

황해에 있어서 음파 전달손실의 계절변동

김봉채·최복경 (한국해양연구소 해양물리연구단)

1. 서언

해수중에 있어서 음파는 수심, 음속구조 및 해저지질 등의 영향을 받으면서 전파한다. 천해에 있어서 음속구조는 계절에 따라 심하게 변화하고 있다. 따라서 해수중의 음속구조가 음파전파에 미치는 영향을 조사함으로써 음파 전달손실의 계절변동을 명확히 하기 위하여 황해의 동일한 정선에서 상이한 계절에 걸쳐 음파 전파실험을 실시하였다. 여기에서는 황해에 있어서 음파 전달손실의 계절변동에 관하여 측정결과를 중심으로 보고한다.

2. 실험방법

황해 중앙부에 위치하는 해저면이 평탄한 정선에서 1996~1997년 동안 상이한 계절의 3회에 걸쳐 음파 전달실험을 실시하였다. 실험정선에 있어서 수심은 83~88 m의 범위에 있었으며, 그 평균은 85 m였다. 1996년에는 춘계의 5월 중순과 추계의 11월 하순에 전달실험을 실시하였으며, 1997년에는 하계의 9월 상순에 동일한 전달실험을 행하였다.

음원으로는 폭발물질(TNT 1.8 lbs)로 되어 있는 SUS(Signal Underwater Sound) MK61을 사용하였다. 음파의 전파거리가 10마일부터 40마일까지가 되도록 항공기에 의하여 SUS를 해표면에 투하하였다. 그 때 SUS 사이의 간격은 약 1.5마일로 하였다. 이것이 미리 설정된 수심(18 m)에서 폭발함으로써 발생한 음파를 고정된 정점에서 하이드로폰으로 수파하였다. 이 때 하이드로폰의 수심은 각각 10 m, 40 m 및 70 m였다.

수파한 음파신호를 신호분석기에 의하여 1/3 옥타브 밴드로 63~2000 Hz 범위의 16개 중심 주파수에서 음향에너지 속밀도를 구하였다. 그 후 하이드로폰의 수파감도, 측정용 증폭기의 증폭도, 주파수 밴드폭 등을 고려하여 각각의 중심주파수에 있어서 수파레벨을 산출하였다. 그리고 나서 SUS MK61의 음원레벨과 수파레벨과의 차이로부터 각각의 주파수에 있어서 전달거리에 대한 음파의 전달손실을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

음파 전달실험을 실시할 때 실험정선에 있어서 10마일의 간격으로 CTD 관측을 행하여 음속의 분포를 구하였다. 그림 1에 음속의 수직 단면도를 나타낸다. 계절에 따라 음속분포가 서로 다르게 나타나고 있다. 5월의 음속구조(그림 1의 상)에 의하면, 해표면으로부터 수심 약 13 m까지에서는 표면혼합층의 형성으로 음속이 1491~1493 m/s로 일정하였다. 수심 13~45 m의 사이에서는, 음속이 수심의 증가와 함께 서서히 감소하였다. 수심 45 m부터 해저면까지의 사이에서는 등온층이 형성되어 음속은 1477~1483 m/s로 거의 일정하였다. 전체적으로 수직방향의 음속의 기울기는 음(마이너스)의 작은 값이었다.

9월의 음속구조(그림 1의 중)에 의하면, 해표면으로부터 수심 약 25 m까지에서는 표면혼합층에 의하여 음속이 1536~1539 m/s로 일정하였으나, 수심에 대하여 매우 작은 음(마이너스)의 기울기를 갖고 있었다. 수심 25~37 m의 사이에서는 수온약층이 형성되어 음속은 수심의 증가와 함께 급격히 감소하였다. 수심 약 37 m로부터 해저면까지의 사이에서는 등온층에 의하여 음속은 1483~1486 m/s로 거의 일정하였다. 전체적으로 수직방향의 음속 기울기는 음(마이너스)의 매우 큰 값을 갖고 있었다.

11월의 음속구조(그림 1의 하)에 의하면, 해표면으로부터 수심 약 37 m까지에서는 표면혼합층에 의하여 음속이 1500~1502 m/s로 일정하였다. 수심 37~46 m의 사이에서는 수온약층이 형성되어 음속은 수심의 증가와 함께 감소하였다. 그러나 수심 약 46 m로부터 해저면까지의 사이에서는 등온층의 형성으로 음속은 1484~1486 m/s로 일정하였다.

