



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학석사학위논문

초음파 음장 가시화 연구의
과학 교수-학습에의 적용



물리교육전공

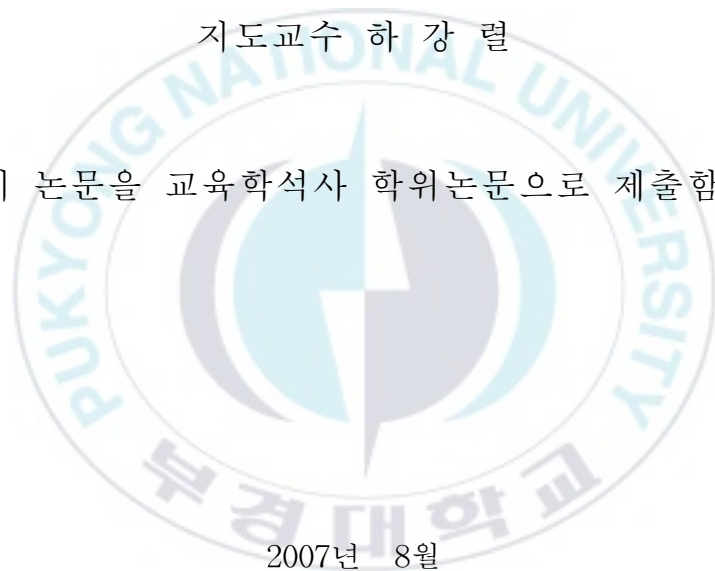
김 인 자

교육학석사학위논문

초음파 음장 가시화 연구의
과학 교수-학습에의 적용

지도교수 하 강 렬

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함.



2007년 8월

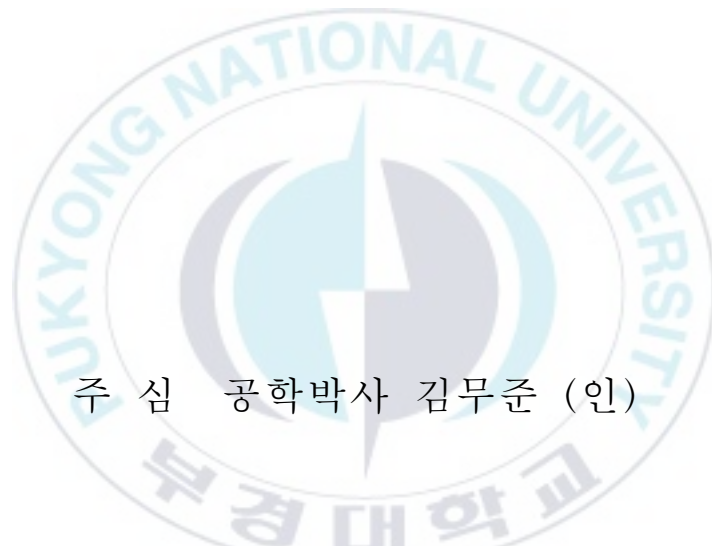
부경대학교교육대학원

물리교육전공

김 인 자

김인자의 교육학석사 학위논문을 인준함.

2007년 8월 30일



주 심 공학박사 김무준 (인)

위 원 이학박사 도시홍 (인)

위 원 공학박사 하강렬 (인)

목 차

Abstract	iv
I. 서론	1
II. 이론적 배경	2
II-1. 제7차 교육과정에서 파동 관련 학습내용	2
II-2. 초음파 음장 가시화 이론	6
III. 초음파 음장 가시화 실험	15
III-1. 트랜스듀서 제작	15
III-2. 정상파 음장의 프레넬 영상	18
III-3. 진행파 음장의 슈리렌 영상	24
IV. 결론	33
V. 기대효과 및 향후과제	34
참고문헌	35
감사의 글	37

표 목 차

표 II-1. 초등학교 교육과정의 파동 관련 내용	3
표 II-2. 중학교 교육과정의 파동 관련 내용	4
표 II-3. 고등학교 교육과정의 파동 관련 내용	4
표 II-4. 물리 I의 파동 관련 내용	5
표 II-5. 프레넬 회절영상법과 슈리렌법의 비교	14
표 III-1. 실험에 사용된 트랜스듀서	16
표 III-2. 실험 장치의 규격 및 특성	19
표 III-3. 정상파 $f=700\text{kHz}$ 의 실험 조건	22
표 III-4. 정상파 $f=700\text{kHz}$ 의 실험 결과	22
표 III-5. 정상파 $f=700\text{kHz}$ (2개)의 실험 조건	23
표 III-6. 정상파 $f=700\text{kHz}$ (2개)의 실험 결과	23
표 III-7. 진행파 $f=1\text{MHz}$ 의 실험 조건	25
표 III-8. 진행파 $f=1\text{MHz}$ 의 실험 결과	26
표 III-9. 진행파 $f=2.25\text{MHz}$ 의 실험 조건	27
표 III-10. 진행파 $f=2.25\text{MHz}$ 의 실험 결과	28
표 III-11. 진행파 $f=1\text{MHz}$ 의 반사 실험 결과	29
표 III-12. 진행파 $f=2.5\text{MHz}$ 의 실험 조건	30
표 III-13. 진행파 $f=2.5\text{MHz}$ 의 실험 결과	30
표 III-14. 진행파 $f=1\text{MHz}$ (불량)의 실험 조건	32
표 III-15. 진행파 $f=1\text{MHz}$ (불량)의 실험 결과	32

그림 목차

그림 II-1. 초음파에 의한 빛의 회절	6
그림 II-2. 음장 분포의 가시화를 위한 간단한 장치	9
그림 II-3. 초음파에 의한 빛의 회절	10
그림 II-4. 프레넬 회절영상법의 구성도	12
그림 II-5. 슈리렌법 구성도	13
그림 III-1. 1MHz 평면 트랜스듀서 임피던스	17
그림 III-2. 2.5MHz 집속 트랜스듀서 임피던스	17
그림 III-3. 정상파 음장의 프레넬 회절영상 실험 장치	18
그림 III-4. 진행파 음장의 슈리렌 영상 실험 장치	19
그림 III-5. 1MHz 트랜스듀서(앞)	31
그림 III-6. 1MHz 트랜스듀서(밑)	31

**APPLICATION OF STUDY ON ULTRASOUND ACOUSTIC FIELD VISUALIZATION
TO SCIENCE INSTRUCTION AND LEARNING**

In Ja Kim

*Graduate School of Education
Pukyong National University*

Abstract

The purpose of this paper is application of study on ultrasonic acoustic field visualization to science instruction and learning. There are many methods of ultrasound acoustic field visualization.

In this study, Fresnel and Schlieren methods were used for the frequencies of 700kHz, 1MHz, 2MHz, 2.25MHz and 2.5MHz. The standing wave patterns were obtained by the Fresnel method. The patterns showed parallel lines when one transducer operated in a water tank which had a reflector on its bottom. Lattice patterns were obtained when two transducers operated in orthogonal.

The progressive and focusing wave patterns were obtained using the Schlieren method. The progressive wave patterns showed main lobe and side lobe. When a faulty transducer was operated, the schlieren image was different to normal transducer's one. The focusing wave patterns showed that ultrasound were focused at focal point.

Although the constructed system is not enough to obtain clear images due to misalignment and poor optical devices. If the system is improved, it will be very useful to understand the phenomena of acoustic wave propagation, and it

will become one of powerful tools to teach waves propagation phenomenon to students in the school and to test ultrasonic transducers in industries.



I. 서론

중·고등학교 학생들에게 물리 과목에서 제일 먼저 떠오르는 단원이 무엇이나고 물어보면 거의 힘이나 전기 단원을 떠올릴 것이다. 물리의 세부 영역이 매우 다양함에도 불구하고 제6차 교육과정까지 중·고등학교에서 이루어졌던 물리 교육은 뉴턴의 법칙이나 옴의 법칙으로 대표되는 역학과 전자기학에 치우쳤던 것이 사실이다. 그러나 현대 정보화 사회에서 컴퓨터의 사용이나 인터넷을 통한 정보 수집, 휴대 전화의 사용 등 첨단 기자재의 개발과 사용이 늘어나면서 파동의 학습이 필요함을 인식하여 제7차 교육과정에서 파동 단원이 7학년과 10학년 과학에 신설되었다.^[1] 그러나 현재까지 파동에 대한 학습 자료가 그다지 많지 않고, 이에 대한 연구 또한 많이 이루어지지 않았다. 그러므로 본 연구에서는 파동의 학습 내용 중 초음파에 대한 학생들의 이해도를 높이고 관심과 흥미를 유발하기 위하여 초음파 음장 가시화 장치를 구축하고, 초음파의 전파 모습을 가시화하여 과학 교수-학습에 적용할 수 있는 방법을 강구하였다. 또한 초음파 트랜스듀서 품질검사에 이용하는 등 산업적인 측면에서의 응용 가능성을 검토하였다.

