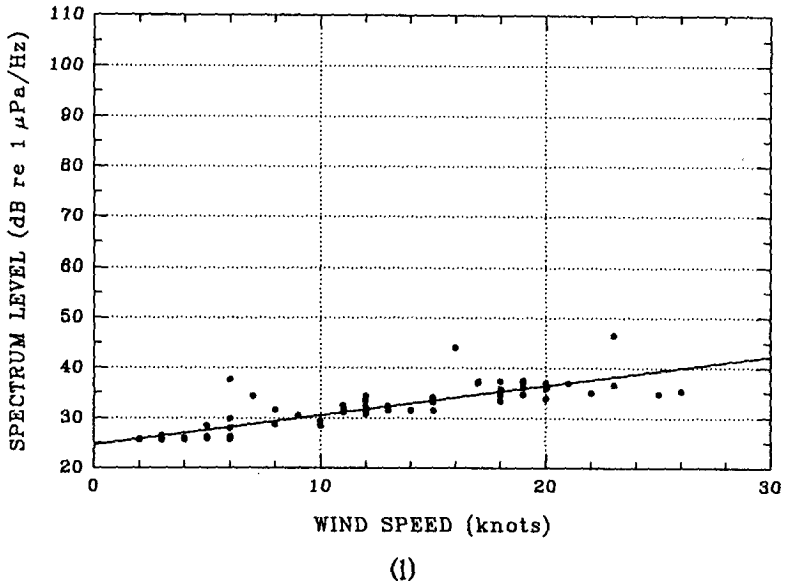
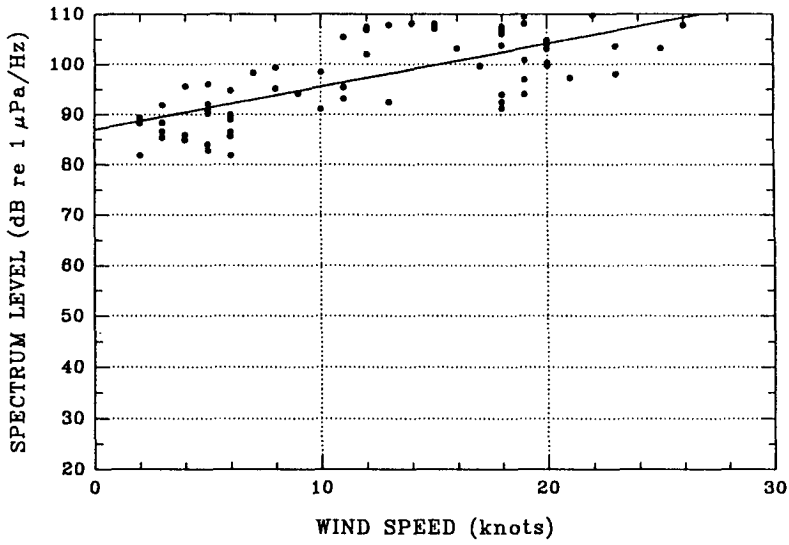


Fig. 6. (Continued).

DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 25 Hz



DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 50 Hz

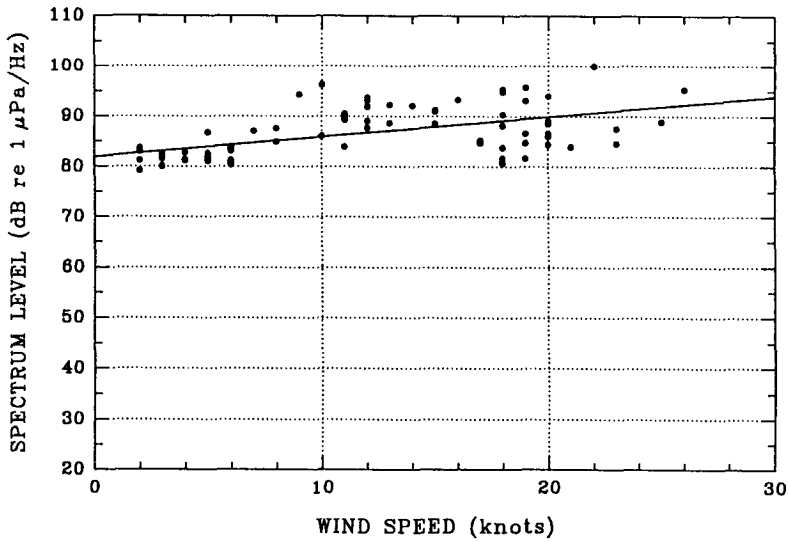
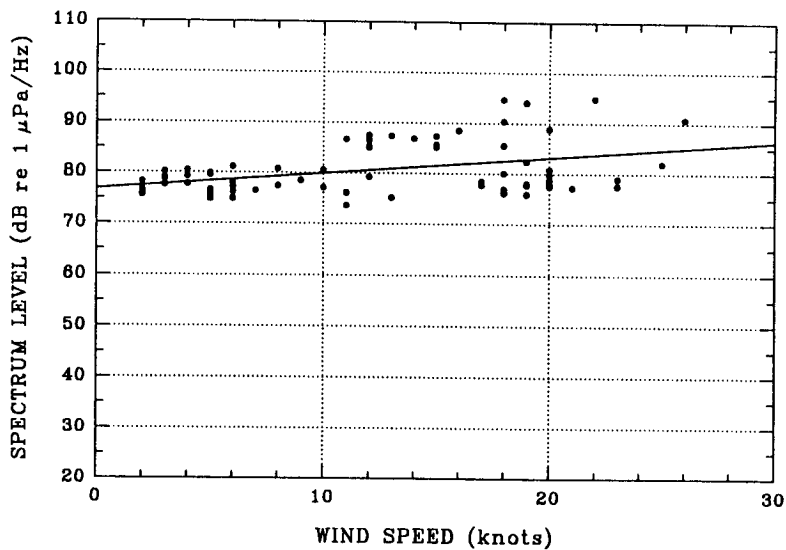


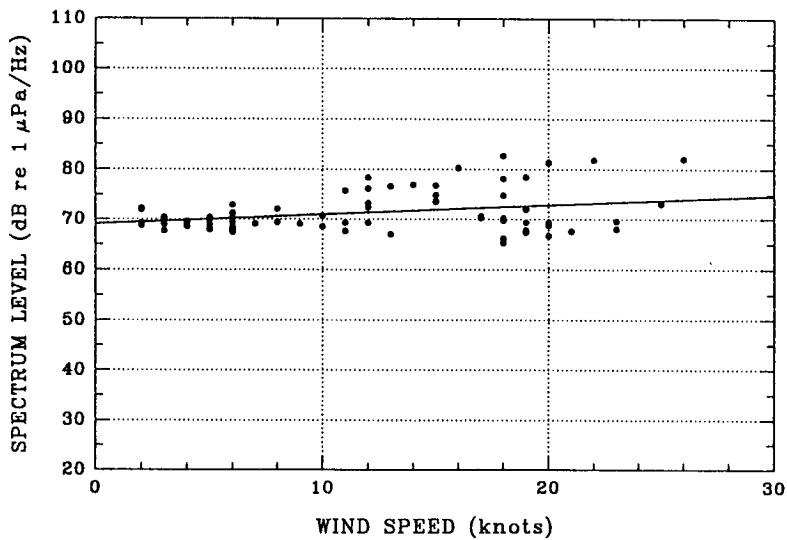
Fig. 7. Relationship between wind speeds and noise levels in a water depth of 100 m (● : measured value, — : least-square fit).

DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 100 Hz



(c)

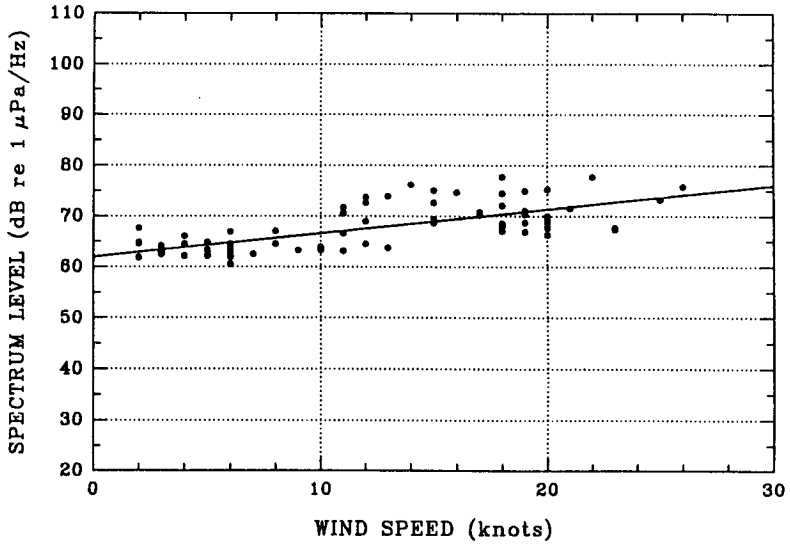
DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 200 Hz



