

썰기 꼭지각이 다른 무반향 타일의 음향특성

김성기, 이강일, 윤석왕
성균관대학교 물리학과 음향학연구실

Acoustical characteristics of anechoic tile with different wedge angles

Sung Ki Kim, Kang Il Lee, Suk Wang Yoon

Acoustics Research Laboratory, Department of Physics, SungKyunKwan University
redhut@nature.skku.ac.kr

요약

본 연구에서는 무반향 수조의 내벽 흡음 물질로 사용되는 무반향 타일을 썰기형으로 제작하여 썰기의 꼭지각 변화에 따른 음향학적인 특성을 고찰하였다. 실험에서 사용된 썰기형 무반향 타일의 크기는 40 cm × 38.5 cm 이며, 타일을 구성하는 각 썰기의 길이는 2.75 cm 로 고정하고 각각 썰기의 꼭지각이 30° 와 60° 인 타일을 제작하였다. 수중에서 썰기가 없는 무반향 시료와 썰기형 무반향 타일에 음파를 수직 입사하여 반사계수를 측정하였으며, 썰기의 유무와 무반향 타일을 구성하는 썰기의 꼭지각 변화에 따른 반사 및 흡음 특성을 고찰하였다. 음향특성 임피던스가 $2.14 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$ 인 썰기형 무반향 타일을 25 kHz 에서 100 kHz 의 주파수 영역의 음파를 입사했을 때 썰기의 꼭지각이 30° 일 때 60° 보다 압력반사계수가 작고, 반사손실이 증가함을 알 수 있었으며, 그 결과로써 본 실험에서 사용된 30° 의 썰기 꼭지각을 갖는 무반향 타일이 내벽 흡음 물질로서 성능이 더 좋다는 것을 확인하였다.

I. 개요

1.1 연구배경

음원에서부터 방출된 음파는 그 음원 주위를 둘러싸고 있는 매질을 통해 전파가 된다. 이 음파의 전파과정 중 다른 매질을 만나는 경우, 두 매질의 음향특성 차이에 의해 음파의 반사와 굴절 현상이 일어나게 된다. 따라서, 제한적인 공간 내에서 음파가 전달되는 경우에는

경계면에서 반사의 효과가 크게 일어나기 때문에 자유음장의 이상적인 조건에서의 음파전달 현상과는 상이한 차이를 보인다. 이러한 제한적인 공간 내에서 음파가 전달되면서 생기는 반사의 영향을 줄이고자 무반향 타일을 사용함으로써 제한적인 공간 내에서의 음향 관련 연구를 가능하도록 하기 위해 자유음장의 형성이 필요하므로 무반향 타일의 설계 및 제작이 요구되어진다.

본 논문에서는 썰기형 무반향 타일 제작에 사용된 시료의 음향특성을 측정하였으며, 썰기의 꼭지각이 30° 와 60° 인 썰기형 무반향 타일을 제작하여 반사손실을 측정하여 썰기의 꼭지각의 변화에 따른 무반향 타일의 음향특성을 살펴보고자 한다.

1.2 배경이론

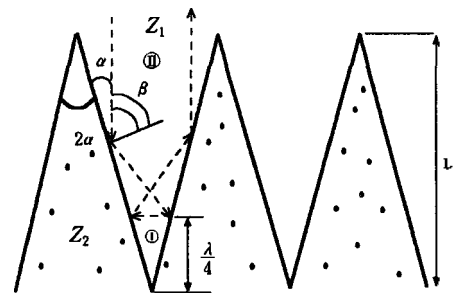


그림 1. 흡음썰기내에서의 다중반사

그림 1에서와 같이 음파가 음향특성임피던스 z_1 인 매질에서 음향특성임피던스가 z_2 인 흡음썰기의 표면에

입사하면, 음파의 비수직 입사효과에 의해 썰기 경계면의 수선에 대해 β 의 입사각으로 음파가 입사되는 경우 음향특성임피던스는 $z_1 / \cos \beta$ 로 주어지며, 두 매질의 음향특성임피던스 차이에 의해 입사음파의 일부는 흡음체를 투과하여 매질내에서 흡수되며, 나머지 음파는 경계면에서 반사된 후 다시 매질의 경계면에 입사하게 된다. 따라서 두 매질의 음향특성임피던스가 주어지면 그 경계를 1회 반사하는 경우 발생하는 반사손실(reflection loss)은 $R(\beta)$ 과 같이 표기되며 다음과 같이 입사각과의 연관 함수로써 구할 수 있다[1].

