

원형 배열 초음파 트랜스듀서의 개발

김희원*, 노용래**

* 경북대학교 기계공학과

** 경북대학교 기계공학부

Fabrication of the ultrasonic circular array transducer

Hee-won Kim* and Yongrae Roh**

*Department of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

**School of Mechanical Engineering, Kyungpook National University

*bjaru@usound.knu.ac.kr, **yryong@knu.ac.kr

요 약

심근 경색 및 뇌졸중 등 혈관과 관련된 질환들의 진단 및 치료의 목적으로 미세 크기의 원형 배열 초음파 트랜스듀서가 사용되고 있다. 원형 배열 초음파 트랜스듀서는 종래의 선형 배열 트랜스듀서에 비해 반경 방향의 입체적 진단을 가능케 하고 높은 감도 및 해상도를 구현할 수 있는 장점을 가진다.

본 연구에서는 이러한 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 개발을 위하여, 유한요소법 및 이론적인 해석으로 트랜스듀서의 방사특성을 분석함으로써 무지향성을 이루기 위한 트랜스듀서 내 진동자의 최적 규격을 설정하였다. 나아가 해석 결과에 따라 직경이 약 10mm정도가 되는 알루미늄(Al_2O_3) 튜브에 32개의 진동자가 원형으로 배열된 트랜스듀서 시제품의 제작 및 방사특성 측정 실험을 수행함으로써 설계 결과의 타당성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 심혈관 등의 장애에 따른 심장 및 혈관 질환의 급증으로 IVUS(Intravascular Ultrasound)의 필요성이 급증하게 되었다. IVUS를 이용한 혈관 내 초음파 검사법은 고주파의 초음파를 이용하여 혈관 내에서 직접 초음파를 발생시켜 혈관의 구조를 관찰할 수 있는 방법이다. 최근 급격히 증가하고 있는 동맥경화증 및 심장 질환의 진단과 치료 방침을 결정하는데 많은 도움을 주는 검사법으로서, 최근 실제 임상에서 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 초음파를 방사하는 압전 소자들을 원형으로 배열한 전자주사형 트랜스듀서의 방사패턴에 관심을 두고 32개의 소자가 분포되어 무지향성의 방사패턴을 가지는 원형 배열 초음파 트랜스듀서를 제작하였

다. 본 연구에서는 기초연구단계로 크기가 약 10mm 정도인 트랜스듀서를 해석하고 제작하였다.

기존에 제작한 원형배열 초음파 트랜스듀서의 제작 방법들을 검토하여 실제 제작할 트랜스듀서의 형상을 결정하고 이론적 함수에 의한 해석과 유한요소법을 이용한 해석을 병행하여 무지향성을 가지는 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 치수를 결정하였다.

이런 혈관 내부 조영용 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 소자로 사용될 수 있는 재료로 크게 PVDF와 PZT를 손꼽을 수 있다.[1,2] 본 연구의 능동소자로는 PZT를 채택하였다. 그리고 선택한 소자 앞으로는 방사되는 파의 원할한 진행을 위한 1, 2차 정합층을 두고 후면에는 뒤로 방사되는 원하지 않는 파의 흡수를 위한 흡수층을 두기로 결정하였다. 이들 소자와 정합층 그리고 후면층의 조합을 단단한 알루미늄 원통기반 위에 연속적으로 두른 형태로 그 형상을 정하였다.[1]

이렇게 결정된 트랜스듀서의 형상에 따라 직경 9.63mm의 알루미늄 원통에 32개의 소자가 균일하게 배열되어 전체 직경이 13mm 정도 되는 원형 배열 초음파 트랜스듀서를 제작하였다.

II . 이론적 해석

2.1. 이론적 함수에 의한 해석

본 연구에서 제작하고 실험하고자 하는 트랜스듀서의 형상은 단단한 원통에 판 모양의 소자가 원형으로 배열되어 있는 형태이다. 이렇게 판 형태의 소자가 원형으로 배열되었을 때의 지향함수는 product theorem에 의한 해석(2)과 같이 구할 수 있다[3][4].

