

# 한반도 주변해역 수중배경소음의 풍속과 선박분포에 따른 의존성 분석

## Analysis of Dependence on Wind Speed and Ship Traffic of Underwater Ambient Noise at Shallow Sea Surrounding the Korean Peninsula

최 북 경\*, 김 봉 채\*, 김 철 수\*, 김 병 남\*\*  
(Bok Kyoung Choi\*, Bong-Chae Kim\*, Cheolsoo Kim\*, Byoung-Nam Kim\*\*)

\*한국해양연구원 지구환경연구본부, \*\*성균관대학교 물리학과 음향학연구실·BK21 물리연구단  
(접수일자: 2002년 11월 25일; 수정일자: 2003년 3월 13일; 채택일자: 2003년 4월 7일)

한반도의 연근해에서 9년간 ('90~'98)에 걸쳐 200 m 이내의 수심을 보이는 13개 정점에서 배경소음을 측정한 자료를 환경별로 통계 처리하여 소음준위를 분석하였다. 주파수 스펙트럼은 1/3 옥타브 밴드의 중심주파수 25 Hz부터 20 kHz까지 분석하였다. 분석결과, 대양의 배경소음스펙트럼으로 알려진 Wenz의 결과와는 다소간의 차이를 보여주었다. 연근해에서 측정된 결과는 다양한 선박활동 및 연안소음, 파도의 영향 등으로 인해 같은 조건에서의 대양의 결과보다 높은 배경소음준위를 보이고 있었으며, 통계분석에 근거하여 천해 소음 추정식을 산출하였다.

**핵심용어:** 천해 배경소음, 수중소음, 해상상태, 항행선박, Wenz 곡선

**무고분야:** 수중음향 분야 (5.4)

It is statistically analyzed the underwater ambient noise measured at 13 sites less than 200 m deep in the shallow water surrounding the Korean Peninsula for 9 years from 1990 to 1998 in various environmental conditions. Frequency spectra were obtained with the 1/3-octave band center frequencies from 25 Hz to 20 kHz. The analyzed shallow water noise spectra were some different from the deep water known as the Wenz spectra. We could know that the ambient noise level shows higher than it in same condition by effect of various ship activity and the coastal noise, surface waves, and so on. As a result, we produced the coastal ambient noise spectra curve based on these results in shore of the Korea Peninsula.

**Keywords:** Coastal ambient noise, Underwater noise, Sea state, Ship traffic, Wenz curve

**ASK subject classification:** Underwater acoustics (5.4)

### I. 서론

해양음향 현상 중에서 특히 해수중 배경소음은 소나와 같은 수중음향 장비를 설계할 때 신호 대 소음비를 산출하는데 필요한 입력인자[1]로서 쓰일 뿐만 아니라 풍속 및 강우량 등 환경의 파라미터를 모니터링하기 위한 기초자료로 활용되고 있다[2,3]. 배경소음에 관한 연구는 소나 등 수중음향 기기에서 발생하는 신호의 효율적 활용을 위한 신호 대 소음비의 선정이나 음향기뢰 (acoustic

mine)의 활용, 배경소음 발생기구에 관한 관심 등으로 제2차 세계대전 이후 Knudsen *et al.*[4] 및 Wenz[5]의 연구를 시작으로 그 후 여러 연구자들[6,7]에 의해 활발히 연구되어 왔다. 지금까지의 연구결과에 의하여 밝혀진 대양심해의 평균적인 배경소음 스펙트럼 준위를 그림 1에 나타내었다. 그림과 같이 대략 10 Hz~1 kHz의 주파수 대역은 주로 선박통행량의 변화에 따라 소음준위가 영향을 받으며, 대략 100 Hz~30 kHz의 주파수 대역은 해상상태의 변화(풍속의 변화)에 따라 주로 영향을 받는다. 그리고 대양심해의 배경소음은 발생주파수 대역에 따라 다음의 6가지로 세분할 수 있다[8]. 즉, 주파수에 따라 극초저주파수 (< 1 Hz), 초저주파수 (1~20 Hz),

책임저자: 최북경 (bkchoi@kordi.re.kr)  
425-744 경기도 안산시 사1동 1270번지  
한국해양연구원 지구환경연구본부  
(전화: 031-400-6118; 팩스: 031-408-5829)

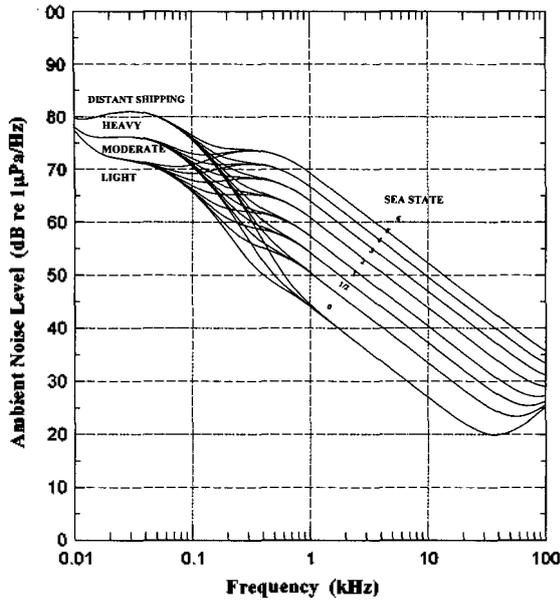


그림 1. 대양심해의 평균배경소음 스펙트럼준위 (Wenz 1962)  
Fig. 1. Averaged ambient noise spectrum level of deep ocean (Wenz 1962).

