

썰기형 흡음타일의 썰기각 변화에 따른 반사계수 측정

강 성 옥*, 백 칠 기**

* 군사과학대학원 해양과학과, ** 해군사관학교 물리학과

A Measurement of the Reflection Coefficient for the Wedge Type Absorptive Tile by Changing the Wedge Angle

Sungoug Kang*, ChilKi Beck**

* Dept. of Ocean Science AIMST, ** Dept. of Physics ROK Naval Academy

요 약

썰기각이 다른 4종류의 썰기형 흡음타일을 설계, 제작하고 각각의 흡음타일에 대한 음파 반사계수를 측정하였다. 흡음타일의 정면에서 측정한 반사계수는 실험한 4개의 타일중 썰기의 꼭지각이 30° 일 때 최소값을 갖고 120° 일 때 최대값을 가졌다. 썰기형 흡음타일의 꼭지각이 클수록 그 반사계수가 증가되는 것을 확인하였다. 또한 썰기의 꼭지각이 같은 종류의 타일에서는 본 실험에 사용한 10kHz~30kHz 입사음파의 주파수와 측정한 반사계수는 무관함을 보였다. 그리고 썰기형 흡음타일 후면에서 측정한 반사계수는 타입에 관계없이 일정하게 나타났다.

Abstract

Four different the wedge angle absorptive tiles were designed and made, and the acoustic reflection coefficient measurements for the sound absorptive tiles were implemented respectively. The minimum reflection coefficient was found at the angle of 30° and the maximum of it was found in the wedge angle of 120° from the measured reflection coefficients at the front sides of the four tiles. The larger wedge angle of the absorptive tiles has the more reflection coefficient is verified. And, the measured reflection coefficients were not dependent on the frequency in the range of 10kHz~30kHz used in this experiments for the same wedge angle tiles. And, the measured reflection coefficients at the back sides of the tiles are independent of the type of the absorptive tiles.

I. 서 론

수중 흡음물질의 흡음원리는 기포에 의한 흡수와 산란, 흐름점성, 물질의 비탄성 등의 음파감쇠 현상으로써 위에 기술한 하나 또는 둘 이상의 원인에 의하여 나타난다. 첫째, 기포에 의한 음파 흡수와 산란을 응용한 흡음물질로

서는 미국 B.F. Goodrich사에서 생산하는 SOAB가 있다. SOAB은 부틸고무에 금속입자를 혼합하여 썰기형태로 제작하고 금속입자 주변에 공기주머니를 형성시켜 기포가 발생되도록 하였다[1,2]. 둘째, 흐름점성을 응용한 흡음물질로서는 물과 특성임피던스가 비슷하고 점성을 갖는 피마자유(castor oil)를 이용한 Mason

Lining과 소나무 재질의 톱밥과 시멘트를 혼합하여 다공질의 썰기형태로 제작한 Insulcrete 등이 있다[3,4]. 물질의 비탄성을 응용한 흡음물질로서는 rho-c 고무물 이용하여 기포 공동(air cavity)을 갖는 썰기형태로 제작한 Fafnir, 공명을 일으키기 위해 일정한 크기의 기포 공동을 갖는 rho-c 고무층으로 제작된 Alberich와 Butyl rubber lining 등이 있다[5,6]. 흡음에 관련된 국내의 연구로서는 흡음 물질의 썰기형 경계면을 갖는 매질 내부의 음장특성을 영상방법(image method)으로 연구한 것과 부틸고무와 톱밥 등의 재료로써 썰기 형태의 타일을 만들어 수조내부에 부착한 후 그 수조에 대한 음파의 반사, 흡수손실 등을 연구한 것이 있는 정도이다[7,8].

음파가 한 매질에서 다른 매질로 진행하여 경계면에 부딪힐 때 입사파는 반사파와 투과파로 나뉘어지고, 이들에 대한 각각의 음파강도와 음압진폭은 입사파의 입사각과 두 매질의 음향 특성임피던스에 의해 결정된다[9].