계절에 의한 음파 전달손실의 변화를 조사하기 위하여 주파수(f) 400 Hz에 주목하여 전달실험으로부터 구한 전달손실을 그림 2에 나타내고 있다. 여기서, 음원수심(SD)은 18 m이고, 하이드로폰 수심(RD)은 각각 10 m, 40 m 및 70 m이다. 전체적으로 11월 및 5월의 전달손실이 9월의 전달손실에 비하여 약 20 dB의 범위에서 작게 나타나고 있었다. 계절에 의한 전달손실

의 차이는 전달거리의 증가와 함께 증가하였다. 하이드로폰 수심이 전달손실의 계절변동에 미치는 영향은 하이드로폰이 얇게 위치할수록 크게 나타나고 있었다. 즉, 하이드로폰이 수심 10 m(그림 2의 상)에 위치하는 경우가 40 m(그림 2의 중) 및 70 m(그림 2의 하)의 경우에 비하여 계절에 의한 전달손실의 차이가 크게 나타났다.

전달실험으로부터 구한 전달손실의 등치선도(contour)를 그림 3에 나타낸다. 여기서, 음원수심(SD)은 18 m이고, 하이드로폰 수심(RD)은 40 m의 경우이다. 전체적으로 계절에 따라 전달손실의 분포가 변화하고 있었다. 9월의 전달손실은 5월 및 11월의 전달손실보다 크게 나타났다. 그리고 11월의 전달손실은 5월의 전달손실보다 다소 작게 나타나고 있었다. 이것들은 동일한 실험정선에서 실시한 전달실험의 결과이므로 이러한 전달손실의 차이는 음속구조의 영향에 의하여 생긴 것으로 생각된다.

5월에 측정된 음파 전달손실(그림 3의 상)의 결과에 의하면, 음파의 수속대(convergence zone)는 각각 전달거리 약 12 km, 30 km 및 70 km의 부근에 형성되고 있었으며, 음파의 음영영역(shadow zone)은 각각 전달거리 약 25 km 및 50 km의 부근에 형성되고 있었다. 주파수에 대한 전달손실의 의존성은, 63~400 Hz의 범위에서는 전달손실이 주파수에 의존하고 있지 않았지만, 500 Hz 이상에서는 전달손실이 주파수에 의존하여 주파수의 증가와 함께 전달손실도 증가하고 있었다.

9월에 측정된 음파 전달손실(그림 3의 중)의 결과에 의하면, 음파의 수속대는 각각 전달거리 12 km, 25 km, 45 km 및 65 km의 부근에 형성되고 있었다. 9월의 해수중 음파는 5월의 해수중 음파에 비하여 더욱 빈번하게 수렴하고 있었다. 이것은 음속구조의 영향에 의한 것으로 수심방향에 대한 급격한 음(마이너스)의 음속 기울기 때문에 생기는 것으로 생각된다. 전달손실의 주파수에 대한 의존성은, 63~400 Hz의 범위에서는 전달손실이 거의 주파수에 의존하지 않았다. 특히 주파수 80~315 Hz의 전달손실은 그 밖의 주파수에 대한 전달손실보다 비교적 작게 나타났다. 그리고 주파수 500 Hz 이상에서는, 전달손실이 주파수에 의존하여 주파수의 증가와 함께 전달손실도 급격히 증가하고 있었다.

11월에 측정된 음파 전달손실(그림 3의 하)의 결과에 의하면, 음파의 수속대는 형성되지 않았

다. 이것은 그림 1에 나타낸 것과 같이 해표면으로부터 수심 37~40 m까지에는 표층 음파통로(surface duct)가 형성되어 있고, 음원(수심 18 m)도 하이드로폰(수심 40 m)도 이 음파통로 안에 위치하고 있기 때문이다¹⁾. 따라서 11월의 전달손실은 5월 및 9월의 전달손실에 비하여 작게 나타나고 있었다. 전체적으로 주파수에 대한 전달손실의 의존성은 5월 및 9월의 경우에 비하여 작게 나타났다. 주파수 63~630 Hz의 범위에서는 전달손실이 주파수에 거의 의존하고 있지 않았다. 그러나 전달거리 30 km 이상, 주파수 800 Hz 이상에서는 주파수의 증가와 함께 전달손실이 서서히 증가하고 있었다.

