

음향 벽을 이용한 배열형 압전형 초음파 변환기의 음향 간섭 수준 감소를 위한 연구

A Study for Reducing the Acoustic Cross Talk Level in an Array Type Piezoelectric Ultrasonic Transducer Using Acoustic Walls

김 영 신*, 노 용 래*
(Youngshin Kim*, YoungRae Rho*)

*경북대학교 기계공학과

(접수일자: 2002년 12월 16일; 채택일자: 2003년 1월 13일)

의료 진단용으로 널리 사용되는 1차원 배열형 압전 초음파 변환기는 소자들간의 음향 간섭에 의해 성능이 저하된다. 본 연구에서는 기존의 커프로 효과를 볼 수 없는 변환기 표면을 따라 전파하는 음파로 인한 간섭을 감소하기 위해 음향 벽 설치를 제안하고, 유한 요소 해석법을 이용하여 convex 1차원 배열형 압전 초음파 변환기에 설치한 음향 벽의 형상, 크기 및 재질에 따른 음향 간섭 수준을 분석하였다. 시뮬레이션 결과는 소자들간의 음향 간섭을 최소화하는 초음파 변환기의 최적화 설계를 위해 매우 유용한 정보로 사용될 것으로 기대된다.

핵심어: 음향 간섭 수준, 음향 벽, 배열형 초음파 변환기

주요분류: 초음파 및 탄성과 분야 (4.1)

In one dimensional linear array type piezoelectric ultrasonic transducers widely used for medical diagnosis, the acoustic cross talk caused by the structural acoustic coupling between the adjacent piezoelectric elements reduces significantly their performance. In the study, we have proposed an acoustic wall to reduce the acoustic cross talk by wave propagation through the surface the transducer which can not be prevented by conventional kerf and have analyzed using a finite element method the acoustic cross talk level with respect to the shape, size and materials of the acoustic wall mounted on a convex one dimensional piezoelectric ultrasonic transducer. We expect that the simulated results provide us with a valuable information to make an optimized design of the array type ultrasonic transducer minimizing the acoustic cross talk level.

Key words: Acoustic cross talk level, Acoustic wall, Array type ultrasonic transducer

ASIS subject classification: Ultrasonic and elastic waves (4.1)

I. 서론

의료 진단용으로 널리 사용되는 Convex 배열형 압전 초음파 변환기는 일반적으로 그림 1과 같이 초음파 방사면이 적절한 곡률을 가지고 있으며 압전 소자를 중심으로 정합층, 후면층, 압전 소자를 분리시키는 마이너 커프와 메이저 커프, 그리고 초음파를 집중하기 위한 음향 렌즈로 구성된다. 변환기는 영상의 분해능 및 인체적 손상을 고려하여 1 ~ 10 MHz의 비교적 높은 작동 주파수

를 가지므로 각각의 압전 소자는 매우 작은 치수 (수백 μm)를 가지고, 이들 소자들은 커프를 사이에 두고 인접 소자들과 접하고 있다.

이러한 초음파 변환기에서는 여러 개의 압전 소자가 한 구조체로 묶여있기 때문에 구동되는 소자와 인접한 소자들간에는 음향 간섭 (acoustic cross talk)이 존재하게 된다. 이 음향 간섭은 전체 초음파 변환기의 특성에 큰 영향을 미치게 된다. 즉 구동 소자로부터 발생된 음파가 인접 소자에 영향을 미쳐 인접 소자에 의한 2차적인 음파를 유발시키고, 이로 인해 초음파의 방사 형태를 왜곡시켜 진단시 수신되는 정보에 오류를 야기한다[1,2]. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 음향 간섭 현상에 대한

관심: 김영신 (straiper@hanmail.net)
72-11 대구시 북구 산격동 1370
경북대학교 대학원 기계공학과
(전화: 053-943-8716; 팩스: 053-950-6827)

정확한 분석과 음향 간섭이 발생하는 원인 및 전파 경로를 규명을 통하여 음향 간섭을 최소화할 수 있어야 한다.

음향 간섭의 발생 구조를 해석하기 위해 이론적인 방법 [3]과 광학 간섭계 등을 이용한 실험적인 접근이 시도되었다[4]. 최근엔 유한 요소법과 같은 다차원 수치해석법을 이용한 인접한 초음파 소자들간의 간섭 구조에 관한 연구 결과도 발표되고 있다[5,6]. 그러나 아직까지 이들 음향 간섭을 효과적으로 제거하기 위한 변환기의 구조적인 개선 방안은 연구된 사례가 미미하다. 변환기 내에서 인접 소자간의 간섭 현상을 방지하기 위하여 현재 가장 널리 사용되는 구조적 방안은 그림 1에 나타난 것과 같이 압전 소자들 사이에 커프를 설치하는 것이다[7,8]. 이 커프는 변환기의 정합층이나 음향 렌즈 내를 전파하는 탄성파를 차단하는 데에는 상당한 효과가 있다. 일부 선행 연구자들은 독립 소자를 분리시키는 커프의 재질과 형상을 변화하며 음향 간섭의 정도를 분석한 연구 결과를 보고하고 있다[9].

실제로 1차원 배열 초음파 변환기에서 음향 간섭을 발생시키는 탄성파의 전파 경로는 각 독립 소자가 분리되어 있는 형태에 따라 매우 복잡하게 변화한다. 일례로 구동 소자로부터 발생된 음파가 방사 매질 내에서 인접 소자로 전파하여 간섭을 일으키는 경우를 들 수 있다. 이렇게 변환기 표면을 일단 벗어난 간섭 신호에 대해서 커프는 효력을 발휘하지 못하게 되며, 이러한 간섭 신호의 크기는 상당한 것으로 보고되고 있다[10]. 따라서 기존의 커프에 의한 음향 간섭 차단 효과를 보완하여 보다 효율적으로 음향 간섭 수준을 낮출 수 있는 연구의 필요성이 제기되어 왔다.

