

# 비파괴검사를 위한 PZT-5A 탐촉자에 관한 연구



## A Study on PZT-5A Probe for Nondestructive Inspection

황현석\*, 이종덕\*, 송준태\*

(Hyun-Suk Hwang, Jong-Deok Lee and Joon-Tae Song)

### Abstract

In this study, piezoelectric transducers were designed and manufactured using PZT-5A which had relatively high electromechanical coefficient, nondestructive testing system was developed which was able to inspect automatically using stepping motors, PC-Lab, and PC-Scope. The optimum design conditions for NDT were presented and verified comparing PZT-5A probes with commercial probes. It was proved by simulation and experiments that Epoxy is a good material as matching and backing layers. The envelope was reduced 60% with matching layer and 76% with matching and backing layer. NDT was successfully carried out for aluminum test pieces. Distance error of PZT-5A probe was 2.8%.

**Key Words(중요용어)** : NDT(비파괴검사), piezoelectric transducer(압전변환기), probe(탐촉자), PZT-5A, matching layer(정합층), backing layer(후면층)

### 1. 서 론

초음파를 이용해 구조물의 상태와 특성을 평가하고자 하는 노력은 1929년에 소련의 Sokolov<sup>1)</sup>에 의해 금속내의 내부 결함을 찾고자 하는 시도에 의하여 시작되었으며, 요즘에는 이를 여러 분야에 응용하여 보다 정확화, 간단화하기 위하여 많은 연구를 수행하고 있다.<sup>2)</sup>

비파괴검사의 방법에는 전자기파(X-ray), 초음파, 자기공명(MRI)등 여러 가지의 방법을 이용하여 수행할 수 있으나 초음파를 이용한 방법은 음파의 기본적 성질인 매질을 통한 전파를 이용하므로 다른 방법에 비하여 그 측정 대상이 광범위하며 또한 압전트랜스듀서의 발명으로 인하여 그 구조가 간단화되었고, 가격이 저렴하다는 장점을 가지고 있어서 재료 내부의 결함을 검출 및 사용 중에 발생하는 초음파 탐상시험이나 재료의 두께를 측정하는 것 그리고 현대의학에서 진단용으로 각광을 받고 있다. 또한, 다른 장비로는 측정이 곤란한 부분에서도 용이하므로 교량, 선박 등 조업 중이거나 노후된 구조물, 기계류의 연속적인 상태진단을 가능케 하고 급작스러운 기계류의 파괴 및 작업손실을 예방할 수 있다.

본 연구에서는 전기기계결합계수가 0.6~0.7정도로 우수한 PZT-5A를 압전층으로 선정하여 400KHz 변환기를 제작하여,<sup>3,4)</sup> 응답파형의 분석 및 비파괴검사를 통하여 상용 변환기와 비교 평가하고자 하였다. 또한 압전현상의 이론적 고찰을 토대로 정합층과 후면층에 대하여 시뮬레이션을 하고 이를 설계 제작하여 평가하였다.<sup>9)</sup>

또한 검사를 자동화하기 위하여 pc, pc-scope, data acquisition board 및 스텝핑 모터등을 이용하여 시스템을 설계 제작하였다.<sup>5,7,11)</sup> 그리고 제작한 PZT-5A 변환기와 상용변환기를 가지고 실제로 비파괴검사를 하므로써 제작한 시험편과 상용변환기와 비교 고찰하였다.

### 2. PZT-5A 탐촉자의 설계

압전변환기는 전기적인 에너지를 기계적인 에너지, 즉 음향 에너지로 변환 또는 역으로 변환하는 장치로서 변환기는 전기적인 에너지와 기계적인 에너지 사이에 높은 변환효율을 필요로 한다. 따라서 압전체는 전기기계결합계수가 큰 물질일수록 좋은 효율을 보인다. 하지만 측정대상 물질의 음향임피던스는 대부분 낮기 때문에 음파의 전파에 있어서는 이런 높은 음향임피던스를 가진 압전층은 문제가 되는 경우도 있다. 본 연구에서는 PZT-5A를 압전재료로 선정하여 직경은 20[mm] 그리고 두께는  $\lambda/2$

\* : 성균관대학교 공대 전기, 전자 및 컴퓨터 공학부

접수일자 : 1996년 10월 28일

심사완료 : 1996년 12월 24일

두께인 5.44[mm]로 압전변환기를 설계 제작하였는데 사용한 PZT-5A의 설계 제작한 탐촉자의 모습은 그림 1, 그리고 사진 1과 같다.<sup>8)</sup>

