

---

# 무향 수조 설계기법 연구

임용곤\*, 이종무\*, 배상현\*

A Research on the Design Techniques for Underwater Acoustic Basin

Yong-Kon Lim, Jong-Moo Lee, Jong-Won Park

## 요 약

본 논문에서는 수중에서의 초음파를 이용하여 개발되고 있는 시스템 및 핵심기술들의 시험을 위해 반드시 필요한 무향수조 설계에 대하여 기술하고 있다. 무향수조에 사용되는 흡음판의 재질로서는 일반적으로 다공성 플라스틱, 재생용 고무, 알루미늄 폼, 우레탄 폼 등을 사용하는데, 본 논문에서는 흡음성능이 우수하고 경제적인 다공성 재생고무를 선정하였다. 따라서, 이 재질에 대한 흡음성능 및 특성을 살펴보았다. 또한, 흡음판의 형상설계를 통해 최적의 흡음성능을 갖는 무향수조를 설립할 수 있도록 쉐기형 흡음판을 설계하였으며, 쉐기각도에 따른 반사경로를 수학적으로 해석하여 최적의 흡음성능을 가질 수 있는 흡음판을 설계하였다. 또한, 확보된 무향수조 공간에 효율적인 흡음판 배치를 위한 치구설계 및 배치설계를 수행하였다.

## ABSTRACT

This paper deals with the design techniques for underwater acoustic basin. An underwater acoustic basin is needed for test and calibration of acoustic sensors, acoustic digital communication system, acoustic measurement system, and underwater image data telemetry system. KRISO(Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering) have planned the construction of an underwater acoustic tank from 1999 to 2001 through internal project.

We studied about absorption characteristics of a porous re-cycled rubber which is selected as a absorption materials and designed absorption plate with wedge shape. The simulation of reflection analysis along the wedge angle for wedged type plate was presented.

---

\* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
접수일자: 2000. 12. 26

## I. 서론

수중에서의 음파전달 채널은 음파 전달속도, 다중경로, 비 균질성 등에 따라 변화가 아주 심하다. 실제로 수중에서 수신된 신호의 진폭, 위상, 주파수는 시간변화의 요인들에 의해 많은 영향을 받게 되므로 수중음향에 대한 신호처리에서는 공간분해 및 적응 등화기 등의 처리과정이 필수적으로 수행되어야 하며, 이들 핵심기술을 개발하기 위해서는 표준화된 수중음향시험기법을 이용하여 성능을 비교 평가하여야 한다.

이러한 수중 초음파 기술을 이용하여 개발한 시스템들과 입수된 장비의 성능을 검증하기 위해서 수중시험이 동반되어야하며, 이러한 시험은 최종적으로 실험실에서 이루어지겠으나 실험실 시험을 수행하기 전에 기본 성능 평가 단계에서는 수조 시험이 이루어져야한다.

한국해양연구소 선박해양공학분소에는 '99년부터 '01년까지 수중 음향 시험기법 및 시험이 가능한 무향수조를 설립할 계획이며, 현재 무향수조의 흡음제질 선정과 흡음판의 기본적인 설계가 완료되어 있다. 본 논문에서는 수중 음향시험기법에 필요한 무향수조 설계에 필요한 흡음제질에 대하여 검토하였고, 쇠기형 흡음판 설계를 통한 최대 흡음 성능을 가질 수 있는 무향수조 설계기법을 제안하고자 한다.

## II. 무향수조의 흡음재 선정[1]

무향수조의 흡음판에 사용될 흡음물질 선정을 하기 위하여 흡음성능이 우수한 재질로 알려진 다공성 재생

고무, 우레탄 폼, 알루미늄 폼에 대하여 문헌조사를 통하여 검토하였다. 이 장에서는 최종적으로 가장 우수한 흡음성능을 가지고 있어 흡음판의 흡음재로 선정된 다공성 재생고무의 흡음성능과 특성에 대하여 알아보도록 하겠다.

### 1. 흡음재의 일반적 특성

최근 들어 환경에서의 소음에 대한 관심이 고조되면서 진보적인 법률 제정과 함께 소음억제를 위한 재생 플라스틱과 고무에 대한 활용연구 및 음향성능에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 물질은 일반적으로 느슨한 알갱이 구조를 갖는 폼(Foam)으로 구성되어 있으며, 높은 흡음, 내구성 및 구조적 힘을 갖는 다공 구조특성을 가지고 있다[2].

알갱이 구조를 갖는 물질의 접촉과정은 음향특성에 깊은 영향을 미치므로[3], 이 음향학적 효과와 연관된 기계적 메커니즘을 관찰하여 물질의 흡음 특성을 최적화할 수 있다. 또한, 비 음향 파라미터를 측정하여 다공성 물질의 음향 파라미터를 추정하는 방법은 이미 개발되어 있으므로[4][5][6], 이 방법을 사용하여 재생된 알갱이 구조를 갖는 물질로부터 다공성 물질의 성질을 알 수 있다[7].