$$R(\beta) = -20 \log_{10} \left| \left(\frac{z_2}{z_1} \cos \beta - 1 \right) / \left(\frac{z_2}{z_1} \cos \beta + 1 \right) \right| \quad (1)$$

여기서 z_1 과 z_2 는 각 매질의 음향특성임피던스이다. 입사하는 음파가 원거리 음장조건(far-field condition)을 충분히 만족하는 음원에서 발생하였다고 가정하여 수조 벽면에 대해 수직으로 입사하는 음파만을 고려하면, 썰기의 폭지각 2α 의 변화에 따른 음파의 반사횟수 N 은 $\pi/2\alpha$ 의 정수값만을 택함으로써 구할 수 있으며, 음파의 반사횟수와, 썰기 경계면의 수선에 대한 음파의 비수직 입사효과를 고려하면, 다중반사에 의한 흡음 썰기 내에서의 반사손실 $RL(\beta)$ 는 다음과 같이 쓰여진다[2].

$$RL(\beta) = -20 \left| \sum_{n=1}^N \log_{10} \left| \frac{\left[\frac{z_2}{z_1} \cos \{ \beta - (n-1) \cdot 2\alpha \} - 1 \right]}{\left[\frac{z_2}{z_1} \cos \{ \beta - (n-1) \cdot 2\alpha \} + 1 \right]} \right| \right| \quad (2)$$

여기서 N 은 입사음파의 흡음 썰기 표면과의 반사횟수이다. 입사하는 음파의 파장 λ 가 흡음 썰기의 길이보다 $1/4$ 짧은 음파는 위와 같이 다중 반사에 의해 흡음 효과가 증가한다. 그러나 입사음파의 $1/4$ 파장이 흡음 썰기의 길이에 비해 길거나, 입사음파가 다중반사 후 썰기의 길이가 입사음파의 $1/4$ 파장보다 짧아지는 그림 1의 I 지역에 도달하게 되면 공명(resonance)과 공동 잔향(cavity reverberation) 효과에 의해 다중반사에 의한 흡음 효과는 기대할 수 없으며 평판 흡음 물질과 같이 입사 음파에 대해 1회 반사손실에 해당하는 흡음 효과만이 기대된다. 일반적으로 썰기의 길이 L 이 입사 음파의 $1/4$ 파장보다 큰 그림 1의 II 지역 내에서의 반사횟수는 썰기의 길이, 각도에 관계없이 6회를 초과하지 않으므로 다중 반사에 의해 나타나는 입사 음파의 파장과 썰기의 길이 L 을 고려하면 반사손실 $RL(\beta)$ 는 아래의 (3)식과 (4)식의 총 반사손실 SRL 로 쓸 수 있다[3, 4].

$$L > \frac{\lambda}{4} : SRL = RL(\beta) - 20 \log_{10} \left(1 - \frac{\lambda}{4L} \right) \quad (3)$$

$$L \leq \frac{\lambda}{4} : SRL = RL(0) - 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4L} \right) \quad (4)$$

위의 (3)식과 (4)식으로부터 썰기형 무반향 타일의 반사손실은 썰기의 폭지각과 길이변화에 따라 다른 값을 갖는 것을 알 수 있다.

II. 실험방법

2.1 썰기형 무반향 타일의 음향특성임피던스 측정

입사의 매질이 가지고 있는 물성 중에서 음향학적인 성질을 나타내는 음향특성임피던스 Z 는 그 매질내의 음속 c_0 과 밀도 ρ_0 의 곱으로써 정의한다[5]. 실험에서 사용한 무반향 타일 시료의 음속을 측정하기 위해 한 쌍의 음파발생기(transducer)를 무반향 타일 시료의 양쪽에 부착시키고 파열음(tone burst)을 입사시킨 뒤, 송신된 신호와 수신된 신호의 시간차를 측정하여 무반향 타일 시료의 음속을 결정했다.