유한한 크기의 수조는 수중음향 실험시 수면과 수조의 경계면에서 반사되는 음파로 인하여 여러 가지 제약이 따른다. 제한된 크기의 수조에서 수중음향 실험과 연구를 수행하기 위해서는 자유음장을 형성할 수 있는 무반향 수조의 제작이 요구된다[10]. 또한 군사적으로는 해군 수중작전시 적 수상함 또는 잠수함에 게 피탐되는 확률은 감소시키고 자함은 은밀성을 유지하는 것이 필요하다. 이러한 요구되는 사항들을 충족시키기 위한 기초 과학과 기술로서 반사음파의 제거와 자체 음원에서 발생하는 소음의 차단을 위해 관련 연구는 필요하다.

수중 반사음을 제거하기 위한 이상적인 매질이란 1) 경계면에 입사되는 음파에너지는 완전 투과시키고, 2) 투과된 음파는 완전 흡수하는 매질이다. 수중 매질의 경계면에서 음파를 완전 투과시키는 무반향 매질은 매질의 음향 특성이 물과 같을 때에 존재하므로 반사음을 줄일 수 있는 효과적인 매질은 물과 유사한 음향 특성임피던스를 갖는 것이 요구된다. 또한 흡음물질 내에서 음파를 효과적으로 흡수하는 매질은 자체 방사음의 차단과 매질 내부로 투과된 음파가 매질의 또 다른 경계면에서 반사되는 반사음을 줄이는데 기여하므로 이에 대한 연구가 필요하다. 일반적으로 반사음을 감

소시키는 매질의 구조는 썰기형태나 원추형태이다. 이것은 입사되는 음파를 썰기형 경계면에서 다중반사를 만들어 흡음효과를 증가시킴으로 광범위하게 응용되어 왔다[1,5]. 본 논문에서는 흡음효과가 큰 썰기형태의 흡음타일을 제작하여 썰기각 변화에 따라 각 타일의 반사율이 어떻게 달라지는지를 비교, 평가하기 위하여 흡음판의 반사계수를 측정하였다.

II. 흡음타일 설계 및 제작

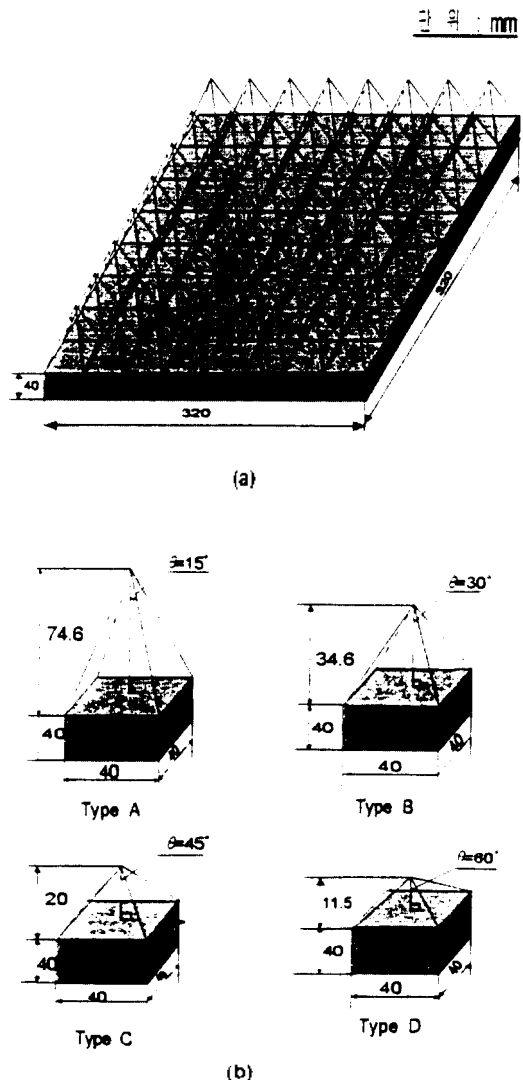


그림 1. 흡음타일과 흡음판의 형태 (a)흡음판의 외부형태 (b)썰기 꼭지각이 다른 4종류의 흡음타일 형태

흡음타일은 물과 음향 특성임피던스가 비슷하고 내구성, 내수성이 우수하며 비탄성에 의한 음파에너지 손실이 우수한 부틸고무에 산란에 의한 흡음효과를 높이기 위해 모래와 톱밥을 배합하였다. 흡음타일의 형태는 그림 1.(b)와 같은 쉐기각이 다른 4종류의 9편채이다.