굳어진 알갱이 구조의 물질은 섬유질 물질보다 많은 이점을 가지고 있으며, 특히 건물밖의 소음 차단벽(Noise Barrier)에 많이 사용되고 있다. 또한, 탄성 알갱이 구조를 갖는 물질로 만들어진 음향 Panelling은 구조적 Damping 효과를 갖는 흡음에 있어 점성-온도(Visco-thermal) 메커니즘을 갖기 때문에 간단하고 편

표 1. 다공성 재생고무 샘플들의 물리적 특성  
Table 1. Physical characteristics of re-cycled rubber with porosity

	Particle Size	Porosity (%)	Flow resistivity (Nsm <sup>-4</sup> )
Unconsolidated	0.71-1.0 mm	n/a	2.83X104
	1.0-1.4 mm	n/a	6.50X103
	1.4-2.0 mm	n/a	3.70X103
	> 2.0 mm	n/a	2.13X103
Consolidated	0.71-1.0 mm	31.7	4.89X105
	1.0-1.4 mm	34.0	8.05X104
	1.4-2.0 mm	30.0	6.21X104
	> 2.0 mm	33.6	2.20X104

리한 흡음기(Sound Absorber)로서 사용되고 있고, 이는 도로교통에 의한 소음, 다른 기계적 잡음과 연계하여 저주파수의 음향을 감쇠시키는데 효과적인 특성을 가지고 있다.

### 2. 재생고무를 이용한 흡음재 제작

재생용 차 타이어에서 추출한 고무 부스러기를 사용하며, 이 물질은 밀도  $1050 \text{ kg/m}^3$ ,  $0.35\sim 5.0\text{mm}$ 의 직경을 갖는 불규칙한 알갱이 구조를 갖는 적당한 크기의 분류작업이 기계적으로 체를 이용하여 이루어지고, 본 작업을 통하여 95%의 분리가 이루어진다.

굳어진 물질은 미리 만들어 놓은 틀에 중합제가 가미된(polymer-based) 접착제와 고무 부스러기를 완전히 혼합하고, 간단한 기계적 압력을 가할 수 있도록 만들어진 틀(정적압력을 가짐)에 혼합물을 넣어 만든다. 이 만들어진 혼합물을 실온에서 약 18시간 경화시킨 후에, 압력을 해제하고 굳어진 샘플을 추출한다.

### 3. 흡음성능 분석

표 1은 다공성 재생고무를 이용하여 제작된 샘플의 물리적 특성을 보여주며, binder의 농도는 천연고무의 약 15% 질량을 갖는다고 가정한다. 그림 1은 표 1에 주어진 다공성 재생고무에 대한 느슨한 물질과 굳어진 물질에 대한 Brüel & Kjaer의 4206 분석 소프트웨어 결과로서 얻어진 흡수 스펙트럼을 나타낸다. 그림 1(a)은 굳어지지 않은 물질에 대한 알갱이 크기에 대한 흡음 스펙트럼을 그림 1(b)는 굳은 물질에 대한 알갱이 크기에 대한 흡음 스펙트럼을 보여준다.  $0.71\text{mm}$ 보다 작은 알갱이의 크기를 갖는 굳은 물질은 제작된 샘플의 매우 낮은 다공성 때문에 포함하지 않으므로, 이 크기보다 작은 알갱이로부터 굳어진 물질은 음향학적 영향을 받지 않는다고 가정한다.

그림 1(a)는 느슨한 구조의 입자크기와 흡음 스펙트럼간의 명백한 관계를 보여주며, 그림 1(b)는 굳어진 구조의 입자크기와 흡음 스펙트럼을 보여준다. 큰 알갱이에서 크기가 감소되더라도 낮은 flow 저항값을 가지므로 일반적으로 낮게 흡수되며, 알갱이의 크기가  $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}$ 에서 흡수율은 최대값을 가지며 증가한다. 흡음 스펙트럼의 첫 공진 주파수는 스펙트럼의 낮은 주파수로 이동하는데, 이것은 구멍의 크기가 감소되면서 음향 경로의 길이가 증가하기 때문이다.

$0.5\text{mm}$ 보다 작은 입자의 스펙트럼 곡선은 일차 공진 주파수를 지나면서 완만해지는데, 이처럼 높은 주파수 범위에서 작은 구멍크기를 갖는 샘플에서 visco-thermal 효과가 다공성 샘플의 흡음에 대한 주된 메커니즘이 되기 때문이다. 이런 경우 샘플 내에서의 소음 감쇠는 직접 전달되는 음향과 샘플의 표면 근처에 개발된 단단한 막에서 반사된 음향과의 간섭이 발생하지 않도록 충분히 크다. 이상적인 환경에서 이 크기는 최적의 흡수장치를 제작하기 위한 적절한 입자 크기가 된다. 그러나, 공기 과정에서 기술적 어려움 때문에 이 크기는 최종 마무리에서 Binder의 연결된 다공성의 부정적인 효과를 고려하여 증가시켜야 한다.

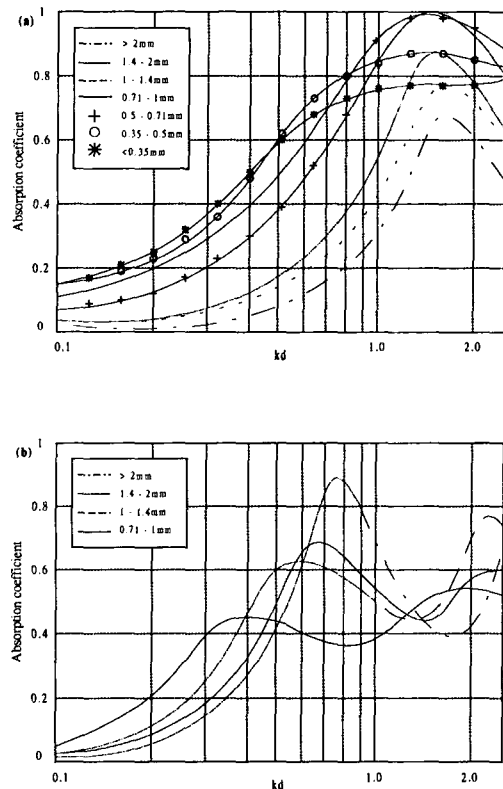


그림 1. 입자 크기에 따른 흡음계수 스펙트럼  
Fig. 1 Spectrum of an absorption coefficient with different particle size