(d)

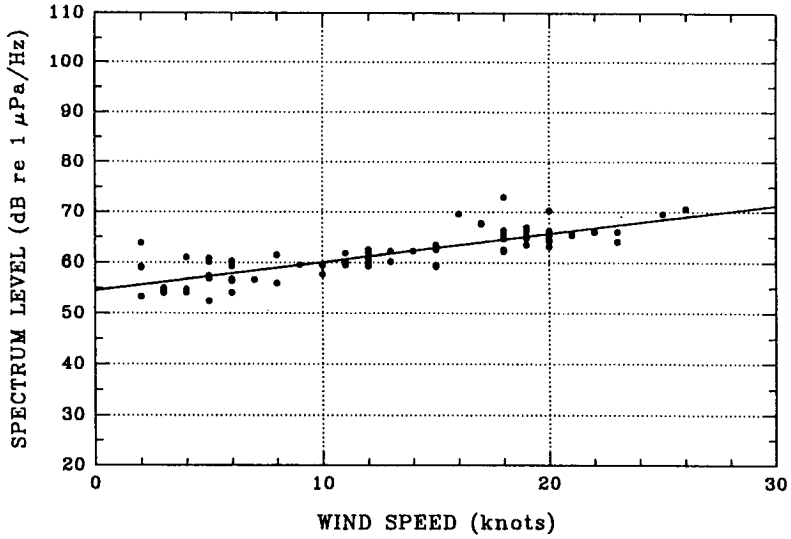
Fig. 7. (Continued).

DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 400 Hz



(e)

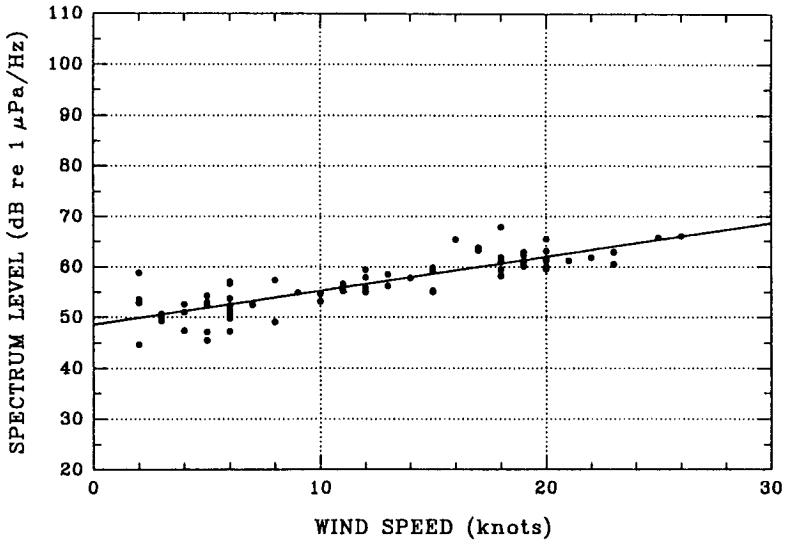
DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 800 Hz



(f)

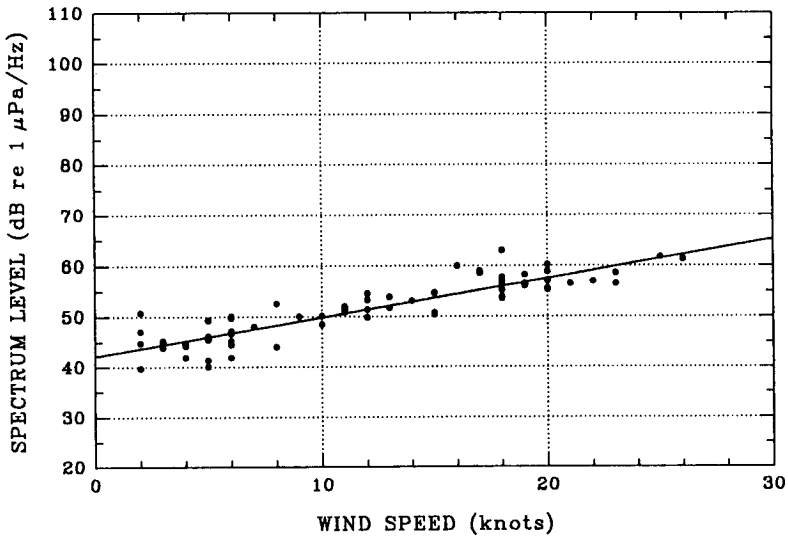
Fig. 7. (Continued).

DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 1.6 kHz



(g)

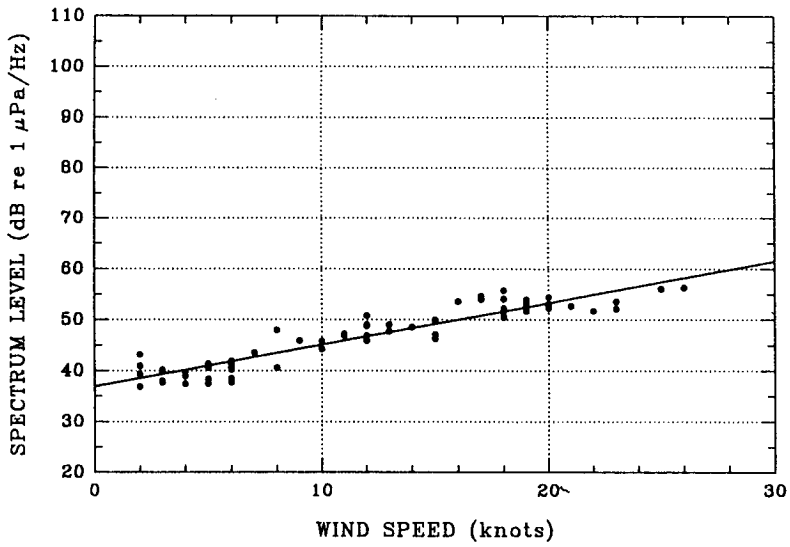
DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 3.15 kHz



(h)

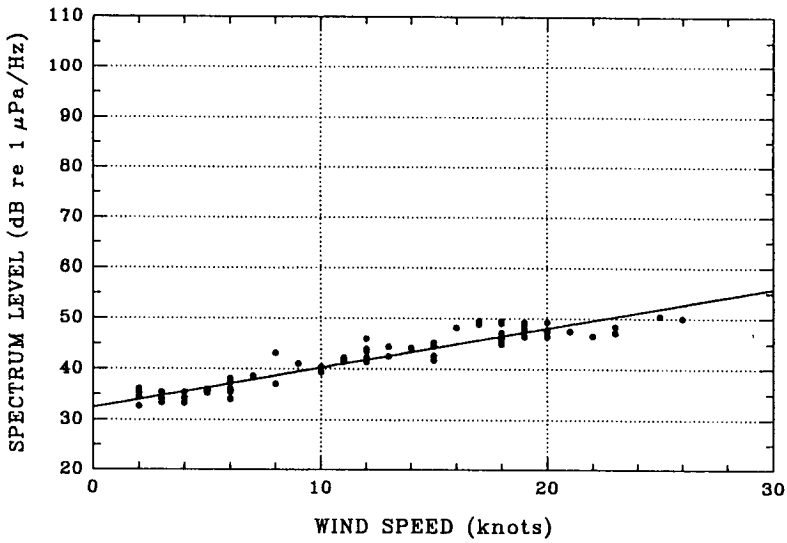
Fig. 7. (Continued).

DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 6.3 kHz



(i)

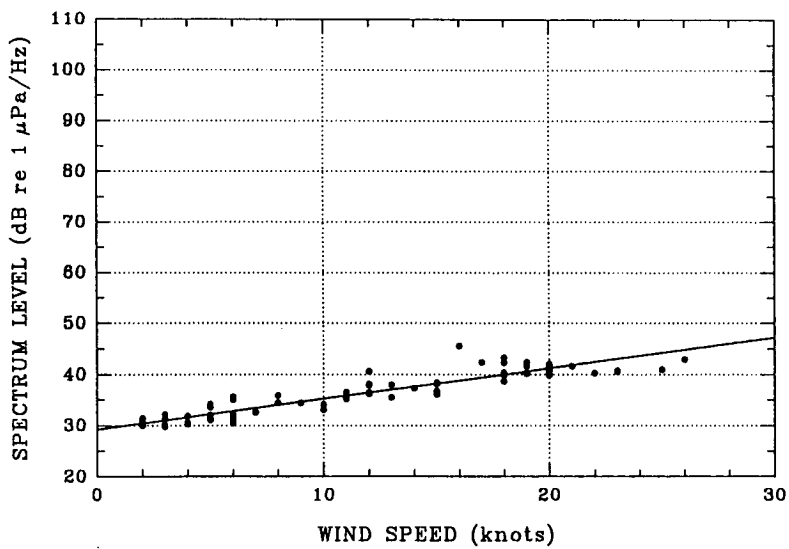
DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 12.5 kHz