이때 소자 뒤로 방사되는 파는 임의의 함수 $G(\phi)$ 를

곱함으로서 모두 무시하였다.

$$D_{cb}(\theta, \phi) = P_0 \sum_{m=1}^M \left[e^{\frac{j2\pi a}{\lambda} \sin\theta \cos\phi} G(\phi) \right. \\ \left. S\left(\frac{1}{2}kl\cos\theta\right) S\left(\frac{1}{2}kws\sin\theta\sin(\phi-\phi_m)\right) \right] \quad (1)$$

$$G(\phi) = \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{1}{2} \frac{|\sin(\phi-\phi_m+\frac{\pi}{2})|}{\sin(\phi-\phi_m+\frac{\pi}{2})} + \frac{1}{2} \right\} \quad (2)$$

여기서 θ 는 소자 길이 방향으로의 각, ϕ 는 소자 너비 방향으로의 각을 의미하고 P_0 는 주파수의 함수로 크기만을 나타내는 상수이고, M 은 트랜스듀서에 배열된 소자의 수를 나타내고, a 는 소자가 배열되어 소자를 지지하는 원통의 반경, λ 는 파장을 의미한다. 그리고 $\phi_m = m \times 360^\circ / M$ 이다.

위의 이론적 함수로부터 32개의 소자가 직경 3mm인 원에 원형으로 균일하게 배열되어 있을 때, 소자의 크기에 큰 영향없이 무지향성의 방사패턴을 나타냄을 알 수 있었다.[5]

이에 통상 의료용으로 적용되는 스택 (후면층 + PZT + 2개의 정합층)의 치수를 적용하고 직경 9.63mm의 원통에 둘러 만들었을 때의 방사특성을 이론적 함수로 해석해보았다. 여기에 적용된 스택의 치수는 표 1과 같다. 해석 결과 트랜스듀서의 방사특성이 그림 1에서 보는 바와 같이 무지향성을 나타냄을 알 수 있었다.

2.2. 유한요소 해석

이론적 함수에 의한 해석으로는 소자 뒤로 방사되는 파에 의한 전체 음장특성의 변화를 살피볼 수 없다. 그리고 트랜스듀서의 각 부분에 적용되는 재료의 특성이 배제되어 있어서 정확한 예측이 어렵다. 따라서 이에 유한요소 상용프로그램인 PZFLEX를 이용하여 위의 이론적 함수에 의한 해석에 적용한 스택의 치수 그리고 물성을 적용하여 트랜스듀서를 모델링 하고 방사특성을 시뮬레이션 하였다.

모델링한 트랜스듀서의 구조를 그림 2-(a)에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 중심에 IVUS의 안내 철사가 들어갈 빈 공간을 시작으로 가장자리 쪽으로 스택을 지탱할 알루미늄 층, 뒤로 방사되는 음파를 흡수하기 위한 후면층, 초음파를 발생시키는 능동소자들이 32개 배열된 소자 배열 층, 발생된 음파의 원할한 진행을 위한 1, 2차 정합층, 실제 초음파가 방사되는 매질 층으로 전체 31mm의 직경을 가지는 원으로 모델링 하

였다. 여기서 방사되는 매질을 혈관 내의 피와 임피던스 특성이 유사한 물로 설정하였다. 그리고 실제 직경 1mm 내외 크기의 IVUS 센서가 적용되는 혈관의 직경이 2.5mm 정도가 되므로 똑같은 비율을 적용하여 방사 매질층을 포함한 전체 모델링의 크기를 위와 같이 설정하였다. 유한요소 해석을 한 모델에 적용한 스택의 치수 및 물성은 표 1과 같다.