그림 1(b)에서 관찰할 수 있는 사실은 flow의 저항성과 굴절의 변화에 의존적이나, 큰 입자 크기에서 흡

음이 실제로 크게 이루어지면서 1차 공진 주파수가 일반적으로 매우 낮은 값을 갖는다는 것을 알 수가 있다. 2mm보다 큰 입자로 만들어진 물질이 고려되었을 때 두 물질의 상태사이의 차이를 평가할 수 있는데, 굳어지지 않은 물질에 대해서 이 크기는 소리를 흡수하기가 매우 나쁘다. 그러나, binder에 적용하였을 경우 다른 굳어진 알갱이의 크기와 비교하여 가장 큰 흡수율을 갖으며 1차 공진 주파수 부근에서의 음향 특성은 실질적으로 향상된다.

물론 두 물질 상태사이의 관계는 완전히 flow 저항성 분석으로부터 수행된 실험에 의해 설명될 수 없지만, 0.71~1mm의 굳어지지 않은 물질과 2mm 이상의 굳어진 물질은 매우 유사한 유속 저항성을 가지며 1차 공진 주파수에 있어서도 큰 차이를 가지지 않는다. 이런 방법에서 구멍의 평균 크기와 그에 따른 통계적인 분포를 바꾸는 것을 포함하여 binder에 의한 영향은 매우 심각하다. 상업적으로 이런 방법이 사용되고 있으나, 그런 물질을 제작되었을 때 대부분 2/3는 내부에 binder가 설치되고, 알갱이들 사이에 "bridges"를 형성하는 작은 구멍으로 채운다. 전체적인 다공성을 줄이는 것과는 달리 이 방법은 다공 구조내의 "Closing Off" 경로 영향으로 인해 물체 전체의 굴절(tortuosity)을 증가시키는 결과를 가져온다. 그림 2(a)는 1~1.4mm 알갱이 크기를 갖은 굳어지지 않은 물체의 두께에 따른 흡음 계수를 그래프로 표시하였으며, 0.71mm 이상의 다른 크기에서 유사한 결과를 갖는다. 그림 2(b)는 1~1.4mm 알갱이 크기를 갖은 굳어진 물체의 두께에 따른 흡음 계수를 그래프로 표시하였다. 두께가 두꺼워 질수록 흡음 곡선은 더 낮은 주파수를 가지게되며, 반드시 두께가 증가한다고 해서 더 나은 음향성능을 갖는다고는 말할 수 없다.

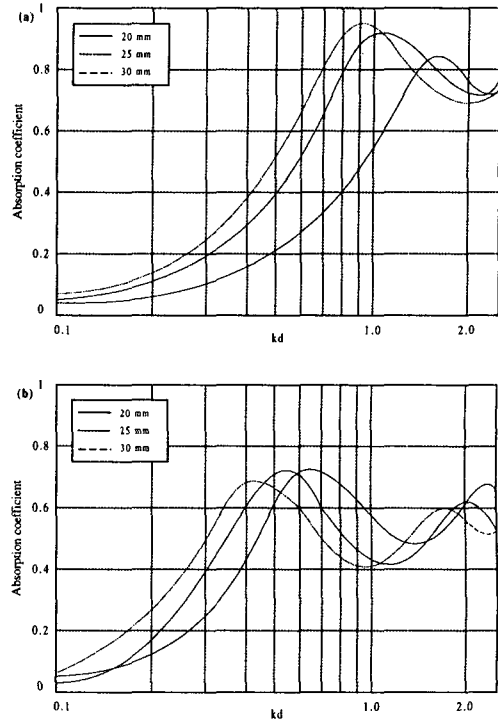


그림 2. 물질의 두께에 따른 흡음성능 비교  
Fig. 2 Comparison of an absorption performance according to sample's thickness

#### 4. 흡음성능 분석결과

재생 고무를 이용한 다공성 물체는 모아진 알갱이의 크기와 binder 내용물을 주의 깊게 선택하고, 그 두께가 관심을 갖는 주파수에 맞게 조정이 되면 흡음에 효율적임을 알 수 있다. 또한, binder의 사용은 flow 저항성과 굴절의 증가로 인한 평균 구멍 크기가 감소되었기 때문에 알갱이 혼합물의 음향 특성에 상당히 효과적이다. 그리고, 주어진 비음향 파라미터에 대해 다공성의 알갱이 구조를 갖는 물체의 두께를 크게 하는 것은 전체적인 흡수율을 향상시키진 않는다는 것을 알 수 있다.

### III. 썩기형 흡음판 설계

썩기형 흡음판은 무향실에서도 많이 사용하는 흡음재의 형태로 썩기의 틈으로 음파가 반사하면서 들어갔다 나오면서 반사시에 흡음재에 의해 음향 에너지를

없게되어 흡음판 밖으로 나오는 음파가 감쇠되어 전반적으로 이러한 반사파의 영향을 줄이도록 하는 것이다.

1. 흡음판의 기하학적 설계

흡음판의 형상은 썩기 형태로 하였으나 그 재질과 세부적인 형태는 몇 가지를 생각해 볼 수 있다. 첫 번째로 직립 타공판을 이용해 흡음판을 제작하는 방법인데, 그 세부적인 형태와 배치는 흡음성능을 극대화하기 위하여 벽면에 일정 간격을 두고 급속으로 제작한 타공판 3장을 같은 간격으로 배치한다.