(j)

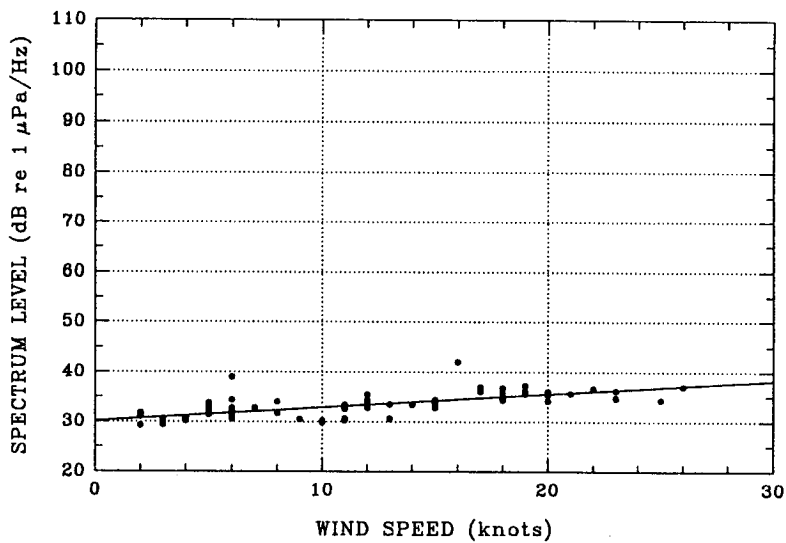
Fig. 7. (Continued).

DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 25 kHz



(k)

DEPTH : 100 m
FREQUENCY : 50 kHz



(l)

Fig. 7. (Continued).

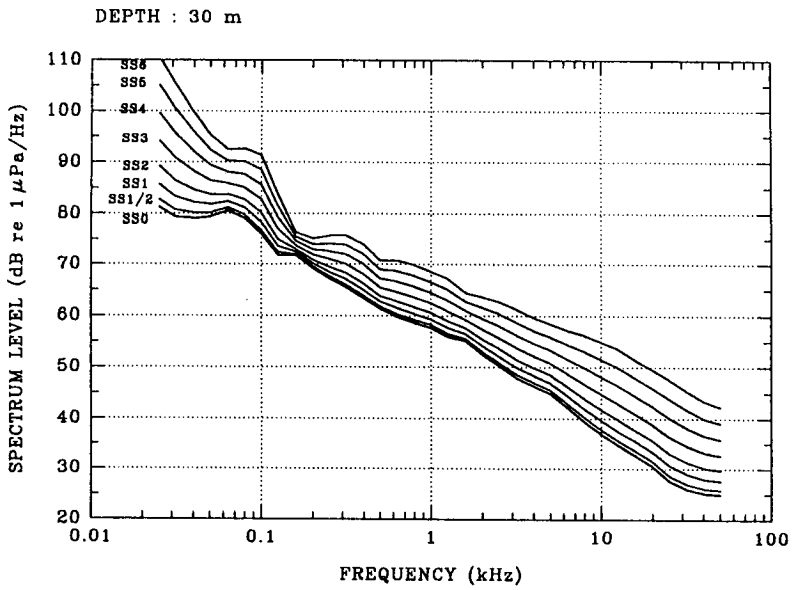


Fig. 8. Ambient noise spectra calculated by using the coefficients of 30 m water depth in Table 1.