저주파수 (20~200 Hz), 중주파수 (200 Hz~2 kHz), 고주파수 (2~20 kHz), 초고주파수 (> 20 kHz) 소음대역으로 나눌 수 있다. 극초저주파수 소음은 해저 지진 및 해수면의 운동으로 인한 압력변화 등으로 발생하고, 초저주파수 소음은 선박 추진기의 회전성분 소음이 주요한 원인으로 추정되며, 저주파수 소음은 먼 거리 선박의 운항에 의해 발생되는 것으로 알려져 있다. 그리고 중주파수 소음은 해상교통과 해수면 교란에 의해 발생되고 고주파수 소음은 해수면 교란에 의해 발생하며, 초고주파수 소음은 해수 분자의 열교란에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 특히 중주파수와 고주파수 대역의 경우, 해수면 위의 바람에 의한 해수면 교란으로 발생하는 배경소음 준위는 풍속이 2배 증가할 때마다 약 6 dB씩 증가하는 특징을 보인다.

그 외 간헐적인 소음으로는 강우와 수중생물에 의한 것이 있다. 강우에 의한 소음은 물방울의 해수면 충격에 의하여 모든 주파수 대역에 걸친 배경소음 준위의 상승과 물방울 충격시 해수면 아래에 생성된 기포 (bubble)의 공진주파수 방사에 의한 13~15 kHz 주변의 소음준위 상승으로 알려져 왔다[3,9,10]. 그리고 생물소음 중에서 강력 한 소음으로는 돌고래에 의한 고주파수 발생으로 30 Hz부터 120 kHz까지의 주파수 영역을 포함하는 것으로 알려져 있다[11,12].

수심이 깊은 대양과는 달리 황해는 수심이 얇고, 해양 조식, 음속 수직분포, 바람, 항행선박의 빈번한 출현, 강

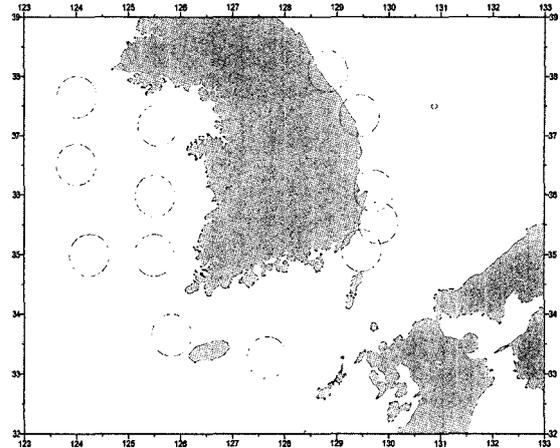


그림 2. 한반도 주변해역의 배경소음 측정범위도 (1990~1998)  
Fig. 2. Measurement range diagram of underwater ambient noise in coastal ocean surrounding the Korea Peninsular (1990~1998).

우량 등)이 시공간적으로 매우 심하게 변동하므로 이에 따라 배경소음 준위도 시공간적으로 심하게 변동하리라 예상된다. 따라서 그림 1과 같은 대양에서의 배경소음 스펙트럼과는 주 파수 특성과 소음준위가 환경변화에 따라 다르게 나타날 것으로 예상된다. 배경소음에 관한 연구는 대부분이 심해에서 이루어져 왔으며, 천해에서의 연구도 일부 이루어지고 있다[7,13].

본 연구에서는 1990년부터 1998년까지 9년 간에 걸쳐 그림 2의 한반도 주변해역에서 수중청음기 시스템을 사용하여 배경소음을 측정하였으며, 측정해역의 주변환경으로 해상상태의 분포, 선박통행량의 분포를 동시에 관측하고, 이러한 주변환경 변동에 따른 배경소음 스펙트럼 준위의 변동에 관한 조사를 실시하였다.

## II. 측정 및 분석 방법

한반도 주변해역에서 연구선을 이용하여 해수중 배경소음을 측정하기 위해 세 개의 수심 (표층, 중층, 저층으로 나누어 경우에 따라 수심을 달리하였음)에 위치한 수중청음기로 해수중의 배경소음을 수신하였다. 서해의 경우는 10, 40, 70 m에, 남해의 경우는 30, 80 m에, 동해의 경우는 30, 50, 100 m의 수심에 수중청음기를 위치시켰다. 측정은 그림 2에 표시된 13개의 한반도 주변 천해 (수심 40 m~200 m)의 주어진 구역에서 각 범위당 1~2년간에 걸쳐 24시간 또는 48시간씩 실시되었다. 해역도에 표시되어 있지 않은 깊은 수심의 자료들 (수심 1000 m~2000 m인 다섯 구역의 해역)도 있으나 천해의 자료만으

로 비교하고자 하였으므로 심해의 자료는 제외하였다. 천해자료의 분석결과 각 구획에 따른 그리고 계절에 따른 배경소음의 변화는 적었으므로 본 연구에서는 측정시기와 무관하게 모든 자료를 함께 통계처리 하였으며, 각 회당 24시간 동안에 걸쳐 녹음은 매 시간당 10분씩 연속적으로 수행되었다. 측정하는 동안 연구선의 주기관 및 보조기관 등 선내 소음원의 가동을 중지하였으며, 측정을 위한 모든 가동전원은 축전지로부터 직류·교류 변환기를 거친 110 VAC를 사용하였다. 해수중의 강력한 저주파수 음파의 유입을 막기 위해 차단 주파수 22.4 Hz의 고역통과필터 (high pass filter)를 사용하였다. 수중청음기에서 수신된 배경소음을 측정용 증폭기로 적정한 준위가 되도록 증폭시킨 다음, 녹음기를 사용하여 녹음하였다. 측정 중에 매 5분 간격으로 레이더 (radar)를 사용하여 연구선 주위에서 항행하는 선박의 방위, 거리 및 척수를 조사하였으며, 풍속계에 의해 풍속을 관측하였다.

사용된 수중청음기 (B&K #8101)는 무지향성으로써, 주파수 1 Hz~60 kHz에서 편차 2 dB 이내의 일정한 수신감도 특성을 갖고 있다. 측정용 증폭기 (B&K #2636)는 2 Hz~200 kHz에서 편차 0.5 dB을 가지며, 음향전용 녹음기 (B&K #7006)는 40 Hz~60 kHz에서 편차 3 dB를 갖고 있다.