본 논문에서는 의료 진단용으로 널리 사용되는 convex

배열형 초음파 변환기에서의 음향 간섭레벨을 저하시키기 위해 초음파 변환기 표면에 음향 벽을 설치하고 음향 벽의 형상, 크기 및 재질에 따른 음향 간섭 수준의 변화를 분석하였다. 분석에는 상용 유한 요소 해석 도구인 ANSYS (5.3, ANSYS inc.)를 이용하였다. 분석 결과를 이용하여 음향 간섭 차단 효과를 극대화하는 배열형 초음파 변환기용 음향 벽의 규격 및 재질을 도출하고자 하였다.

II. 배열형 초음파 변환기의 유한 요소 모델

그림 1에서 보여주는 1차원 배열형 Convex 압전형 초음파 변환기의 구조를 바탕으로 음향 간섭 효과를 분석하기 위한 유한 요소 모델을 그림 2와 같이 설정하였다. 모델은 변환기 구조의 대칭성을 반영하여 좌측면을 대칭면으로 전체의 절반만을 묘사하도록 했다. 압전 소자는 PZT-5H이며 소자의 폭 대 두께 비는 진동 모드의 명확성과 전기-기계 결합 계수를 고려하여 종횡비를 0.45로 하고[11-13] 두 개의 압전 소자를 하나의 구동 소자로 하였다. 두 층의 음향 정합층은 DeSilets[14]의 연구에 의한 물성을 도입하였고 각각 1/4 파장의 두께를 가진다. 각 부의 물성 및 치수는 표 1, 2에서 요약하고 있다. 모델에서 압전 소자는 32개가 배열되어 있으며, 면대칭 축을 기준으로 대칭 조건을 부여하였다. 커프 폭은 압전 소자의 가로 폭 대비 0.25이며, 음향 렌즈와 방사 매질의 접합 부분에는 FSI (fluid structure interface) 층을 두었으며, 마지막으로 방사 매질의 최 외곽에는 무한 경계 조건을 부여하였다.

해석의 기본 모델로 삼은 그림 2 모델의 타당성을

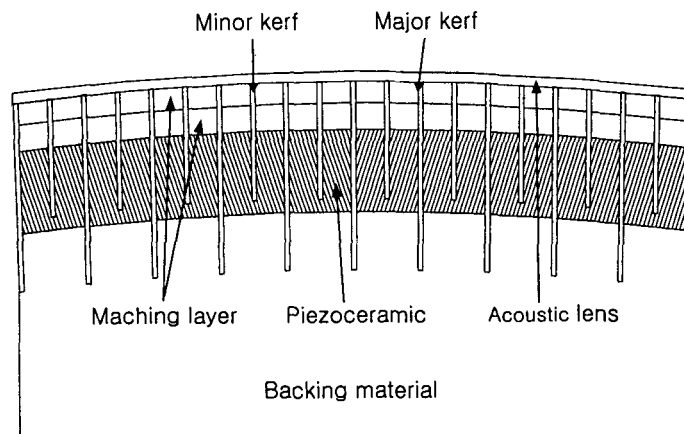


그림 1. Convex 배열형 초음파 변환기의 구조
Fig. 1. Schematic structure of a convex array type ultrasonic transducer.

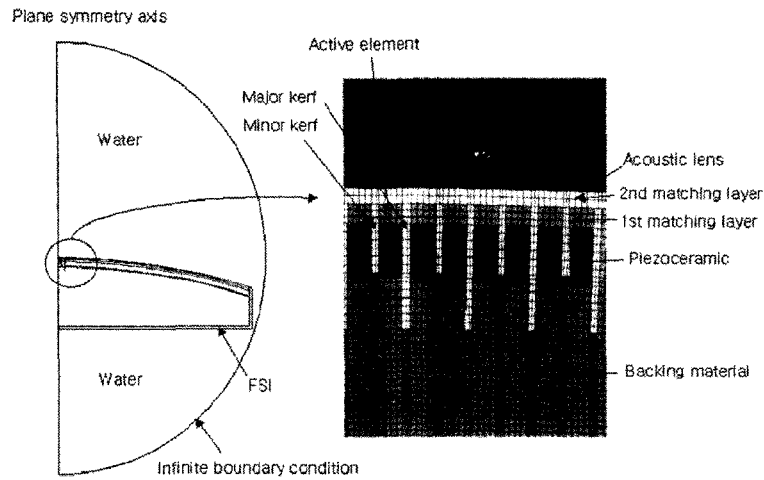


그림 2. Convex 배열형 초음파 변환기의 유한 요소 모델
 Fig. 2. A finite element model for a convex array type ultrasonic transducer.

표 1. 본 연구에서 실험한 Convex 배열형 초음파 변환기의 유한 요소 모델의 각부 물성

Table 1. Properties of materials in the finite element mode of the convex array type ultrasonic transducer considered in the study.

properties	Element	Backing layer	PZT-5H	Inner Matching layer	Outer Matching layer	Kerf (major & minor)	Lens
Density (kg/m ³)		2,600	7,500	3,380	1,160	2,190	1,090
Young's modulus (GPa)		2.9	6.4	15.1	5.8	1.8	4.5
Sound velocity (m/s)		1,230	4,600	2,450	2,590	1,330	2,360
Poisson ratio		0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3
Impedance (Mrayl)		3.2	34.5	8.2	3.0	3.0	2.6

표 2. 본 연구에서 실험한 Convex 배열형 초음파 변환기의 유한 요소 모델의 각부 치수

Table 2. Size of elements in the finite element mode of the convex array type ultrasonic transducer considered in the study.