정합층의 역할은 측정하고자 하는 대상과 압전층의 음향임피던스의 큰 차이로 인한 음파의 반사를 줄이기 위한 층으로서 두 음향임피던스의 기하학적 평균치( $\sqrt{Z_1 Z_2}$ )를 가지는 물질을 사용하거나 multi-layer를 사용하고 그 두께는 경계면에서의 반사와 투과를 고려하여  $\lambda/4$ 로 설계하는 것이 이상적이다. 하지만 본 연구에서는 구입이 용이하고 또한 음향방사임피던스의 컴퓨터 시뮬레이션 결과인 그림 2와 그림 3을 통하여 가장 이상적인 값인  $7.1 \times 10^6$ [kg/ms]과 유사한 음향임피던스를 가지는 음향임피던스가  $3.26 \times 10^6$ [kg/ms]인 에폭시(모델명 :

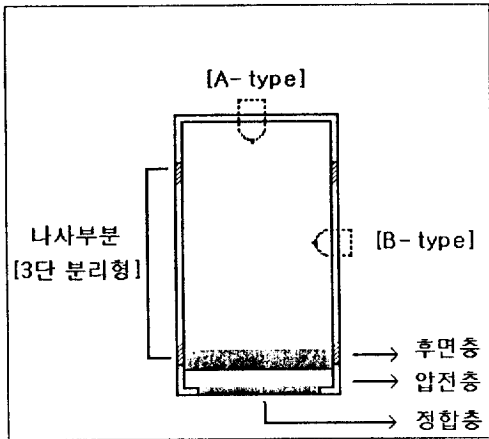


그림 1. 설계한 탐촉자의 구조  
Fig. 1. Structure of design transducers.

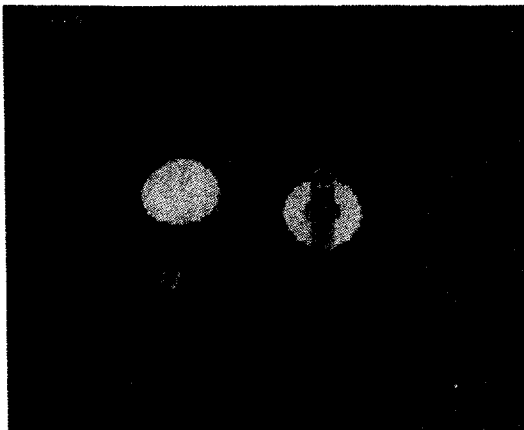


사진 1. 제작한 탐촉자의 외형  
Photo. 1. Figure of prepared probes.

DS1000)를 사용하여 정합층을 설계하였다.<sup>[2][3][9]</sup> 또한 후면층으로의 초음파의 방사를 억제하는 후면층의 재료 역시 음향손실이 높은 에폭시를 사용하였다.

그림 2와 그림 3은 각각 압전층이 PZT-5A일 때 표준화된 주파수에 따른 음향방사저항  $R_a$ 의 변화를 후면층이 있는 경우와 없는 경우에 대하여 시뮬레이션한 그래프이며 정합층 및 후면층으로 에폭시를 사용한 경우 이상적인 경우와 유사함을 알 수 있다.

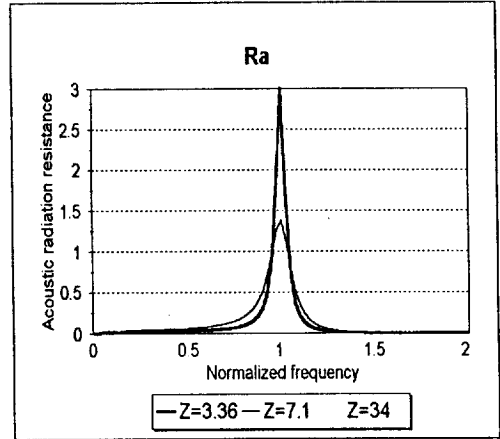


그림 2. 후면층이 없는 경우 정합층에 의한 음향방사저항의 변화

Fig. 2. Acoustic radiation resistances on different matching layer without backing layer.