녹음된 신호를 분석실에서 녹음기로 재생한 다음, 주파수 스펙트럼 분석기 (B&K #2035)에 의해 주파수 25 Hz~20 kHz의 30개의 중심 주파수를 가지는 1/3 옥타브 밴드 준위 (octave band level)로 분석하였다. 주파수분석은 Hanning 창문함수를 사용하였으며, 연속적인 주파수 스펙트럼에서 256개의 자료를 평균하여 대표값을 취하였다. 배경소음의 스펙트럼 준위는 구해진 분석 데시벨 (decibel) 값에 수중청음기의 수신감도, 측정용 증폭기의 증폭도, 녹음기의 감쇠도, 주파수별 녹음감도와 주파수 대역폭 등을 보정하여 수중에서 음압 준위 산정의 기준인 1  $\mu$ Pa을 기준으로 한 1 Hz 밴드로 환산하여 dB로 표시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1. 청음기 수심에 따른 배경소음 준위의 변화

한반도 주변 천해에서 측정된 배경소음 스펙트럼 준위 전체를 주변환경요소에 관계없이 전체 평균하여 그림 3에 나타내었다. 수신수심에 따른 준위의 차이는 근소하였으며 100 Hz이하에서만 좀 더 깊은 수심에서 약 5 dB

정도의 높은 값을 보이고 있었다. 이와 같은 현상은 Perrone[14]의 연구결과에서도 알 수 있듯이 100 Hz 미만에서는 수심의 증가에 따라 소음준위가 증가하고 100 Hz 이상에서는 수심의 증가에 따라 소음준위가 감소한다는 실험결과를 보이고 있다. 명확한 원인은 알 수 없으나 먼 거리 항행선박의 영향으로 저주파 전달이 깊은 수심에서 양호한 것으로 추정하고 있다. 그러나 50 Hz 이하에서 소음준위가 증가하는 것은 수중에 내린 수중청음기 케이블의 스트리밍 소음 (streaming noise)도 한 원인이 될 수 있다. 그림 4와 5는 각각의 수신수심에서의 전체평균준위와 표준편차를 나타낸 그림이다. 표준편차는 약 7~10 dB의 분포를 보이고 있다.

주변환경의 변동에 의한 배경소음 준위의 변화를 알아보기 위해 우선 연구선을 중심으로 반경 9 마일 이내에 항행선박이 없을 때의 자료만을 취합하여 해상상태별 배경소음 준위의 변동을 조사하였으며, 주위에 항행하는 선박에 따른 영향을 알아보기 위해 반경 9 마일 이내에 존재하는 항행선박 통행량에 따른 배경소음 준위의 변동을 분석하였다. 또한 수심의존도는 무시할 만하므로 모든 수심의 자료를 함께 통계처리하였다. 해상상태에 따른 배경소음 준위의 의존도는 해표면 풍속의 함수로 보통 나타내고 있으나, 여기서는 해상상태와 선박통행량의 변

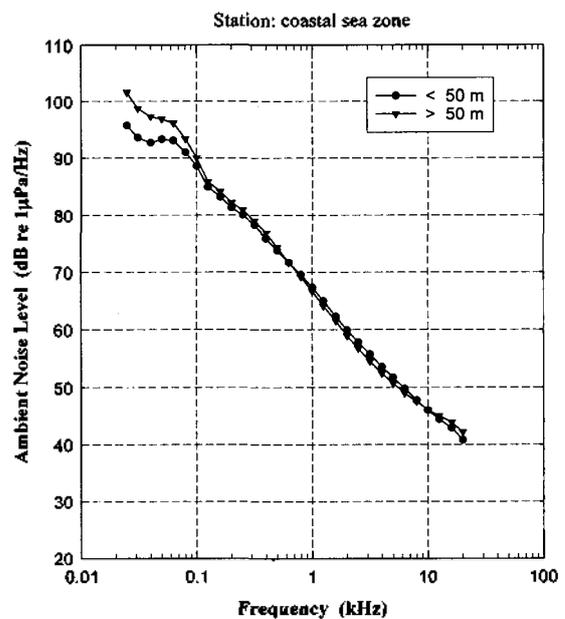


그림 3. 천해에서 측정된 자료를 전체 평균한 배경소음 스펙트럼 준위 (●: 수신수심이 50 m 이내인 경우, ▼: 수신수심이 50 m 이상인 경우)

Fig. 3. Ambient noise spectrum level averaged from measured data in the coastal ocean (●: the case of receiver depth less than 50 m, ▼: the case of receiver depth more than 50 m).

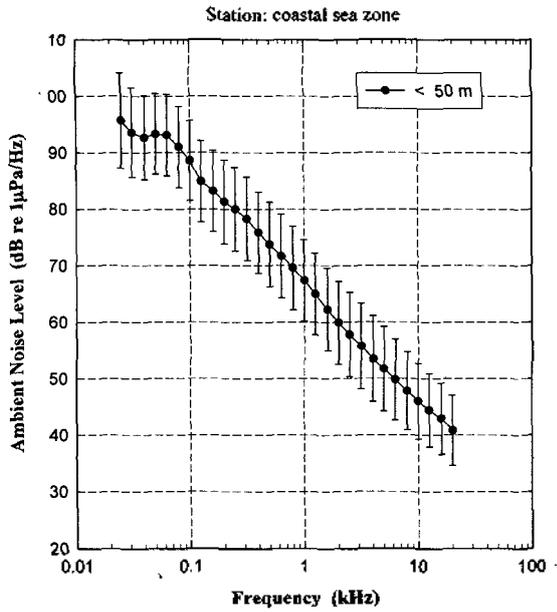


그림 4. 천해에서 수신수심이 50 m 이내인 조건에서 측정된 자료를 전체 평균한 배경소음 스펙트럼 준위와 표준편차  
 Fig. 4. Averaged ambient noise spectrum level and its standard deviation from measured data in case of receiver depth less than 50 m in the coastal ocean.