본 연구의 내용을 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

1. 제7차 교육과정에서의 파동 관련 내용에 대해 조사한다.
2. 초음파 음장 가시화 연구에 대한 문헌조사 및 선행연구를 수행한다.
3. 초음파 음장을 가시화 할 수 있는 장치를 구축하여 정상파 및 진행파 전파 모습을 관찰한다.
4. 파동 단원의 교수-학습에 대한 실험 결과의 적용 방법을 고찰한다.
5. 초음파 센서와 관련된 산업에서 본 연구의 필요성을 검토하고, 연구 결과가 향후 산업적 측면에서 어떻게 응용될 수 있는지를 파악한다.

Ⅱ. 이론적 배경

Ⅱ-1. 제7차 교육과정에서 파동 관련 내용

가. 국민공통기본교육과정에서의 파동 관련 내용^{[2][3]}

(1) 초등학교 교육과정에서의 파동 관련 내용

초등학교 교육과정 중 파동에 관한 내용은 표 Ⅱ-1과 같다. 그 중 음파와 관련된 내용으로는 초등학교 3학년 7단원 소리내기에서 여러 가지 종류의 피리를 만들어 보고 소리를 내어 보거나, 얇고 긴 물체를 두드리거나 흔들어 보고 다른 소리가 남을 알도록 하는 내용이 있다. 실전화놀이를 통하여 먼 곳까지 소리를 전달시키는 방법 찾기 등을 학습한다. (교육부, 1997)

표 II-1. 초등학교 교육과정의 파동 관련 내용

학년	단원	학습내용
3학년	소리 내기	- 여러 가지 종류의 소리를 만들어 소리를 내어 보거나, 얇고 긴 물체를 두드리거나 흔들면 다른 소리가 남을 안다. - 실전화놀이를 통하여 먼 곳까지 소리를 전달시키는 방법을 찾는다.
	그림자 놀이	- 햇빛을 이용하여 여러 가지 모양의 그림자를 만들어보고, 종이에 여러 가지 모양의 구멍을 내어 햇빛에 비추어 봄으로써 그림자가 생기는 까닭을 이해한다. - 그림자놀이를 통하여 빛이 물체에 비추어지는 방향과 거리에 따라 그림자의 모양과 크기가 달라짐을 안다.
5학년	거울과 렌즈	여러 가지 거울에 생긴 물체의 상을 관찰하여 물체에 의해 거울에 생긴 상의 특징을 비교하고, 실생활에서 이용되는 예를 찾는다.
		여러 가지 렌즈로 물체를 보았을 때 나타나는 상의 특징을 비교하고, 실생활에서 이용되는 예를 찾는다. 그리고 렌즈를 이용하여 간단한 사진기를 만든다.

(2) 중학교 교육과정의 파동 관련 내용

중학교 교육과정에서 파동 관련 내용은 표 II-2와 같이 중학교 7학년의 12단원에 수록되어 있다. 초등학교 3학년에서 소리내기를 학습한 학생들이 파동의 물리적 특성을 이해하도록 하기 위해 설정되었다. 파동의 전달을 확인할 수 있는 방법에 대해 토의하고, 파동의 전달을 학생 개인별로 관찰할 수 있도록 물결과 투영장치를 이용한 소집단 실험을 실시한다. 수업에 있어서는 진행하는 파의 순간적인 모습을 담은 그림이나 영상 자료를 활용하여 다양한 파동의 전달 현상을 자세하게 볼 수 있도록 하고, 실험에서 관찰한 결과와 비교하여 설명할 수 있도록 한다. 그러나 여기서는 파동의 간섭이나 회절 현상을 자세하게 다루지는 않는다. 심화 과정에서는 눈에 보

이지 않는 파동을 확인할 수 있는 방법에 대하여 토의하고, 소리를 눈으로 볼 수 있는 장치를 만들어본다. (교육부, 1999)

표 II-2. 중학교 교육과정의 파동 관련 내용

학년	단원	학습내용
7학년	파동	· 용수철을 이용하여 여러 가지 파동을 만들어보고, 파동의 성질을 이해한다. · 파동의 모습을 설명하기 위해 필요한 것들을 알고, 이를 이용하여 파동을 구별할 수 있다. · 여러 가지 물체가 진동할 때의 소리를 들어보고, 소리의 높이와 세기를 구별한다. · 물결과 투영 장치를 이용하여 파동의 전달을 관찰 한다. · 파동이 반사될 때와 굴절할 때의 규칙성을 안다.

(3) 고등학교 교육과정의 파동 관련 내용

고등학교 10학년에서는 파동에 관련된 교육 내용은 표 II-3과 같다. 보충 학습에서는 소리를 발생시켜 소리가 어떻게 전달되는지 알게 한다. 소리굽쇠와 스티로폼 구를 이용하여 소리가 전달됨을 가시적으로 보여준다. 또한 심화 학습에서는 소음을 줄이는 방법에 대해서 토의하고, 탐구에 주어진 자료를 통해 구체적인 방안을 알고 실천할 수 있게 한다.

표 II-3. 고등학교 교육과정의 파동 관련 내용

학년	단원	학습내용
10학년	파동	· 파동이 에너지를 갖고 있다는 것을 이해한다. · 파동에너지를 실생활에 이용하는 예를 찾게 한다. · 파동에너지의 진폭과 진동수와 관련지어 설명할 수 있게 한다. · 파동에너지의 세기를 나타낼 수 있게 한다. · 파동에너지와 거리 사이의 관계를 설명할 수 있다.

나. 선택 중심 교육과정에서의 파동 관련 내용^[4]

제6차 교육과정에서는 ‘파동과 입자’ 영역을 물리 I 과 물리 II 모두에서 다루었으나, 제7차 교육과정에서는 중복을 피하기 위해 물리 I 에서만 다룬다. 물리 I에서는 실생활에서의 파동을 이용하는 예의 한 가지로서 초음파를 설명하고 있다. 바다의 깊이를 측정하거나 물고기 떼의 위치를 파악하기 위한 초음파의 이용을 교육과정에서 다루고 있다. 표 II-4는 물리 I의 파동 관련 내용이다.

표 II-4. 물리 I의 파동 관련 내용

단원	학습내용
파동의 발생	· 파동의 특성을 나타내는 요소를 알고, 이들 사이의 관계를 이해할 수 있다. · 파동의 진행·반사 현상을 조사하고, 실생활과 관련하여 이를 이해할 수 있다. · 굴절 실험으로 굴절률을 구하고, 실생활에서 굴절 현상의 예를 찾을 수 있다. · 빛의 전반사 현상을 이해하고, 주변에서 빛의 전반사로 설명되는 현상을 찾을 수 있다. · 프리즘을 통과한 빛으로 빛의 분산 현상을 이해하고, 무지개 현상을 설명할 수 있다.
파동의 간섭과 회절	· 두 개의 파동이 만났을 때, 합성파를 분석하여 중첩의 원리를 이해할 수 있다. · 보강 간섭과 상쇄 간섭을 이해하고, 이중 슬릿에 의한 실험 결과를 분석할 수 있다. · 정상파를 이해하고, 현악기를 설명할 수 있다. · 물결파의 회절을 관찰하고, 호이겐스 원리를 이해할 수 있다. · 빛의 회절과 간섭 현상을 이해하고, 이중 슬릿에 의한 실험 결과를 분석할 수 있다.

II-2. 초음파 음장 가시화 이론^[5]

가. 초음파 음장 가시화 원리

액체 중의 초음파는 소밀파이기 때문에 광학적으로는 굴절률의 변동이 진행하고 있는 것과 같다. 음파의 진행 방향으로 굴절률의 기울기가 있기 때문에 음파의 파장보다 충분히 가는 광빔이 음파의 진행방향에 대해 수직으로 입사하여 굴절률 기울기를 횡단하면 광선은 그림 II-1과 같이 원호상으로 휘게 된다.