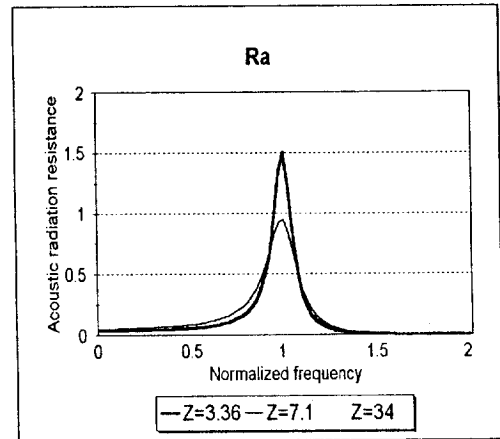


그림 3. 후면층이 있는 경우 정합층에 의한 음향방사저항의 변화

Fig. 3. Acoustic radiation resistances on different matching layer with backing layer.

### 3. 탐촉자의 성능평가

#### 3.1. 임펄스 응답

본 실험은 각 탐촉자에 있어서의 임펄스에 대한 진동형태 및 실제 진동주파수를 관찰하고, 그 결과 파형으로부터 실제 인식가능한 최소 깊이를 대략 유추할 수 있는 가장 손쉬운 방법이다. 각 탐촉자의 임펄스 응답은 그림 4에서 7과 같다.

그림 4, 5, 6을 비교해 볼 때 정합층과 후면층을 설계함으로써 펄스의 폭이 크게 감소되었는데 이는 설계한 정합층과 후면층이 음향임피던스가 다른 매질사이에 초음파의 감쇄가 비교적 적게 나타나며,

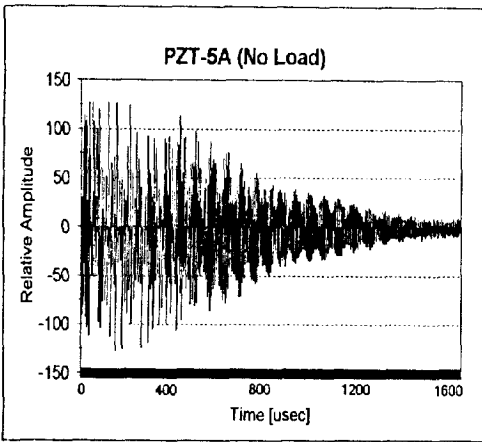


그림 4. 무부하 PZT-5A 탐촉자의 임펄스 응답  
Fig. 4. Impulse response of no load PZT-5A Transducer.

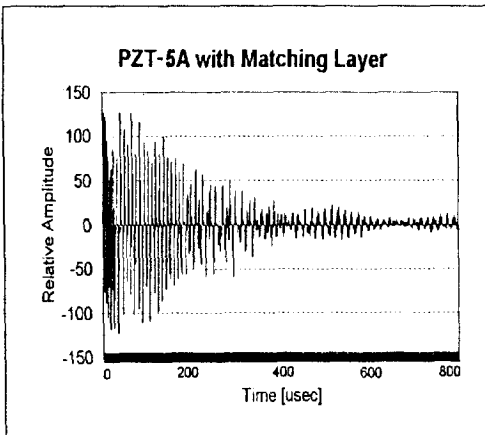


그림 5. 정합층을 가진 PZT-5A 탐촉자의 임펄스 응답  
Fig. 5. Impulse response of PZT-5A Transducer with matching layer.

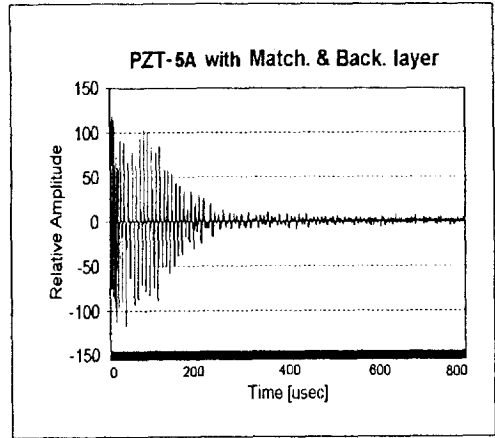


그림 6. 정합층과 후면층을 가진 PZT-5A 탐촉자의 임펄스 응답  
Fig. 6. Impulse response of PZT-5A transducer with matching and backing layers.