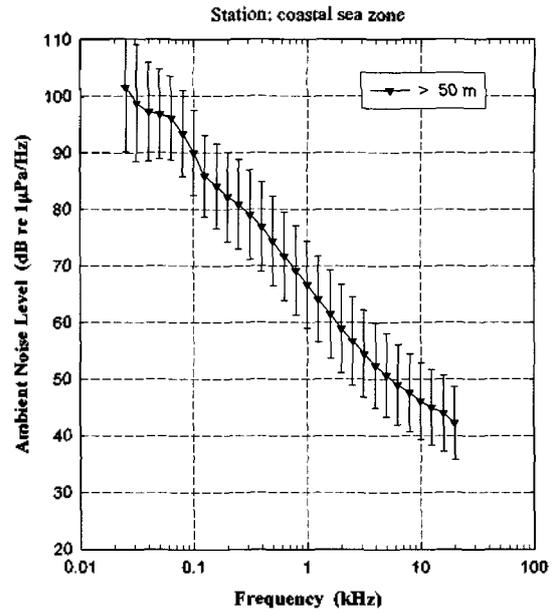


그림 5. 천해에서 수신수심이 50 m 이상인 조건에서 측정된 자료를 전체 평균한 배경소음 스펙트럼 준위와 표준편차  
 Fig. 5. Averaged ambient noise spectrum level and its standard deviation from measured data in case of receiver depth more than 50 m in the coastal ocean.

등에 따른 배경소음 준위의 전체적인 변동에 초점을 두었으므로 함수로 나타내는 분석은 제외하였다. 이에 관한 자세한 분석기법은 김 등(7)의 연구에 기술되어 있다.

### 3.2. 해상상태의 변동에 따른 배경소음 준위의 변화

측정된 배경소음 준위의 자료로부터 해상상태의 변화에 따른 영향을 보기 위하여, 연구선으로부터 반경 9 마일 기내에 선박이 존재하지 않는 경우의 자료를 통계처리하였다. 우선 각 해상상태별로 배경소음 준위의 변동을 알아보기 위해 풍속에 따른 소음준위의 선형회귀 상관분석

을 하였으며, 그 결과를 주파수별로 그림 6에 나타내었다. 1/3 옥타브밴드 중심주파수에서의 상관계수는 표 1에 정리하였다. 그림 6에 따르면 1 kHz 이상에서 상대적으로 양호한 상관을 보이고 있으며, 이는 기존에 알려진 바와 같이 풍속에 의해 영향을 받는 주파수대역이 수 kHz~수십 kHz임을 잘 표현하고 있는 것이다. 그림 6에서 선형회귀분석에 쓰인 풍속의 단위는 풍속의 계급근으로 표현되어 있으며 이것은 통상 풍속의 증가에 따른 소음준위의 증가가 Wenz 곡선에서 보듯이 풍속의 제곱근 또는 로그 함수로 표현하는 것이 적당하기 때문이다. 그러나 자료

표 1 주위선박이 없을 때, 풍속과 소음준위의 주파수별 상관계수

Table 1. Correlation coefficient of wind speed and ambient noise level according the sound frequencies in the non-shipping case.

frequency (Hz)	correlation coefficient r	frequency (Hz)	correlation coefficient r	frequency (Hz)	correlation coefficient r
25	0.36	250	0.19	2500	0.49
31.5	0.29	315	0.24	3150	0.51
40	0.21	400	0.28	4000	0.52
50	0.19	500	0.26	5000	0.54
63	0.15	630	0.27	6300	0.55
80	0.16	800	0.32	8000	0.56
100	0.14	1000	0.36	10000	0.56
125	0.12	1250	0.40	12500	0.54
160	0.13	1600	0.43	16000	0.52
200	0.16	2000	0.46	20000	0.48