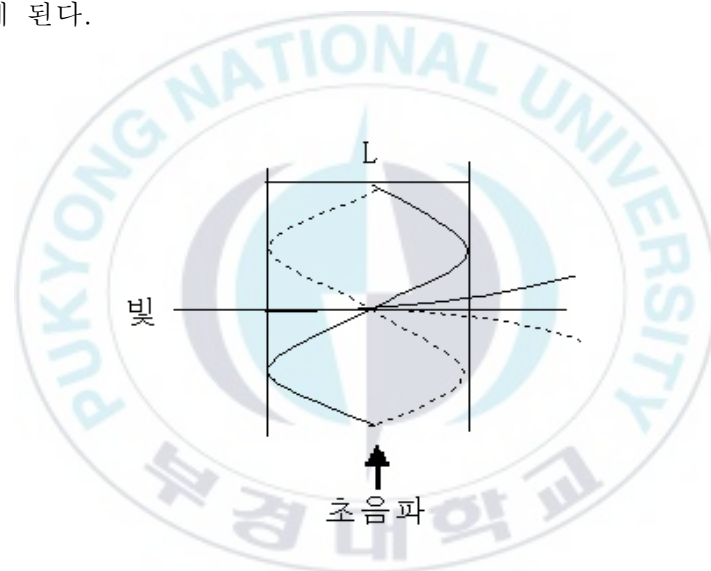


그림 II-1. 초음파에 의한 빛의 회절

이 때 굴절률의 변화는 식 (II-1)과 같다.

$$n = n_0 + \kappa p(x, y, z) \sin \omega t \text{-----}(\text{II-1})$$

κ 는 식 (II-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\kappa = \frac{(n_0 - 1)(n_0^2 + 1.4n_0 + 0.4)}{(n_0^2 + 0.8n_0 + 1)\rho_0 c_s^2} \text{-----}(\text{II}-2)$$

여기서, n_0 는 음압이 없을 때의 매질의 굴절률, u 는 초음파의 각진동수, ρ_0 는 매질의 밀도, c_s 는 음속, p 는 음압 진폭, κ 는 음압 진폭과 굴절률의 변화량과의 관계를 나타내며 실험으로부터 얻은 정수이다.

위상변화의 진폭이 $v(\text{rad})$ 이고, 음장의 폭을 L , 진공 중의 빛의 파장을 Λ 라 두면 v 는 식 (II-3)과 같이 쓸 수 있다.

$$v = \frac{2\pi\kappa p L}{\Lambda} \text{-----}(\text{II}-3)$$

이 때 v 를 라마네스 파라메타(Raman-Nath parameter)라고 한다.

식 (II-3)에서는 초음파의 진폭이 음장의 폭 L 의 내부에서 일정하다고 가정하였지만, 실제로는 유한한 음원으로부터 방사되는 음장은 복잡한 분포를 가지고 있다. 이러한 음장에 빛이 통과할 때, 그 경로를 y 축이라 두면, 실험적으로 v 는 식 (II-4)와 같이 표현될 수 있다.

$$v = \frac{2\pi\kappa}{\Lambda} \int A(x, y, z) dy \text{-----}(\text{II}-4)$$

굴절률 변화의 진폭 v 는 음압 진폭의 최고치와 비례 관계이므로 투영면에 나타나는 v 의 분포를 음압 진폭의 투영면에 대해서 수직 방향에서의 선적

분으로 다루어진다.

그림 II-1과 같이 초음파가 실선과 같이 진행하면 빛은 위로 휘고, 음파가 점선과 같이 진행하게 되면 빛은 아래로 휘게 된다. 시간 평균으로써 광범의 폭이 음파의 진행 방향에 선 모양으로 퍼져 보인다.

이 때 최대 편각을 공기 중에서 측정하여 θ 라고 두면 정현파 음파에서는

$$\sin \theta = \frac{\pi L}{\Lambda} \left(-\frac{dn}{dp} \right) P_0 \text{-----} (\text{II}-5)$$

가 된다. 여기서 L 은 음파의 폭, Λ 는 음파의 파장, n 은 액체의 굴절률, P_0 는 음압 진폭의 최대값이다. 물(20℃)에 있어서는 실험적으로

$$-\frac{dn}{dp} = 1.47 \times 10^{-10} Pa^{-1} = 1.49 \times 10^{-5} atm^{-1} \text{-----} (\text{II}-6)$$

인 것이 알려져 있다. θ 의 측정으로부터 P_0 를 구할 수 있다. 광원으로 He-Ne 레이저를 이용하면 가는 빔이 쉽게 얻어진다.

측정에 있어서는 빛을 초음파의 파면에 평행하게 입사시키는 것에 주의해야 한다. 이 방법은 높은 정밀도는 기대할 수 없지만 액체 중의 음파의 파장이 그다지 짧지 않은 주파수 1MHz 이하이면서 비교적 큰 진폭의 초음파에 유효한 방법이다. 식 (II-5)은 굴절률 변화의 진폭 dn 이 식 (II-7)의 δn 일 때 성립한다.

$$\xi \equiv \sqrt{\frac{\delta n}{n}} \frac{2\pi L}{\Lambda} \leq 1 \text{-----} (\text{II}-7)$$

ξ 가 크게 되면 광선의 궤적은 원호로부터 벗어나지만 정확하게는 타원 함수를 사용하여 표시할 수 있다.

초음파에 의한 빛의 굴절 효과는 음압 진폭의 파형 왜곡 뿐만 아니라 음장 분포의 가시화에 응용할 수 있다. 음장 분포의 가시화를 위한 간단한 장치를 그림 II-2와 같이 구성할 수 있다.

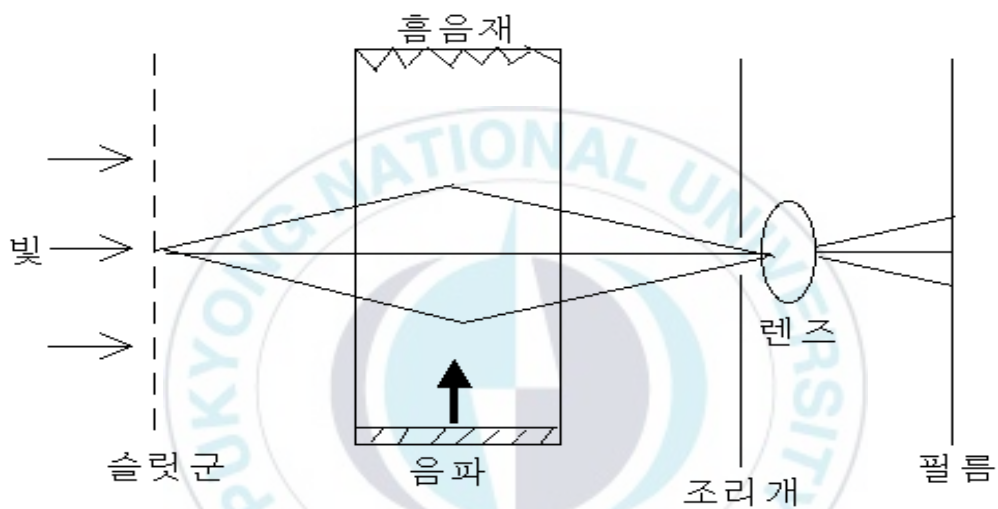


그림 II-2. 음장 분포의 가시화를 위한 간단한 장치

간단한 가시화법으로서 슬릿과 렌즈는 초음파 수조에 대해서 등거리에 배치하고 렌즈는 슬릿에 초점을 맞추지만 음장에 대해서도 크게 초점 흐림이 생기지 않도록 작은 조리개를 넣는다. 이러한 광학적 방법은 음장에 대해서 전혀 영향을 주지 않고 측정할 수 있는 이점이 있다.

음장에 입사하는 광빔의 폭이 음파장보다 충분히 크게 되면 초음파에 의한 매질의 굴절률의 주기적인 변화가 빛에 대해서 회절격자로서 작용하게 된다. 회절광의 강도에 관한 이론적인 결과가 얻어지는 경우로 낮은 MHz 대역에서 Raman-Nath 회절과 수십 MHz 이상에서의 Bragg 반사가 있다.

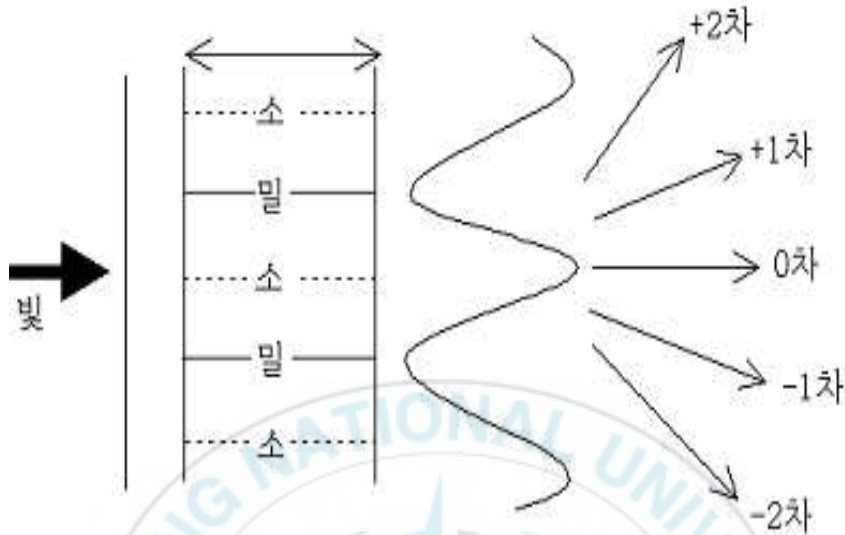


그림 II-3. 초음파에 의한 빛의 회절

그림 II-3과 같이 초음파의 진행 방향에 대해서 빛의 평면파가 수직으로 입사하면 밀한 부분은 소한 부분보다 굴절률이 커서 빛의 속도가 늦어지기 때문에 초음파를 통과한 후의 빛의 파면은 파동과 같은 형이 된다. 파장 λ 를 가진 초음파는 격자 간격 λ 를 가진 회절격자로서 작용을 하게 된다. 결과적으로 초음파 음장에 입사된 평면파는 회절각도 α_n 을 가지며 이는 식 (II-8)의 관계식으로 표현될 수 있다.

$$\sin \alpha_n = \pm N \left(\frac{\lambda}{\lambda} \right) \quad (N=1, 2, 3, \dots) \text{-----}(\text{II}-8)$$

$N=0$ 일 때, 직진 성분(DC Component)을 가지며 이는 음파가 없을 때에 해당(background illumination)한다. 직진 성분을 차단하면 회절된 빛만을

관찰할 수 있다.