흡음판은 제작된 4종류의 흡음타일들을 가로 32cm x 세로 32cm x 두께 4cm로 제작된 알루미늄 틀에 타일의 종류별로 그림 1.(a)와 같이 조밀하게 끼워 넣어 만들었다. 여기서 흡음타일의 물리적 특성을 변화시킬 수 있는 접착제는 사용하지 않았다.

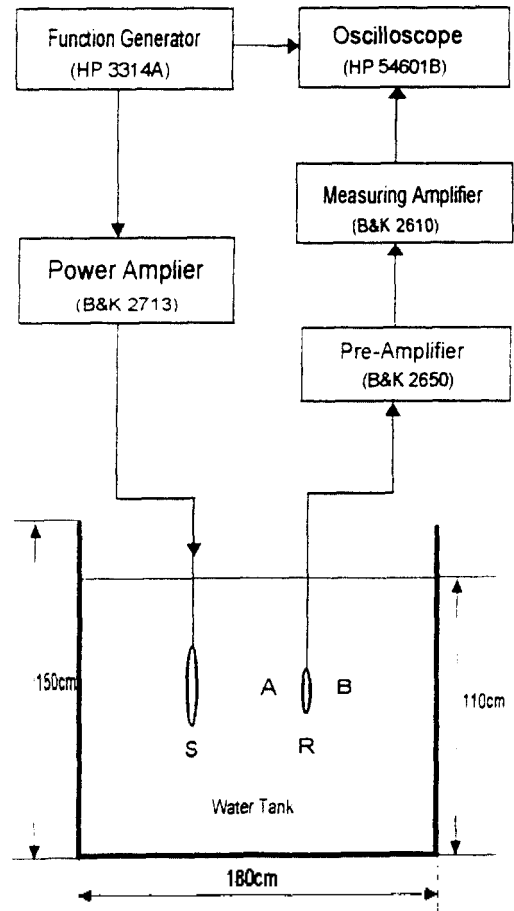
흡음타일 제작시 고무 종류와 특성, 첨가물질과 그 구성비, 입자 크기, 프레스 가황시간, 온도, 압력등은 흡음 특성을 좌우하는데 큰 영향을 준다.

제작한 흡음타일의 물질은 생고무와 혼합하여 사용한 배합제로서 고무의 경도를 높여주는 카본블랙, 고무의 탄성과 저항력을 크게 하고 용매에 용해되지 않게 하는 황동이 있다. 그리고 부틸고무는 화학적으로 안정하여 가황(加黃)이 늦는데 충분한 가황을 하기 위해서는 장시간 동안 고온과 강력한 가황촉진제를 필요로 한다. 가황시간을 단축하고 온도를 낮춰 가황 촉진효과를 증가시키는 가황촉진제로서는 양호한 가황 평탄성(加黃平坦性)을 내는 티아졸계(Thiazoles)인 MBTS, CBS와 저온에서 비교적 평탄가황을 얻을 수 있고 내열(耐熱), 내노화성(耐老化性)이 좋은 티우람계(Thiuram)인 TMTD를 사용했고 가황촉진제를 더욱 활성화시키는 강화촉진조제로서 산화아연(ZnO)과 스테아린산(stearic acid)을 추가하여 일정비율로 배합하였다. 흡음타일은 생고무(natural rubber)에 이와 같은 약품을 일정 비율로 배합하여 만드는 부틸고무에 직경 1mm 이하의 모래와 소나무 재질의 톱밥을 14 : 5 : 1의 질량 비율로 혼합하여 제작하였다. 배합된 재료들을 충분히 혼합하고 으개는 로울러 작업을 거쳐 나온 고무 혼합물을 금형 규격별로 절단하고 금형내에 넣어 150톤 프레스로 가공하였는데 이때 작동 온도와 압력, 시간은 각각 155° / 130psi, 30분이었다. 그리고 X선 촬영결과 혼합물의 재료들은 균일하게 분포되어 있었다.

3.1 실험장치

실험장비는 Tone Burst파를 발생시킬 수 있는 신호발생기 HP-3314A, 전력증폭기 B&K-2713, 무지향성 특성을 갖는 송음기 B&K-8104와 청음기 B&K-8103, 수신된 신호를 증폭하는 정밀조정 증폭기 B&K-2650, 측정 증폭기 B&K-2610와 오실로스코프 HP-54601B 등으로 구성하였다.