Size	Element	Backing layer	PZT-5H	Inner Matching layer	Outer Matching layer	Kerf		Lens
						major	minor	
Height (μm)		1060	310	104	86	750	460	10
Width (μm)		-	139.5	139.5	139.5	35	35	-

증가하기 위해, 동일한 사양으로 제작된 그림 3의 5 MHz convex 배열형 초음파 변환기의 주파수 특성과 방사 패턴

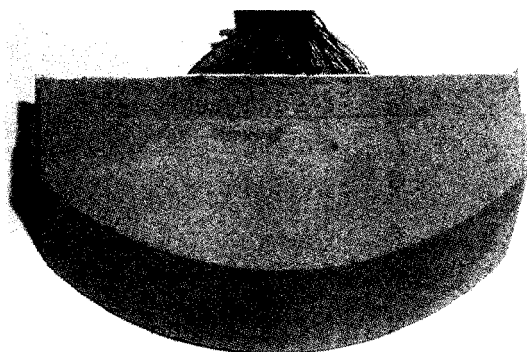


그림 3. 제작된 Convex 배열형 초음파 변환기 외관 사진
 Fig. 3. Photograph of a fabricated convex array type ultrasonic transducer.

측정 결과를 유한 요소 모델에 의한 해석 결과와 비교하였다. 구동은 그림 2 모델의 왼쪽 끝 압전 소자 하나에 임펄스 전압을 인가한 후 초음파의 과도 응답을 측정하였다. 압전 모델은 대칭구조의 오른쪽 절반만을 묘사한 것이므로 이러한 구동 상태는 실제로 전체 변환기의 중심부에 위치한 압전 소자 두 개를 구동하는 것과 같다. 변환기 표면으로부터 6 mm 떨어진 방사 매질 내 원거리장에서의 방사 형태 측정과 시간 영역 파형의 푸리에 변환에 의한 주파수 분석을 수행하였다. 제작된 변환기에서의 측정값과 유한 요소 모델에서 얻은 결과를 비교하여 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 유한 요소 모델의 중심 주파수는 약 4.97 MHz, -6 dB 방사 폭은 약 30°로 나타났다. 측정된 중심 주파수 및 -6 dB 방사 폭은 각각 5 MHz, 30°이다. 유한

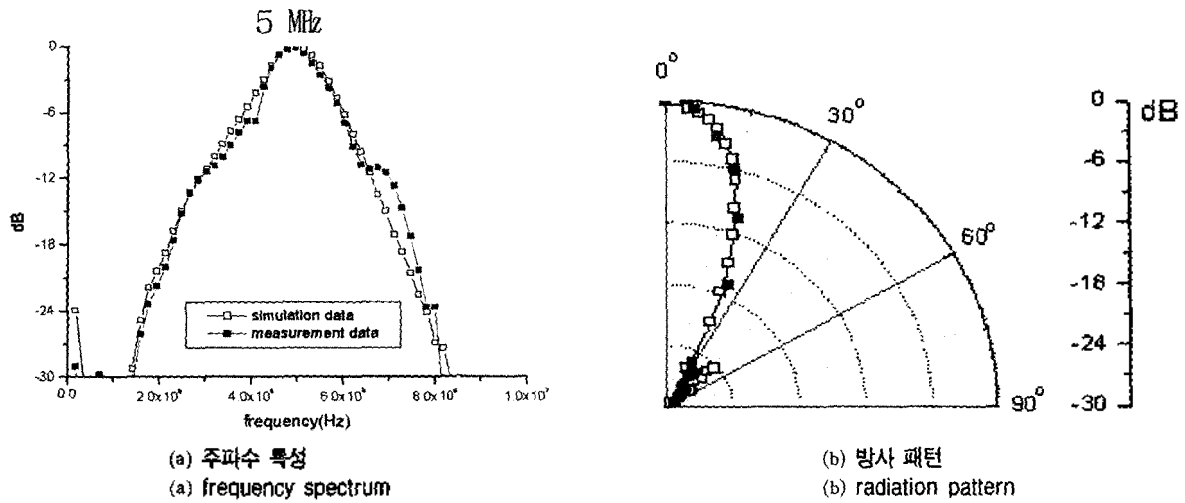


그림 4. 배열형 초음파 변환기에 대한 유한 요소 해석과 측정치 비교
Fig. 4. Comparison of finite element analysis results with measurements for a convex array type ultrasonic transducer.

요소 모델과 실제 변환기에서의 측정 결과가 잘 일치하고 있는 그림 4로부터 본 연구에서 기본 모델로 선정한 그림 2의 초음파 변환기의 유한 요소 모델이 실제 제작된 변환기의 특성을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있다.

III. 음향 벽을 이용한 음향 간섭 감소

배열형 변환기에서 격자간 음향 간섭을 일으키는 경우는 주로 다음의 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 구동 소자에 의해 발생된 방사 패턴 상의 부엽에 의해 인접 소자에 영향을 미치는 경우이다. 둘째, 방사 매질에 대부분의 에너지를 가지며 변환기 표면을 따라 전파하는 scholte 파에 의해 인접 소자에 영향을 미치는 경우가 있다[5]. 셋째, 음향 렌즈나 정합층에 대부분의 에너지가 존재하는 램파가 방사 매질과 변환기 표면 사이를 전파하면서 인접 소자 렌즈 상단에 변위를 발생시키고, 이로 인해 발생된 음파가 원래의 방사 패턴을 왜곡시키는 경우를 들 수 있다.

배열형 초음파 변환기에서의 음향 간섭은 구동 소자로부터 발생된 음파가 인접 소자에 미치는 영향을 차단함으로써 줄일 수 있다. 변환기 내의 간섭 현상을 줄이기 위해 널리 사용되는 커프는 주로 세 번째 경우를 방지하기 위한 것으로 나머지 두 경우에 대해서는 전혀 효력이 없다. 따라서 위에서 언급한 첫 번째 및 두 번째 현상을 차단하기 위해 본 연구에서는 메이저 커프 위 렌즈 상단에 음향 벽을 설치하여 구동 소자에서 방사되는 음압이 방사 매질을 통해 인접 소자에 미치는 영향을 줄이고자 시도하였다.