만약에 광선의 굴절이 그다지 크지 않고 그 영향이 무시될 수 있다고 하면 초음파를 통과한 빛의 파면은 그 세기는 일정하고 위상만 변조를 받은 형태가 된다. 이 때 초음파는 빛에 대해서 위상격자로서 작용하게 된다. 정상파의 경우에는 진행파와 달리 공간적으로 고정된 위상격자가 음파의 주파수의 두 배로 생성된다.

초음파의 광학적 영상을 얻는 기법은 슈리렌법(Schlieren method), 프레넬 회절영상법, 등색선법, 파면영상법, 소노루미네센스법, Bragg 영상법, 광탄성법 등이 있으나, 여기서는 본 연구와 관련된 프레넬 회절영상법과 슈리렌법(Schlieren method)의 원리만 소개한다.

나. 초음파 음장에 의한 회절영상을 얻는 기법

(1) 프레넬 회절영상법

초음파 음장을 평행광선이 통과한 직후는 빛의 세기는 일정하고 위상만이 변조된 위상격자가 되지만 음장으로부터 멀어짐에 따라 빛의 강약이 생기기도하고 소실되기도 한다. 이와 같은 강도격자와 위상격자의 교차현상은 각 차의 회절광의 2차적 간섭의 결과이며, 또한, 위상격자의 프레넬 회절(근거리 회절)이기도 하다.

이와 동일한 교차현상이 초음파 파면에서도 나타난다. 진행파의 프레넬 회절현상은 초음파와 같이 진행하기 때문에 육안으로는 볼 수 없지만 정상파의 경우는 정지된 무늬로서 관찰된다. 이것은 진폭이 시간적으로 변하고 공간적으로는 정지한 위상격자의 프레넬 영상의 시간평균으로서 관찰되며 진행파의 경우에 비해 무늬의 간격이 $1/2$ 이 된다. 진행파의 프레넬 영상은 스트로보광원을 이용하면 가시화되지만 정량적인 측정에는 단색의 연

속광원을 이용하여 진행하는 프레넬 영상 중의 어떤 한 점에서 광량의 시간 변화를 고속 수광기를 사용하여 검출한다.

아래의 그림 II-4는 프레넬 회절영상을 얻기 위한 구성도이다.

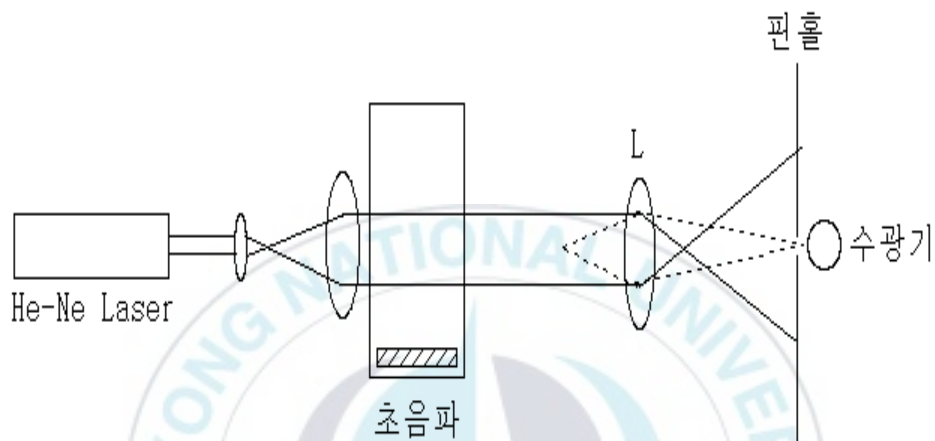


그림 II-4. 프레넬 회절영상법의 구성도

본 연구에서는 프레넬 회절영상법을 이용하여 정상파에 의한 회절영상 실험을 하였으므로 수광기를 사용하지 않았다. 평행 광빔의 폭은 음파장의 배수이상으로 한다. 렌즈 L은 고속 수광점을 광빔 중의 임의의 위치에 설정할 수 있도록 하기 위한 것으로 없어도 된다.

(2) 슈리렌법

초음파에 의한 빛의 회절현상을 이용하여 음장분포를 가시화 할 수 있는데 가장 넓게 사용되는 것이 슈리렌법이다. 장치의 구성도는 그림 II-5와 같다.

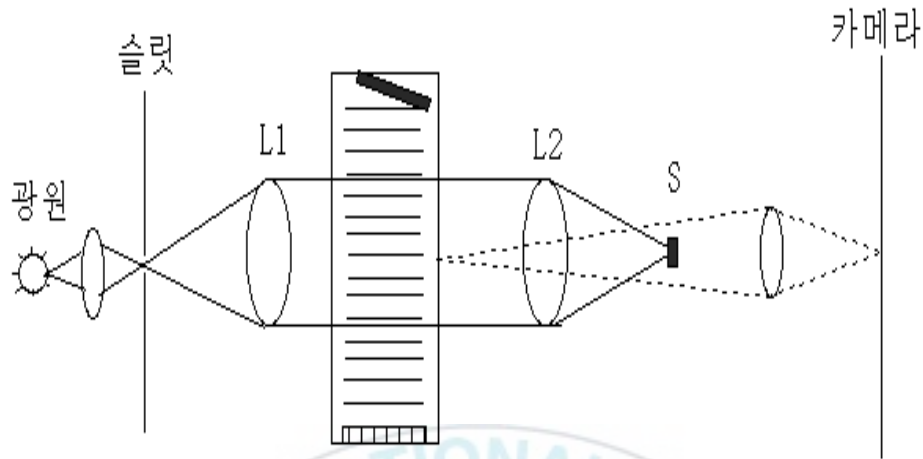


그림 II-5. 슈리렌법 구성도

슬릿 또는 핀 홀을 통과한 빛을 렌즈 L1을 이용하여 평행 광선으로 만들어 초음파 수조를 통과시키면 렌즈 L2의 초점면에 회절 스펙트럼이 얻어지지만, 그 0차의 회절광의 위치에 빔스토퍼(Beam Stopper) S를 두면 초음파가 없는 부분을 통과한 빛은 모두 차단되지만, 초음파가 있는 부분을 통과한 빛은 회절하여 S를 비켜감으로 검은 배경 속에서 초음파의 음장에 의한 영상이 얻어진다. 광원으로는 소형의 초고압 수은등이 편리하지만, 레이저라도 좋다. 빛과 초음파의 진행 방향이 직교하도록 음원의 각도를 조절하는 것이 밝은 상을 얻는데 중요하다. S의 바로 다음에 눈을 갖다 대면 영상은 육안으로도 보인다. 영상의 관찰에 TV 카메라를 이용하면 된다.

(3) 프레넬 회절영상법과 슈리렌법의 비교

표 II-5에 프레넬 회절영상법과 슈리렌법의 특징을 비교하여 나타내었다.

표 II-5. 프레넬 회절영상법과 슈리렌법의 비교

초음파 가시화 방법	특징
프레넬 회절영상법	· Beam Stopper를 제거하고 스크린에 형성된 영상 촬영 · 슈리렌법에 비하여 촬영이 쉬움 · 음장의 정밀한 측정 곤란 · 본 연구에서 정상파 음장 측정
슈리렌법	· Beam Stopper에 의해 0차파 제거 · 음장의 정밀한 측정 가능 · 장치 및 운용 복잡 · 본 연구에서 진행파 음장 측정



Ⅲ. 초음파 음장 가시화 실험

Ⅲ-1. 트랜스듀서 제작

연구에 사용된 트랜스듀서의 대부분은 직접 제작하였고, 하나는 시판용 트랜스듀서를 이용하였다. 앞뒤로 리드선을 부착한 압전체 PZT를 적당한 크기의 PVC 또는 금속(구리)판 형태의 용기의 전면에 놓고, 주변을 밀봉한 다음 그 뒤를 배면체인 에폭시(Epoxy)로 채워서 고정시켜 제작하였다. 표 Ⅲ-1은 본 연구에서 사용된 트랜스듀서의 사진이다. 2.5MHz의 집속 트랜스듀서는 PZT가 구각형으로서 그 초점에서 초음파가 집속된다. 제작된 트랜스듀서의 전기 임피던스를 임피던스 분석기(HP 4194A)로 측정하였는데, 그 예로서 그림 Ⅲ-1에 1MHz 평면 트랜스듀서, 그림 Ⅲ-2에 2.5MHz 집속 트랜스듀서에 대한 임피던스 분석 결과를 나타내었다.