그림 2.에서 보는 바와 같이 수조(길이 180cm x 폭 150cm x 높이 150cm)에서 송음기, 청음기와 흡음판을 수조 수심 1.1m중 50cm의 깊이에 수면과 평행하게 수직으로 내리고 흡음판의 가장자리 효과를 줄이기 위하여 청음기를 흡음판 중앙에 위치하도록 하였다. 그리고 수조 경계면에서 반사되는 음파로 인한 간섭현상을 피하기 위해 청음기가 음원으로부터 수신한



III. 실험장치 및 방법

그림 2. 실험 장비 배치도

신호와 흡음판에서 수신한 반사된 신호를 구분할 수 있는 범위내에서 청음기를 흡음판에 최대한 접근시켰다.

3.2 실험 방법

제작된 4개의 수중 흡음판에 대한 흡음특성을 측정, 비교하기 위하여 음파 반사계수와 투과계수를 측정하였다.

물과 흡음타일의 음향 특성임피던스 차이에 의해 발생하는 흡음판의 반사계수는 제작된 흡음판을 그림 2.의 B에 오도록 고정시킨 후 10kHz~30kHz 주파수 범위에서 5kHz 간격으로 측정하였다. 반사계수 측정시 청음기와 흡음판의 간격은 청음기에서 쇠기꼭지점을 기준으로 한 경우와 흡음판의 쇠기정점을 기준으로 한 경우로 구분하여 반사계수를 측정하였다. 또한 평면인 쇠기후면에 대한 반사계수도 측정하였다. 이중유리판(45cm x 45cm x 1.1cm)의 구조는 유리-공기-유리의 층으로 되어 있고 유리의 두께는 3mm, 공기층의 두께는 5mm이다. 이중유리판을 위와 똑같은 조건으로 반사신호를 측정한 결과 그 반사계수는 대략 -1.0이었다. 흡음판의 반사계수는 똑같은 실험조건하에서 측정한 흡음판과 이중유리에 의한 반사신호를 측정하여 그 음압비율로써 구하였다.

흡음판의 투과계수 측정 또한 10kHz~30kHz 주파수 범위를 5kHz 간격으로 측정하였다. 투과계수 측정은 송음기에 의해 발생된 음파를 청음기로 직접 수신한 음압과 흡음판을 그림 2.의 A에 오도록 배치한 후 흡음판을 투과한 음파의 음압비를 구하여 측정하였다.

또한 음파가 흡음타일 내부로 투과시 투과파의 음파에너지 손실 정도를 알아보기 위하여 흡음타일의 흡수계수도 측정하였다.

IV. 측정결과 및 고찰

제작된 흡음타일의 물리적 특성을 측정한 결과는 밀도 1,105kg/m³, 경도 50Hs(shore A), 음속 540m/s, 음향 특성임피던스 0.597 x 10⁶ rays, 10kHz에 대한 감쇠계수는 433dB/m이었다.

표 1.은 4종류의 흡음판에 대한 정면과 후면에서 측정한 반사계수를 보여 주고 있다. 측정한 그 반사계수는 흡음타일의 쇠기꼭지각이

30° 일 때 최소값, 120° 일 때 최대값을 갖고, 쇠기각이 증가할수록 반사계수가 증가된다. 그리고 같은 종류의 타일에 대한 반사계수는 본 실험에서 사용한 음원의 주파수 10kHz~30kHz 범위에서는 주파수와 무관하게 일정하였다.

표 1.(a)는 흡음판의 쇠기꼭지점을 거리의 기준으로 하여 측정한 반사계수이며, 표 1.(b)는 흡음판의 쇠기정점을 거리의 기준으로 하여

표 1. 흡음판의 반사계수 측정

타일형태 주파수	A	B	C	D
10kHz	-0.15	-0.29	-0.36	-0.40
15kHz	-0.14	-0.29	-0.36	-0.41
20kHz	-0.13	-0.29	-0.36	-0.41
25kHz	-0.14	-0.30	-0.37	-0.41
30kHz	-0.14	-0.29	-0.37	-0.42

(a) 흡음판의 쇠기꼭지점으로부터 청음기간 거리가 13.5cm 일때의 반사계수

타일형태 주파수	A	B	C	D
10kHz	-0.18	-0.35	-0.39	-0.42
15kHz	-0.18	-0.34	-0.39	-0.42
20kHz	-0.18	-0.34	-0.39	-0.42
25kHz	-0.19	-0.35	-0.38	-0.43
30kHz	-0.18	-0.35	-0.39	-0.43