두 번째의 것은 가장 일반적으로 사용되고 있는 형태의 것으로 재생고무 또는 우레탄 등의 다공성 재질을 이용해 썩기 형태를 가공하고 이들을 옆으로 붙여서 하나의 정방형 타일로 만들어서 다시 다공성 알루미늄 판에 부착하는 방법이다. 개개의 타일들은 엇갈리게 부착하여 3차원 효과를 주도록 하고 여러 개의 타일이 부착된 알루미늄 판은 다시 수조 벽에 부착된 프레임에 고정시킬 수 있게 한다. 그림 3은 이러한 방법의 흡음판의 형태에 대한 개념을 보여준다.

마지막으로 생각해 볼 수 있는 것은 복합적인 형태의 것으로 앞서 언급한 두 가지를 혼합한 형태라고 볼 수 있다. 썩기 형상은 다공성 알루미늄과 다공성 고무로 만든 판재를 적층한 복합판을 가지고 구성하여 썩기형 이면에 다공성 알루미늄 판을 대는 형태이다. 그림 4는 이 개념의 흡음판 형태를 보여주고 있다.

이러한 개념 설계들 중에서 장단점을 비교하여 한 가지를 선택하여 무향수조의 흡음판을 제작하려고 한다.

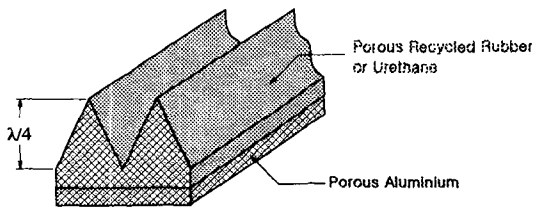


그림 3. 단단한 다공성 흡음재를 사용한 썩기형 흡음판 형상  
Fig. 3 Wedged absorption frame using the rigid frame porous materials

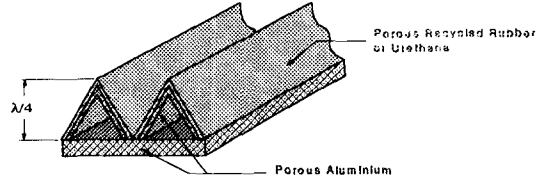


그림 4. 적층 복합판을 이용한 썩기형 흡음판  
Fig. 4 Wedged absorption frame using the hybrid frame with several layers

첫 번째의 경우 타공판을 3단으로 배치하여야하므로 수조내의 유효공간이 줄어들게 되는 단점이 있으며 2차원적인 효과만을 기대할 수 있고 수조 바닥과 윗면에 배치하기가 어렵다는 단점이 있다. 장점으로서는 타공판을 가공하는 것이 비교적 어렵지 않다는 점이 있으며 현재 한국해양연구소가 보유하고 있는 해양공학 수조의 중력과 소파 장치로 채택되어 효과를 입증한바가 있으나 이 경우 중력과는 수면에만 존재하는 것으로 음파의 경우에 적용하기 위해서는 검증을 위한 시험을 해야할 것이다. 두 번째의 경우는 무향실에 사용되는 방법으로 일반적인 성능은 검증되었다고 보지만 수중에 적용하기 위해서는 부력에 의한 변형 등을 고려하여 재질의 선정에 신중해야 한다. 세 번째의 경우는 첫 번째와 두 번째의 장점을 가질 수 있을 것으로 기대되지만 적층판을 제작하는데 비용이 많이 들 것으로 예상되며 썩기형의 판과 다공성 알루미늄 판을 서로 부착하는 것이 어려운 문제일 것으로 추측된다. 이러한 여러 가지 요소들을 고려하였을 때 현재 상황으로는 두 번째의 것이 가장 적절하리라고 판단되며 구체적인 설계는 이에 따르기로 한다.

이러한 썩기형 흡음판을 설계할 때 무향수조에서 사용되는 음파의 주파수 범위에서 가장 낮은 주파수를 주된 주파수로 생각하여 썩기의 크기를 결정해야한다. 그 이유는 음파는 주파수가 낮을수록 매체 내에서의 감쇠가 적어 가장 오랫동안 남아 있으며 높은 주파수를 갖는 음파들은 저주파의 음파에 비해 전달 경로에 대한 감쇠가 크기 때문이다. 따라서 썩기의 높이는 사용하려는 음파의 주파수 중 가장 낮은 주파수인 3kHz로 하였고, 이 때 수중에서의 음속을 1500m/s로 생각했을 때 파장은 50cm가 된다. 썩기의 높이는 주된 주파수 음파의 파장의 ¼을 잡으면 12.5cm가 된다.

썩기의 각도는 작을수록 입사파의 반사 횟수가 늘

어나지만 너무 작게 할 경우 재질의 사용량과 제작상의 어려움이 있으므로 적당한 수준에서 결정되어야한다. 반사판 하나의 크기는 될 수 있으면 정방형이 되도록 하여 수조 벽면에 붙일 때 썸끼의 배열이 서로 엇갈리게 배치하여 3차원적인 효과 즉 원추형의 흡음판과 유사한 효과를 갖도록 한다. 이러한 방법은 일반적인 무향실의 흡음판의 배치 방법과 일치하며, 그림 5는 흡음판의 부착 방법을 보여주고 있다.