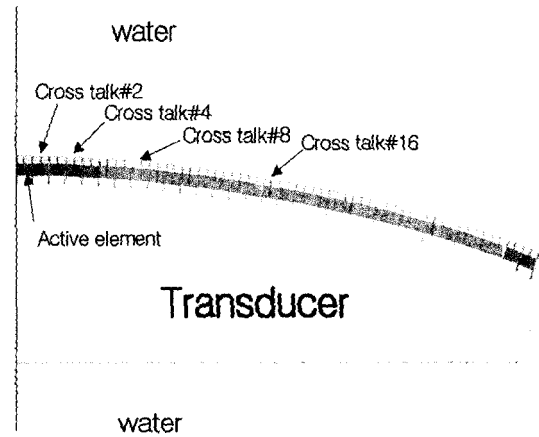


그림 5. 음향 간섭 수준의 평가 위치
Fig. 5. Observation points of the acoustic cross talk level.

커프를 사용한 배열형 초음파 변환기의 음향 간섭 정도는 그림 2에서 보여주는 유한 요소 모델을 이용하여 평가할 수 있다. 본 논문에서는 음향 간섭 정도를 평가하기 위해 구동 소자로부터 2, 4, 8, 16번째 소자에서의 음향 간섭 신호를 관찰하였으며, 그림 5에서 보여주는 것처럼 각각의 위치를 cross talk#2, #4, #8, #16으로 표시하였다. 그림 6은 유한 요소법을 이용한 시뮬레이션 결과로 얻은 구동 소자 및 인접 소자에서의 음향 신호의 주파수 특성을 보여준다. 이는 그림 4의 구동조건과 같을 때 그림 5의 위치에서의 음향신호를 나타낸다. 음향 신호의 주파수 스펙트럼은 구동 소자로부터 멀어지는 소자일수록 중심 주파수 5 MHz 근방에서 에너지가 크게 감소함을 볼 수 있다. 그러나 음향 간섭 신호의 수준은 무시할 수 없을 정도로 크게 나타났으며 커프만으로 음향 간섭을 충분히 차단

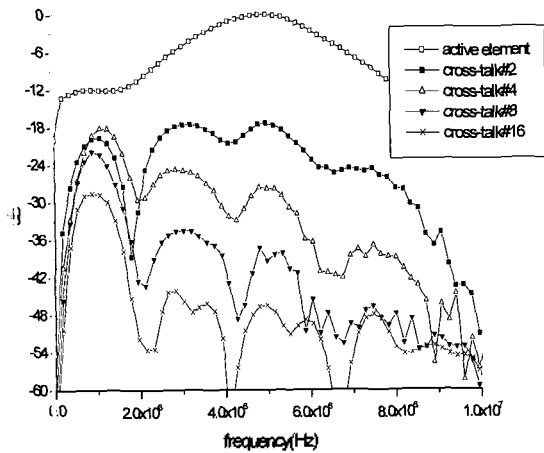


그림 6. 커프를 사용한 초음파 변환기에서의 구동 소자 및 인접 소자에서 방사되는 음향 신호의 주파수 스펙트럼
 Fig. 6. Frequency spectrum of the acoustic waves radiated from the active element and neighboring elements of the array ultrasonic transducer with kerfs.

수 없음을 보여 주고 있다.

본 연구에서는 커프만으로는 완벽하게 차단하지 못하는 인접 소자간 음향 간섭을 최소화하기 위한 방안으로 음향 벽을 설치할 것을 제안하고자 한다. 음향 벽은 메이저 커프 위 음향 렌즈 상단에 설치하고, 음향 벽의 형상과 재질 따라 간섭 차단 효과를 위한 요소 모델을 이용하여 해석하였다. 해석 결과를 이용하여 음향 간섭 효과를 최소화하는 음향 벽의 설계 조건을 제시하였다.

IV. 음향 벽 형상에 따른 음향 간섭 수준의 변화

그림 7은 본 연구에서 실험한 다양한 음향 벽의 형상을

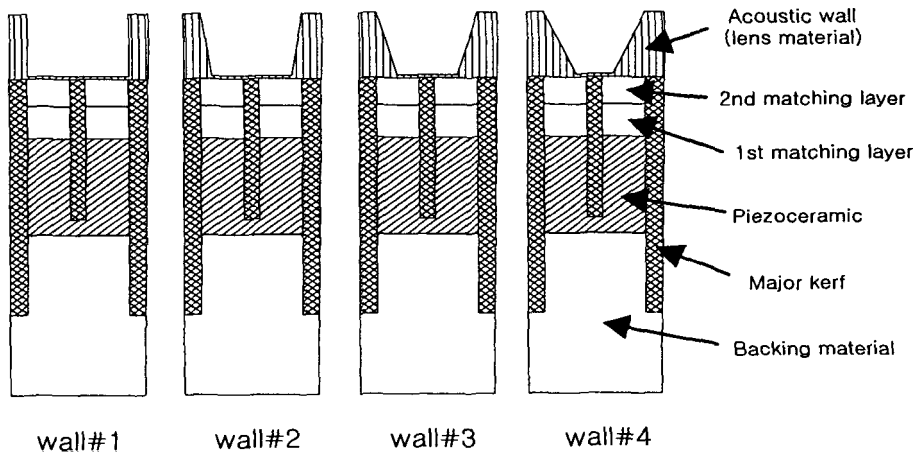


그림 7. 본 논문에서 평가한 음향 벽 형상
 Fig. 7. Shapes of the acoustic walls evaluated in the study.

보여주며 각 모델은 전체 소자에서 한 피치 (pitch)만을 나타낸다. 기본적으로 음향 벽의 형상은 직사각형을 기본으로 하여 하단부의 크기를 증가시키는 각각 사다리꼴 모양을 하고 있다. 우선 메이저 커프와 동일한 폭을 가지는 수직 형상의 음향 벽을 설치하고, 이를 음향 벽 (acoustic wall)#1 이라고 지칭하였다. 변환기에서 주변 매질로 초음파가 방사되는 공간을 확보하기 위해 각 모델에서 음향 벽 상단 폭은 커프 폭과 동일하게 유지한 채, 음향 벽 하단부의 폭만을 증가시켜 각각 음향 벽 #2, #3, #4로 지칭하였다. 음향 벽 #2, #3, #4는 하단부 폭을 음향 벽 #1에 비해 압전 소자 폭의 1/2 만큼씩 증가시켰다. 초음파 방사 패턴에 영향을 거의 주지 않기 위해서 음향 벽의 높이는 근거리 음장 내로 제한하기 위해 렌즈 상단에서 0.2 mm로 설정하였다. 음향 벽은 제작성을 고려하여 음향 렌즈와 동일한 재료를 사용하였다.