표 III-1. 실험에 사용된 트랜스듀서

공진 주파수 (형태)	사진	공진 주파수 (형태)	사진
700kHz (평면)		1MHz (평면)	
2.5MHz (집속)		2.25MHz (평면)	

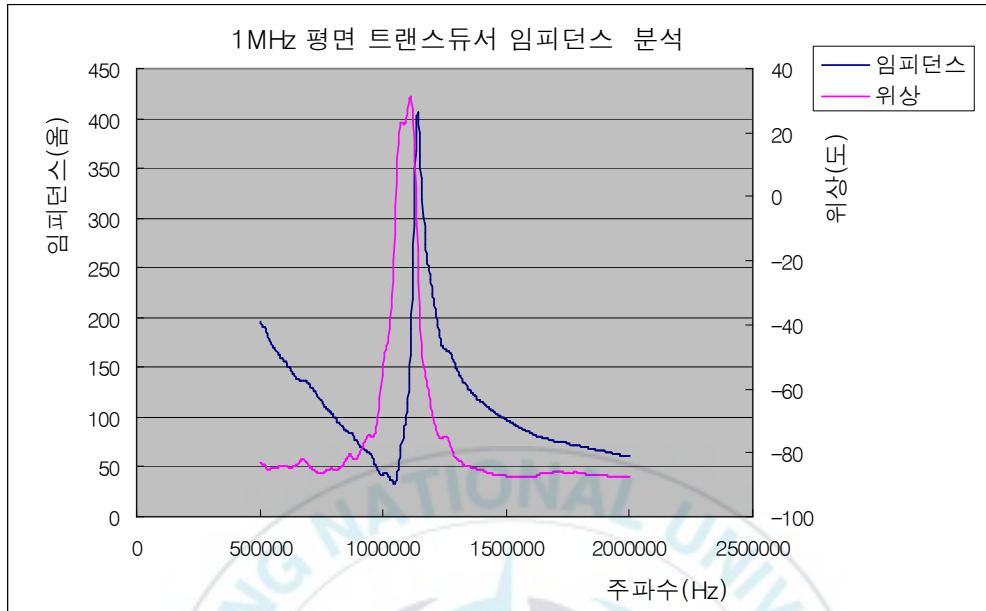


그림 III-1. 1MHz 평면 트랜스듀서 임피던스

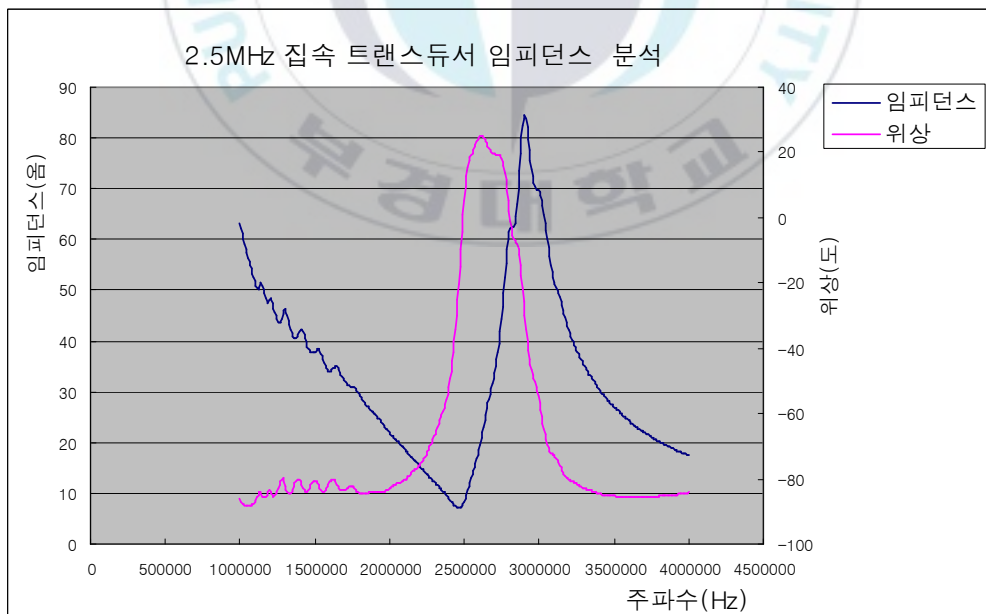


그림 III-2. 2.5MHz 집속 트랜스듀서 임피던스

Ⅲ-2. 정상파 음장의 프레넬 영상

가. 장치의 구성

정상파 음장의 가시화를 위한 장치는 그림 Ⅲ-3과 같이 일반적인 슈리렌법과 동일한데, 그 중에서 빔스토퍼를 제거하면 프레넬 회절영상 실험 장치가 된다. 본 실험에 사용된 장치의 규격 및 특성은 표 Ⅲ-2와 같다.

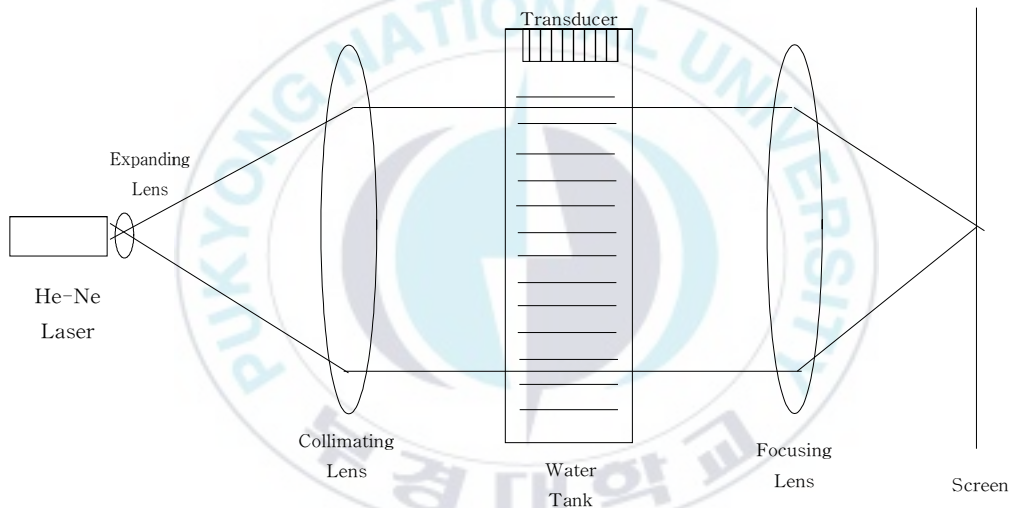


그림 Ⅲ-3. 정상파 음장의 프레넬 회절영상 실험 장치

표 III-2. 실험 장치의 규격 및 특성

실험장치	특징
He-Ne 레이저	· GRAPHTEC 레이저 VIBROMETER AT3500, Metrologic Neon 레이저, NEC Corporation(GLS 5370) 중 선택
Expanding Lens (확대렌즈)	· 레이저 광빔의 폭 확대 · 현미경의 대물렌즈($\times 1500$) 사용
Collimating Lens (평행광 렌즈)	· 레이저 광빔을 평행광선으로 만들 · Melles Griot의 $D = 95\text{mm}$, $f = 600\text{mm}$ 의 Plane-Convex 렌즈 사용
Focusing Lens (집속 렌즈)	· 초음파 회절격자에 의해 회절된 빛을 모음 · Melles Griot의 $D = 95\text{mm}$, $f = 300\text{mm}$ 의 Plane-Convex 렌즈 사용
Water Tank (수조)	· 가로 260mm×세로 145mm×높이 300mm의 유리 수조 · 물에 의한 산란을 줄이기 위해 Pyrex 재질의 유리 및 증류수 사용
Transducer (트랜스듀서)	· 다양한 실험을 하기 위하여 필요에 맞게 제작
Camera (카메라)	· 삼성전자(주)의 디지털 캠코더(VM- B1900) 사용
Beam Stopper (빔스토퍼)	· 초음파 회절격자에 의하여 회절되지 않고 직진한 빛 차단 · 문구용 칼날에 검은 테이프를 붙여 사용
Screen (스크린)	· 흰 종이나 검은 종이를 사용 · 스크린은 회절영상이 가장 잘 관찰되는 위치에 둠

이 실험은 700kHz 평면 트랜스듀서에 의하여 수행되었다. 수조 위쪽에 있는 트랜스듀서에서 초음파를 방사시키면 수조의 바닥에서 초음파가 반사된다. 입사파와 반사파가 합성되어 정상파가 만들어진다. 형성된 정상파에는 소한 부분과 밀한 부분이 생기고, 이것이 레이저에 대하여 위상격자로 작용한다. 정상파에 의한 프레넬 영상은 프레넬 회절영상법으로 촬영하였다.