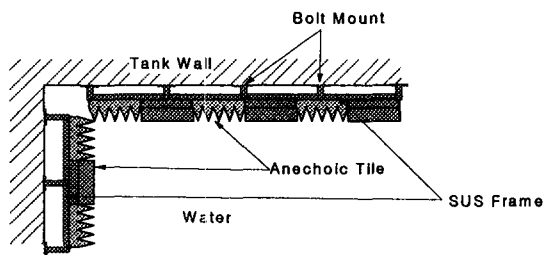


그림 5. 흡음판 부착개념

Fig. 5 Methode for attaching the absorption frame

그림에서 흡음판의 이면에는 스테인리스로 제작한 프레임이 있어 무향수조의 벽면에 앵커볼트로 부착하게되어 반 고정식으로 설치한다. 이러한 프레임을 설계한 이유는 그 위에 흡음판이 부착되는 이면 판을 별도로 부착하여 흡음판이 그 이면 판 위에 부착된 후 다시 프레임에 볼트로 부착하게 하여 흡음판의 보수 유지 및 성능 개선이 필요할 때 작업의 용이성을 제공하고 흡음판의 탈 부착 자체가 가능하도록 하기 위함이다.

그림 6은 썸끼형 흡음판의 세부 형태와 가공 수치 등을 개념적으로 보여준다. 그림에서 b는 가공을 위한 여유 폭을 둔 것이다. 재질에 따라서는 경도가 어느 정도 있다면 필요하지 않을 수도 있다. B는 썸끼의 각도( $\theta$ )에 의해 결정되며 h는 흡수된 음파가 에너지를 소실할 수 있는 여유를 두기 위해 추가된 부분이다. 이 썸끼형 타일을 그림 3에서와 같이 다공성 알루미늄 판에 부착하여 흡음재를 구성하게 된다.

## 2. 썸끼 내 반사파의 기하학적 시뮬레이션

썸끼형 흡음판은 그 형태가 기하학적으로 복잡하여 수조 전체에 대한 음향학적인 해석이 거의 불가능하다. 다른 한편으로는 그러한 전반적인 음향학적 시뮬레이션 및 계산은 흡음판을 음파의 일부가 흡수되는

음향학적 구조물로 취급하여 거시적으로 처리하여 계산하여 무향수조 전반에 걸친 음향학적 성능을 평가하는 방법을 사용한다.

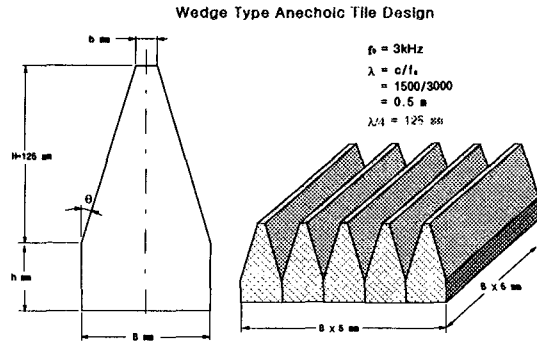


그림 6. 단단한 다공성 재질을 사용한 썸끼형 흡음판 설계개념

Fig. 6 Design of the wedged absorption frame using the rigid porous materials

따라서 흡음판의 세부적인 형태 설계의 요소들을 고려하기 위해서는 썸끼의 각도와 크기에 중점을 둔 접근이 필요하다. 여기서는 이러한 관점에서 문제를 취급하기 위해 썸끼 재질의 음파 흡수율 등은 추후에 다시 언급하기로 하고 음파를 하나의 음파 경로로만 보고 썸끼의 각도와 음파의 입사각도를 변수로 취급하여 흡음판의 기하학적 설계에 필요한 사항들을 도출하는 방법으로 접근하기로 한다.

먼저 썸끼의 끝단을 지난 음파는 썸끼 면에서 흡수와 반사만 이루어진다고 가정한다. 음파의 입사각도와 썸끼의 각도가 변할 때 썸끼 면에서 반사가 몇 차례 발생하는가를 관찰하여 적합한 썸끼의 각도를 결정하기로 한다. 음파는 썸끼의 경사면에서 반사가 일어날 때마다 그 에너지의 일부를 상실하고 최종적으로 반사되는 음파가 대부분의 에너지를 소실하면 흡음판의 원하는 성능을 얻는 것으로 볼 수 있다.

### 2.1. 반사파 거동 문제의 정식화

이러한 문제는 입사파의 회절은 취급하지 않으므로 단순화 할 수 있을 것이다. 음파의 경로를 취급하기 위해 수학적으로 직선의 방정식을 이용하려면 먼저 좌표계의 설정이 필요하다 여기서는 미시적으로 썸끼에 대한 음파가 2차원적으로 취급이 가능하며 썸끼의 형태 상 2차원적인 성격이 강하므로 2차원 평면좌표계

를 설정한다. 그림 7은 이러한 2차원 좌표계의 설정을 보여준다.

그림 7에서 쐐기의 x축에 대한 각도를  $\theta$ 라하고 입사파의 입사각을 좌표계에 대한 각도 즉 반 시계 방향의 각도를  $\phi_0$ 라 할 때 반사파의 각도는  $\phi_1$ 이 된다. 계속해서 반대쪽의 쐐기면에서 반사된 반사파의 각도는  $\phi_2$ 가 된다. 그러면 이러한 반사파의 각도와 반사점 즉 입사된 음파의 경로가 쐐기면과 만나는 점을 찾아보기로 한다.