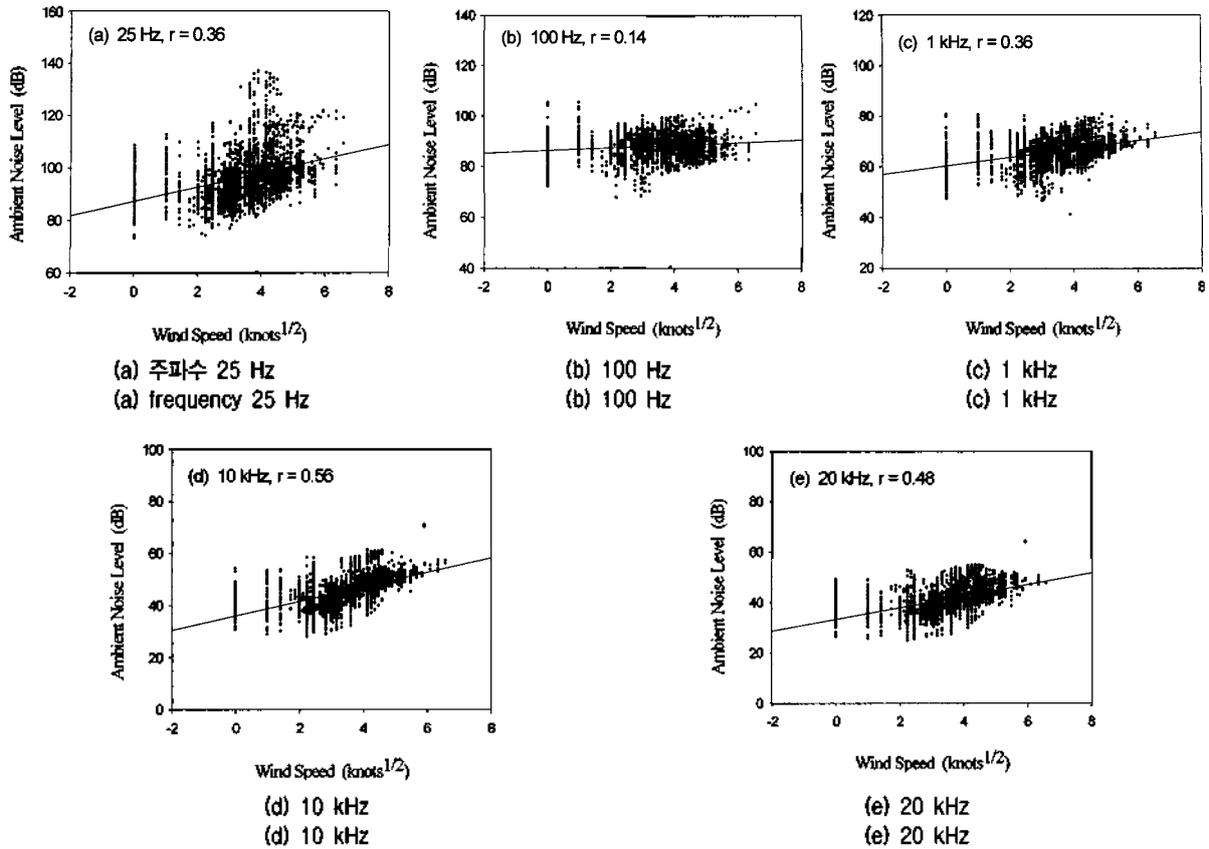


그림 6. 주위선박이 없을 때, 풍속에 따른 소음준위의 선형회귀 상관  
Fig. 6. Linear regression of ambient noise level as a function of wind speed in the non-shipping case.

에서 보듯이 풍속이 작을 때에도 배경소음준위의 분포가 넓은 것은 선체에서의 쇄파, 수중청음기의 흔들림 등 수면파에 의한 2차 유발소음 등 다른 여러 요인에 의한 것으로 추정해 볼 수 있음을 감안해야 한다.

그림 7에 각각 해상상태에 대해 분석된 배경소음 스펙트럼 준위를 나타내었다. 1 kHz 이상의 주파수 영역에서 해상상태의 증가에 따라 소음준위가 상승하고 있다. 이로부터 고주파수 대역은 해상상태에 의한 영향이 지배적임을 알 수 있다. 예상한 바와 같이 바람에 의해 해표면에 교란이 일어나면 파도와 이로 인하여 해수중에 생성된 기포 등에 의해 발생된 소음은 대략 500 Hz 이상의 주파수 영역에서 풍속이 증가함에 따라 소음준위가 증가한다는 기존의 연구결과를 뒷받침하고 있다. 또한 그림 7에는 대양심해의 평균적인 소음준위를 같이 비교하여 그려놓았으며, 전체적으로 연근해 소음준위가 10~20 dB 높은 것을 알 수 있다. 이로부터 한반도 연근해와 같은 천해에서는 대양심해의 결과와는 소음준위가 차이를 보임에 따라 새로운 연근해 소음스펙트럼 추정식이 필요할 것으로 판단하게 되었다.

그림 1 및 그림 7에 나타난 대양 심해의 측정결과를 중

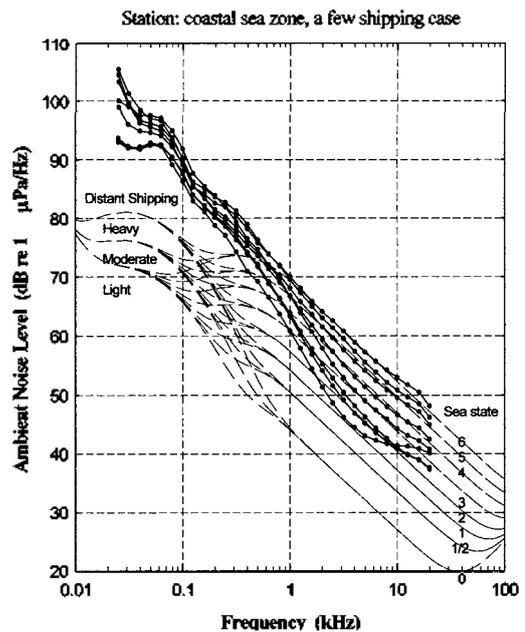


그림 7. 주위선박이 없을 때 해상상태에 따른 배경소음준위의 변화 (실선 및 심볼: 측정값, 점선: 대양심해의 Wenz 곡선)  
Fig. 7. Change of ambient noise level according to sea state in the non-shipping case (solid line and symbol: observed value, dotted line: Wenz 곡선 in deep ocean).

같은 Wenz 곡선을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$N_d := 10 \log \{ 10^{N_I/10} + 10^{N_{II}/10} + 10^{N_{III}/10} + 10^{N_{IV}/10} \} \quad (1)$$

$$N_I = 107 - 30 \log(f),$$

$$N_{II} = 76 - 20[\log(f) - \log(30)]^2 + 10(S_d - 0.5),$$

$$N_{III} = 44 + \sqrt{21v} + 17[3 - \log(f)][\log(f) - 2] \text{ below } 1 \text{ kHz},$$

$$N_{III} = 95 + \sqrt{21v} - 17 \log(f) \text{ above } 1 \text{ kHz},$$

$$N_{IV} = -75 + 20 \log(f)$$

를 나타내며  $N$ 은 소음준위값 (dB),  $N$ 의 아래첨자는 주파수대역,  $f$ 는 주파수 (Hz),  $S_d$ 는 먼 거리 항행선박밀도 (~1: 밀도와 선박수와의 관계는 임의적임),  $v$ 는 풍속 (knots)을 지시한다. 주파수대역 I은 1 Hz~20 Hz에서 주된 소음원이 대양의 난류형태로 나타나는 구역을, 대역 II는 20 Hz~500 Hz로서 먼 거리 항행선박에 의한 영향이 주된 구역을, 대역 III은 500 Hz~50 kHz로서 해수면 상층에 따라 영향 받는 구역을, 대역 IV는 20 kHz이상이므로 해수의 분자운동에 의한 열소음 구역을 나타내고 있다 [1]. 이러한 식 (1)의 표현은 심해소음준위 측정값을 정리한 Wenz 곡선을 수치적 공식으로 근사적으로 나타낸 것이다.