음향 간섭 수준은 그림 5의 각 위치에서 아래 식 (1)과 같이 구동 소자 렌즈 상단에서 음압의 최대값에 대한 인접 소자 렌즈 상단에서 음압의 최대값 비를 데시벨 (dB) 단위로 나타내었다.

$$\text{cross talk level (dB)} = 20 \log_{10} \left| \frac{\text{peak pressure on a neighboring element}}{\text{peak pressure on the driving element}} \right| \quad (1)$$

그림 8은 시뮬레이션 결과로 얻은 음향 벽의 하단부 폭에 따른 인접 소자에서의 음향 간섭 수준의 변화를 보여주고 있다. 그림 8에서 기본 모델 (basic)은 음향 벽이 없는 경우, 즉 그림 5에서 보여주는 초음파 변환기의 경우를 의미한다. 음향 벽을 설치함으로써 음향 간섭 수준이 전반적으로 감소함을 볼 수 있다. 특히 음향 벽의 하단

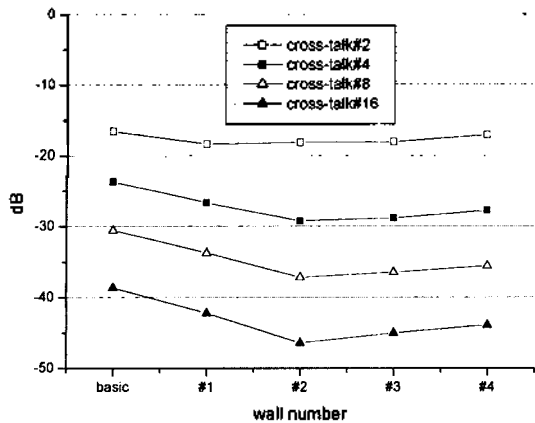


그림 8. 음향 벽의 형상에 따른 음향 간섭 수준
 Fig. 8. Acoustic cross talk level against the shapes of the acoustic wall.

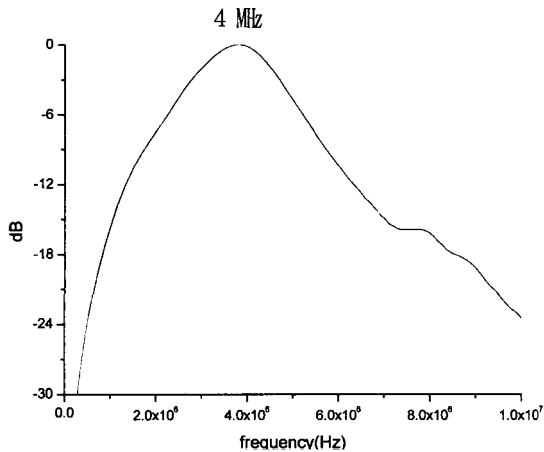


그림 9. 음향 벽 #2를 설치한 초음파 변환기 표면에서 6 mm 떨어진 위치에서 초음파 신호의 주파수 스펙트럼
 Fig. 9. Frequency spectrum of the acoustic wave calculated at 6 mm from ultrasonic transducer with the acoustic wall #2.

폭이 늘어남에 따라 음향 간섭 수준이 감소하다가 다시 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 음향 벽이 너무 넓어지면 렌즈 내부로의 탄성과 전파가 원활해져 바로 이웃하는 소자에서의 음향 간섭이 상승하는 것으로 해석할 수 있다. 특히 cross-talk #2 소자에서는 음향 벽 #4에서의 음향 간섭 수준이 음향 벽이 없는 기본 모델의 경우와 거의 같은 값을 가진다. 이는 방사 매질을 통해 인접 소자로 전파되는 초음파보다 렌즈 표면을 따른 초음파의 전파가 더욱 용이하여 인접 소자에 더 큰 영향을 미친 것으로 이해할 수 있다. 그림 8로부터 음향 벽 #2가 격자간 음향 간섭이 가장 작은 것을 알 수 있다.

그림 9는 음향 벽 #2를 설치한 경우, 각 소자의 렌즈 표면으로부터 6 mm 떨어진 지점에서 초음파의 주파수 스펙트럼을 보여준다. 음향 벽이 없는 기본 모델에 비하여 중심 주파수가 약 1 MHz 감소하고 있는데, 이는 음향

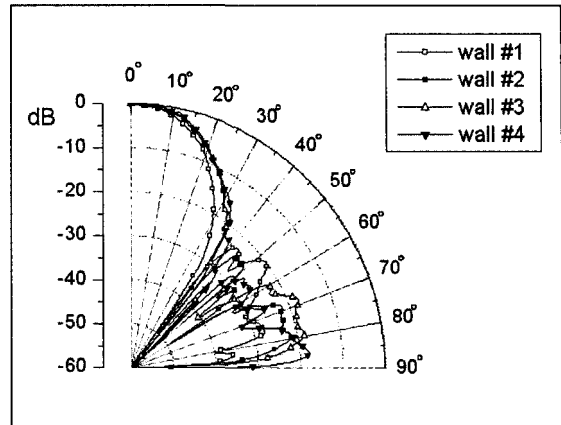


그림 10. 음향 벽의 형상에 따른 초음파 방사 형태
 Fig. 10. Acoustic radiation pattern for the various shapes of the acoustic wall.

벽을 설치함에 따라 변환기 표면에서의 질량 부하 (mass loading) 효과에 기인한다. 따라서 변환기에 음향 벽을 설치할 경우 중심 주파수 변동이 일어나므로 변환기 설계 단계에서 이에 대한 고려가 이루어져야 한다.

