

주위잡음에 미치는 표층도파관의 영향에 관한 연구

Study on the effect of surface waveguide
on oceanic ambient noise

1998. 2

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “주위잡음에 미치는 표층도파관의 영향에 관한 연구” 사업의 최종 보고서로 제출합니다.

1998 년 2 월

연구책임자: 최 복 경 (해양물리연구부)

연 구 원: 김 봉 채

김 병 남

요 약 문

I. 제 목

주위잡음에 미치는 표층도파관의 영향에 관한 연구

II. 연구 개발의 목적

해수 중의 음속구조의 변화에 따라 형성된 표층도파관이 주위잡음에 미치는 영향을 실험자료와 음파전달모델을 통해 비교/파악한다.

III. 연구 개발의 내용 및 범위

1. 표층도파관 형성과 비형성시 측정된 자료의 분석
2. 음파전달모델을 통한 자료 비교
3. 표층도파관내의 주위잡음의 특성을 파악

IV. 연구 개발 및 활용에 대한 건의

1. 표층도파관이 해수 중 주위잡음에 미치는 영향에 관한 근거자료를 제시함으로써 이론적 근거를 뒷받침하는 데 기여함.
2. 본 연구는 수중소음 모델링 연구개발의 기초연구로서의 가치를 지님.

SUMMARY

I. Title

Study on the effect of surface waveguide on oceanic ambient noise

II. Motivation and Objectives of the Study

To investigate and compare the measurement data with modeling on the effect of surface waveguide, which be made by the various sound velocity profile in the ocean, on oceanic ambient noise.

III. Scopes

1. To analyze the data measuring under the surface waveguide condition or not.
2. To compare the experiment through the sound propagation model.
3. To investigate the characteristics of ambient noise in the surface waveguide.

IV. Conclusions and Suggestions

1. From the experimental data that surface waveguide affect the underwater ambient noise, it is shown the contribution of a support of theoretical basis.
2. This study is the necessarily basic study for the oceanic ambient noise modeling.

목 차

| | |
|------------------------------|----|
| 요 약 문 | 2 |
| 영문요약문 | 3 |
| 그림목차 | 5 |
| 제 1 장 서 론 | 7 |
| 제 2 장 표층도파관 내의 음파전달 해석 | 10 |
| 제 3 장 측정 및 분석 방법 | 17 |
| 제 4 장 해수 중 주위잡음의 측정결과 | 18 |
| 제 5 장 결 론 | 29 |
| 참고문헌 | 30 |

List of Figures

| | | |
|---------|--|----|
| Fig. 1. | Vertical sound speed profiles for propagation loss calculations | |
| | (a) Constant sound speed, | |
| | (b) Positive gradient sound speed, | |
| | (c) Two constant sound speed layers. | 13 |
| Fig. 2. | Propagation loss in the case of constant sound speed | |
| | (each symbol represents the receiving depth). | 14 |
| Fig. 3. | Propagation loss in the case of positive gradient of sound speed | |
| | (each symbol represents the receiving depth). | 15 |
| Fig. 4. | Propagation loss in the case of two constant sound speed | |
| | layers (each symbol represents the receiving depth). | 16 |
| Fig. 5. | Ambient noise observed in the South Sea in February and | |
| | propagation loss calculated by IFD model. | |
| | (a) Vertical profile of sound speed, | |
| | (b) Observed ambient noise, | |
| | (c) Propagation Loss calculated by IFD model. | 19 |
| Fig. 6. | Ambient noise observed in the South Sea in November and | |
| | propagation loss calculated by IFD model. | |
| | (a) Vertical profile of sound speed, | |
| | (b) Observed ambient noise, | |
| | (c) Propagation Loss calculated by IFD model. | 23 |

Fig. 7. Vertical contour of propagation loss calculated by IFD model in the case of Fig. 5.

- (a) Sound frequency 100 Hz, (b) 500 Hz,
- (c) 1 kHz, (d) 5 kHz, (e) 10 kHz. 27

Fig. 8. Vertical contour of propagation loss calculated by IFD model in the case of Fig. 6.

- (a) Sound frequency 100 Hz, (b) 500 Hz,
- (c) 1 kHz, (d) 5 kHz, (e) 10 kHz. 28

제 1 장 서 론

해양에서 주위잡음에 관한 연구는 소나 등 수중음향기에서 발생하는 신호의 효율적 활용을 위한 신호대 잡음비의 선정이나 음향기뢰의 활용 그리고 물리적 메커니즘의 관심 등으로 2차대전이후 Knudsen[1] 및 Wenz[2]의 연구를 시작으로 그후 많은 연구자들[3,4]에 의해 활발히 연구되어 왔으며, 현재까지의 종합적인 연구결과에 의하면 해수 중에 형성된 주위잡음의 발생주파수 대역은 대략 다음의 6가지로 세분할 수 있다[5]: 극초저주파수 (< 1 Hz), 초저주파수(1 Hz - 20 Hz), 저주파수(20 Hz - 200 Hz), 중주파수(200 Hz - 2 kHz), 고주파수(2 kHz - 20 kHz), 초고주파수(>20 kHz) 잡음대역. 극초저주파수 잡음은 해저 지진 및 해수 표면의 운동으로 인한 압력변화 등으로 생기고, 초저주파수 잡음은 함정 등의 스크류의 날개회전으로 인한 방사소음이 주원인으로 추정되며, 저주파수 잡음은 먼 거리 선박의 운항에 의해, 중주파수 잡음은 해상교통과 해수면 교란에 의해, 고주파수 잡음은 해수면교란에 의해, 초고주파수 잡음은 해수분자의 열적 교란에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 특히 중주파수와 고주파수 대역의 경우 해수면 위의 바람에 의해 해수면 교란으로 발생하는 주위잡음 레벨은 풍속이 2배 증가 할 때마다 약 6 dB씩 증가하는 특징을 보인다.

그 외 간헐적인 잡음원으로는 강우와 생물활동에 의한 것이 있으며, 강우에 의한 잡음은 물방울의 해수면 충격에 의한 전주파수대역의 주위잡음 레벨의 상승효과와 물방울 충격시 해수면 아래에 생성된 기포의 공진주파수 방사에 의한 16 kHz 주변의 잡음레벨의 급격한 상승으로 밝혀져 왔다 [6-8]. 생물잡음 중 강력한 잡음으로는 돌고래류에 의한 고주파수 발생음으로서 연구논문에 의하면 30 kHz부터 120 kHz까지 광범위한 주파수 영역을 포괄하고 있다[9,10].

해양에 형성된 주위잡음은 주파수, 해역수심 그리고 음속기울기에 따라 다양한 변화를 보인다. 주위잡음은 음속기울기의 영향이 없는 경우 고주파수 보다는 저주파수의 잡음이 흡음이 작아 상대적으로 큰 주위잡음레벨을 유지하게 됨은 잘 알려진 사실이며, 천해와 같이 해역수심이 얕은 경우에는 일종의 음향도파관 역할을 하게 되어 해역수심에 비해 상대적으로 큰 파장을 가지는 저주파수의 경우는 도파관 내에서 손실이 커져 결과적으로 특정대역의 주파수성분만이 해수 중에 남게 되며 이는 최적주파수 대역으로 알려져 있다[11].

음속기울기의 수직분포가 음파의 전달에 미치는 영향은 음속기울기의 형태가 간단한 경우 이론적으로 잘 분석되어 있다[12,13]. 예를 들면 음속이 깊이에 따라 증가하는 경우(양의 기울기), 해수면 가까이에서 발생된 음파는 음속이 작은 해수면 쪽으로 굴절하게 되어 주된 음파의 에너지가 해저면과의 반사 없이 잘 전파하게 된다(표층도파관 형성). 반대로 음속이 깊이에 따라 감소하는 경우(음의 기울기), 음파는 해저면 쪽으로 굴절하여 해저면과의 잦은 반사로 인해 음파의 흡수가 커져서 음파는 거리에 따라 감쇠가 커지게 된다. 양의 음속기울기를 가질 때 표층도파관이 형성되며 이러한 효과가 주위잡음에 미치는 영향에 대한 연구는 표층도파관 내의 잡음레벨이 표층도파관보다 깊은 수심층의 경우보다 높게 나타난다는 보고가 있었다[14].