위의 Wenz 곡선 공식과 유사하게 한반도 주변해역의 측정자료에 근거하여 산출한 연근해 소음스펙트럼 공식을 만들기 위해, 위의 Wenz 공식의  $N_{III}$ 에서  $21v$ 를  $10v$ 로 대체하여 표현하고,  $N_d$ 를  $N_c = N_d + 10(0.5S_c + 1)$ 로 바꾸고 다음 몇가지 상수를 조절하면 새로운 연근해 소음스펙트럼 준위 ( $N_c$ ) 공식은 식 (2)와 같이 만들어진다.

$$N_c := 10 \log \{ 10^{N_I/10} + 10^{N_{II}/10} + 10^{N_{III}/10} + 10^{N_{IV}/10} \} + 10(0.5S_c + 1) \quad (2)$$

$$N_I = 107 - 30 \log(f),$$

$$N_{II} = 76 - 20[\log(f) - \log(30)]^2 + 10(S_d - 0.5),$$

$$N_{III} = 42 + \sqrt{10v} + 17[3 - \log(f)][\log(f) - 1.5] \text{ below } 1 \text{ kHz},$$

$$N_{III} = 93 + \sqrt{10v} - 17 \log(f) \text{ above } 1 \text{ kHz},$$

$$N_{IV} = -75 + 20 \log(f)$$

를 나타내며,  $S_c$ 는 9 마일 내의 근거리 항행선박밀도 (~1)를 지시한다. 본 측정자료의 경우 근거리 선박밀도는 9 마일 내에 선박이 없는 경우이며, 밀도 1은 9 마일 내에 평균적으로 4척이 존재하는 경우로 하였다 (선박자료의 분포를 따라 정하였음). 즉,  $N_{III}$ 의 수정은 연근해에서는 풍속에 의한 소음준위의 증가량이 다른 소

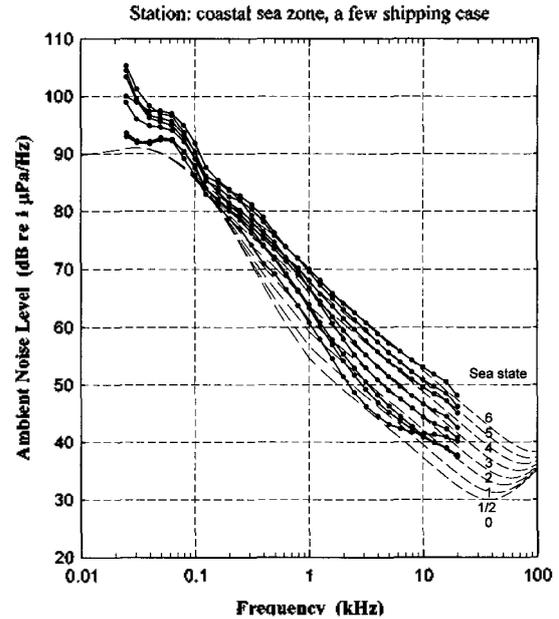


그림 8. 주위선박이 없을 때 해상상태에 따른 배경소음준위의 변화 (실선 및 심볼: 측정값, 점선: 연근해 소음스펙트럼 공식계산)

Fig. 8. Change of ambient noise level according to sea state in the non-shipping case (solid line and symbol: observed value, dotted line: calculation by coastal noise spectrum formula).

음준위의 우세로 인해 비율적으로 작게 나타난 것이며 또한 근거리 선박의 영향을 고려하기 위해  $S_c$ 를 도입한 것이다.

식 (2)에 의한 연근해 소음스펙트럼 공식의 계산결과를 해상상태 변동에 따른 실측 통계값과 비교하여 그림 8에 나타내었으며 대체적으로 양호한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 이러한 연근해 소음스펙트럼 공식은 9개년 간 한반도 주변해역에서 측정한 다량의 배경소음자료를 통계처리하여 근사적인 공식으로 산출한 것이므로 앞으로 유용한 공식으로 쓰일 것으로 기대한다.

### 3.3. 선박통행량의 변동에 따른 배경소음 준위의 변화

이번에는 주위에 항행하는 선박의 방사소음에 따른 배경소음 준위의 변동을 알아보기 위해 항행선박수에 따른 소음준위의 선형회귀 상관분석을 하였으며, 그 결과를 주파수별로 그림 9에 나타내었다. 1/3 옥타브밴드 중심주파수에서의 상관계수는 표 2에 정리하였다. 그림 9에 따르면 모든 주파수 대역에서 비슷한 상관관계를 보이고 있으며, 이는 기존에 알려진 바와 같이 먼 거리 선박의 항행에 따라 영향받는 주파수대역이 수십 Hz~수 kHz에 국한되

