

이병수, 박광준, 윤석환
 성균관대학교 물리학과 음향학연구소

A Study on the acoustical performance of the anechoic water tank at the Sung Kyun Kwan University.

B.S. LEE, J. PARK, S.W. YOON
 ACOUSTICS RESEARCH LABORATORY
 DEPT. OF PHYSICS, SUNG KYUN KWAN UNIVERSITY

요 약

무반향수조를 제작하기 위하여 내벽흡음물질과 그 형태에 대한 연구고찰을 하였으며, 제작된 수조의 음향특성을 반사손실과 음압역비대법칙 확인실험을 통하여 분석, 고찰하였다. 제작된 무반향수조의 임계진동수는 15 kHz임을 알 수 있었다.

1. 서 론

음원을 떠난 음파는 매질을 통하여 전파하다가 다른 매질을 만나면 두 매질의 경계면에서 반사 및 굴절현상이 일어난다. 또한, 제작된 수조내에서 음의 전파는 이상적인 자유음장에서와는 달리 항상 벽면과 수면 등에 의해 영향을 받게 된다. 특히 제한된 공간내에서는 벽면 반사의 영향이 크게 나타나므로, 반사의 영향을 제거 시키며 수중 음향학을 연구하기 위해서는, 음향학적 자유음장을 형성하는 무반향수조 (anechoic water tank)의 제작이 필요하다. 본 논문에서는 수조내벽에 부착되는 내벽 흡음물질과 그 형태에 대한 연구, 고찰을 통하여 설계, 제작된 무반향 수조내에서의 음향특성을 측정 고찰하였다.

2. 무반향 수조의 제작

수조내에서 연속음파 (continuous wave) 의 최저 사용진동수인 임계진동수 (cut-off frequency) 를 고려하고, 음파의 침투를 피하며, 구조적으로 안정된 형태인 장경 350cm, 길이 200cm, 두께 1cm의 라틴형 수조를 그림 1과 같이 제작하였다. 이때 수조벽의 계질은 제작이 용이하고 내구성과 내수성이 강하며 제작 비용이 저렴한 GFR를 사용하였고, 외부에서 전달되는 주변진동의 감소 및 단열을 위하여 1.5cm 두께의 방진고무와 3cm 두께의 유리섬유를 수조 밑면과 외벽에 부착시켰다. 또한 제작된 수조는 기준건물의 지하를 이용하여 바닥에서 30cm 만을 노출 시킴으로써 실험의 편의를 도모하였다. 수조 내벽면에 대한 음파의 반사를 최소화하기 위해 수조 내벽에 부착되는 내벽흡음물질로는, 자체에서 대략한 4종류의 시도에 대해 특성실험을 실시하고 그중 가장 좋은 흡음부상을 보여준 시료를 선택하였다. 내벽 흡음물질의 형태는 Ray theory 를 도입하여, 목지각 변화에 대한 반사손실률 (Scattering Coefficient) 한 결과 목지각의 목지각이 90° 일때 다중반사에 의한 흡음효과가 가장 크게 나타내므로 그림 2와 같이 70mm x 30cm x 1.5cm 평판에 원뿔형 흡음체를 부착한 형태로 제작하고, 내구성과 내수성 실험을 통해 긴장된 부수접착제를 사용하여 수조내벽면에 부착하였다.

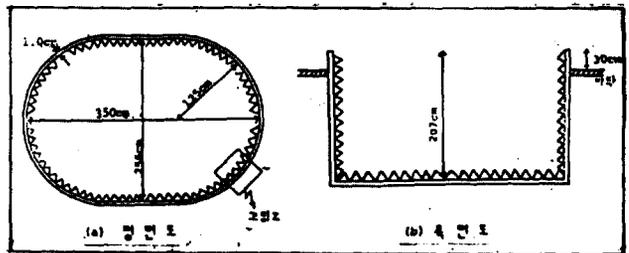


그림 1 수조의 형태

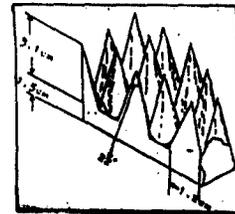


그림 2 흡음체기

3. 무반향수조의 음향 특성

제작된 무반향수조의 음향특성을 조사하기 위하여 무반향수조 내벽면에 대한 반사손실 측정과, 음원으로 부터 거리 r이 증가함에 따라 음압 레벨 (Sound Pressure Level : SPL) 이 20 Log r 만큼 감소하는 음압역비대법칙 확인실험을 행하였다. 무반향수조의 내벽면에 대한 반사손실 측정은 수조 내벽면의 임의 위치 5곳을 선정하여, 주파수 30Hz ~ 100kHz에 걸쳐 5kHz 간격으로 측정하였다. 수조내벽면에 대한 반사 손실 측정에는 수중음파발생기에 의해 발생된 음파를 수중청음기로 직접 수신한 음압과 수조 내벽면에 반사된 후 수중청음기로 수신한 음압의 비를 구하여, 각 측정 주파수에 대한 음압 레벨도 도시하였다. 이때 수중음파발생기와 수중청음기는 Telesco, Inc. 에서 제작한 LC - 10을 사용하였으며, 수중음파발생기와 수중청음기 사이의 이격거리는 사용된 음원의 크기와 측정 주파수를 고려하여 원거리음장조건과 Reverberance distance 를 충분히 만족하도록 이격시킨후 필스방향을 사용하여 측정하였다. 본 실험에 사용된 장치도와 측정경로는 그림 3과 같으며, 측정결과는 각 위치에서의 측정값을 최소자승법에 의해 통계처리 하여 표준편차와 함께 그림 4에 도시하였다.