음파의 전달손실에 대하여 측정치와 모델 계산을 비교하여 그림 4에 나타내고 있다. 여기서, 음원수심(SD)은 18 m, 하이드로폰 수심(RD)은 40 m, 주파수(f)는 400 Hz의 경우이다. 전달모델로서는 노말 모드 모델(normal mode model)인 KRAKEN²⁾을 이용하였다. 음파 전달 실험 때 실시한 해양관측 자료를 모델의 입력 파라미터로서 사용하여 거리의존 환경(range-dependent environment)에 대하여 전달손실을 계산하였다. 그림 4에 의하면, 전달손실의 모델 계산치는 측정치의 경향을 잘 나타내고 있었다. 측정치의 경우와 같이 전달손실의 계산치는 계절에 따라 서로 다르게 나타났다. 즉, 11월과 5월의 계산치는 9월의 계산치보다 작은 것으로 나타나고 있었다. 이것은 계절의 다름에 의하여 생기는 음속구조의 영향 때문으로 생각된다.

4. 결론

황해에 있어서 음파 전달손실의 계절변동을 파악하기 위하여 상이한 계절에 음파 전달실험을 실시하여 전달손실을 구하고, 이것과 음속구조와의 관련을 조사하였다. 그 결과, 음파 전달손실은 계절에 따라 크게 변동하고 있었는데, 이것은 주로 계절에 따라 변화하는 음속구조의 영향 때문으로 생각되었다. 특히, 음파의 주파수가 높을수록 그리고 전달거리가 클수록 음파 전달손실의 계절변동이 크게 나타나고 있었다.

참고문헌

- 1) R. J. Urick: Principles of Underwater Sound, 3rd ed.(1983).
- 2) M. B. Porter: KRAKEN Normal Mode Program(1992).