2.2 썰기형 무반향 타일의 구조변화에 따른 반사계수 및 반사손실 측정

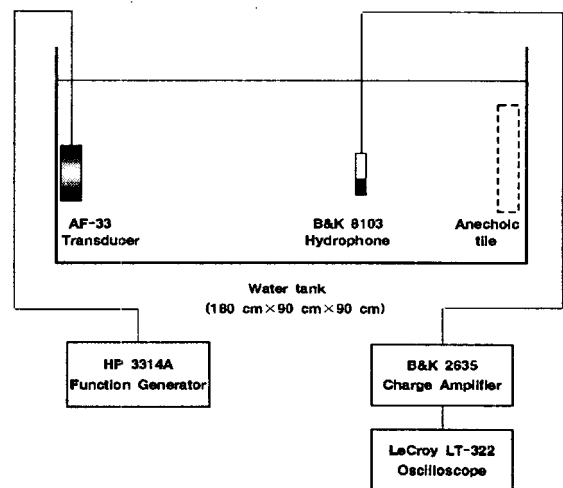


그림 2. 무반향 타일의 반사계수 측정장치

그림 2는 썰기형 무반향 타일의 반사계수를 측정하기 위해 사용된 실험장치이다. 음파를 효과적으로 전달하기 위하여 수중에서 실험을 수행하였으며, 함수발생기(HP 3314A)에서 발생된 신호를 음파발생기(AF-33)를 통해 방출하고, 음파수신기(B&K 8103)로 수신된 신호는 증폭기(B&K 2635)를 거친 뒤에 오실로스코프

(LeCroy LT322)로 신호를 분석하였다. 입사음파의 주파수는 25 kHz 에서 100 kHz 까지 5 kHz 단위로 변화시키며 음파발생기에서 파열음(tone burst)을 발생시켰다. 그림 2에서 채선으로 표시된 부분에는 실험에서 사용될 썰기형 무반향 타일을 설치하고 음파를 수직으로 입사시켜 썰기형 무반향 타일에서 반사된 신호의 압력을 측정하였으며, 입사신호의 압력에 대한 비로써 반사계수를 측정하였다[6].

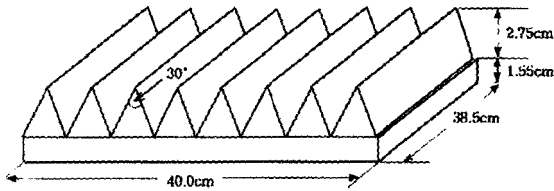


그림 3. 꼭지각이 30° 인 썰기형 무반향 타일

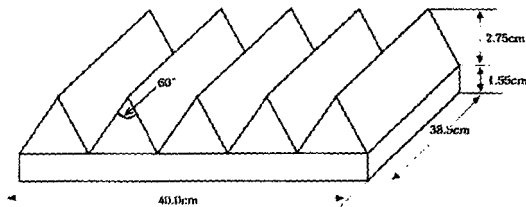


그림 4. 꼭지각이 60° 인 썰기형 무반향 타일

III. 결과 및 분석

3.1 썰기형 무반향 타일 시료의 음향특성임피던스 측정

썰기형 무반향 타일의 음속 측정을 위하여 파열음(tone burst)이 두께가 1.55 cm 인 무반향 타일 시료를 통과한 투과시간을 측정하였고, 그 결과 음파의 무반향 시료 투과시간이 10.84×10^{-6} s 였다. 측정된 시간을 이용하여 무반향 타일 시료내에서 음속 c_0 가 1429.89 m/s 임을 알 수 있으며, 무반향 타일 시료의 밀도를 측정된 결과 시료의 밀도 ρ_0 는 1500 kg/m³ 가 됨을 알 수 있다. 위의 결과들로부터 썰기형 무반향 타일 시료의 음향특성임피던스 Z 가 2.14×10^6 Pa · s/m 임을 알 수 있다.