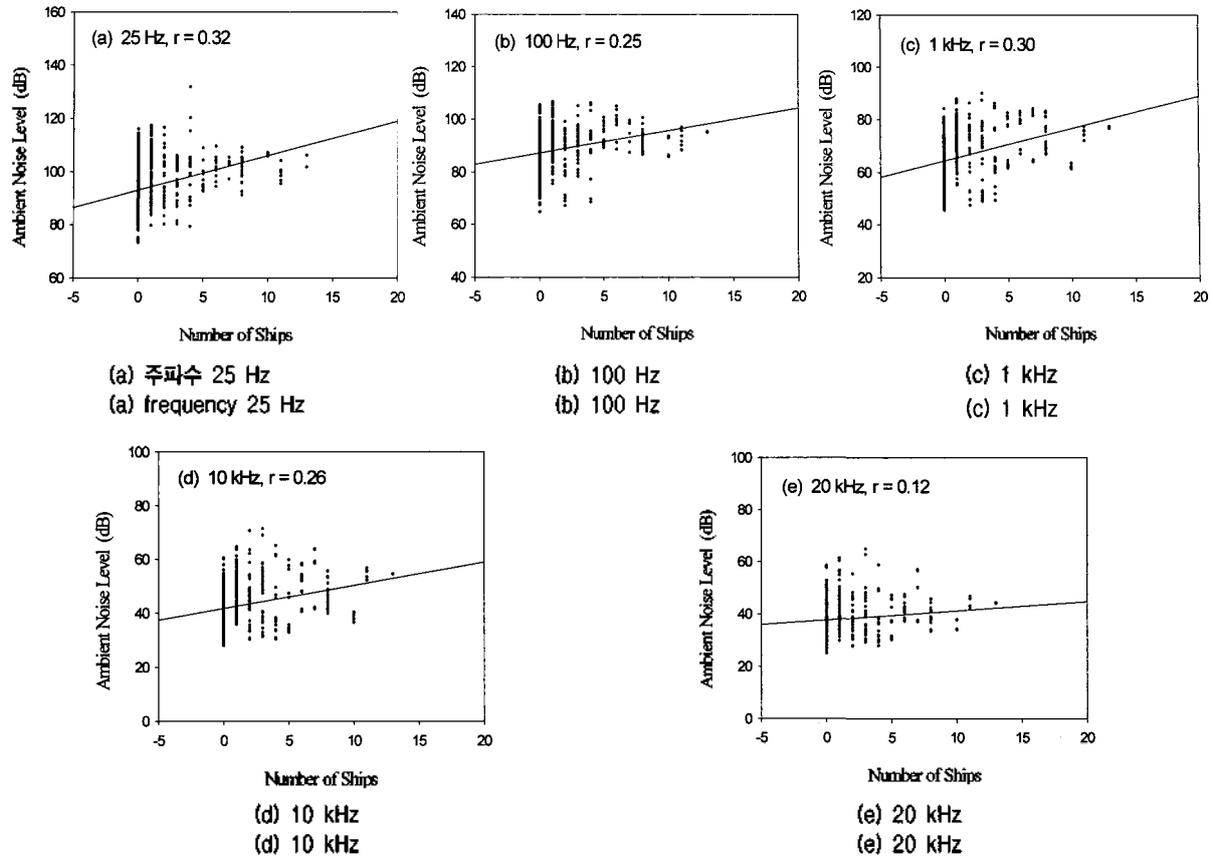


그림 9. 해상상태 1/2에서 주위선박수에 따른 소음준위의 선형회귀 상관  
 Fig. 9. Linear regression of ambient noise level as a function of number of ships in the sea state of 1/2.

어 있음에 비추어 볼 때 상이한 결과이다. 이는 본 분석에 쓰인 항행선박의 분포가 조사선을 중심으로 9마일 이내의 근거리에서 존재하는 선박을 대상으로 하였기 때문이다. 즉 선박이 근거리에서 있을 때에는 선박소음의 주파수스펙트럼이 저주파수에서 고주파수(수십 kHz)까지 영향을 미치기 때문이다. 그러나 표 2에서 보듯이 16 kHz 이상에서는 갑자기 상관이 낮아짐을 알 수 있다. 이것은 선박소

음의 에너지가 수십 kHz 대역까지는 미치지 못함을 나타내는 것이다. 연구선으로부터 반경 9 마일 이내에서 선박통행량(ship traffic)의 변동에 따른 배경소음 준위의 변화를 그림 10에 나타내었다. 이 경우 수중청음기의 수심은 50 m 이내이며, 해상상태 1/2일 때의 자료를 보여주고 있다. 그림으로부터 선박통행량이 증가하면 전체의 주파수 영

표 2. 해상상태 1/2에서 주위선박수와 소음준위의 주파수별 상관계수  
 Table 2. Correlation coefficient of wind speed and ambient noise level in the sea state of 1/2.

Frequency (Hz)	Correlation coefficient	Frequency (Hz)	Correlation coefficient
25	0.32	250	0.27
31.5	0.32	315	0.28
40	0.27	400	0.27
50	0.24	500	0.27
63	0.23	630	0.28
80	0.23	800	0.28
100	0.25	1000	0.30
125	0.28	1250	0.30
160	0.29	1600	0.30
200	0.28	2000	0.30

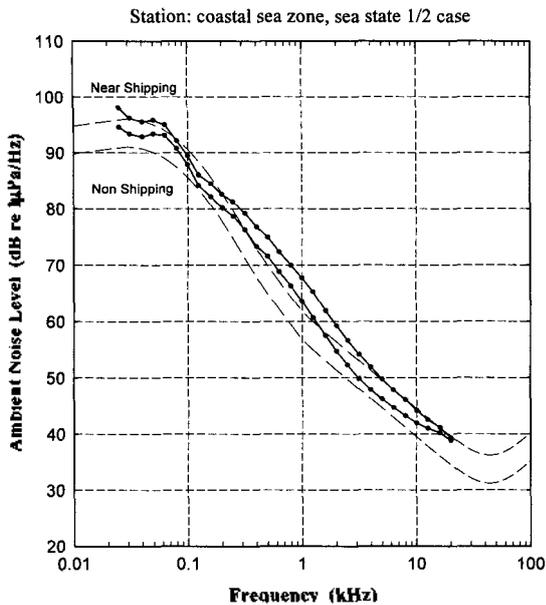


그림 10. 해상상태 1/2에서 주위선박의 통행량에 따른 배경소음 준위의 변화 (실선 및 삼볼: 측정값, 점선: 연근해 소음 스펙트럼 공식계산)

Fig. 10. Change of ambient noise level according to shipping condition in the sea state of 1/2 (solid line and symbol: observed value, dotted line: calculation by coastal noise spectrum formula).