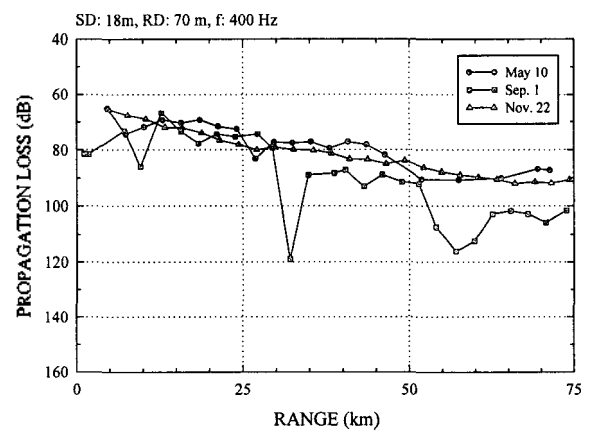
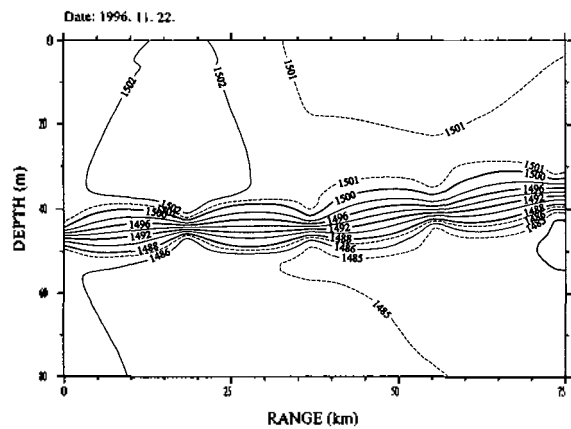
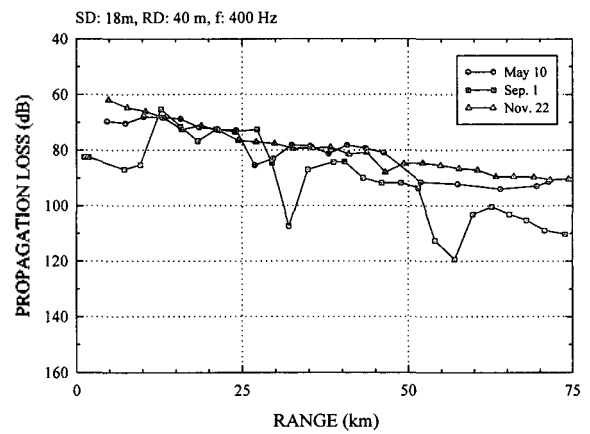
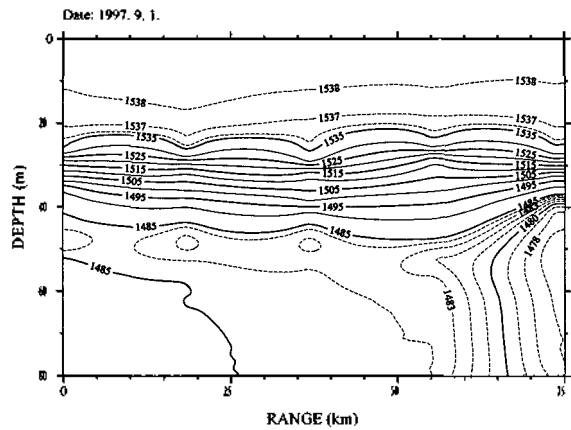
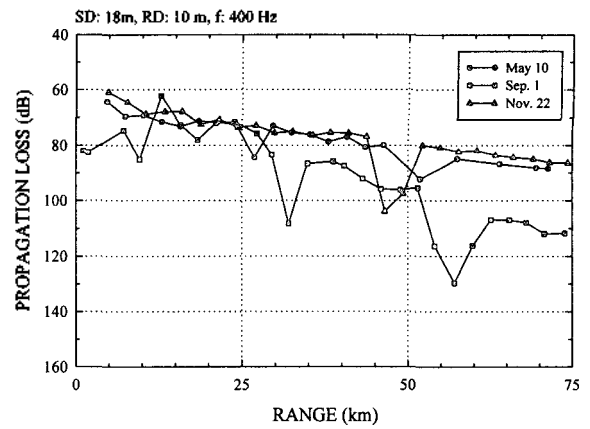
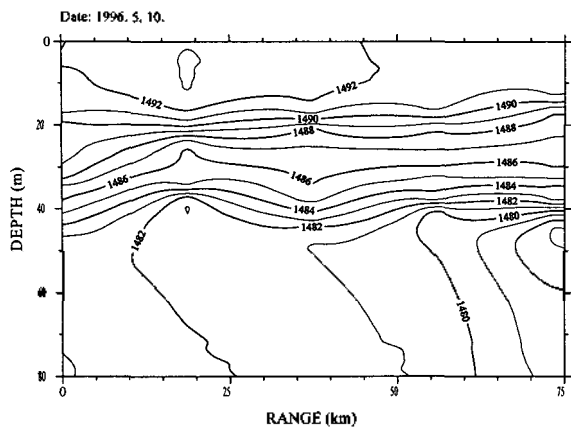


그림 1. 음속의 수직단면도(단위: m/s).

그림 2. 주파수 400 Hz 음파의 전달손실.