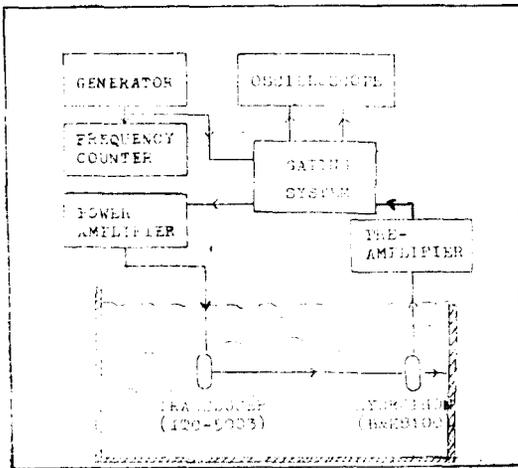


그림 1 실험장치 및 측정경로

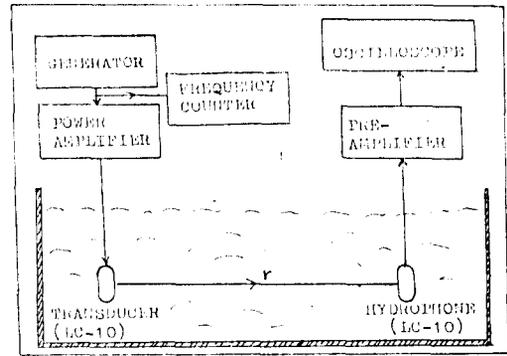


그림 2 측정장치 및 측정경로

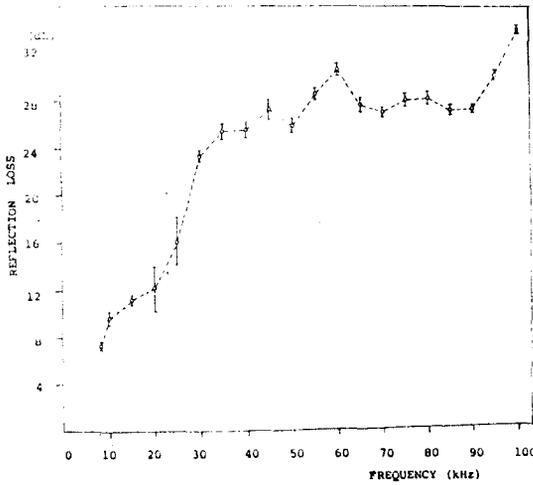


그림 3 수중 음파 반사율에 대한 반사손실

그림 3의 측정결과에 따르면, 네벌음속계기 부하중의 음속계기는 15kHz-20kHz 주파수의 입사음파에 대해 0dB 레벨은 10dB-20dB 감소하며, 20kHz 이상의 입사음파에 대해서는 20dB의량 감소율을 보여준다. 두방향 수중음속계기에서의 음의전파에 따른 음압역비례법칙 확인결과는 50Hz-900Hz의 주파수에 대해 수중음파발생기와 수중청음기의 이격거리를 10cm, 20cm에 걸쳐 10m 간격으로 변화시키면 각 위치에서의 음압레벨을 측정하였다. 본 실험에 사용된 수중음파발생기와 수중청음기는 두방향수중음속계기의 영향을 고려하기 위하여 무차별검정을 20-30음 사용하였으며, 입사음파를 수중 수직하였다. (그림 4)

수중음속계기에서의 확인결과는 벽면과 수면반사에 의해 음파의 집중이 예상되는 수중의 대칭 축선상에서의 입사음의 음파의 집중 및 수면반사 효과를 피하기 위해서 수중에 음속계기를 설치하고 수중의 대칭축을 벗어난 축선상에서의 경우에 대해 각각 측정하였다. 각 경우의 이격거리에서 반사 음압레벨의 측정결과를 최소자승법을 적용하여 이격거리에서의 기준 음압 레벨을 구하고, 이를 기준음압 음압역비례법칙을 만족하는 이론값과 비교하여 측정값을 얻고, 그리고 최소자승법에 의한 측정값을 얻고 보정하였다. 그림 5은 네벌음속계기에서 측정된 결과이며, 그림 6은 수면에 음속계기를 설치하고 대칭축을 벗어난 축선상에서 측정된 결과이다.