역에서 소음준위가 증가하고 있음을 알 수 있다. 수심이 1,000 m 이상인 대양심해에서 먼거리 항행선박에 의한 소음준위 대역은 10~500 Hz로서 주로 저주파수 영역에서 소음준위가 상승하는 것으로 알려져 있지만, 본 측정 결과는 1/3 옥타브 중심주파수 25 Hz부터 20 kHz의 전체 주파수 영역에서 소음준위가 상승하고 있는 특징이 나타났다. 이는 항행선박이 9 마일 이내로 연구선과 근접해 있는 상태로서 선박 추진기 소음의 고주파수 성분까지 모두 수신되었기 때문으로 사료된다.

#### IV. 결론

한반도 주변해역에서 9개년간 측정된 해수중 배경소음의 자료로부터 주변환경 변동에 따른 배경소음 준위의 변화를 분석하였다. 주변환경 인자는 크게 두 가지로 구분하여 풍속의 함수로 주어지는 해상상태와 연구선의 주위를 항행하는 선박량에 따른 영향을 분석하였다. 해상상태의 증가에 따라 주파수 1 kHz 이상의 고주파수 영역에서 배경소음 준위가 상승하고 있음이 확인되었으며, 선박통행량의 증가에 따라 초기에는 저주파수 영역(1 kHz 이하)이 우세한 반면 선박통행량이 증가할수록 전체

의 주파수 (25 Hz~20 kHz) 영역에서 배경소음 준위가 상승하고 있음을 확인하였다. 이것은 먼 거리 항행선박보다는 근거리 항행선박에 의해 전체의 주파수 대역에서 영향이 나타나고 있기 때문으로 해석되었다. 이러한 측정값들을 토대로 통계처리결과에 따른 연근해 소음스펙트럼의 실험식을 계산하였으며, 측정값들을 잘 대표하고 있었으며, 전체적으로 대양심해의 결과에 비해 10~20 dB 정도 높은 소음준위값을 보였다. 또한 한반도 주변 천해에서의 전체 평균스펙트럼 준위와 표준편차를 구해냄으로서 실측에 근거한 평균적인 자료로 잘 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

결과적으로 한반도 연근해 해역의 이러한 결과를 토대로 대양의 소음스펙트럼과 연근해의 소음스펙트럼은 차이가 존재함을 확인하였으며, 본 논문에서 한반도 연근해 해역에서는 제시된 연근해 소음스펙트럼 결과를 적용하는 가능성을 제안하였고, 장기간에 걸친 실측자료의 이와 같은 통계결과는 한반도 주변 천해의 수중음향연구에 기본자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

1. R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, McGraw-Hill, New York, 1983.
2. 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.
3. J. A. Nystuen, "Rainfall measurements using underwater ambient noise," *J. Acoust. Soc. Am.*, **79**, 972-982, 1986.
4. V. O. Knudsen, R. S. Alford and J. W. Emling, "Underwater ambient noise," *J. Mar. Res.*, **7**, 410-429, 1948.
5. G. M. Wenz, "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources," *J. Acoust. Soc. Am.*, **34**, 1936-1956, 1962.
6. R. J. Urick, *Ambient Noise in the Sea*, Peninsula Publishing, Los Altos, 1986.
7. 김봉채, 최복경, 변상경, "속초 연안의 천해에서 해수중 주위잡음 레벨의 풍속 의존성," *해양연구*, **18** (2), 93-99, 1996.
8. 김호철, 김민근, 서상준, 윤석왕, 김영환, *물리음향학 I*, 만음사, 171-196, 1994.
9. H. C. Pumphrey, L. A. Crum, and L. Bjørna, "Underwater sound produced by individual drop impacts and rainfall," *J. Acoust. Soc. Am.*, **85** (4), 1518-1526, 1989.
10. 김봉채, 최복경, 송희전, 변상경, "강우에 의하여 발생된 해수중 주위잡음의 측정," *한국음향학회지*, **13** (1), 49-56, 1994.
11. K. J. Diercks, R. T. Trochta, C. F. Greenlaw and W. E. Evans, "Recording and analysis of dolphin echolocation signals," *J. Acoust. Soc. Am.*, **49**, 1729-1732, 1971.
12. 김봉채, 최복경, "동해 중부 연안에서 관측된 흰줄무늬 돌고래 발생음의 율향 특성," *한국음향학회 제11회 수중음향학 학술발표회 논문집*, 51-54, 1996.
13. D. H. Cato, "Features of ambient noise in shallow water," *International Conference on Shallow-Water Acoustics (SWAC)*

'97), 77, 1997.

14. A. J. Perrone, "Ambient-Noise-Spectrum Levels as a Function of Water Depth," *J. Acoust. Soc. Am.*, **48** (1), 362-370, 1970.

---

### 저자 약력

---

● **최복경 (Bok Kyoung Choi)**

현재: 한국해양연구원 지구환경연구본부 책임연구원  
한국음향학회지 제21권 제3호 참조

● **김봉채 (Bong-Chae Kim)**

현재: 한국해양연구원 지구환경연구본부 책임연구원  
한국음향학회지 제21권 제3호 참조

● **김철수 (Cheolsoo Kim)**

1974년 2월: 서울대학교 문리과대학 해양학과 (해양학, 이화사)  
1990년~12월: Old Dominion University, VA USA (해양물리학, 이화박사)  
1993년~현재: 한국해양학회 이사, 평의원, 총무이사 역임  
2001년 2월~2003년 1월: 기상청 기후전문위원  
2001년 5월~현재: 과학기술부 과학기술기본계획 추진위원  
2001년 3월~현재: 한국해양연구원 선임연구본부장 및 지구환경연구본부 책임연구원

● **김병남 (Byoung-Nam Kim)**

1997년 2월: 세명대학교 물리학과 (이학사)  
1999년 8월: 성균관대학교 물리학과 (이학석사)  
1999년 9월~현재: 성균관대학교 물리학과 (박사과정)  
1997년 8월~현재: 한국해양연구원 해군해양학 연구센터 협동연구생  
\* 주관심분야: 물리음향, 비선형음향, 수중음향, 생물음향