본 연구는 남해의 한 정점에서 1995년 2월, 11월에 계절별로 주위잡음레벨을 측정된 자료를 토대로 수직음속구조의 변화에 따라 주위잡음레벨을 수심별로 추출한 것으로서 파동방정식을 Parabolic Equation(PE)계열로 유도한 음파전달모델(IFD model)을 사용하여 이론적 결과 비교 및 해석하였다[15]. 기존에 주위잡음 모델링에 관한 이론적 연구가 진행되어 왔으나 [12,16], 완벽한 모델로는 아직 학계에서 검증되고 있지 않고 프로그램 소스코드도 공개되지 않은 상황이다.

따라서 여기서는 표층도파관내의 잡음의 문제를 다루고 있으므로 표층도파관 형성과 비형성의 조건하에 음파전달 모델을 이용한 모델 결과를 사용하여 측정자료와 비교하였다. 본 해석에 쓰인 정점은 평균수심이 100 m 인 곳으로서 계절에 따라 해수면 층에 수온혼합층(mixed layer) 즉, 표층도파관(surface waveguide)이 형성되거나 형성되지 않은 조건을 구비하고 있다.

본 연구에서는 표층도파관 형성시 주위잡음의 수심에 따른 변화에 초점을 맞추어 측정결과를 제시하였으며 음파 전달모델을 통해 음파 전달손실의 수심의존도를 해석하고 주위잡음과의 관련성을 논의하였다.

제 2 장 표층도파관 내의 음파전달 해석

해수면이 대기와의 활발한 열 교환으로 인해 수심증가에 따른 온도 구배가 없는 혼합층(mixed layer)이 해수면 층에 형성되면 이 층 내에서 음속은 수심증가에 따라 음속이 증가하게 되어 음파가 해수면 쪽으로 굴절하는 일종의 도파관(waveguide) 역할을 하게 된다. 또한 음속이 어느 수심에서 급격히 감소하여 서로 다른 두 개의 음속 균일층으로 분리되는 경우도 도파관과 같은 역할을 하게 되는데 여기서는 이와 같은 경우들을 비교하기 위해 그림 1과 같이 음속구조가 다른 세 가지로 선정하였다. 그림 1에서 (a)는 음속이 균일한 경우, (b)는 양의 기울기를 갖는 경우, (c)는 음속이 균일한 두 개의 층으로 구분된 경우를 나타내고 있다.

이론적 해석을 위해 공개된 음파전달모델인 IFD(Implicit Finite Difference) 모델을 사용하여 표층도파관 내의 음파전달손실을 계산하였다. 프로그램 소스코드언어는 Fortran이며 프로그램의 에러 여부를 확인하기 위해 우선 벤치마킹 과정을 통해 검증하여 문제가 없음을 확인하였다[13]. 음원은 수심 10 m에 위치시켰으며 음원방사조건으로는 Gaussian 음장으로 적용하고, 방사범위는 wide angle condition을 적용하였고, 수직 및 수평거리의 거리 분해능은 각 계산을 위한 대상주파수의 1/4파장 이내로 설정하여 정밀한 계산이 되도록 하였다. 전달거리는 10 km까지 계산하였으며 일정 수신 수심에서 5 km부터 10 km까지의 레벨을 평균한 값을 그 수심의 주위잡음의 평균 전달손실 값으로 취하였다. 주파수는 100 Hz부터 10 kHz까지 계산하였으며 계산시간은 Pentium 150 MHz의 PC에서 한 주파수당 평균 1시간 이내가 소요되었다.

본 계산결과를 측정된 주위잡음의 레벨과 정확히 비교할 수는 없지만, 표층도파관 내의 음장 형성에 관한 물리적 해석에 참고할 수 있을 것이다.

주위잡음이란 불특정음원에 의해 해수 중에 발생된 잡음이 오랜 시간이 지나면서 충분히 감쇠한 후에도 주파수에 따라 일정한 최소음압 레벨을 유지하고 있는 잡음으로서, 이는 마치 특정 음파가 해수 중을 멀리 전파한 후 해수 중에 잔존하는 것으로 비유할 수 있다.

그림 2에 음속이 균일한 경우에 대한 주파수에 따른 전달손실 모델결과를 세 수심에 대해 비교하여 나타내었다. 음원으로부터 출발한 음선은 해수 내에서 굴절없이 직접적인 경로와 반사경로만을 따라 전파하게 되므로 수심에 따른 차이는 작을 것으로 예측할 수 있다. 그림 2의 모델결과를 보면 100 Hz부터 10 kHz까지 수심에 따른 차이는 10 m층의 전달손실 레벨이 모든 주파수에서 조금 작았으나 편차범위로 볼 때 수심에 따른 차이는 3 dB 이내로 작은 편이었다. 전 주파수 영역에서 얇은 수심층의 전달손실 레벨이 작은 이유는 음원의 위치가 수표면 가까이(10 m)에 위치하므로서 10 km까지의 전달은 얇은 수심층에 직접적인 경로로 인한 영향이 미쳤기 때문으로 판단된다.

그림 3은 양의 음속기울기를 갖는 경우에 대한 모델결과이다. 기울기는 $+0.05$ /s로 주었다. 수심증가에 따라 음속이 증가하고 있으므로 음원으로부터 방사된 음선은 음속이 작은 해수면 쪽으로 굴절하게 될 것이며, 이는 곧 해저면과의 반사횟수가 작게 되어 전체적으로 손실이 작게 되고 또한 얇은 수심층에 도달하는 음파의 손실이 더욱 작을 것으로 예측할 수 있다. 그림 3의 모델결과를 보면 400 Hz이상에서 10 m 수심층의 전달손실 레벨이 다른 층에 비해 약 5 dB 정도로 작게 나타나고 있다. 여기서 400 Hz이하의 전달손실 레벨이 수심에 따라 별 차이가 나타나지 않는 것은 해역수심이 100 m인 본 경우에 대해서는 저주파수 차단을 의미하는 차단주파수가 근사적으로 320 Hz로 계산되어 이러한 효과는 수심의 한계로 인한 저주파수 차단이 원인인 것으로 파악된다[11]. 이 경우 음속기울기가 해역수심까지 도달되어 있으므로 음향도파관의 깊이는 해역수심과 같은 100 m

로 볼 수 있다.

그림 4는 두개의 음속 균일층으로 분리된 경우에 대한 전달손실 모델결과이다. 약 52 m부터 64 m까지 음속이 급격히 감소하는 환경을 주었으며 분리된 두 층은 일정한 음속을 주었다. 이러한 환경을 준 이유는 음속이 수심증가에 따라 양의 기울기를 갖지 않더라도 음속이 어느 수심에서 갑자기 변하는 경우 두층 간의 전달손실은 어떤 영향을 받는가를 알아보기 위해서이다. 이러한 경우에 대한 그림 4의 결과를 보면 수심증가에 따라 전달손실이 커지고 있음이 전 주파수대역에서 현격히 나타나고 있다. 즉 음속이 수심증가에 따라 양의 기울기를 갖지 않고 어느 수심에서 계단형태의 급격한 음속변화를 보이는 경우에도 두 층간의 음향임피던스 차이로 인해 두층의 경계면에서 반사가 발생하여 일종의 음향도파관 역할을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 여기서 같은 층 내에 있는 10 m와 30 m 수심층의 전달손실 레벨에도 차이가 나는 것은 그림 2에서 설명한 효과로 볼 수 있다.

이와 같이 세 경우의 환경에서 전달손실의 모델계산에서 얻어진 결론은 천해(통상 수심 200 m 이내)의 표층도파관은 두 경우로 발생할 수 있는데, 그 한가지는 수심증가에 따라 음속이 증가하는 효과에 의한 것이며 또 다른 하나는 음속이 급격히 변하는 층이 존재할 경우의 효과에 의한 것임을 알 수 있었다. 4장에서 해양의 환경변화에 따른 해수 중 주위잡음의 실측결과를 해석하는 데에 위의 이론 해석을 적용할 것이다.