그림 10은 각 음향 벽에 대한 초음파 방사 패턴을 보여준다. 그림 10에서 70° 주위에서 부엽의 폭은 음향 벽 #2에서 최소이고 다른 음향 벽에서는 넓게 퍼져 있어 인접 소자의 렌즈 상단으로 음향 간섭이 미치는 것을 확인할 수 있다. 또한 음향 벽의 폭이 넓어짐에 따라 방사 면적이 작아져 주엽의 폭이 약간 증가하는 현상을 보여주고 있다. 결론적으로 본 연구에서 시뮬레이션을 통해 평가한 음향 벽 형상 중 음향 벽 #2가 음향 간섭을 줄이는데 가장 효과적인 것으로 나타났다.

V. 음향 벽의 높이에 따른 음향 간섭 수준

음향 벽의 높이가 인접 소자로 음파의 전파를 얼마나 효율적으로 차단하는지의 효과를 평가하기 위해, 본 연구에서는 음향 간섭 수준이 가장 작은 음향 벽 #2에 대해 높이를 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 mm로 변화하면서 음향 간섭 수준을 해석하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 11에 도시하고 있다.

그림 11로부터 음향 벽의 높이가 커짐에 따라 인접 소자에서 발생하는 음압의 최대 값이 점차 작아짐을 알 수 있다. 또한 구동 소자로부터 멀리 떨어진 지점에서의 음향 간섭 수준의 감소 효과가 크나 음향벽이 0.5 mm 이상에서는 크게 차이가 나지 않는다. 이것은 음향 벽의 높이가 커질수록 방사 패턴에서 부엽을 차단하는 효과가 커진다

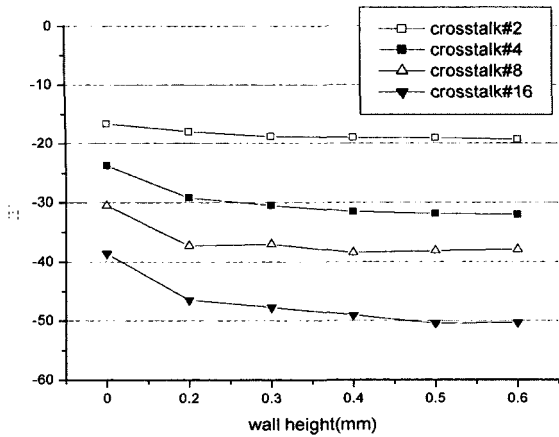


그림 11. 음향 벽의 높이에 따른 인접 소자에서의 음향 간섭 수준 (음향 벽 #2)

Fig. 11. Acoustic cross talk levels of the neighboring elements against the height of the acoustic wall (#2).

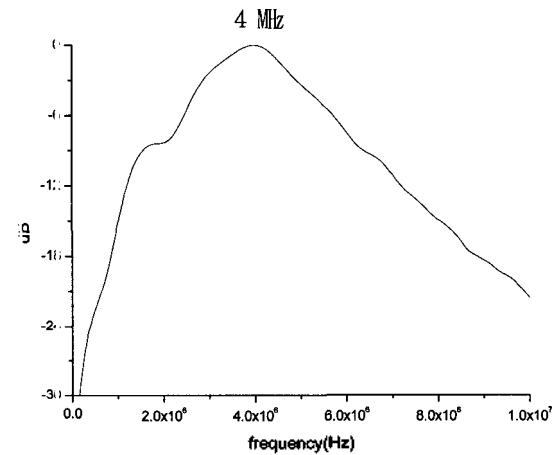


그림 12. 높이가 0.6 mm인 음향 벽 #2를 설치한 초음파 변환기 표면에서 6 mm 떨어진 위치에서 초음파 신호의 주파수 스펙트럼

Fig. 12. Frequency spectrum of the acoustic wave calculated at 6 mm from ultrasonic transducer with the height 0.6 mm of the acoustic wall #2.

의 의미와 상통한다. 그림 12는 음향 벽의 높이가 0.6 mm인 경우 구동 소자의 렌즈 상단으로부터 6 mm 떨어진 방사 지점에서의 초음파 신호의 주파수 스펙트럼을 보여준다. 이 그래프에서 언급한 것처럼 음향 벽에 의해 중심주파수가 감소하고 있음을 볼 수 있으며, 음향 벽의 자체 진동으로 인한 결과로 보이는 약 2 MHz 부근에서 신호의 에너지가 약간 상승하고 있다[5].

음향 벽의 높이에 따른 초음파 변환기의 방사 패턴 변화를 해석하기 위해 구동 소자의 렌즈 상단으로부터 6 mm 떨어진 지점에서의 방사 패턴을 그림 13에서 도시하였다. 그림 13에서 음향 벽의 높이가 커짐에 따라 부엽이 조금씩 주엽 방향으로 접근함을 알 수 있고 음향 벽의 높

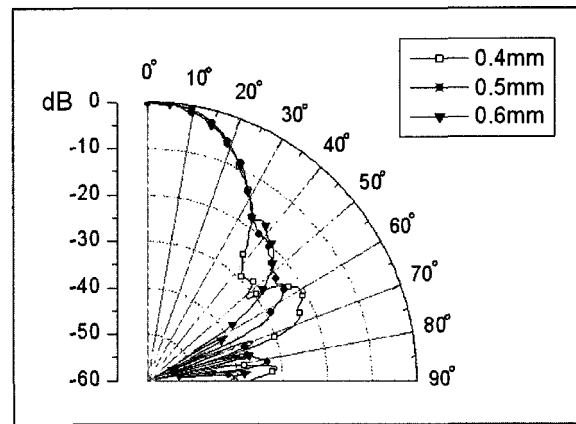
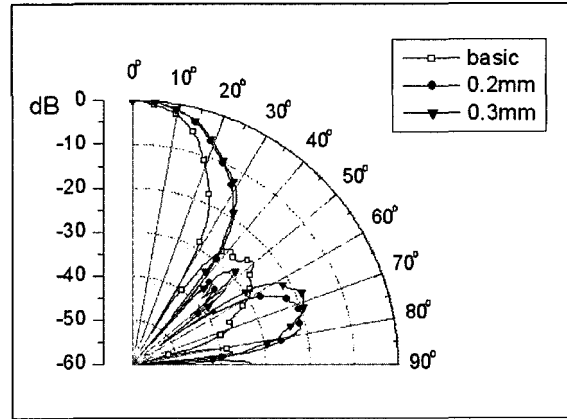


그림 13. 음향 벽 #2의 높이에 따른 초음파 방사 형태
Fig. 13. Acoustic radiation pattern for the various heights of the acoustic wall #2.