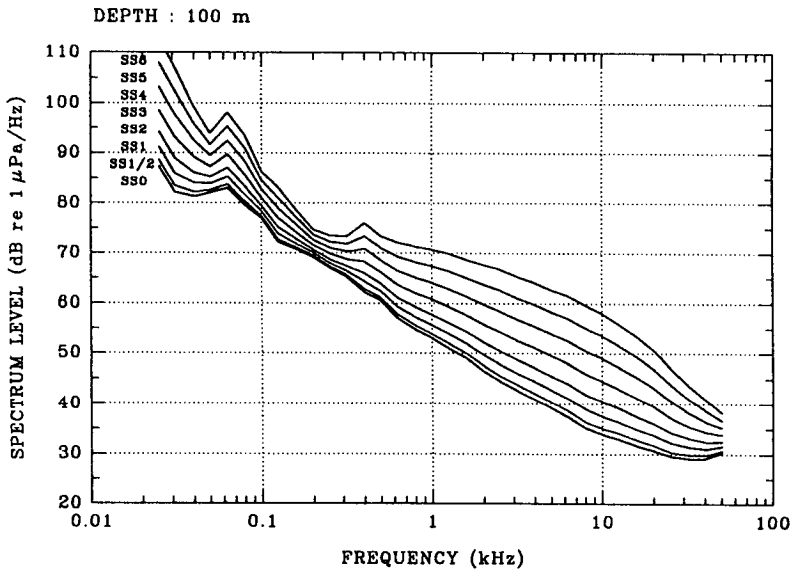


Fig. 9. Ambient noise spectra calculated by using the coefficients of 100 m water depth in Table 1.

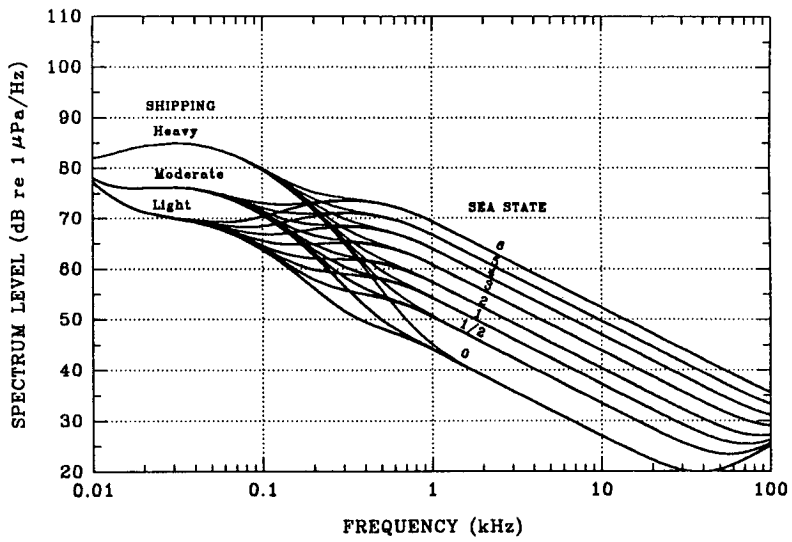


Fig. 10. Average deep water ambient noise spectra.

Table 1. Coefficients A and B of the relation $NL = A + B \cdot W$ derived from a least-square fit of noise levels against wind speed where NL(dB) is noise level, W(knots) is wind speed, s. d. is standard deviation of noise level and r is correlation coefficient.