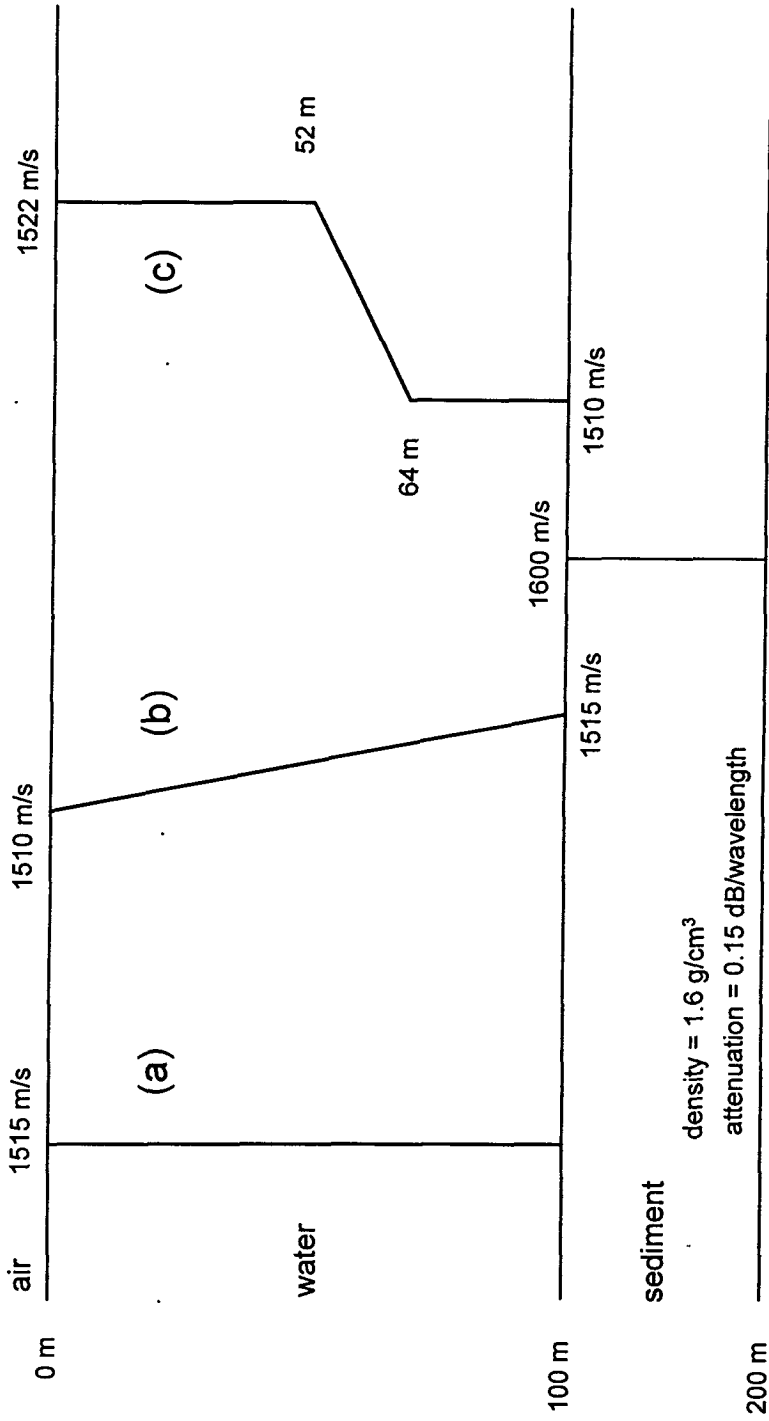


Fig. 1. Vertical sound speed profiles for propagation loss calculations

- (a) Constant sound speed,
- (b) Positive gradient sound speed,
- (c) Two constant sound speed layers.

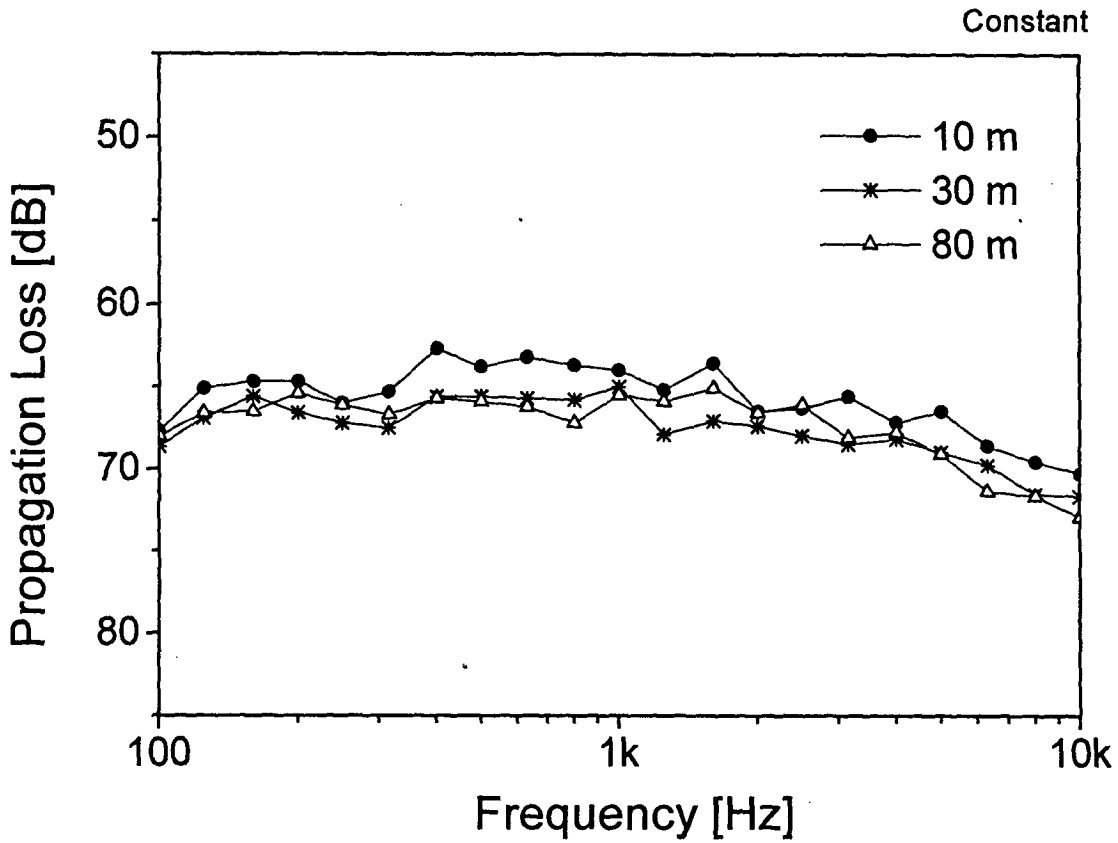


Fig. 2. Propagation loss in the case of constant sound speed (each symbol represents the receiving depth).

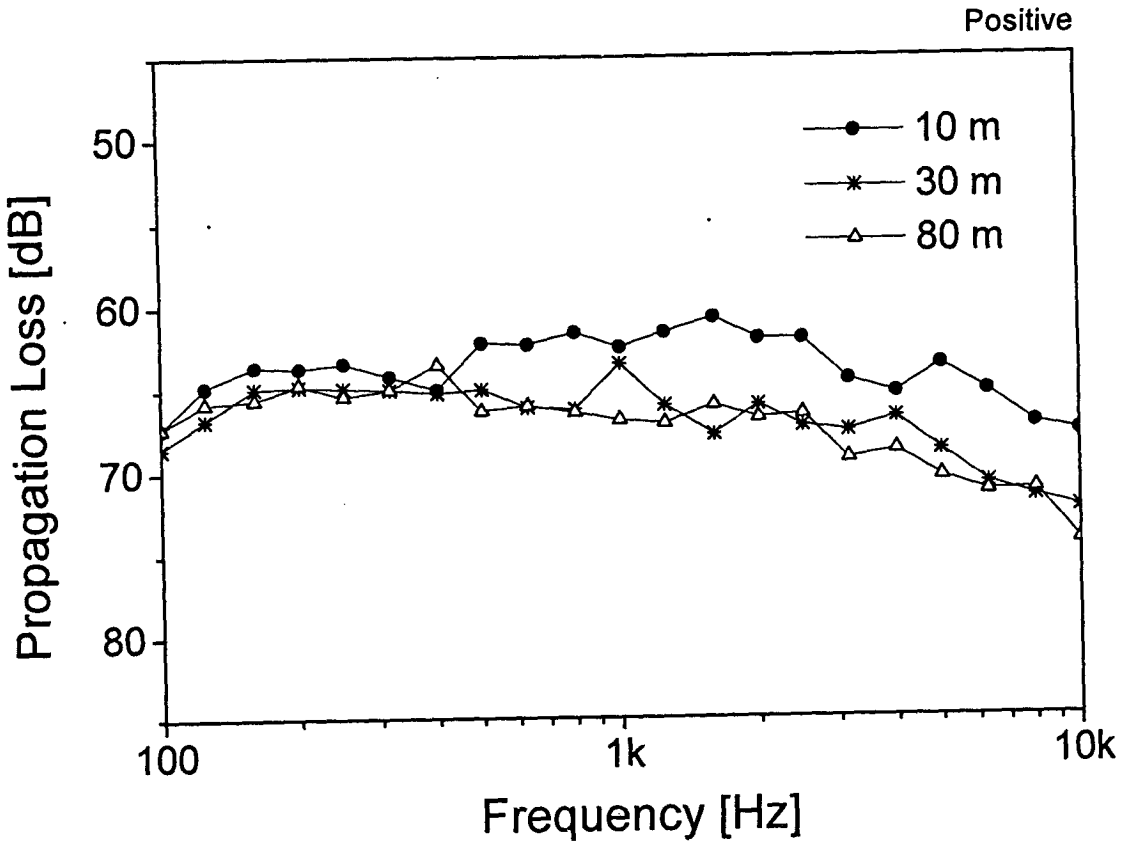


Fig. 3. Propagation loss in the case of positive gradient of sound speed (each symbol represents the receiving depth).