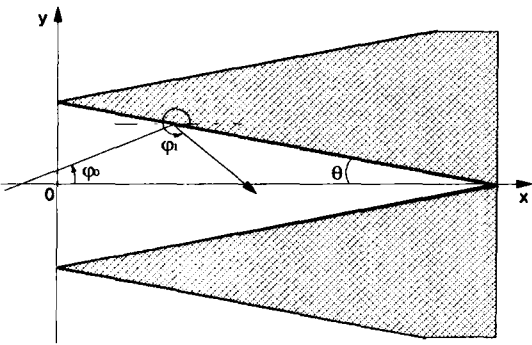


그림 7. 반사파 거동해석위한 2차원 좌표계 설정  
Fig. 7 2D Coordinate system for the behavior analysis of a reflecting wave

먼저 반사점을 차례로 찾아나가기 위해서는 반사파의 각도를 알아야한다. 또한 쐐기면은 반사면이 두 개가 존재하므로 각각의 반사면에서의 입사파와 반사파의 관계는 달라질 것이다. 먼저 좌표계의 1사분면에 존재하는 반사면 즉 위 쪽의 반사면에서 입사파와 반사파의 관계를 알아보기로 하자. 그림 8에 위쪽 반사면에서의 입사파와 반사파를 도식화하였다.

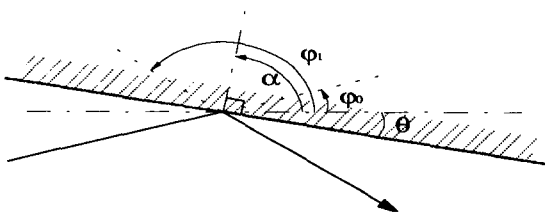


그림 8. 쐐기형 흡음판의 상단면에서의 입사파와 반사파의 관계  
Fig. 8 Relation with an incident and reflecting wave at an upper side of the wedged absorption frame

반사점의 좌표를 나타내는 관계식은 다음의 식과 같이 일반화 할 수 있다[2]. 이 식에서 H는 주된 음파의 파장에 의해 결정되는 쐐기의 높이를 나타낸다[2]. 아래 식에서  $x_k$ 와  $y_k$ 는 흡음판내의 반사각과 입사각에 따른 반사점의 위치를 나타내며, 이 식에 대한 전개는 참고문헌[2]를 참조한다.

$$x_k = \frac{H \cdot \tan \theta + (-1)^k (y_{k-1} - \tan \varphi_{k-1} \cdot x_{k-1})}{\tan \theta + (-1)^{k-1} \tan \varphi_{k-1}}$$

$$y_k = (-1)^k (\tan \theta \cdot x_k - H \cdot \tan \theta)$$

위 식을 이용하면 입사된 음파가 쐐기의 반사면에서 어떻게 반사되는지를 표현할 수 있으며 반사점이 0과 H사이를 벗어나게 되면 최종적으로 쐐기형의 흡음판으로부터 반사되어 바깥쪽으로 반사된 것을 알 수 있다.

## 2.2. 반사경로 추적 시뮬레이션

위의 결과 식을 이용하여 입사각 및 입사 위치를 변화시키면서 쐐기면에서의 입사파 경로를 추적하여 보았다. 이 때 쐐기의 각도( $\theta$ ) 또한 몇 가지로 변화 시켜 보았다. 입사파의 각도는 0도부터 89도까지 매 1도를 증가시키면서 계산 결과를 그림으로 확인하였으며 입사 위치는 양의 y 값을 갖는 적절한 점에서 시작하도록 하였다. 원점을 향해 입사되는 입사파는 기하학적으로 의미가 없기 때문이었다. 쐐기의 각도는 10도, 15도, 30도를 추적해 보았는데 30도 이상의 각도에서는 반사 횟수가 너무 적어 그 이상의 각도에서는 의미가 없었으며 10도 미만인 경우는 쐐기가 지나치게 촘촘히 배치되어 제작상의 문제가 있을 것으로 예상되었다.

그림 9는 쐐기의 각도가 15도인 경우에 반사파의 경로를 추적한 결과를 보여 주고 있다. 이 경우 입사각이 0도일 때 최고 6회의 반사를 하였으며 입사각이 30도를 넘어가면 3회의 반사로 반사 횟수가 줄어들었다. 그림에서는 1도 간격으로 표현할 경우 각 경로들의 구분이 어렵기 때문에 10도 간격의 반사파 경로만 표현하였다. 그림에서도 표현되었지만 입사파가 들어온 점은 원점보다 약간 위쪽에 위치하도록 하였다.

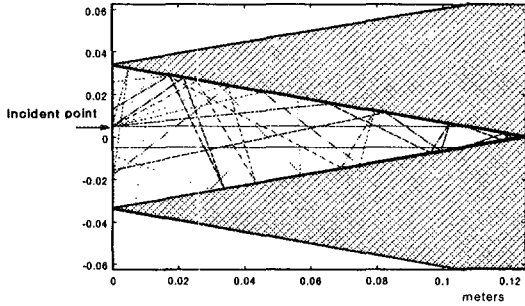


그림 9. 쐐기각도가 15도인 경우의 반사파 해석  
Fig. 9 Analysis of the reflecting wave with the wedge angle(15 degree)

그림 10은 쐐기의 각도가 30도인 경우를 보여주고 있다. 쐐기의 각도가 30도라는 것은 쐐기면 사이의 각도가 60도라는 것을 의미한다. 이 경우 반사면의 사이 각이 비교적 넓기 때문에 직관적으로도 알 수 있는 것처럼 반사 횟수가 현격히 줄어들음을 알 수 있었다.