나. 실험

(1) 광학계의 배치

회절영상을 보기 위해서는 초음파 음장에 레이저가 수직으로 입사되어야 하므로 광학계를 일직선으로 배치하는 것은 매우 중요하다. 광학계의 정확한 배치가 되지 않으면 광학계들 사이에서 반사되는 빛이 생기고 초음파 음장에 레이저가 수직으로 입사하지 않게 된다. 또한 외부의 빛을 차단하기 위하여 암실에서 실험이 행해져야 한다. 다음은 실험 장치의 구성 절차이다.

- 새시로 암실을 제작하고 실험용 테이블을 내부에 놓는다.
- 실험용 테이블에 유리를 깔고, 수준기를 이용하여 테이블이 수평이 되도록 조정한다.
- 레이저, 수조, 렌즈, 빔스토퍼 등을 높낮이를 조절할 수 있는 받침대 (Support Jacks) 위에 놓는다.
- 빔스토퍼를 홀더에 끼워 위치시킨다. 레이저가 정확히 빔스토퍼에 입사되도록 한다. 레이저빔이 진행되면서 높이의 변화가 없도록 레이저의 위치를 조정한다.
- 집속 렌즈를 정해진 위치에 놓는다. 렌즈의 초점거리가 300mm이므로

빔스토퍼에서 300mm 떨어진 위치에 렌즈를 놓는다. 이 때 집속 렌즈는 레이저 쪽에 둔다. 이 렌즈를 통과하고 나서도 레이저빔이 정확히 빔스토퍼에 의해 차단되며, 렌즈면에서 반사되는 빛이 없도록 집속 렌즈의 위치와 방향을 조절한다.

- 평행광 렌즈의 초점거리가 600mm이므로 레이저 앞에 놓는 확대 렌즈의 초점에서 600mm 떨어진 곳에 렌즈를 둔다. 평행광 렌즈와 집속 렌즈를 통과한 빛이 정확히 빔스토퍼에서 모두 차단되도록 평행광 렌즈를 위치시켜야 하며, 반사되는 빛이 없도록 조정한다.
- 증류수를 담은 수조를 평행광 렌즈와 집속 렌즈 사이에 두고 위와 같은 방법으로 위치를 조정한다.
- 레이저 앞에 확대 렌즈를 두고 확대 렌즈-평행광 렌즈-수조-집속 렌즈를 통과한 빛이 정확히 빔스토퍼에서 차단되도록 해야 하며 반사되는 빛이 없도록 조정한다.

(2) 초음파 방사

초음파는 신호발생기(Agilent 33250A)에서 연속파(Continuous Wave) 신호를 약 55dB 증폭시키는 전력 증폭기(ENI 3100LA)로 증폭시켜 트랜스듀서에 입력시킨다. 연속파 신호의 입력에 앞서 트랜스듀서에 Tone burst mode로 펄스 신호를 넣어서 반사되는 진폭을 오실로스코프(Tektronix 2465)로 확인하여 반사파의 진폭이 가장 크도록 트랜스듀서 위치를 조정하여 고정한다.

다. 실험 결과

표 III-3은 700kHz 초음파에 의해 형성된 정상파 음장의 프레넬 영상을 관찰하기 위한 실험 조건이며 표 III-4는 실험 결과이다.

표 III-3. 정상파 $f=700\text{kHz}$ 실험 조건

실험 조건	초음파의 방사 방향 및 조건	수조의 바닥면에 대해 수직, 매질:물
	파형 및 진폭	정현파, 160mV를 전력 증폭기로 증폭

표 III-4. 정상파 $f=700\text{kHz}$ 실험 결과

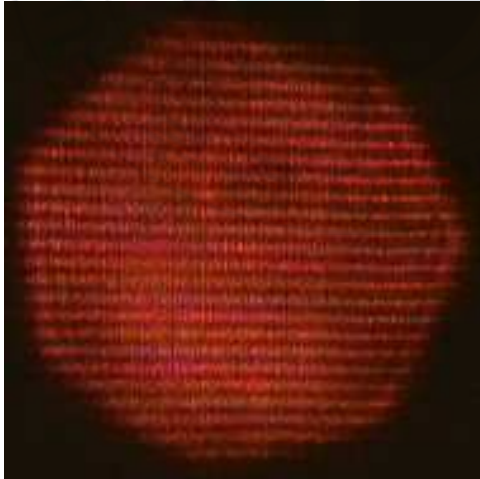
영상 촬영 방법	촬영 영상	영상 분석
프레넬 회절 영상법		수조면에서의 레이저 광빔의 직경과 스크린에서의 프레넬 영상의 직경을 비교하면 스크린에서의 같은 무늬간의 간격을 통해 초음파의 주파수 계산이 가능하다.

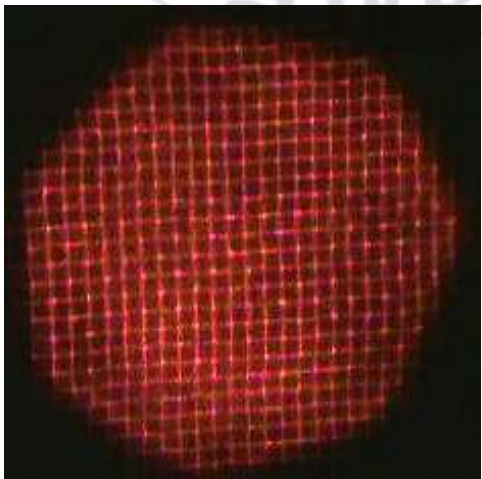
표 III-4에서 정상파에 의해 매질인 물의 소밀이 어떻게 형성되는지 알 수 있다. 밝은 무늬를 나타내는 곳은 밀한 곳이며 어두운 무늬를 나타내는 곳은 소한 곳이다. 같은 무늬 사이 간격의 2배는 초음파의 파장이 된다. 물에서의 음속은 1500m/s 이므로 초음파의 주파수를 계산할 수 있을 것이다.

표 III-5는 동일한 700kHz 트랜스듀서 2개를 수직하게 배치했을 때 형성된 정상파의 프레넬 회절영상을 관찰하기 위한 실험 조건이며 표 III-6은 실험 결과이다.

표 III-5. 정상파 $f=700\text{kHz}$ (2개)의 실험 조건

실험 조건	초음파의 방사 방향 및 조건	수조의 바닥면에 대해 수직과 수평, 매질:물
	파형 및 진폭	정현파, 180mV를 전력 증폭기로 증폭

표 III-6. 정상파 $f=700\text{kHz}$ (2개)의 실험 결과

영상 촬영 방법	촬영 영상	영상 분석
프레넬 회절 영상법		초음파를 수조의 바닥면에 대해 수직 및 수평으로 방사시켰을 때, 각 경우의 프레넬 영상의 합성으로 나타났다. 밝은 부분은 매질이 밀한 곳이다.

III-3. 진행파 음장의 슈리렌 영상

가. 장치의 구성

그림 III-4는 슈리렌 영상을 얻기 위한 장치이다. 진행파의 측정을 위해서 수조의 바닥에 흡음재를 두었다. 초음파는 종파이므로 초음파가 진행을 하면 물의 밀도가 달라지고 이것이 회절격자 역할을 하여 초음파에 의한 빛의 회절영상을 형성한다. 진행파의 음장은 정상파 회절영상을 보는 것과 달리 프레넬 회절영상법으로는 관찰하기 어려우므로 진행파의 가시화는 슈리렌법으로 실험하여 슈리렌 영상을 얻었다.