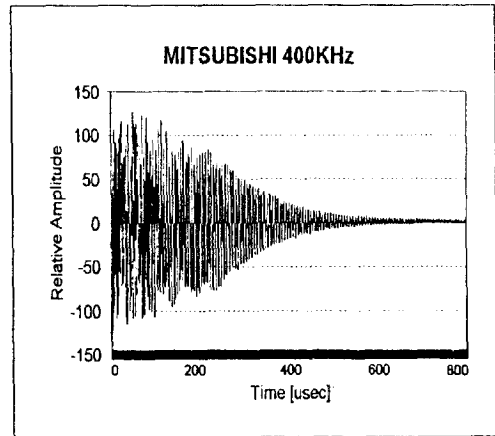


그림 7. 미쯔비시 탐촉자의 임펄스 응답  
Fig. 7. Impulse response of MITSUBISHI Transducer

동시에 펄스폭을 감소시키므로써 비교적 우수하게 작용함을 확인할 수 있었다. 이로써 해상도의 관점, 즉 인식 가능한 깊이의 관점으로 볼 때 정합층과 후면층을 설계함으로써 해상도를 향상시킬 수 있음이 증명되었다. 또한 그림 6과 그림 7에서 미쯔비시사 probe와 제작한 PZT-5A probe를 비교해 볼 때 펄스폭의 관점에서는 양호하게 나타났다.

#### 3.2. 반사파 측정

본 실험은 깊이 110mm 정도의 물(왕복시간 147  $\mu$ sec 정도)에서 수중의 깊이를 인식하도록 하면서

각 탐촉자의 인식가능한 최소 깊이를 평가하고자 하는 실험이다. 그리고 그 측정된 그림을 그림 8~10에 보였다. 반사파를 측정할 때에 펄스폭이 크면 해상도가 낮아지므로 반사파의 진폭은 크고, 펄스폭이 좁은 경우가 특성이 좋은 경우이다. 그림 8과 9는 설계한 PZT-5A의 특성을 측정한 그림인데 진폭이 50으로 감소하는 점을 볼 때 무부하 상태에 비하여 정합층만 있는 경우는 60%로 그리고 정합층과 후면층이 있는 경우는 76%로 펄스폭이 감소 했음을 확인할 수 있었다. 또한 그림 10의 같은 주파수의 미

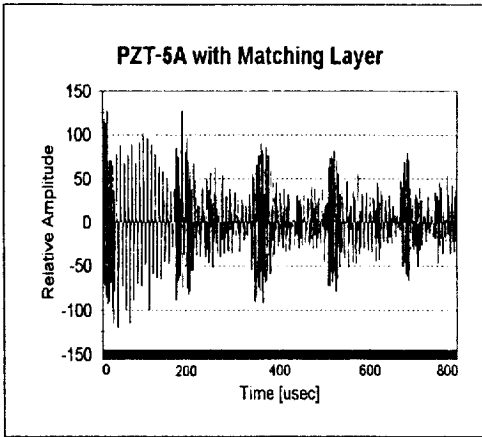


그림 8. 정합층을 가진 PZT-5A 탐촉자의 반사파 응답  
Fig. 8. Pulse echo response of PZT-5A transducer with matching layer.

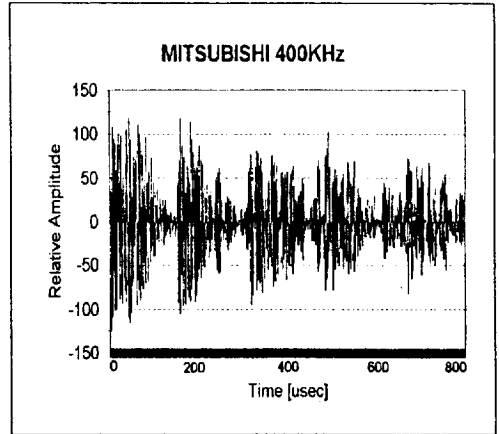


그림 10. 미쓰비시사 탐촉자 5의 반사파 응답  
Fig. 10. Pulse echo response of MITSUBISHI transducer.

쓰비시사 제품과 비교시도 반사파의 응답 특성이 양호함을 알 수 있다.

#### 4. 비파괴검사 장치

비파괴검사실험을 자동적으로 수행하기 위한 시스템을 설계 제작하였다. 전체 시스템의 구성은 그림 11과 같다. 즉, 제작한 탐촉자에 임펄스를 인가하는 신호발생부, 시험편에서 반사되어 돌아온 음파를 분리하고 다시 전기적 신호로 변환 증폭하는 발수신 분리 및 증폭부, 스테핑 모터를 이용하여 만든 2차원 주사장치 및 스테핑 모터 구동회로, 그리고 마지막으로 프로그램에 의해 펄스를 인가하고 반사파를 받아들여 데이터로 처리하는 하드웨어부로 나눌 수 있다. 여기서 스테핑 모터의 구동 및 데이터의 인식 부분은 인터페이스 보드인 pc-lab과 pc-scope를 이용하여 자동적으로 검사하도록 처리하였으며 그 흐름도는 그림 12와 같으며 프로그램은 C와 assembler를 이용하였다.