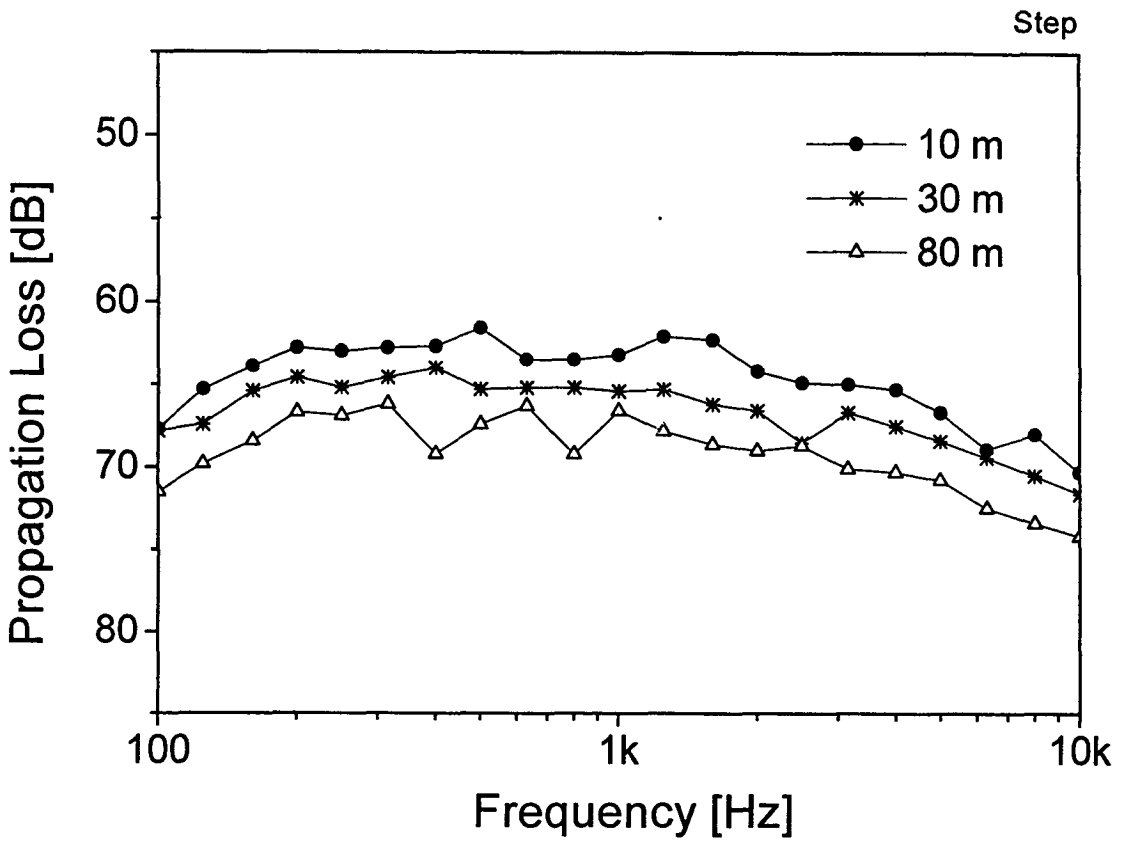


Fig. 4. Propagation loss in the case of two constant sound speed layers (each symbol represents the receiving depth).

제 3 장 측정 및 분석 방법

해수 중 주위잡음 레벨을 측정하기 위하여 1995년 2월과 11월에 해상에 정지된 조사선에서 수중청음기를 각각 수심 10, 30, 80 m의 해수 중에 위치시켜 주위잡음을 각각 48시간 동안 녹음하였다. 녹음은 매 시간당 10분씩 연속적으로 수행되었다. 측정하는 동안 조사선의 주기관 및 보조기관 등 선내 잡음원의 가동을 중지하였으며 측정을 위한 모든 가동전원은 축전지로부터 직류/교류 변환기를 거친 110 VAC를 사용하였다. 해수 중의 강력한 저주파수 레벨의 유입을 막기 위해 22.4 Hz의 고주파수 통과필터를 사용하였다. 측정 중에 매 5분의 간격으로 풍속과 레이다에 의한 주위 선박의 방위 및 거리와 척수를 기록하였다.

사용된 수중청음기(B&K 8101)는 무지향성의 수신감도를 가지고 있으며 1 Hz - 60 kHz에서 편차 2 dB이내의 평탄한 주파수 특성을 갖고 있다. 측정용 증폭기(B&K 2636)는 2 Hz - 200 kHz에서 편차 0.5 dB을 가지며, 음향전용녹음기(B&K 7006)는 40 Hz - 60 kHz에서 편차 3 dB를 갖고 있다.

녹음된 신호는 분석실에서 녹음기로 주위잡음을 재생한 다음, 신호분석기(B&K 2035)에 의해 주파수 25 Hz~20 kHz의 27개의 중심주파수를 가지는 1/3 옥타브 밴드레벨로 분석하였다. 연속적인 주파수 스펙트럼의 자료 256개의 자료를 선형 평균하여 대표값으로 하였고 Hanning window를 사용하였다. 주위잡음의 스펙트럼 레벨은 구해진 분석값에 수중청음기의 수신감도, 측정용 증폭기의 증폭도 및 녹음기의 감쇠도 및 주파수별 녹음감도 등을 보상하여 수중음압 레벨 산정의 기준인 1 μ Pa을 기준으로 한 1 Hz 밴드로 환산하여 dB로 표시하였다.

제 4 장 해수 중 주위잡음의 측정결과

1. 2월 측정

그림 5는 남해의 수심이 100 m인 해역에서 1995년 2월에 관측된 음속 및 주위잡음, 그리고 전달손실 모델의 계산결과를 나타낸 것이다. 음속은 수심증가에 따라 변화가 거의 없었으며, $+0.016/s$ 의 약한 음속기울기를 갖고 있었다(그림 5(a)). 측정된 24시간의 자료 중에서 조사선 반경 3 마일 내에 선박이 1척만 존재하는 경우(12회)만을 추출한 후 평균 처리한 주위잡음 레벨을 나타내었다. 측정시 수중청음기의 수심은 10 m, 30 m, 80 m 였다. 주파수범위는 100 Hz에서 10 kHz까지 나타내었으며, 수심에 따른 잡음레벨의 변화는 주파수에 따라 다소 변동은 있지만 큰 차이는 보이지 않았다(그림 5(b)).

그림 5(c)에 전달손실 모델로 계산한 전달손실을 보였으며 주파수에 따라 수심에 따른 차이가 다소 있음을 알 수 있다. 1 kHz 이상의 주파수에서 10 m 층의 손실이 작은 것을 제외하고는 대체로 모든 주파수에서 수심에 따른 전달손실의 차이가 작았다. 1 kHz이상의 주파수에서 얇은 수심층의 손실레벨이 작은 이유는 수직음속분포가 약한 양의 기울기를 가지는 영향과 그림 3의 경우에서 설명한 차단주파수 영향이 함께 나타난 것으로 해석할 수 있다.