그림 2-(b)는 제작하고자 하는 원형 배열 초음파 트랜스듀서에서 32개의 소자를 동시에 방사시켰을 때의 방사특성을 보여준다.

유한요소 해석을 통해 앞서 결정한 스택의 치수대로 원형 배열 초음파 트랜스듀서를 제작했을 때, 방사특성이 이론적 함수에 의한 해석과 거의 유사한 무지향성을 나타냄을 확인할 수 있다.

III. 제 작

이론적 해석을 통해 무지향적인 방사특성을 지닐 것으로 예상되는 원형 배열 초음파 트랜스듀서를 직접 제작하였다. 그림 3은 제작한 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 단면 개략도이다. 먼저 소자를 포함한 전체 구조를 지탱할 지지부로 직경이 9.63mm이고 두께가 1.5mm가 되는 알루미늄 튜브를 적용하였다.[1] 여기에 2개의 정합층과 1개의 후면층을 표 1의 물성과 치수대로 제작하여 두께 0.310mm의 PZT 소자를 사이에 두고 집착하여 스택을 제작하였다.

이렇게 제작한 스택을 각 소자의 너비가 1.038mm, 커프의 폭이 0.025mm가 되도록 32개의 소자로 절단을 하였다. 가공된 스택을 결선을 함으로써, 원형 배열 트랜스듀서를 구성하였다.

실제 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 구동은 배열된 소자수의 약 1/5~1/4정도를 묶어 사용하였다.[6]

그림 4는 이렇게 제작한 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 개략도와 실제 사진을 나타낸다.

IV. 측 정

이렇게 제작한 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 방사특성을 수조에서 측정하였다. 그림 5는 수조에서의 방사패턴 측정을 위한 실험 장치도 사진이다. 그림 6의 측정결과에서 보는 바와 같이 공진 주파수가 약 5MHz이고 -6dB 대역폭이 75.47%의 비교적 광대역의 음파특성을 지님을 알 수 있다. 그림 7은 제작한 원형 배열 초음파 트랜스듀서에서 소자 하나의 방사특성을 보여주는 빔프로파일과 제작한 트랜스듀서에 배열된 소자의 개수 중 절반인 16개를 동시에 구동시켰을 때와 18개를 동시에 구동시켰을 때의 빔패턴을 보여준다. 그림을 통해 알 수 있듯이 소자 하나하나의 지향성을 가지고 방사되

나, 원형으로 균일하게 배열됨으로 인해 전체 방사패턴은 무지향성이 됨을 알 수 있다. 이는 앞서 이론적인 해석을 통해 예상한 결과들과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 IVUS용 초음파 마이크로 센서를 제작하기 위한 기초연구로 크기가 실제 크기에 비해 좀 큰 직경이 약 10mm가 되는 알루미늄 튜브에 32개의 소자가 원형으로 배열된 원형배열 초음파 트랜스듀서를 제작하고 그것의 방사특성을 측정해 보았다. 개개의 소자가 지향성을 가지고 있어도 원형으로 균일하게 작은 간격을 두고 배열되어 있으면 전체 방사특성은 무지향성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구의 내용에서 보는바와 같이 이론적 해석의 결과와 실제 제작하여 측정된 결과값이 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (01-PJ1-PG3-31400-0023)

참고문헌

1. Andrew P. Proudian, Michael J. Eberle, Adam D. Savakus, Horst F. Kiepen, Douglas N. Stephens, David H. Rammler and C. Zanelli, "Apparatus and Method for Imaging Small Cavities" U. S. Patent No. 4,917,097, 1990
2. K. Hynynen, J. Dennie, John E. Zimmer, Walter N. Simmons, Ding Sheng He, Frank I. Marcus, and M. Aguirre, "Cylindrical Ultrasonic Transducers for Cardiac Catheter Ablation", IEEE Tran. on Bio. Engineering, Vol. 44, 1997
3. L. J. Ziomek, "Fundamentals of Acoustic Field Theory and Space-Time Signal Processing" CRC press, pp. 497-579, 1995.
4. P. M. Morse and K. Uno. Ingard, "Theoretical Acoustic", McGraw-Hill, pp. 306-399, 1968.
5. 김희원, 노용래, "원형 배열 초음파 트랜스듀서의 방사특성", 한국음향학회 영남지회 학술발표회 논문집, 제8권, 2001.
6. Matthew O'Donnell, M. J. Eberle, D. N. Stephens, J. L. Litzza, K. San. Vicente, and B. M. Shapo, "Synthetic Phased Arrays for Intraluminal Imaging of Coronary Arteries", IEEE. Trans. on Ultra.