이가 0.4 mm보다 크면 주엽과 부엽이 점차 합쳐지고 있음을 볼 수 있다. 즉 음향 벽이 높아짐에 따라 부엽의 크기가 줄어들고, 따라서 변환기 표면으로 전파되는 음파가 감소하여 음향 간섭 수준이 작아진다. 또한 음향 벽의 높이에 따라 부엽의 형상이 조금씩 일그러지고 있는데 이는 구동 소자에서 발생된 음파가 음향 벽 자체의 진동을 유발시켜 방사 패턴에 영향을 미친 것으로 판단된다[5]. 이러한 부엽 형상의 왜곡은 변환기의 주엽 특성과는 무관한 것이므로, 트랜스듀서의 전면 특성에 거의 영향을 미치지 않는다. 결론적으로 본 실험에서 고려한 높이의 범위에 대해 음향 벽의 높이가 높을수록, 주엽의 방사 패턴의 변화없이 음향 간섭 수준은 더욱 낮아진다고 할 수 있다.

VI. 음향 벽의 재질에 따른 음향 간섭 수준

음향 벽의 재질에 따른 효과를 살펴보기 위해 음향학적

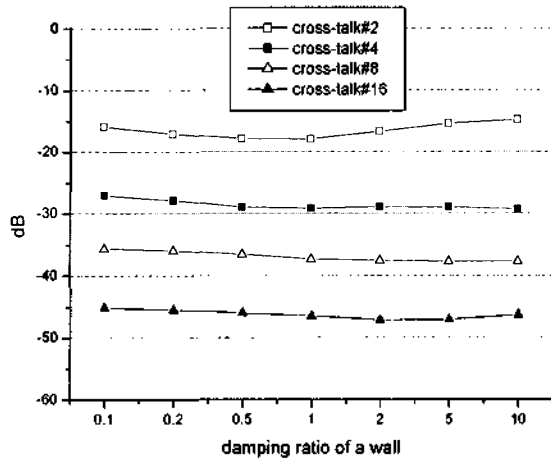


그림 14. 렌즈에 대한 음향 벽의 감쇠 계수의 비에 따른 인접 소자에서의 음향 간섭 수준 (음향 벽 #2)
 Fig. 14. Acoustic cross talk levels for the neighboring elements against the ratio of the attenuation coefficient of the acoustic wall to that of the lens (acoustic wall #2).

으로 재질의 가장 중요한 특성인 감쇠 계수에 대해 고려하였다. 음향벽의 임피던스는 동일하게 두었으며 이는 음향렌즈의 임피던스와도 같다. 음향렌즈의 감쇠 계수 값은 전체 변환기의 중심주파수 5MHz를 기준으로 7.0736E-11 kg/s로 정하였으며, 음향 벽 재질의 감쇠 계수는 음향 렌즈의 감쇠 계수 대비 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10배의 경우에 대해서 살펴보았다. 시뮬레이션은 음향 벽 #2 형상을 가지고 높이가 0.2 mm인 모델을 기준으로 각 소자의 렌즈 표면에서의 과도 응답을 해석하였다. 그림 14는 음향 벽의 감쇠 값에 대한 각 소자의 렌즈 표면에서 발생된 음파의 최대값의 변화를 보여주고 있다. 그림 14에서 바로 인접한 소자에 대한 음향 간섭 수준은 음향 렌즈에 대한 음향 벽의 감쇠비가 1.0일 때 가장 작으며 구동소자로부터 멀어질수록 조금씩 감소하다가 변화가 거의 없음을 보인다. 이는 구동 소자로부터 인접 소자로 음파가 전파할 때 음향 벽의 감쇠 계수와 렌즈의 감쇠 계수가 동일할 때 음향 벽에 의한 감쇠 효과가 가장 크다는 것을 의미한다. 즉 음향 렌즈 표면을 전파하는 간섭 신호가 음향 벽을 통과하기에 가장 용이하여, 음향 벽에 의한 추가적인 산란 효과가 없는 것으로 판단된다. 반면에 렌즈와 음향 벽의 감쇠 계수 차이가 클수록 음향 벽에서의 반사 효과로 인하여 음향 간섭이 커진 것으로 보인다. 그러나 구동 소자로부터 멀리 떨어진 소자일수록 감쇠비가 커짐에 따라 음향 간섭이 감소하다가 거의 일정하게 나타난다.

그림 15는 음향 벽의 감쇠비에 따른 구동 소자 렌즈 표면에서 6 mm 떨어진 매질에서의 방사 형태를 보여준다. 방사 형태에서 부엽의 크기는 음향 벽의 감쇠비가 커질수

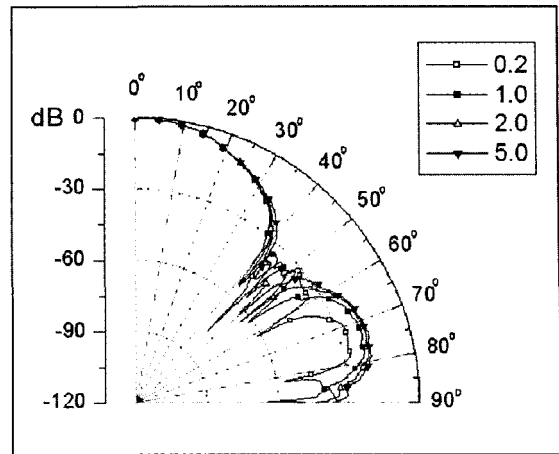


그림 15. 렌즈에 대한 음향 벽의 감쇠 계수의 비에 따른 초음파 방사 형태 (음향 벽 #2)
 Fig. 15. Acoustic radiation pattern for the various values of the ratio of the attenuation coefficient of the acoustic wall to that of the lens (acoustic wall #2).