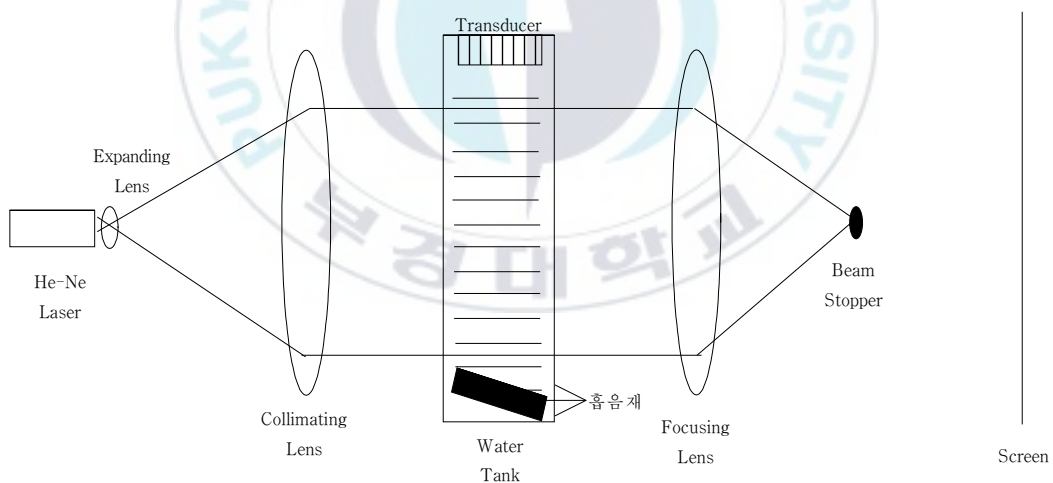


그림 III-4. 진행파 음장의 슈리렌 영상 실험 장치

나. 실험

(1) 광학계의 배치

정상파 음장에 의한 프레넬 회절영상 실험과 동일한 방법으로 광학계를 배치한다. 하지만 수조 바닥에 흡음재를 두어 반사되는 초음파가 생기지 않도록 한다. 흡음재는 물과 임피던스가 비슷한 실리콘으로 제작하였다.

(2) 초음파 방사

트랜스듀서의 설치 및 방사 방법은 전술한 프레넬 영상을 얻는 것과 동일하다.

다. 실험 결과

(1) 평면 트랜스듀서의 진행파 슈리렌 영상

1MHz, 2.25MHz(Panametrics V306) 평면 트랜스듀서를 사용하여 본 실험을 수행하였다.

(가) 1MHz 진행파의 슈리렌 영상

표 III-7은 1MHz 진행파에 의해 형성된 슈리렌 영상을 관찰하기 위한 실험 조건이며 표 III-8은 실험 결과이다.

표 III-7. 진행파 $f=1\text{MHz}$ 의 실험 조건

실험 조건	초음파의 방사 방향 및 조건	수조의 바닥면에 대해 수직, 매질:물
	파형 및 진폭	정현파, 150mV를 전력 증폭기로 증폭

표 III-8. 진행파 $f=1\text{MHz}$ 의 실험 결과

초음파 방사 여부	촬영 영상
방사하지 않음	
방사	 트랜스듀서 진행파 빔

초음파가 방사되지 않을 때에는 빔스토퍼에 의해 레이저가 차단되어 어둡게 나타나고 있었으나, 초음파를 방사시키면 진행되는 초음파빔이 나타났다. 표 III-8의 초음파가 방사될 때의 슈리렌 영상을 보면 위쪽의 트랜스듀서에서부터 초음파가 아래쪽으로 진행됨을 알 수 있다. 그리고 진행파빔의 아래쪽에 호 모양의 무늬를 볼 수 있는데 이를 빔스토퍼로 차단하면

슈리렌 영상이 빔스토퍼에서 매우 작게 형성되므로 스크린에서 슈리렌 영상을 제대로 관찰하기가 어려웠다. 하지만 호 부분을 차단하지 않고 실험을 하였더니 진행파 빔의 관찰이 가능하였다.

(나) 2.25MHz 진행파의 슈리렌 영상

표 III-9은 2.25MHz 진행파에 의해 형성된 슈리렌 영상을 관찰하기 위한 실험 조건이며 표 III-8은 실험 결과이며 여기서 main-lobe와 함께 side-lobe를 관찰할 수 있었다.

표 III-9. 진행파 $f=2.25\text{MHz}$ 의 실험 조건

실험 조건	초음파의 방사 방향 및 조건	수조의 바닥면에 대해 수직, 매질:물
	파형 및 진폭	정현파, 150mV를 전력 증폭기로 증폭

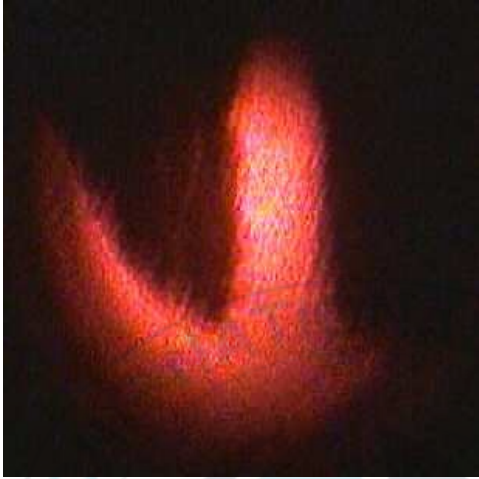
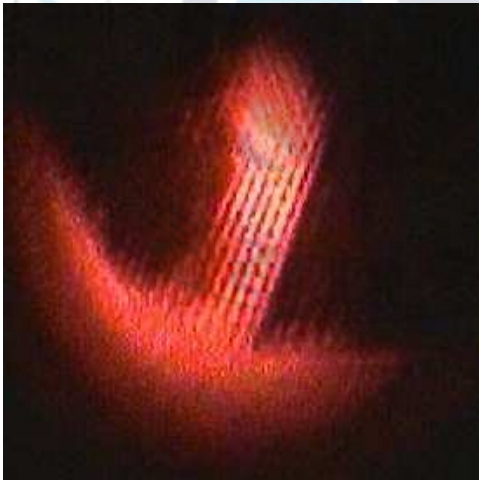
표 III-10. 진행파 $f=2.25\text{MHz}$ 의 실험 결과

초음파 방사 여부	촬영 영상
방사하지 않음	
방사	

(2) 경계면에서의 진행파의 반사와 슈리렌 영상

표 III-7의 실험 조건에서 트랜스듀서 아래에 비스듬히 문구용 쇠자를 두었더니 표 III-11과 같이 경계면에서의 진행파의 반사에 의한 슈리렌 영상을 볼 수 있었다. 진행파는 쇠자에서 반사되며, 이 반사파가 수조의 유리면에서 다시 반사되어 정상파를 형성하는 것을 알 수 있었다.

표 III-11. 진행파 $f=1\text{MHz}$ 의 반사 실험 결과

경계면 설치 여부	촬영 영상	영상 분석
쇠자를 두기 전		진행파의 슈리렌 영상이 나타난다.
쇠자를 두었을 때		진행파가 반사되고 다시 수조의 유리면에서 반사하여 정상파가 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 경계면에서 굴절되는 광선을 제대로 관찰하기 어려웠다.

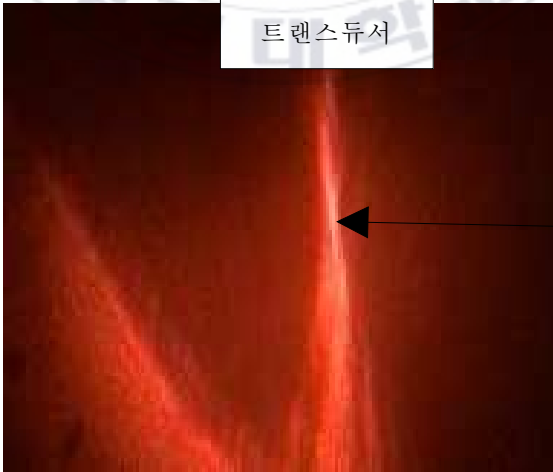
(3) 집속 트랜스듀서의 진행파 슈리렌 영상

표 III-12는 2.5MHz 집속 트랜스듀서에서 방사되는 진행파에 의한 슈리렌 영상을 관찰하기 위한 실험 조건이며 표 III-13은 실험 결과이다.

표 III-12. 진행파 $f=2.5\text{MHz}$ 의 실험 조건

실험 조건	초음파의 방사 방향 및 조건	수조의 바닥면에 대해 수직, 매질:물
	파형 및 진폭	정현파, 250mV를 전력 증폭기로 증폭

표 III-13. 진행파 $f=2.5\text{MHz}$ 의 실험 결과

초음파 방사 여부	촬영 영상
방사하지 않음	
방사	

빔스토퍼에 의해 레이저가 차단되어 어둡게 보이던 스크린이 집속 트랜스듀서에서 초음파를 방사시키면, 초점에서 초음파가 모이는 슈리렌 영상이 나타났다.

(4) 1MHz 불량 트랜스듀서의 진행파 슈리렌 영상

(가) 불량 트랜스듀서의 형태

1MHz 진행파에 의한 슈리렌 영상을 얻는 실험에서 사용된 트랜스듀서와 동일한 PZT를 사용하여 만든 트랜스듀서이지만, PZT가 반으로 깨진 트랜스듀서의 슈리렌 영상을 얻는 실험을 하여 본 연구의 실험 장치가 트랜스듀서 품질 검사에 이용이 될 수 있는지 확인하였다.