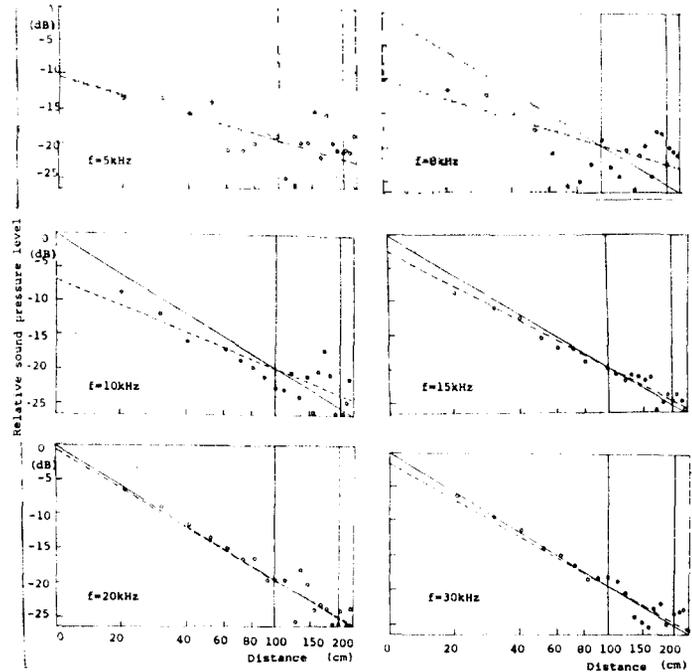


그림 4 수중 음파에 대한 수직 입사음파의 음압의 집중 여상 축선상에서 측정결과

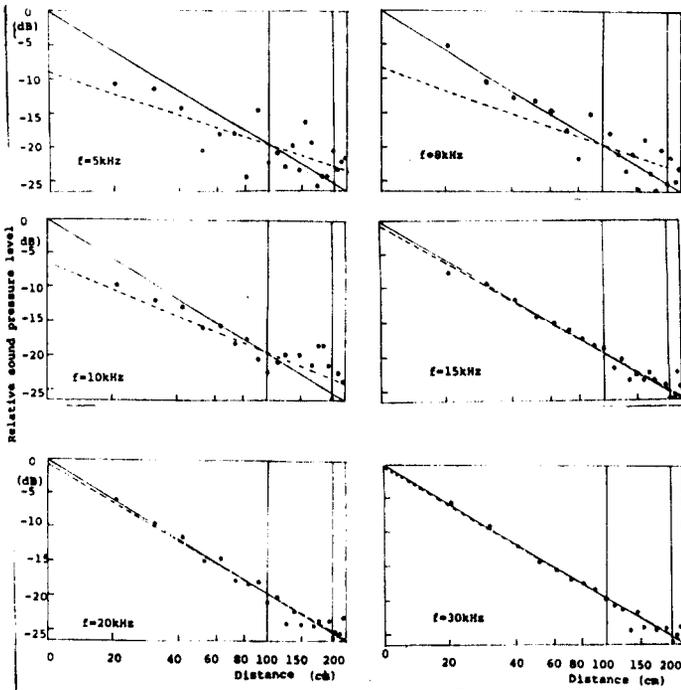


그림 7 각 주파수에 대한 자유음향 성취도
(수면에 음원 배치, 비록 선상에서 측정결과)

그림 6 과 7에 나타난 결과에 따르면, 음파의 집중이 예상되는 수조의 대칭축을 따라, 수면반사의 감소를 위해 수면에 흡음체를 설치한 후의 측정결과인 그림 7은 그림 6의 측정결과에 비하여 이론값과 측정값의 절대편차가 다소 작음을 알 수 있다. 또한 두 경우의 측정결과 모두 15kHz 이상의 주파수에서는 삼선으로 표시된 이론값과 검으로 표시된 측정값의 절대편차 1dB 이하에 분포하며 최소자승법에 의한 추정값과 이론값의 상관계수가 95% 이상임을 보임으로써 본 무반향수조의 사용 최저 임계진동수는 15kHz임을 보여준다.

결 론

내벽흡음률과 그림대에 대한 연구고찰을 통하여 제작된 무반향수조의 음향특성을 반사손실측정과 음압역비례법칙 확인실험을 통하여 분석, 고찰하였다. 본 성균관 대학교 무반향 수조의 음향특성은 15kHz~20kHz의 주파수 대역에서 수조내벽면에 대해 10dB~20dB의 반사손실, 그리고 30kHz 이상에서는 20dB 이상의 반사손실을 보이며, 음압 역비례법칙에 의한 이론값과 측정값의 절대편차가 1dB 이하임을 보임으로써, 의계관통수가 15kHz로 결정 되었다.

REFERENCE

[1] Robert J. Bobber, Underwater Electroacoustic Measurement, Naval Research Lab., P166 (1970).

[2] L. Bjorno and M. Kjeldgaard, " A Wide Frequency Band Anechoic Water Tank ", Acustica **32**, p103 (1975).

[3] Joel M. Garrellick, " Acoustic Wedge Evaluation Test ", Cambridge Acoustical Associates Memorandum, (1977).

[4] A.F. Dowling and J.E. Ffowcs Williams, Sound and Sources of Sound [Ellis Horwood Limited, England, 1983], p82, p84.