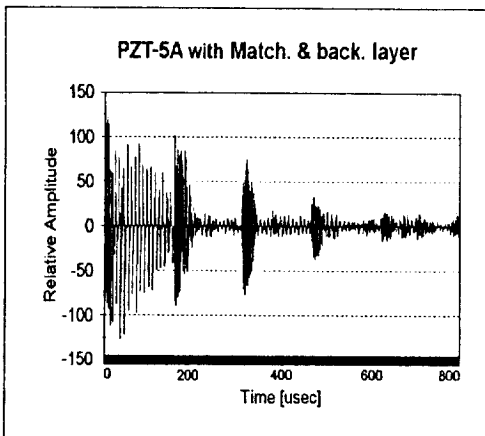


그림 9. 정합층과 후면층을 가진 PZT-5A 탐촉자의 반사파 응답.  
Fig. 9. Pulse echo response of PZT-5A transducer with matching and backing layers.

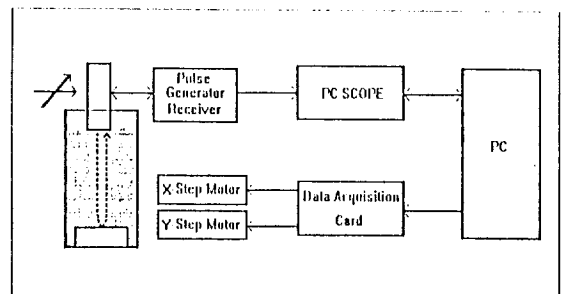


그림 11. 측정장치의 블럭도  
Fig. 11. Block Diagram of measurement system.

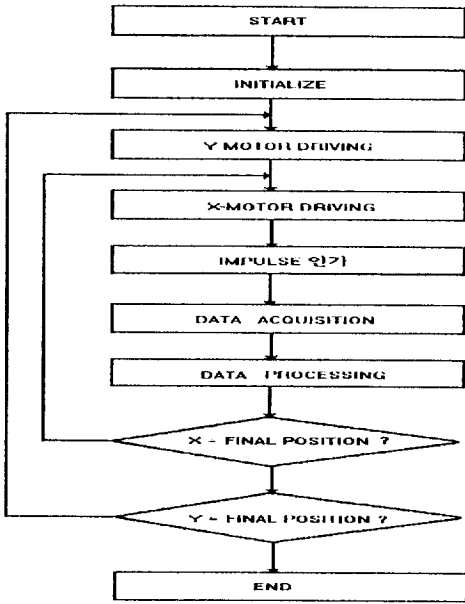


그림 12. 흐름도  
Fig. 12. Flow Chart

5. 비파괴검사

스테핑 모터를 이용하여 전체 시험편에 대하여 자동적으로 검사가 가능하도록 제작한 비파괴검사 시스템을 이용하여 제작한 PZT-5A 변환기와 같은 주파수의 미쯔비시사의 상용변환기를 가지고 알루미늄 시험편(40×38×51)을 검사하였는데 앞의 실험을 통하여 예견된 것처럼 그림 13~15에서 보이듯이 거리 오차의 면에서 미쯔비시사의 제품은 6.4%, 제작한 PZT-5A 변환기는 2.8%로 PZT-5A 변환기쪽이 비

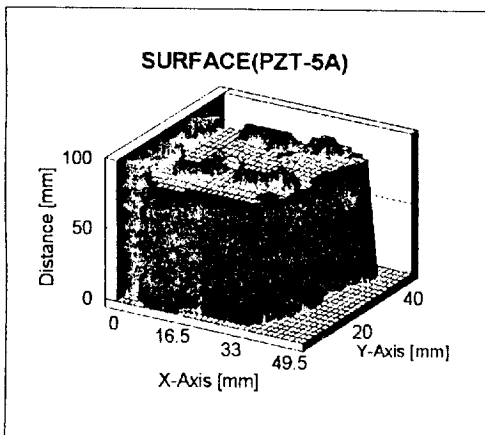


그림 13. 표면 검사를 위한 시험편  
Fig. 13. Test piece for surface inspection.