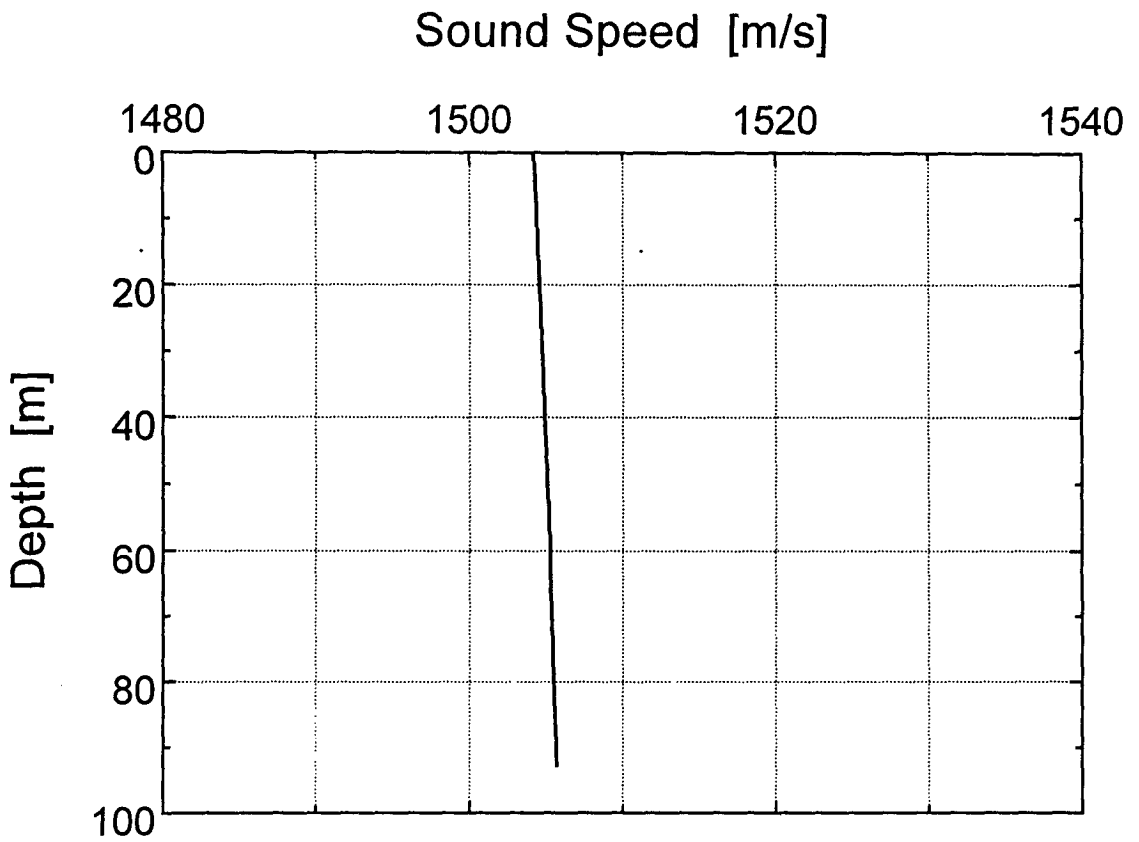


Fig. 5. Ambient noise observed in the South Sea in February and propagation loss calculated by IFD model.

(a) Vertical profile of sound speed,

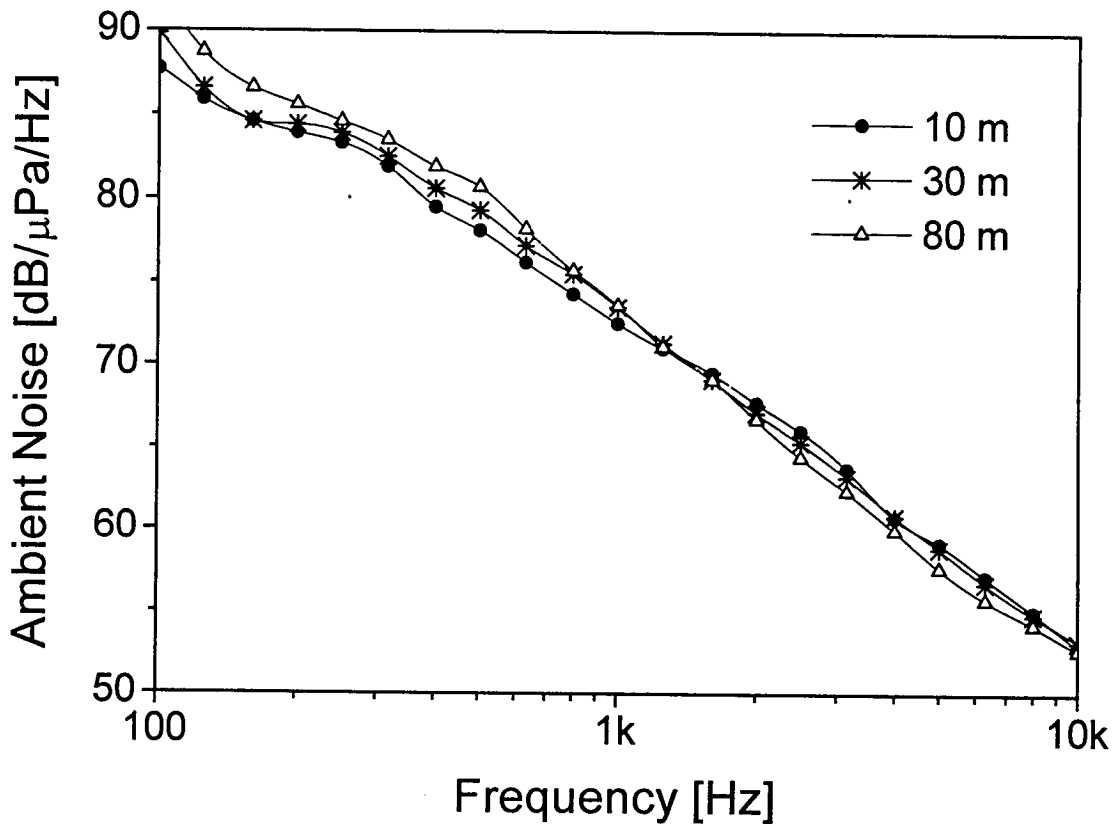


Fig 5. (continued)

(b) Observed ambient noise,

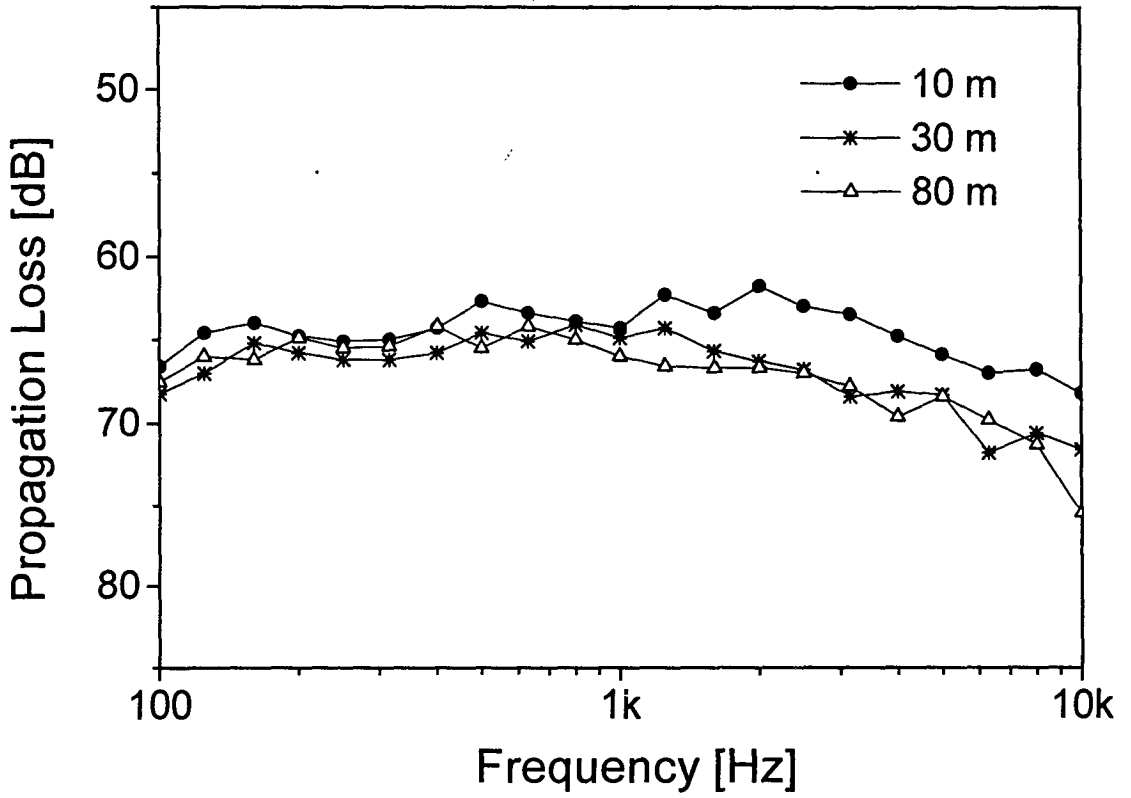


Fig 5. (continued)

(c) Propagation Loss calculated by IFD model.