Ferro. & Freq. control, Vol. 44, 1997.

표 1. 스택의 치수 및 물성

	dimension	velocity	density
1차 matching	0.086 mm	2451 m/s	3386 kg/m ³
2차 matching	0.104 mm	2589 m/s	1158 kg/m ³
PZT-5H	0.310 mm	4560 m/s	7500 kg/m ³
backing	1.017 mm	1228 m/s	2605 kg/m ³

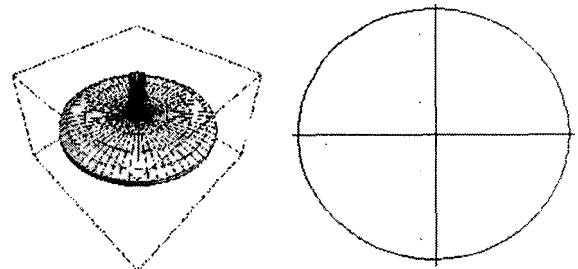
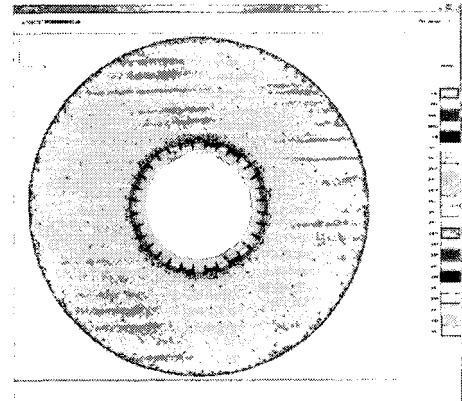
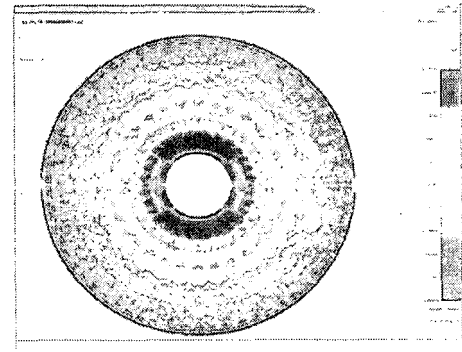


그림 1. 이론적 함수에 의한 해석 (3차원 및 2차원 방사특성)