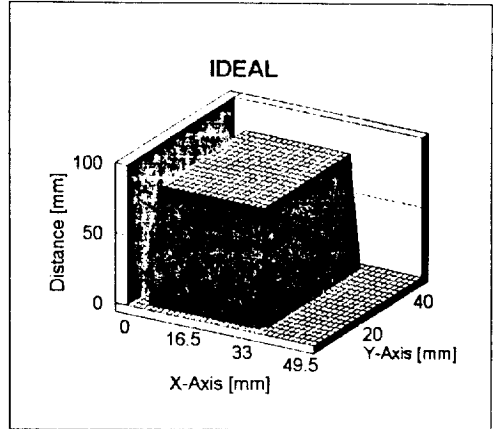


그림 14. PZT-5A 탐촉자를 이용한 표면검사도  
Fig. 14. Surface inspection using PZT-5A probe.

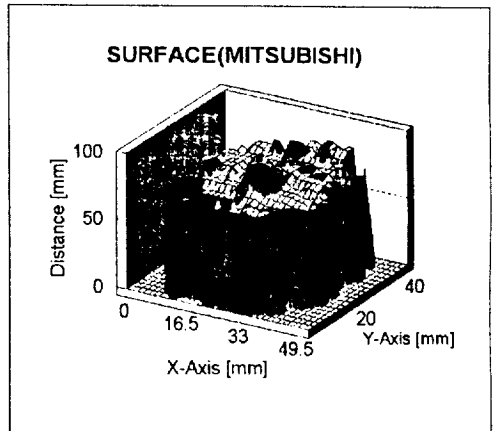


그림 15. 미쯔비시 탐촉자를 이용한 표면검사도  
Fig. 15. Surface inspection using MITSUBISHI probe.

교적 우수하게 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 전기기계결합계수가 큰 PZT-5A를 이용하여 변환기를 제작하여 상용 변환기와 비교 고찰하고 또한 검사를 자동화할 수 있는 시스템을 제작하여 알루미늄 시험편을 검사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탐촉자의 정합층 재료로 선정된 에폭시는 시물레이션과 실험에 의하여 특성이 우수함을 확인하였다.
- 2) 설계한 정합층과 후면층이 음향임피던스가 다른 매질사이에 초음파의 감쇄가 비교적 적게

전달하는 작용을 하며, 정합층만 있는 경우는 60%로 정합층과 후면층이 있는 경우는 70%로 펄스의 폭을 감소시키므로써 비교적 우수하게 작용함을 확인할 수 있었다.

- 3) 제작한 PZT-5A probe를 이용한 표면검사는 거리 오차의 면에서 2.8%로 양호한 것으로 판명되었다.

이에 의하여 제작한 PZT-5A probe는 특성이 양호하며 비파괴검사에의 응용이 가능하다고 사료된다.

“본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초 전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음”

### 참 고 문 헌

1. Sokolov, W. S : Testing of Materials. Moscow : Gozenergizdat 1957.
2. Josef Krautkramer, Herbert Krautkramer Ultrasonic Testing of Materials: Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York 1977.
3. Gordon S. Kino : ACOUSTIC WAVES, DEVICES, IMAGING, AND ANALOG SIGNAL PROCESSING : PRENTICE-HALL, INC. 1987.
4. B. S. Kim, "A P/S Mode Transducer with a Piezoelectric Ceramic of PZT Type : Theory and Fabrication", Material Evaluation, 40, pp186-190, Feb. 1982.
5. D. A. L. Collie, M. A. Player, "Extended computer method for predicting the transient response of ultrasonic NDT probes", Ultrasonic, Vol. 27, pp141-149, 1989.
6. P. J. Highmore, "Impedance matching at ultrasonic frequencies using thin transition layers", Ultrasonics International Conference Processing, pp112-118, 1973.
7. J. Yu Lu and J. G. Greenleaf, "Pulse echo imaging using a nondiffracting beam transducer", ultrasound in medicine and biology, 1990.
8. Morio Onoe and Takeshi Yano, "Analysis of Flexural Vibrations of Circular Disk" IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, vol. su-15, no.3 July 1968.
9. Charles S Desilets, "The Design of Efficient Broad-Band Piezoelectric Transducers" IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, vol. su-25, no.3 May 1978.
10. Michael T. Wauk, II, "Determination of Acoustic Transducer Conversion Loss by Impedance Measurement" IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol. su-16, no.3 July 1969.
11. T. R. Gururajz, Walter A. Schulze, "Piezoelectric Composite Materials for Ultrasonic Transducer Applications. Part I, Part II" IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol. su-32, no.4 July 1985.