(b) 흡음판의 쇠기정점으로부터 청음기간 거리가 13.5cm 일때의 반사계수

타일형태 주파수	A	B	C	D
10kHz	-0.43	-0.45	-0.43	-0.43
15kHz	-0.44	-0.44	-0.44	-0.43
20kHz	-0.44	-0.46	-0.45	-0.45
25kHz	-0.43	-0.45	-0.43	-0.45
30kHz	-0.45	-0.45	-0.44	-0.44

(c) 흡음판의 후면으로부터 청음기간 거리가 13.5cm 일때의 반사계수

측정한 반사계수이다. 표 1.의 (a)와 (b)에서 나타나는 반사계수의 차이는 각 흡음판에서 쉐기의 높이 차이에 의해 발생된다. 표 1.의 (c)는 평면인 흡음판의 뒷면에서 측정한 반사계수로서 쉐기형인 흡음판 정면에서 측정한 모든 반사계수보다 높으며, 흡음판의 종류에 무관하게 거의 일정한 값을 보여 주고 있다.

측정된 반사계수들은 전부 음의 부호를 나타내는데 이것은 입사 신호에 대한 반사 신호의 위상차가 180° 임을 나타낸다.

음파 투과계수는 흡음판의 종류와 주파수에 관계없이 0 이었다. 이것은 흡음판을 투과한 음파에너지는 모두 흡음판 내부에서 흡수된다는 의미이다.

V. 결 론

동일한 재질로 쉐기각이 다른 4종류의 흡음타일을 설계, 제작하여 흡음판을 만든 후 그 물리적 특성을 측정한 후 각각의 흡음판에 대한 음파 반사계수를 측정하였다. 흡음판의 정면에서 측정한 반사계수는 실험한 4개중 쉐기각이 30° 인 흡음판이 최소값을, 120° 인 흡음판이 최대값을 가졌다. 또한 쉐기각이 증가할수록 그 반사계수는 증가하였다.

쉐기각이 동일한 같은 종류의 흡음판에서 측정한 반사계수는 10kHz~30kHz의 주파수 범위에서는 주파수에 무관하게 나타났다. 그리고 흡음판의 반사신호는 주파수, 흡음판의 종류에 관계없이 입사신호에 대해 180° 의 위상차를 나타냈다.

평면인 흡음판의 후면에서 측정한 반사신호는 흡음판의 종류에 관계없이 일정하게 측정되었다.

참 고 문 헌

1. W.S. Cramer and T.F. Johnston, "Underwater Sound Absorbing Structures," J. Acoust. Soc. Am. 28(3), pp.501-502, 1956.
2. W.J. Toulis, "Simple Anechoic Tank for Underwater Sound," J. Acoust. Soc. Am. 28(6), pp.1221-1222, 1956.
3. W.P. Mason and F.H. Hibbard, "Absorbing Media for Underwater Sound Measuring Tank and Baffles," J. Acoust. Soc. Am. 20(4),

- pp.476-482, 1948.
4. V.P. Benedetti, "Comment on Insulcrete and Aluminum," J. Acoust. Soc. Am. 51(1), p.416, 1972.
5. P.Tamarkin and R.K. Eby, "Tank Wall Lining for Underwater Sound Use," J. Acoust. Soc. Am. 27(4), pp.692-698, 1955.
6. R.J. Urick, Principles of Underwater Sound, McGraw-Hill Company, USA, 1983, p.321
7. ChilKi Beck, Jee Won Chang, "The Acoustic Pressure in a Wedge-Shaped Medium with Absorbing Material Boundaries," 한국음향학회지, Vol. 8(6), pp.26-32, 1989.
8. 윤석광, 박광준, 이병수, "무반향 수조의 설계, 제작 및 음향특성," 성균관대학교 논문집 38(2), pp.249-263, 1987.
9. L.E. Kinsler, A.R. Frey, A.B. Coppens, J.V. Sanders, Fundamentals of Acoustics, John Willey & Sons, NewYork, 1981, pp.124-139
10. Robert J. Bobber, Underwater Electroacoustic Measurements, Naval Research Lab. 1970, pp. 166-168