3.2 썰기형 무반향 타일의 반사계수 및 반사손실 측정

그림 5는 흡음썰기를 부착하지 않은 두께 1.55 cm 의

무반향 타일의 시료를 그림 2의 측정장치를 이용해 구한 반사계수를 나타내고 있다.

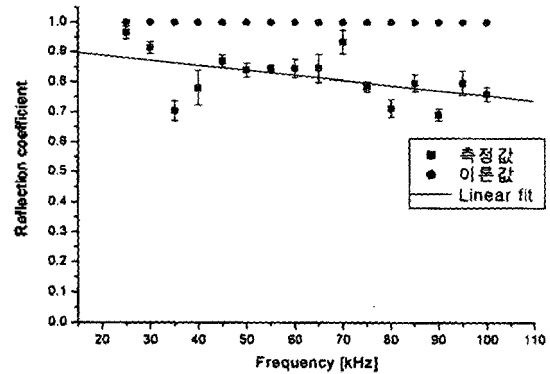


그림 5. 무반향 타일 시료의 반사계수

이 그림을 살펴보면 측정된 반사계수의 값은 약 0.8 로써 대부분의 음파가 반사됨을 알 수 있다. 측정된 값을 이론값과 비교하기 위해 원거리 음장조건 (far-field condition)에서 평면파가 “물-무반향타일시료-공기”의 세 매질에 수직 입사하는 경우의 반사계수를 구하여 이를 측정값과 비교하였다. 이론값과 측정값을 비교하였을 때 다소 차이가 있으나 전체적으로 그 경향이 일치함을 알 수 있다. 그림 6은 실험을 통해 얻은 무반향 타일 시료의 반사계수와 썰기꼭지각이 30° 와 60° 인 썰기형 무반향 타일의 반사계수를 실험적으로 측정하여 나타낸 그림이며, 그림 7은 반사계수를 반사손실로 구한 그림이다. 이 그림을 살펴보면 썰기의 꼭지각이 30° 인 무반향 타일이 60° 인 것보다 반사계수가 작음을 확인 할 수 있으며, 썰기의 꼭지각이 30° 인 무반향 타일의 반사손실이 꼭지각이 60° 인 경우에 비해 큰 값을 갖는 것을 알 수 있다.