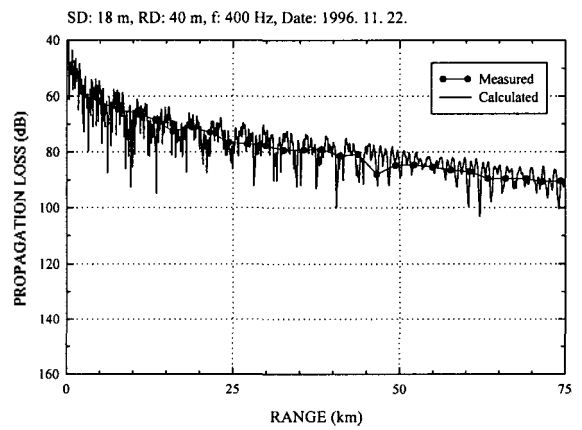
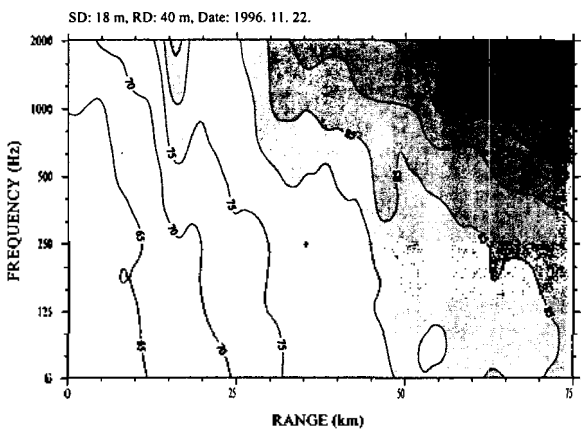
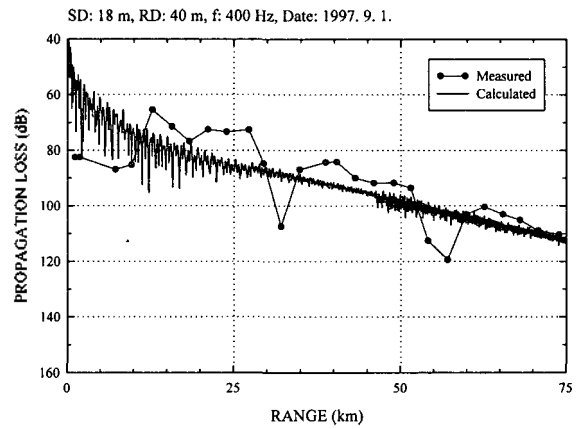
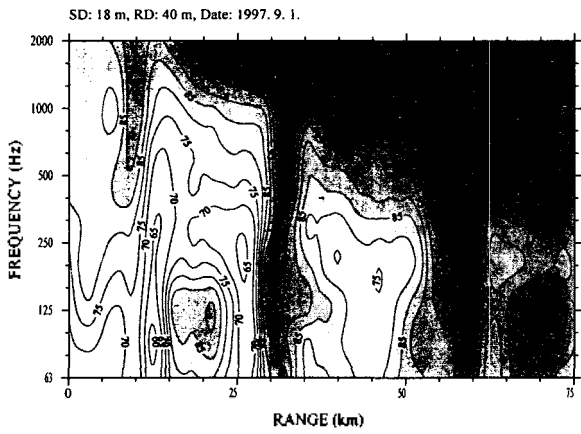
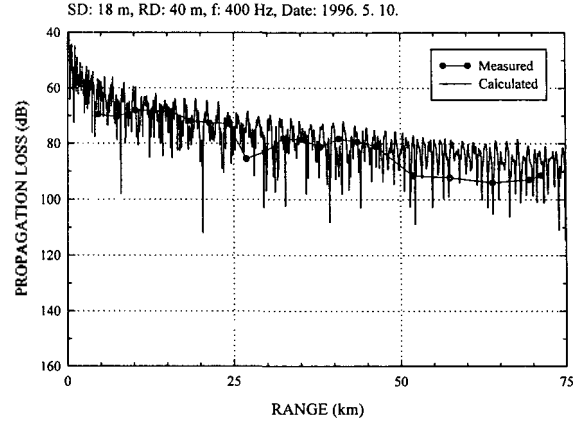
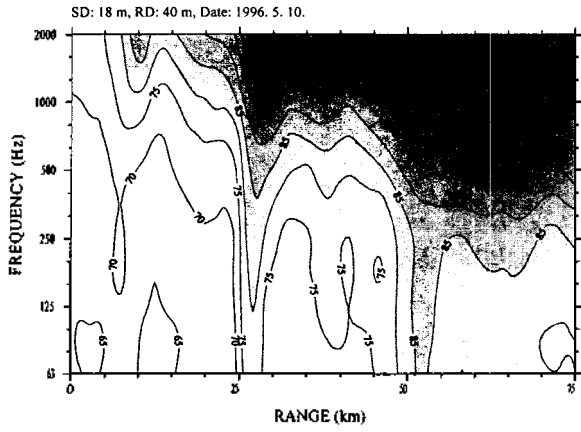


그림 3. 전달손실의 등치선도(단위: dB).

그림 4. 전달손실 측정치와 계산치와의 비교.