2. 11월 측정

그림 6은 동일 정점에서 1995년 11월에 48시간동안 관측된 음속 및 주위잡음 그리고 같은 환경에서 음파전달모델의 계산결과를 나타내고 있다. 음속은 60 m 부근에서 급격한 변화를 보이는 두 층으로 구분되어 있음을 알 수 있다(그림 6(a)). 전달손실의 가상 환경으로 논의한 2장의 그림 1(c)의 경우와 유사한 환경임을 알 수 있다. 다른 점은 그림 6의 실측환경의 경우 위층의 음속이 $+0.014 /s$ 의 양의 음속기울기를 가지고 있다는 것이다. 주위잡음 측정조건은 2월의 경우와 동일하였다. 이경우도 2월 자료와 마찬가지로 조사선 반경 3마일 내에 선박이 1척만 존재하는 경우의 주위잡음 레벨을 평균 처리한 자료만을 사용하였다. 수심에 따라 잡음레벨의 변화는 2월의 경우에 비해 차이가 크게 나타났으며, 전주파수 대역에서 수심이 얇은 층의 잡음레벨은 다소 높게 나타나는 경향을 보이고 있다(그림 6(b)). 2월의 측정자료와 비교할 때 2월의 측정값보다 수심에 따른 잡음레벨의 차이를 잘 나타내고 있다. 그림 6(c)에 음파전달모델로 계산된 전달손실을 나타내었다. 모든 주파수에서 수심에 따른 전달손실의 차이가 크게 나타났다. 본 11월 측정은 그림 1(c)의 이론 가상 환경과 매우 유사하며 결과도 그림 4와 유사하게 나타나고 있다. 즉, 이 경우 수심에 따른 주위잡음레벨의 차이는 음속이 급격히 변하는 환경에 의한 도파관의 형성에 따른 영향이 우세하게 나타나고 둘째로 상층부의 수심증가에 따른 양의 음속기울기에 의한 약한 표층도파관의 영향이 함께 나타난 것으로 결론지을 수 있다.

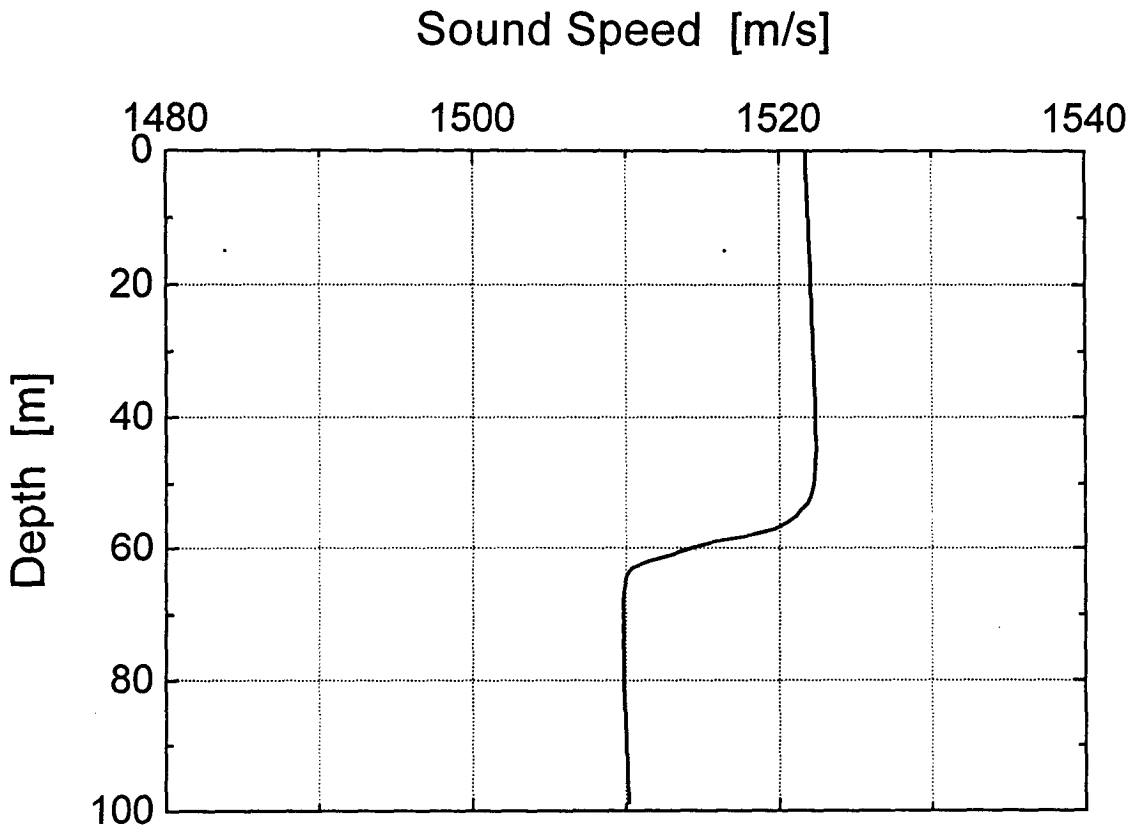


Fig. 6. Ambient noise observed in the South Sea in November and propagation loss calculated by IFD model.

(a) Vertical profile of sound speed,

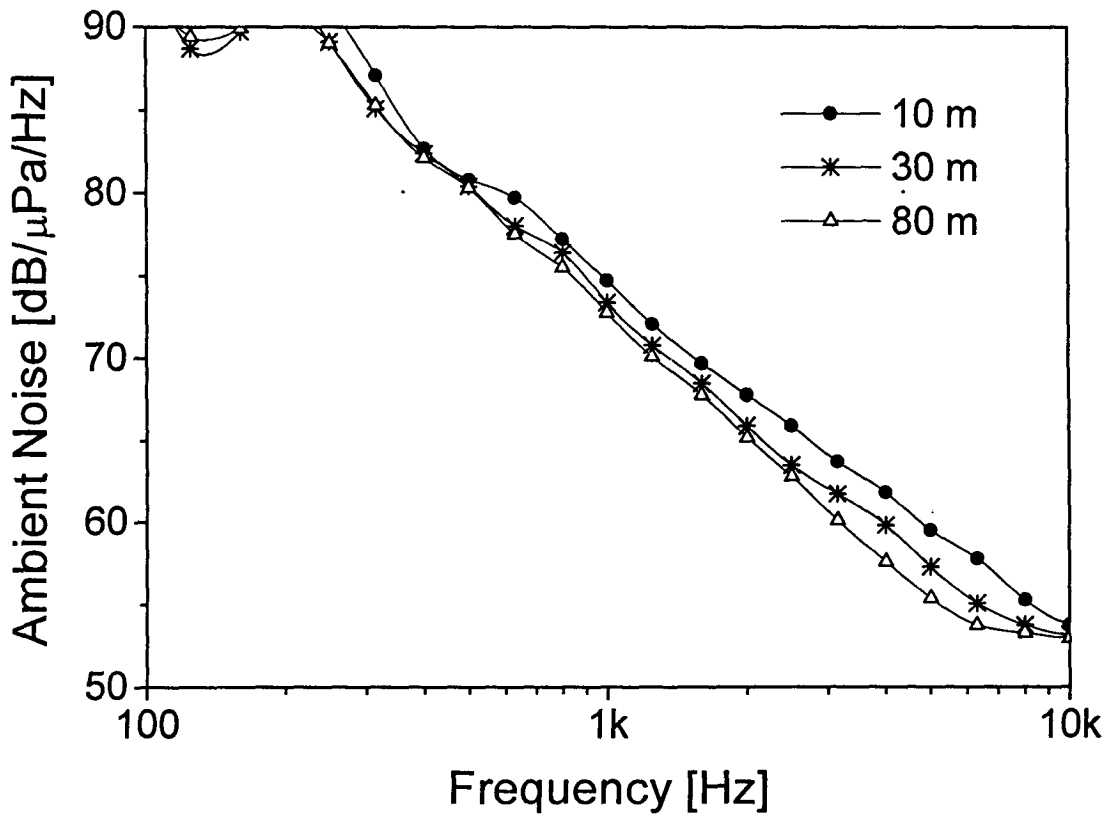


Fig 6. (continued)