록 주엽에 비하여 조금씩 상승하나 변환기 표면에 닿는 부엽의 면적은 음향 벽의 감쇠비가 1.0일 때 가장 적다. 이러한 현상은 음향 벽과 렌즈의 감쇠비가 1에 근접할수록 변환기 표면을 따른 음파의 전파가 원활함을 나타낸다. 결론적으로 음향 벽에 의해 인접 소자로 전파되는 음향 간섭을 차단하기 위해서는 음향 벽을 렌즈와 동일한 재질로 사용할 때 그 효과가 가장 큼을 알 수 있다.

VII. 결론

의료 진단용으로 널리 이용되는 압전형 1차원 배열 압전형 초음파 변환기는 압전 소자간의 음향 간섭으로 성능이 저하하고 영상의 질을 저하시킨다. 본 연구에서는 convex 배열형 변환기에서 음향 벽의 형상, 크기 및 재질에 따른 음향 간섭 수준을 유한 요소법을 이용하여 해석하였다. 시뮬레이션 결과, 음향 벽을 설치함으로써 기존의 커프로 방지할 수 없는 구동 소자의 표면에서 인접 소자로 전파되어 야기되는 음향 간섭을 저하시킬 수 있음을 확인하였다. 상단부는 커프 폭과 동일하고 하단부의 폭이 다른 직각 사다리꼴 형상을 가지는 음향 벽의 형상에 대해 시뮬레이션한 결과, 하단 폭이 “커프 폭 + 0.5 * 압전 소자 폭”이 되는 음향 벽 #2 (그림 7)가 음향 간섭이 가장 작은 것으로 나타났다. 또한 음향 벽의 높이가 높을수록 소자간 음향 간섭의 차단 효과가 큰 것으로 나타났다. 음향 벽의 감쇠 계수는 음향 간섭이 큰 구동 소자와 가까운 소자인 경우 음향 렌즈와 동일한 값을 가질 때 음

음향 간섭이 가장 작은 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 1차원 배열형 초음파 변환기의 소자간 음향 간섭을 최소화하는 최적 설계를 위한 중요한 정보를 제공할 것으로 예상된다. 또한 치료용, 비파괴 검사용, 수중 초음파 변환기의 성능 개선을 위해 유용한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술 연구개발 사업의 지원에 의하여 이루어진 것임 (1-PJ1-PG3-31400-0023).

참고 문헌

1. S. W. Smith, O. T. von Ramm, M. E. Haran and R. L. Thurstone, "Angular response of piezoelectric elements in linear phased array ultrasound scanners," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.*, **26**, 185-191, 1979.
2. N. Felix, D. Certon, E. Lacaze, M. Lethiecq and F. Patat, "Experimental investigation of cross-coupling and its influence on the elementary radiation pattern in 1D ultrasound arrays," *IEEE Ultras. Symp. Proc.*, 1053-1056, 1999.
3. G. S. Kino and R. Baer, "Theory for cross-coupling," *IEEE Ultras. Symp. Proc.*, 1013-1019, 1983.
4. J. Larson, "Non-ideal radiations in phased array transducers," *IEEE Ultras. Symp. Proc.*, 673-684, 1984.
5. Y. R. Roh and B. T. Khuri-Yakub, "Finite element modeling of capacitor micromachined ultrasonic transducers," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.*, **49**, 293-298, 2002.
6. B. Cugnet, A. C. Hladky and J. Assaad, "Numerical technique to reduce cross-coupling in acoustical arrays," *Ultrasonics*, **40**, 503-506, 2002.
7. J. Assaad and C. Bruneel, "Radiation from finite phased and focused linear array including interaction," *J. Acoust. Soc. Am.*, **101**, 1859-1866, 1997.
8. W. Qi and W. Cao, "Finite element and experimental study of composite and 1-D array transducers," *Proc. SPIE*, **3341**, 119-130, 1998.
9. 이수성, 김영신, 노용래, "압전형 초음파 배열 변환기의 음향간섭 레벨에 관한 연구," *한국음향학회지*, **21** (1), 56-61, 2002.
10. J. H. Mo, B. Fowikes, A. L. Robinson and P. L. Carson, "Crosstalk reduction with a micromachined diaphragm structure for integrated ultrasound transducer arrays," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.*, **39**, 48-53, 1992.
11. R. Lerch, "Simulation of piezoelectric devices by two- and three-dimensional finite elements," *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr.*, **37**, 253-247, 1990.
12. J. Sato, M. Kawabuchi and A. Fukumoto, "Dependence of the electromechanical coupling coefficient on the width-to-thickness ratio of plank-shaped piezoelectric transducers used for electronically scanned ultrasound diagnostic systems," *J. Acoust. Soc. Am.*, **66**, 1609-1611, 1979.
13. J. Sato, H. Fukukita, M. Kawabuchi, and A. Fukumoto, "Farfield angular radiation pattern generated from arrayed piezoelectric transducers," *J. Acoust. Soc. Am.*, **67**, 333-335, 1980.
14. C. S. DeSilets, H. D. Fraser, and G. S. Kino, "The design of efficient broad-band piezoelectric transducers," *IEEE Trans. Son. Ultrason.*, **25**, 115-125, 1978.

저자 약력

● 김영신 (Youngshin Kim)

2001년 2월: 경일대학교 기계설계학과 (공학사)
 2001년 3월 ~ 현재: 경북대학교 기계공학과 석사과정
 * 주관심분야: 초음파 트랜스듀서, 의료용 초음파

● 노용래 (YoungRae Rho)

한국음향학회지 제20권 제3호 참조