(a) 모델링



(b) 방사특성
그림 2. PZFLEX 해석

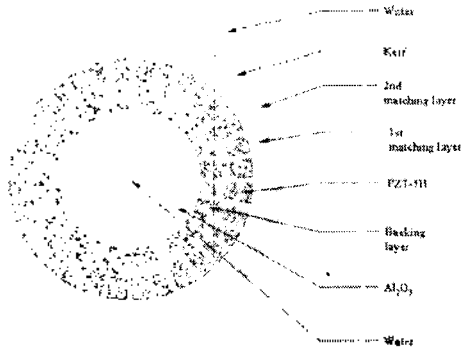
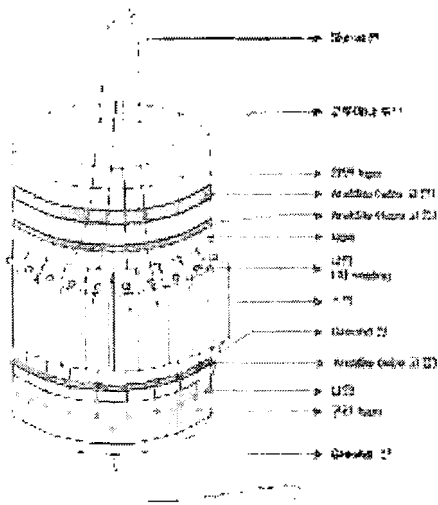
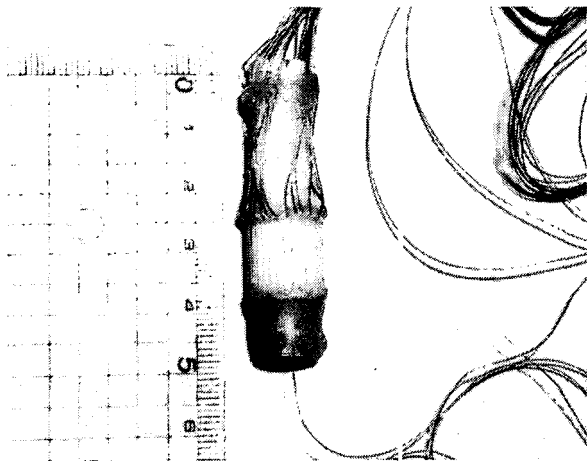


그림 3. 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 단면 개략도



(a) 개략도



(b) 실물 사진

그림 4. 제작한 원형 배열 초음파 트랜스듀서

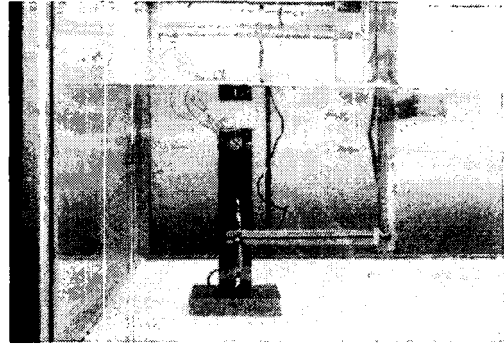


그림 5. 방사패턴 실험장치도

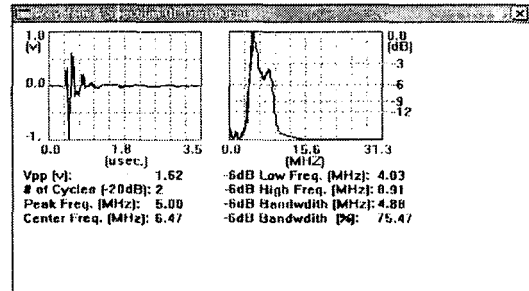
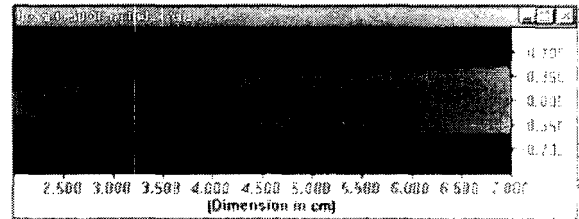
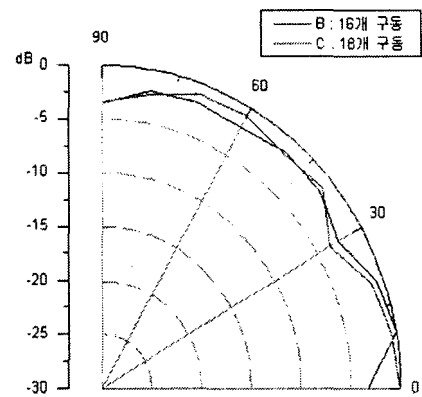


그림 6. 음파 특성



(a) beam profile (소자 1개 구동)



(b) beam pattern

그림 7. 제작한 원형 배열 초음파 트랜스듀서의 방사특성