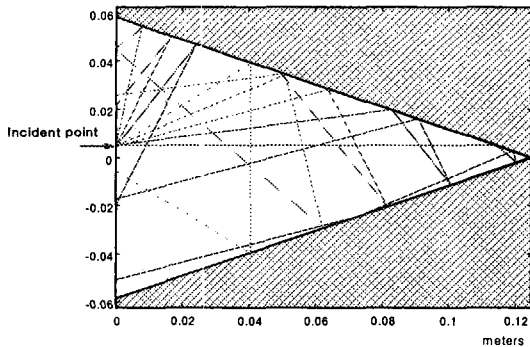


그림 10. 쐐기각도가 30도인 경우의 반사파 해석  
Fig. 10 Analysis of the reflecting wave with the wedge angle(30 degree)

이러한 반사파의 경로추적 시뮬레이션을 통해 쐐기의 각도는 15도보다 작게 하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었으며 6회의 반사를 통해 -20dB 이상의 감쇠를 얻기 위해서는 쐐기의 재질이 한번의 반사가 발생할 때마다 32% 이상의 에너지를 흡수할 수 있어야 함을 의미하므로 주된 관심을 갖는 주파수인 3kHz의 음파가 이러한 비율 이상으로 흡수될 수 있는 특성을 가진 재질로 선정해야 할 것이다.

#### IV. 흡음판 부착지구 설계

앞에서 설명한 바와 같이 무향수조의 벽면에 흡음판을 부착하기 위해서는 흡음판들을 직접 부착하는 것이 아니라 유지 보수와 추후의 성능 개선 시 작업을 용이하게 하기 위해 수조의 벽면에는 스테인리스로 제작된 지구 즉 프레임이 반고정식으로 장착이 된 후에 이 프레임에 흡음판을 부착한 이면 판을 부착하여야 한다.

그림 11은 무향수조를 설립하기 위하여 사전에 확보된 공간에 대한 치수를 나타내고 있다. 그림에서 수조의 벽면과 치구가 장착될 부분이 차이가 나는 것은 쐐기의 높이와 치구의 벽면에 대한 높이가 있어 그림 5와 같이 배치되기 때문이다. 따라서 실제 치구가 장착되는 부분이 차이가 나고 완성 후에 무향수조로 사용하게되는 공간은 더 줄어들게 된다.

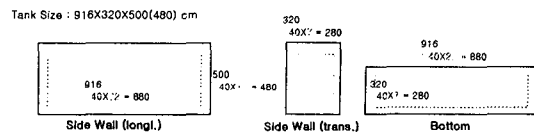


그림 11. 무향수조 건립을 위해 확보된 공간치수  
Fig. 11 Spatial size of KRISO's acoustic basin

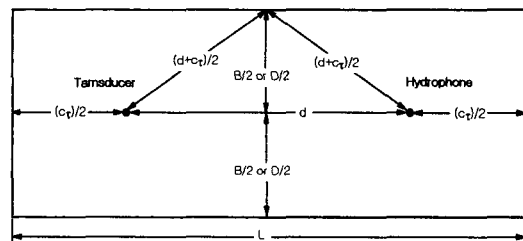


그림 12. 무향수조의 트랜스듀서와 하이드로폰의 기하학적 배치  
Fig. 12 Geometrical arrangement with transducer and hydrophone of the acoustic basic

또한, 이 확보된 공간에서 음향신호를 계측하기 위한 수중음향 송파기(transducer)와 수파기(hydrophone)의 위치를 결정해야하는데 이 때 트랜스듀서의 방사면 크기 때문에 발생하는 모서리 효과(edge effect)를 무시할 수 있는 정도의 거리가 하이드로폰과



떨어져 있어야 하며 펄스의 길이 등을 고려하여 적절한 위치를 선정해서 트랜스듀서와 하이드로폰의 위치를 고정해야 한다. 그림 12는 트랜스듀서와 하이드로폰의 위치를 선정하기 위한 설정사항과 수조의 기하학적 위치 관계를 보여주고 있다. 그림에서 트랜스듀서와 하이드로폰은 수조의 길이방향 중심선 상에 있어야 하며 위치는 길이방향의 위만 선정하면 된다.

이와 같은 여러 가지 사항들을 고려하여 흡음판의 부착 프레임을 내식성을 갖도록 각형 스테인리스 파이프로 설계하였다.

### V. 결론

본 논문에서는 한국해양연구원에서 설립하려고 하고 있는 무향수조에 대한 기본적인 설계 결과를 나타내고 있다.

흡음재로서 선정된 다공성 재생고무의 흡음성능을 살펴보았으며, 최적의 흡음성능을 갖는 쉼기형 흡음판 설계를 수행하였고, 이에 대한 수학적 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

쉼기형 흡음판의 흡음성능을 3D로 확장하여 보다 나은 흡음성능을 얻기위해 최종적으로는 원뿔형 쉼기 타입을 설계하여 제작하였으며, 이 흡음판은 길쭉한 쉼기판에서 쉼기형 흡음판 속에서도 다시 3차원적인 흡음이 가능하도록 설계되었다. 이에 대한 수정·보완된 흡음판 형상은 그림 13과 같으며 그림 14와 같은 제작과정을 거쳐 제작한다.

또한, 그림 15, 그림 16은 제작된 흡음판을 실제 무향수조에 설치하여 장착한 모습을 보여주고 있으며, 현재는 바닥, 옆면 4개면에 흡음판이 설치되어 있고 올해(2001)에 뚜껑면에 대한 흡음판을 설치하여 부착할 계획이다. 또한, 이 무향수조에서는 수조의 흡음특성 및 전달특성에 대한 연구 및 실험이 계속 진행되고 있으며, 이에 대한 결과를 추후 발표하도록 하겠다.