그림 III-5. 1MHz 트랜스듀서(앞)



그림 III-6. 1MHz 트랜스듀서(밑)

(나) 1MHz 불량 트랜스듀서에 의한 슈리렌 영상

표 III-14는 1MHz 불량 트랜스듀서에서 방사되는 진행파에 의한 슈리렌 영상을 관찰하기 위한 실험 조건이며 표 III-15는 실험 결과이다.

표 III-14. 진행파 $f=1\text{MHz}$ (불량)의 실험 조건

실험 조건	초음파의 방사 방향 및 조건	수조의 바닥면에 대해 수직, 매질:물
	파형 및 진폭	정현파, 200mV를 전력 증폭기로 증폭

표 III-15. 진행파 $f=1\text{MHz}$ (불량)의 실험 결과

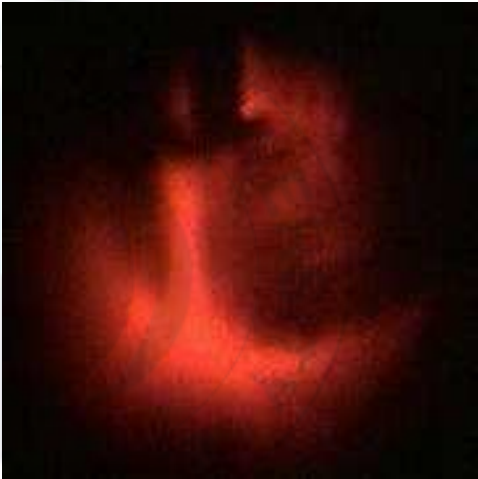
정상 트랜스듀서에 의한 초음파 슈리렌 영상	불량 트랜스듀서에 의한 초음파 슈리렌 영상
	

표 III-15의 불량 트랜스듀서에 의한 초음파의 슈리렌 영상을 통하여 정상 트랜스듀서와는 달리 불량 트랜스듀서는 PZT의 한쪽 부분에서만 초음파가 방사됨을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 연구는 초음파 음장의 가시화를 통하여 초음파 음장의 특성을 이해하고 과학 교육 및 산업에 적용할 수 있는 방안을 찾는 것이다. 초음파 음장에 의한 회절영상을 관찰할 수 있는 실험을 설계하고 구축하여 초음파 음장에 의한 회절영상을 관찰하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 정상파 음장에 대한 영상은 프레넬 회절영상법으로 관찰하였으며, 진행파 음장에 대한 영상은 슈리렌법으로 관찰하였다.
- (2) 구축된 실험 장치는 평면 트랜스듀서 및 집속 트랜스듀서의 음장 가시화에 유효하였다.
- (3) 진행파는 경계면에서 반사하여 정상파를 형성하였다.
- (4) 집속 트랜스듀서에서 방사되는 진행파에 의한 슈리렌 영상을 통하여 집속 초음파의 초점을 알 수 있었다.
- (5) 불량 트랜스듀서에서 방사되는 진행파의 슈리렌 영상을 관찰함으로써 본 연구가 트랜스듀서의 품질 검사에 이용될 수 있음을 알 수 있었다.

V. 기대효과 및 향후과제

본 연구결과에 대한 기대효과는 다음과 같다.

- (1) 초음파는 인간이 감지하지 못하는 주파수 영역으로 실재하는지에 대하여 학생들은 많은 의문을 가진다. 그러므로 이 장치를 통하여 초음파 음장을 가시화함으로써 학생들이 볼 수 없었던 초음파에 대한 이해와 학습 흥미도를 높일 수 있다.
- (2) 기존의 초음파 음장 측정 방법을 보완할 수 있다. 예를 들어 보면 수중청음기(Hydrophone)의 경우 수중에서 사용하는 장치이므로 측정 장치가 물로 인하여 훼손되거나 측정에 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 하지만 이 장치는 수중에 장치를 두지 않기 때문에 수중청음기에 비하여 오랫동안 장치를 사용할 수 있으며 트랜스듀서를 작동시키면 바로 회절영상을 얻을 수 있으므로 아주 짧은 시간에 초음파 음장의 특성을 알 수 있다.
- (3) 현재 트랜스듀서 품질 검사는 수중청음기를 이용한 표본검사로 이루어진다. 하지만 이 방법은 시간이 많이 걸리며 비용이 많이 든다는 측면에서 단점이 있다. 본 연구의 실험 장치를 이용하면 짧은 시간 내에 제품의 결함이나 과열되는 현상을 체크해낼 수 있어 산업적 분야의 이용이 가능할 것이다.

금후의 과제로서 첫째, 영상처리 기법을 적용하여 화상의 질을 높이는 것에 대한 연구와, 둘째, 광학계 배치를 보다 단순화 시키는 기법에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 양영권, “제6차와 제7차 중학교 교육과정의 교육내용 선정과 조직의 비교”, 한국교원대학교 교육대학원, (2004).
- [2] 이동길 외 5명, “교육부 고시 제1997-15호에 따른 중학교 교육과정 해설(Ⅲ)-수학, 과학, 기술·가정-”, 한국, 교육부, (1999).
- [3] 양은숙, “역학적 파동에 대한 중학생들의 수업 전·후 개념 조사”, 한국교원대학교 교육대학원, (1999).
- [4] 박정자 외 3명, “교육부 고시 1997-15호 고등학교 교육과정 해설-Ⅴ 과학-”, 한국, 교육 인적 자원부, (2001).
- [5] 東京大學超生産音技術研究所 藤森總雄, 超音波の應用, 日本, 産報, (1976).
- [6] 이성준, “중학교 교육과정을 통한 제 6, 7차 교육과정의 물리영역에 관한 비교·분석”, (2003).
- [7] 谷腰欣司 著, 강성조 역, “그림으로 알 수 있는 레이저의 이야기”, 일본, 세화, (2001).
- [8] 서대철 외 3명, “수침형 초음파탐촉자를 이용한 입자 분리 연구”, KSNT/FC0021, 2006 추계학술대회, (2006).
- [9] 오철한, “노벨상에 도전하는 알기 쉬운 레이저 과학(레이저 Science for Nobel prize)”, 한국, 두양사, (2005).
- [10] Byron Schneider and K. Kirk Shung, “Quantitative Analysis of Pulsed Ultrasonic Beam Pattern Using a Schlieren System,” IEEE Trans. on Ultrason. and Freq., Vol. 43, No. 6, pp.1181-1186, (1996).
- [11] Jurgen R. Meyer-Arendt, “Selected Papers on Schlieren Optics”,

- SPIE Milestone Series, Vol. MS-61, (1992).
- [12] So-Young Song, Ung Kim, Min Gon Kim, "Oscillographic and Schlieren-Streak Photographic Investigation of an Exploding Wire Discharge," Journal of the Korean Physics Society, Vol 17, No. 2, pp. 167-179, (1984).
- [13] N Kudo, H Ouchi, K Yamamoto and H Sekimisu, "A simple Schlieren system for visualization a sound field of pulsed ultrasound, Journal of Physics," Conference Series 1, pp. 146-149, 2004 IOP Publishing Ltd, (2004).
- [14] Takashi Azuma, Shin-ichiro Umemura and Akihiro Tomozawa, "Observation of ultrasonic wavefronts using," 第22回超音波シンポジウム, p. 99, (2001).
- [15] Thomas F. Charlebois and Roger C. Pelton, "Quantitative 2D And 3D Schlieren Imaging For Acoustic Power And Intensity Measurements," Medical Electronics, pp.66-73, (1995)
- [16] Tomoo Nakane, "Study on Particle Aggregation in High-Intensity Standing Sound Wave Field," Proc. Symp. Ultrason. Electron., Vol. 26, pp.113-114, (2005).
- [17] <http://www.4Science.net>
- [18] <http://www.edmundoptics.com>
- [19] <http://www.metrologic.com>
- [20] <http://www.uniontc.co.kr>
- [21] <http://www.optosigma.com>
- [22] <http://www.ondacorp.com>

감사의 글

바쁘다는 이유로 실험에 전념할 수 없어서 포기하고 싶었던 저에게 용기와 힘을 항상 실어주시고 처음부터 끝까지 한결같이 훌륭하신 지도력으로 이끌어주신 하강렬 교수님께 깊이 머리 숙여 감사를 드립니다. 아울러 세세한 부분을 챙겨주었던 실험실 식구들, 특히 김상운 선배에게 고마운 마음을 전합니다.

항상 든든한 버팀목이 되는 우리 가족들에게도 논문 준비 기간동안 제대로 사랑을 나누지 못한 것을 미안하게 생각합니다. 논문 준비하느라 다소 소홀한 학교 생활을 모두 이해해주시고 여러 가지로 도움을 주신 다대중학교 선생님 여러분, 특히 과학과 선생님 감사합니다.

마지막으로 오랜 기간동안 옆에 있어 준 사랑하는 사람에게 논문 준비하는 동안 항상 용기를 주고 한결같은 사랑을 베풀어주어서 고맙고 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.