(b) Observed ambient noise,

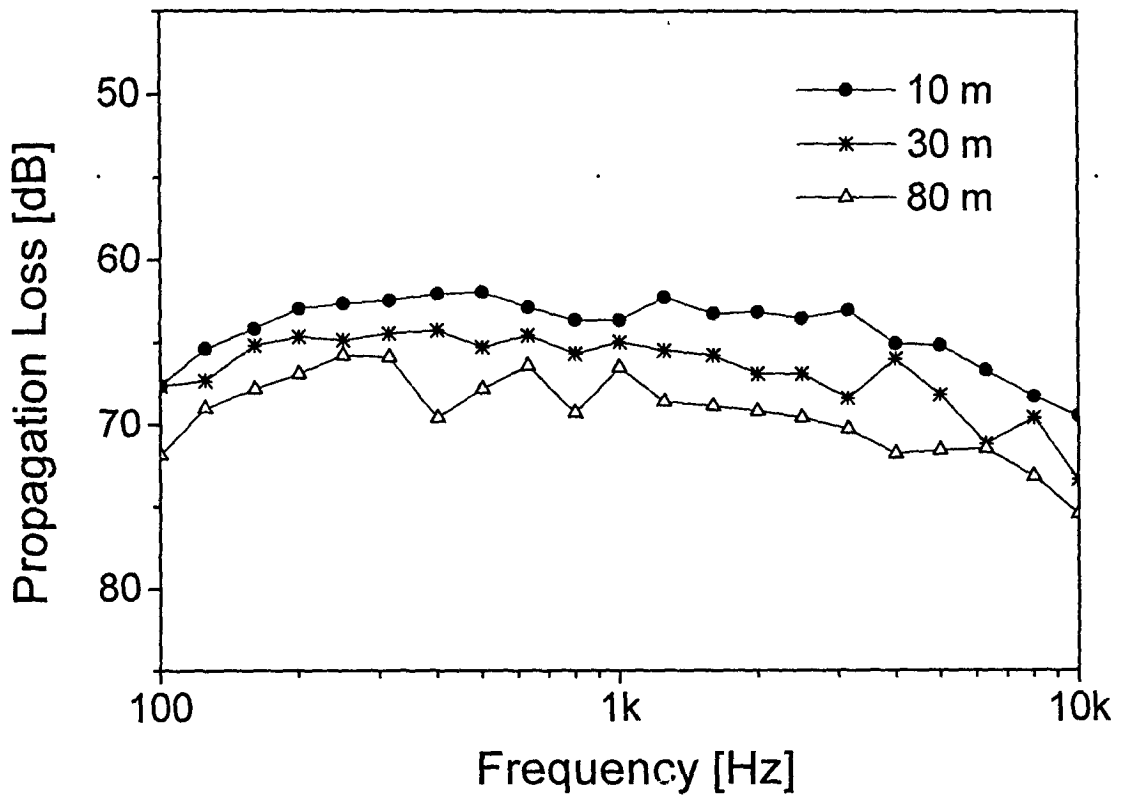


Fig 6. (continued)

(c) Propagation Loss calculated by IFD model.

그림 7은 음속이 거의 일정한 2월 환경의 경우에 전달손실 모델로 계산한 전달손실 레벨의 거리 및 수심에 따른 수직단면도를 나타내고 있다. 주파수는 대표적으로 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz의 다섯 경우를 나타내었다. 흰색이 전달손실이 가장 작음을 나타내고(즉 잡음레벨이 높음). 검은 색일수록 전달손실이 큼을 나타낸다(즉 잡음레벨이 작음). 그림 8은 표층도파관이 형성되는 11월 환경의 경우의 모델 계산 결과이다. 두 환경에 대한 모델 결과를 비교해 보면 11월의 경우가 2월에 비해 5 km 이상 전파했을 경우 얇은 수심층 쪽으로 전달이 잘 되고 있음을 볼 수 있다(전달손실이 해수면 쪽으로 작게 나타남). 그림상으로 확연하게 그 차이가 나지 않은 것은 손실레벨의 차이는 5 dB 이내로 제한되어 있는 반면 그림상 표현 분해능이 5 dB정도로 거칠게 표현되었기 때문이다. 이러한 차이를 5 km부터 10 kHz까지 각 수심(10, 30, 80 m)의 손실레벨을 평균하여 표현한 것이 그림 6(c)와 그림 7(c)이다.

결과적으로 2월과 11월 환경의 주된 차이는 음속이 급격하게 변하는 조건이며 음속이 급격하게 변하는 경우 충분히 표층도파관이 형성됨을 알 수 있었으며 여기에 부가적으로 양의 음속기울기로 인한 도파관 형성의 영향도 포함되어 있음을 알 수 있었다. 기존의 연구들은 표층도파관의 형성은 수심증가에 따른 양의 음속기울기가 주된 표층도파관 형성에 기여한다고 기술되어 왔으나 본 연구의 결과는 음속기울기의 영향 외에 음속이 급격히 변하는 환경에서도 충분히 좋은 음향도파관을 형성할 수 있음을 나타내고 있다.

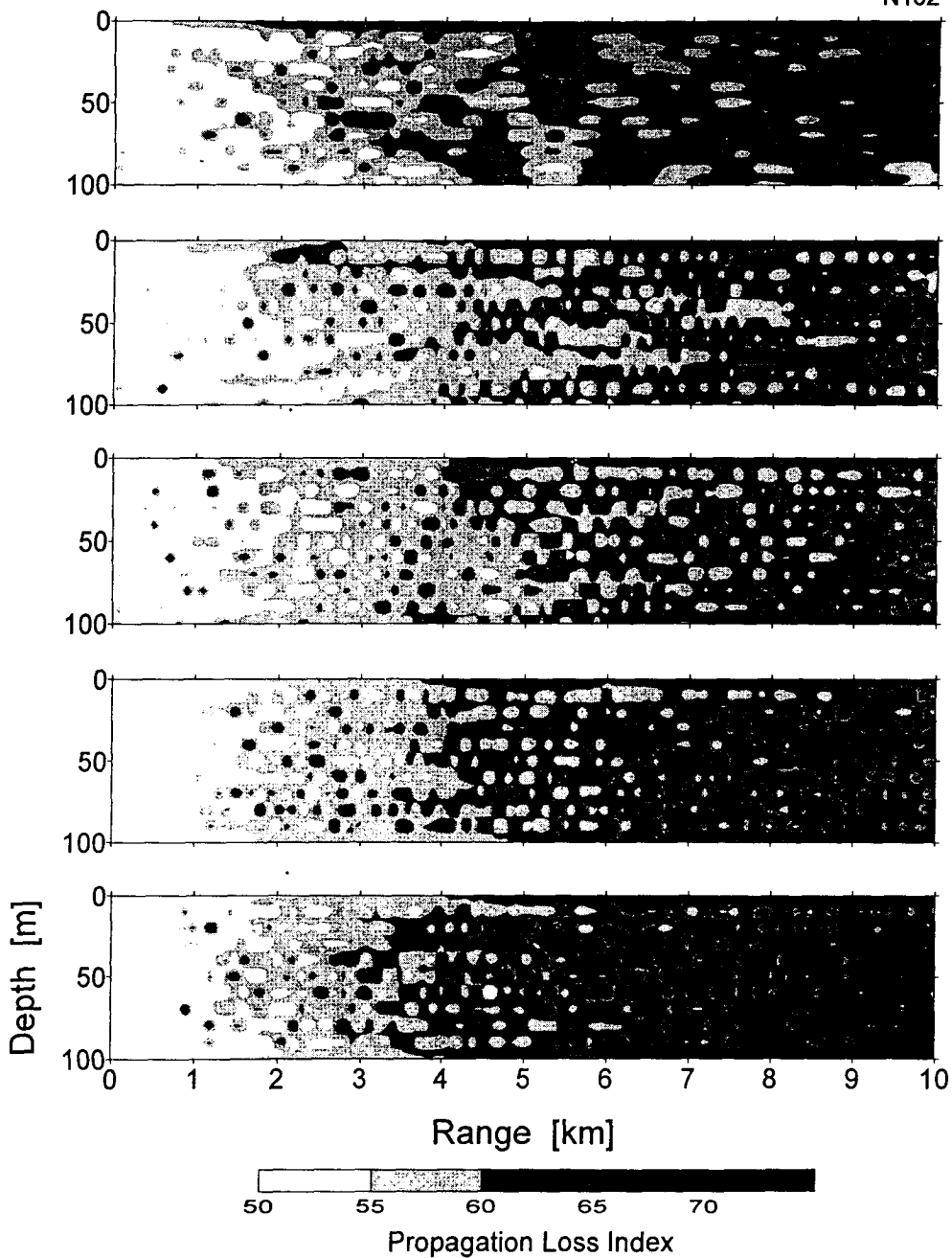


Fig. 7. Vertical contour of propagation loss calculated by IFD model in the case of Fig. 5.