Frequency (Hz)	Depth 30 m				Depth 100 m			
	A (dB)	B (dB/kt)	s. d. (dB)	r	A (dB)	B (dB/kt)	s. d. (dB)	r
25	80.9	0.99	4.8	0.82	87.0	0.86	5.7	0.71
31.5	79.0	0.88	4.5	0.80	81.8	0.84	5.8	0.70
40	78.8	0.70	3.6	0.79	81.0	0.61	4.4	0.68
50	79.2	0.54	3.4	0.73	81.9	0.40	4.1	0.54
63	80.5	0.40	4.9	0.49	82.8	0.51	4.6	0.60
80	78.9	0.46	5.1	0.52	79.4	0.47	4.1	0.62
100	75.7	0.52	4.7	0.60	76.8	0.32	4.7	0.42
125	71.5	0.41	4.0	0.56	72.0	0.37	4.3	0.50
160	71.6	0.16	4.7	0.23	70.5	0.27	3.8	0.43
200	69.1	0.20	4.4	0.29	69.1	0.19	3.9	0.32
250	67.0	0.29	3.2	0.52	66.9	0.22	2.9	0.45
315	65.3	0.35	3.3	0.58	65.0	0.28	2.7	0.58
400	63.1	0.36	3.3	0.59	62.0	0.47	3.2	0.71
500	61.2	0.32	2.8	0.61	60.3	0.44	2.9	0.72
630	59.6	0.37	2.7	0.67	56.8	0.51	2.5	0.81
800	58.4	0.38	2.5	0.72	54.5	0.56	2.6	0.83
1000	57.4	0.37	2.4	0.72	52.7	0.60	2.7	0.84
1250	55.8	0.38	2.5	0.71	50.7	0.64	2.8	0.84
1600	54.9	0.32	3.0	0.59	48.6	0.67	2.8	0.85
2000	52.3	0.38	2.9	0.66	46.1	0.72	2.6	0.88
2500	50.1	0.42	2.8	0.71	44.0	0.76	2.6	0.89
3150	47.8	0.45	2.8	0.74	42.2	0.77	2.5	0.90
4000	46.2	0.45	2.4	0.79	40.5	0.79	2.2	0.93
5000	44.7	0.46	2.4	0.79	38.7	0.80	2.1	0.93
6300	42.0	0.51	2.3	0.83	36.9	0.82	2.0	0.94
8000	39.1	0.57	2.1	0.88	34.8	0.83	1.9	0.95
10000	36.6	0.61	2.0	0.90	33.5	0.82	1.8	0.95
12500	34.4	0.64	1.9	0.91	32.5	0.78	1.7	0.95
16000	32.2	0.64	1.9	0.92	31.2	0.74	1.6	0.95
20000	30.1	0.65	1.8	0.92	30.3	0.68	1.6	0.95
25000	27.3	0.68	1.9	0.92	29.3	0.60	1.7	0.92
31500	25.7	0.66	2.3	0.89	28.9	0.50	1.8	0.89
40000	24.9	0.62	2.4	0.87	29.0	0.40	1.7	0.84
50000	24.7	0.59	2.5	0.85	30.2	0.27	1.8	0.72

제 4 장 결론

동해중부 연안해역 (수심 : 200 m)에서 해수중 주위잡음을 비교적 장기간 측정하여, 고주파 영역까지의 주위잡음 스펙트럼 패턴에 관하여 살펴 보았다. 그리고 풍속과 해수중 주위잡음 레벨과의 관계에 관하여 조사하였다. 그 결과 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 주파수 대역 25 Hz~50 kHz의 해수중 주위잡음 레벨은 수심 (30 m 및 100 m)에 따라 거의 차이가 없었다.
2. 주위잡음 스펙트럼 패턴은 주파수 대역 25~500 Hz에서 다소 불규칙한 변동을 보였고, 500 Hz~31.5 kHz의 대역에서 약 - 5~- 6 dB/oct의 기울기를 갖고 있었으나, 31.5~50 kHz의 고주파 대역에서 약 - 2~-3 dB/oct의 기울기를 갖고 있었다.
3. 해표면에서의 바람은 주파수 대역 25~40 Hz 및 630 Hz~50 kHz의 해수중 주위잡음 레벨에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 주파수 대역 160~250 Hz의 주위잡음에 대하여는 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
4. 풍속에 대한 주위잡음 레벨의 증가율로서 25~40 Hz의 주파수 대역에서는 약 0.7~0.9 dB/knots, 630 Hz~50 kHz의 주파수 대역에서는 약 0.4~0.7 dB/knots인 것으로 나타났다.

참고문헌

- 1) D. D. Lemon, D. M. Farmer, and D. R. Watts, "Acoustic measurements of wind speed and precipitation over a continental shelf," *J. Geophys. Res.* 89, 3462-3472 (1984).
- 2) J. A. Nystuen, "Rainfall measurements using underwater ambient noise," *J. Acoust. Soc. Am.* 79, 972-982 (1986).
- 3) R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound* (McGraw-Hill, New York, 1983).
- 4) G. M. Wenz, "Acoustic ambient noise in the ocean : Spectra and sources," *J. Acoust. Soc. Am.* 34, 1936-1956 (1962).
- 5) P. C. Wille and D. Geyer, "Measurements on the origin of the wind-dependent ambient noise variability in shallow water," *J. Acoust. Soc. Am.* 75, 173-185 (1984).
- 6) P. Zakarauskas, D. M. F. Chapman, and P. R. Staal, "Underwater acoustic ambient noise levels on the eastern Canadian continental shelf," *J. Acoust. Soc. Am.* 87, 2064-2071 (1990).
- 7) A. Prosperetti, "Bubble-related ambient noise in the ocean," *J. Acoust. Soc. Am.* 84, 1042-1054 (1988).