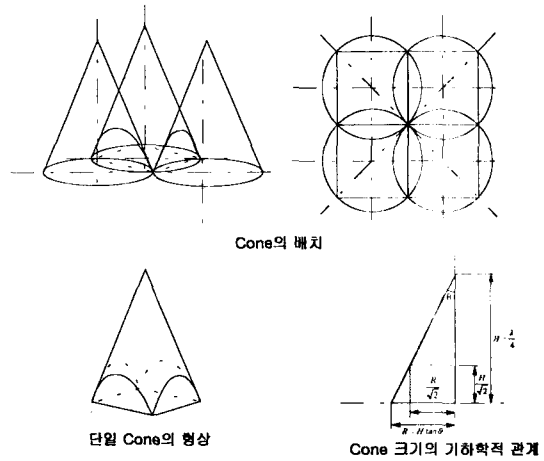


그림 13. 수정된 콘타입 흡음판의 설계  
Fig. 13 Design of cone-typed absorption frame

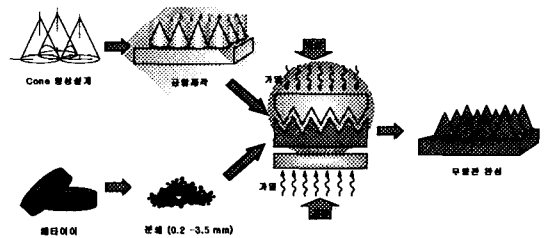


그림 14. 흡음판 제작과정  
Fig. 14 Making procedure of the absorption frame



그림 15. 흡음판 설치사진  
Fig. 15 Establishment of the absorption frame

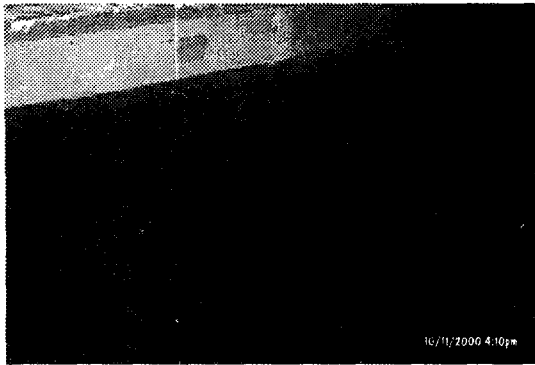


그림 15. 흡음판 설치사진  
Fig. 15 Establishment of the absorption frame

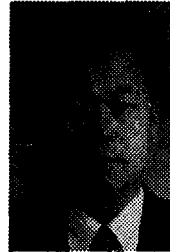
### 후기

본 연구결과는 한국해양연구소에서 수행한 기관고유 사업인 “음파 거동해석기법을 이용한 수중 초음파 시스템 시험기법 개발”의 연구결과의 일부임을 밝혀 둔다.

### 참고문헌

- [1] M.J.Swift, etc, "Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate", Applied acoustic, 57
- [2] 한국해양연구소, “음파 거동해석 기법을 이용한 수중초음파 시스템 시험기법 개발”, 기관고유사업 보고서, 1999.
- [3] Vitamvasova E, Vasult S, Gerza D, Bris P, "A noise and vibration protection by mixed polymer waste", Inter noise '96 conference proceedings, 1835-1839, 1996.
- [4] Allard JF, private correspondence, 1997.
- [5] Allard JF, Champoux Y, "New empirical equation for sound propagation in rigid frame fibrous materials", J. Acoustic Society of America, 91(6), 3346-3353, 1992.
- [6] Stinson MR, Champoux Y, "Propagation of sound and the assignment of shape factors of model porous materials having simple pore geometries", J. Acoustic Society of America, 91(2), 685-95, 1992.
- [7] Attenborough K, "On the acoustic slow wave in

air-filled granular media", J. Acoustic Society of America, 81(1), 93-102, 1987.



임용곤(Yong-kon Lim)

1979년 충남대학교 학사-전기공학  
1984년 충남대학교 석사-전기공학  
1994년 아주대학교 박사-전자공학  
1980.7~1999.3 : 한국기계연구원 책임연구원  
1999.4~현재 : 한국해양연구원 책임연구원

1997.6~2000.12 : 한국해양정보통신학회 이사  
※주요관심분야: 수중 초음파 신호처리 및 DSP 신호처리 개발, 선박 설계 및 시험조사선의 종합정보통신망 시스템 개발, 수중 로봇 시스템(AUV, ROV, SAUV, MDV) 개발, ISDN 네트워크 통신망 기법 개발



이 증 무(Jong-Moo Lee)

1985년 서울대학교(공학사-조선공학)  
1987년 서울대학교(공학석사-조선공학)

2000년 서울대학교(공학박사수료-수중음향학)  
1988-1991: 해군사관학교 전임강사  
1991.9-1999.3: 한국기계연구원 선임연구원  
2000.3-현재: 한국해양연구원 선임연구원  
※주요관심분야: 무인잠수정 설계, 수중음향에 의한 계측 및 항법, 수중음향학



박 종 원(Jong-Won Park)

1995년 아주대학교 학사-전자공학  
1997년 아주대학교 석사-전자공학  
1997. 3~1999. 3: 한국기계연구원 연구원  
1999. 4~현재: 한국해양연구원 연구원

※주요관심분야: 수중 초음파 통신 시스템 개발, DSP 신호처리 및 시스템 개발, 시험조사선의 종합정보통신망 시스템 개발