(a) Sound frequency 100 Hz, (b) 500 Hz,

(c) 1 kHz, (d) 5 kHz, (e) 10 kHz.

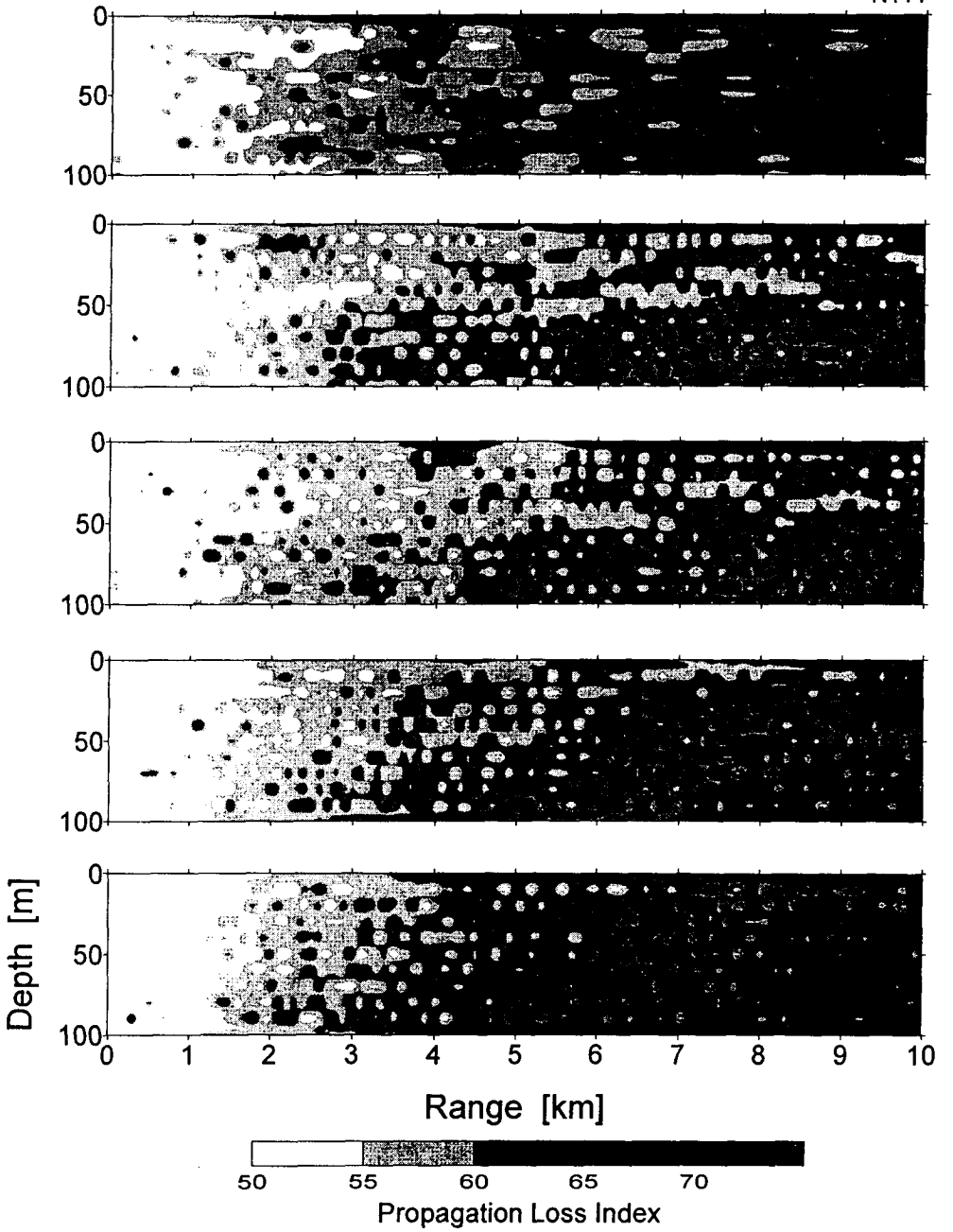


Fig. 8. Vertical contour of propagation loss calculated by IFD model in the case of Fig. 6.

(a) Sound frequency 100 Hz, (b) 500 Hz,

(c) 1 kHz, (d) 5 kHz, (e) 10 kHz.

제 5 장 결 론

본 연구는 천해의 해수 중에서 수심에 따른 음속구조의 차이에 따라 표층 음향도파관이 어떻게 형성되며 그 영향은 어떠한가를 알아보고 이러한 환경에서 주변잡음의 측정결과와 비교하기 위한 것으로서 우선 음파전달손실 모델을 통해 가상 환경에서 음파(잡음)의 전달양상을 알아보았고 주변잡음의 측정자료와 비교/해석하였다.

다음은 그 결과이다.

1. 표층도파관은 수심증가에 따라 양의 음속기울기를 가지는 경우뿐만 아니라 음속이 상이한 상하의 두 층으로 분리된 경우에도 형성될 수 있음을 이론 및 실험적으로 확인하였다.

2. 표층도파관이 형성되면 주위잡음의 수심별 레벨차이가 존재한다는 것을 실험적으로 확인하였으며, 음파전달모델을 통하여 표층도파관 내에 음파가 잘 전파함으로서 표층도파관 내의 잡음레벨이 그 이하의 수심에 비해 상대적으로 높은 잡음레벨을 유지함을 보였다.

그러나 표층도파관이 주위잡음에 미치는 영향을 좀 더 엄격하게 증명하기 위해서는 본 연구에서 사용한 음파전달 모델에서 음원분포 구성을 개량한 주위잡음 모델링 연구를 통한 보다 자세한 비교가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. V. O. Knudsen, R. S. Alford and J. W. Emling, "Underwater ambient noise," J. Mar. Res., 7, pp.410-429, 1948.
2. Wenz, "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources," J. Acoust. Soc. Am., 34, pp. 1936-1956, 1962.
3. R. J. Urick, Ambient Noise in the Sea, Chap. 4, Naval Sea Systems Commands, Washington, D. C., 1984.
4. 김봉채, 최복경, 변상경, "속초연안의 천해에서 해수중 주위잡음 레벨의 풍속의존성", 해양연구, 18권 2호, pp. 93-99, 1996.
5. 김호철, 김민곤, 서상준, 윤석왕, 김영환, 물리음향학 I, 제 4장, 대우학술총서, 민음사, 1994.
6. H. C. Punphrey, L. A. Crum and L. Bjørnø, "Underwater sound produced by individual drop impacts and rainfall," J.Acoust.Soc.Am., 85(4), pp. 1518-1526, 1989.
7. J. A. Nystuen, "Rainfall measurements using underwater ambient noise," J.Acoust.Soc.Am. 79, pp. 972-982, 1986.
8. 김봉채, 최복경, 송희천, 변상경, "강우에 의하여 발생된 해수중 주위잡음의 측정", 한국음향학회지 제13권 3호, pp. 71-77, 1994.

9. 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, pp. 1729-1732, 1971.
10. 김봉채, 최복경, "동해 중부 연안에서 관측된 흰줄무늬 돌고래 발생음의 음향 특성," 한국음향학회 제 11회 수중음향학 학술발표회 논문집, pp. 51-54, 1996.
11. R. J. Urick, *SOUND PROPAGATION IN THE SEA*, 3rd Ed., Chap. 6, Peninsula Publishing, CA, 1982.
12. P. C. Etter, *Underwater Acoustic Modeling*, 2nd ed., Chap. 6-7, E&FN SPON, 1996.
13. W. S. Burdic, *Underwater Acoustic System Analysis*, 2nd ed., Chap. 5, Prentice Hall, New Jersey, 1991.
14. R. J. Urick, *Principles of underwater sound*, 3rd Ed., Chap. 7, McGraw-Hill, N.Y., 1983.
15. D. Lee, S. T. McDaniel, *Ocean Acoustic Propagation by Finite Difference Methods*, Pergamon Press, England, 1988.
16. F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics*, Chap. 9, AIP Press, New York, 1994.