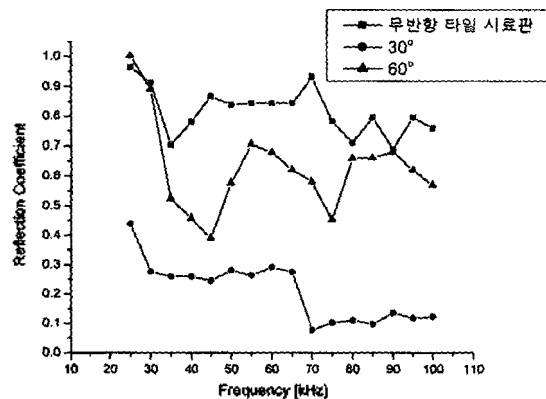


그림 6. 반사계수

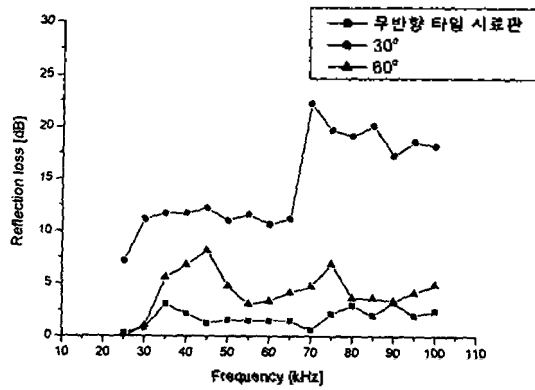


그림 7. 반사손실

ray-tracing법은 두 매질에서의 반사손실만을 계산하는 단점이 있으나, 이 이론을 사용하여 무반향 타일의 쐐기 꼭지각 변화에 따른 흡음 쐐기에서의 다중반사에 의한 입사음파의 반사손실을 구할 수 있으므로, 수중에서 쐐기형 무반향 타일의 쐐기 꼭지각 변화에 따른 입사 음파의 반사손실을 계산하여 그림 8에 나타내었다. 그림 8과 같이 수중에서 무반향 타일의 쐐기 꼭지각이 30° 일 때 60° 보다 입사음파의 반사손실이 크다는 것을 알 수 있으며, 본 논문의 실험과 같은 결과를 보여주는 것을 알 수 있다.

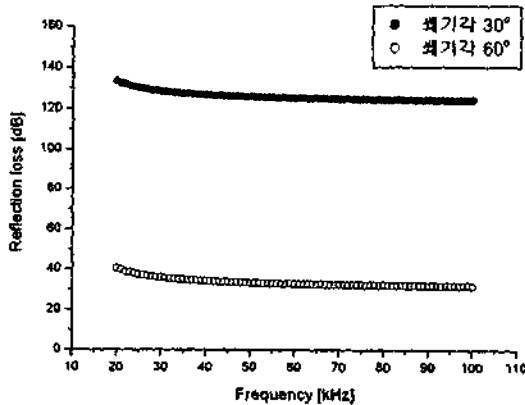


그림 8. ray-tracing법으로 계산한 반사손실

VI. 결론

본 연구에서는 무반향 수조의 내벽 흡음 물질로 사용되는 무반향 타일을 쐐기형으로 제작하여 쐐기의 꼭지각 변화에 따른 음향학적인 특성을 고찰하였다. 실험에서 사용된 쐐기형 무반향 타일의 크기는 40 cm ×

38.5 cm 이며, 타일을 구성하는 각 쐐기의 길이는 2.75 cm 로 고정하고 각각 쐐기의 꼭지각이 30° 와 60° 인 타일을 제작하였다. 수중에서 쐐기가 없는 무반향 시료와 쐐기형 무반향 타일에 음파를 수직 입사하여 반사계수를 측정하였으며, 쐐기의 유무와 무반향 타일을 구성하는 쐐기의 꼭지각 변화에 따른 반사 및 흡음 특성을 고찰하였다. 음향특성임피던스가 $2.14 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s/m}$ 인 무반향 타일 시료에 25 kHz 에서 100 kHz 의 주파수 영역의 음파를 입사한 경우에 반사계수는 0.8 이었으며, 이를 원거리 음장에서 평면파가 “물-무반향타일 시료-공기”의 세 매질에 입사하는 경우의 이론값과 그 경향이 일치함을 알 수 있었다. 무반향 타일의 표면에 부착된 쐐기 꼭지각의 변화에 따른 반사계수와 반사손실은 쐐기의 꼭지각이 30° 일 때 60° 보다 압력반사계수가 작고, 반사손실이 증가함을 알 수 있었으며, 그 결과로써 본 실험에서 사용된 30° 의 쐐기 꼭지각을 갖는 무반향 타일이 내벽 흡음 물질로서 성능이 더 좋다는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 수중특화센터의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] W. S. Cramer and T. F. Johnston, "Underwater Sound Absorbing Structures," J. Acoust. Soc. Am. 28, p. 501 (1956).
- [2] L. Bjørnø and M. Kjeldgaard, "A Wide Frequency Band Anechoic Water Tank," Acoustica 32, p. 103 (1975).
- [3] T. G. Muir and J. G. Willette, "A Small Anechoic Tank for Underwater Research," Applied Research Laboratories, The University of Texas at Austin (unpublished).
- [4] W. P. Mason and E. H. Hibbard, "Absorbing Media for Underwater Sound Measuring Tanks and Baffles," J. Acoust. Soc. Am. 20, p. 476 (1948).
- [5] David. T. Blackstock, *Fundamentals of physical acoustics*, (John Wiley & Sons. New York), p.46-48 (2000).
- [6] L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, (John Wiley & Sons, New York), p. 111 (1981).