

이 병 호* · 송 경 오** · 이 중 현*

* 한국과학기술원 기계공학과
** 서울대학교 전자공학과

PERFORMANCE ANALYSIS OF ULTRASONIC TRANSDUCERS
; SIMULATION AND EXPERIMENTS

LEE BYUNG HO*, SUNG KOENG MO**, IH JONG HYUN*
* DEPT. OF MECHANICS, KAIST
** DEPT. OF ELECTRONICS ENG., S.N.U.

요 약

II. 일반적인 설계 개념

압전형 초음파 변환자의 특성을 압전체, matching layer, backing, 매질, tuning 및 구동 회로를 고려하여 해석하였다. 압전체는 KLM 모델을 이용하여 모델변수를 실험적으로 추정하여 시블레이션에 대입하였다.

실험적인 RTIL(Round Trip Insertion Loss)은 면반사(plane reflection)에 대한 pulse-echo를 측정하여 계산되었으며, 이론치와 비교할 때 6-dB 주파수 대역내에서 2-dB 이하의 오차가 관찰되었다.

초음파 변환자의 설계에는 보통 아래의 두 성능변수를 고려한다.

II-1. 해상도(resolution)

의료진단에 쓰이는 변환자의 중요한 성능 기준으로서 측방향으로 배열된 반사체의 구별 능력을 볼 수 있으며 이 측방향 해상도(axial resolution)가 높다는 것은 결국 변환자의 특성이 광대역(broad band)임을 의미한다. 측방향 해상도에 영향을 주는 요소에는 pulsing과 receiving 회로, signal processing 그리고 변환자 특성 등이 포함되며, 20 dB 또는 40 dB 감쇠(ring down)하는데 걸리는 시간이 성능 변수로 많이 이용된다.

I. 서 론

초음파 변환자(transducer)는 비파괴 검사나 의료진단에 많이 이용되고 있으나 그 제작에 있어서의 재현성(reproducibility)이 아직 문제점으로 남아 있다. <R. 1> 따라서 변환자에 대한 시블레이션을 통하여 그 성능에 영향을 주는 설계나 제작 과정의 주요 변수를 아는 것이 중요하게 된다.

시블레이션은 초음파 변환자의 성능변수에 대하여 이루어졌으며, 압전체는 두께 진동의 KLM-model <R. 2>을 이용하였다. 변환자 각 요소에 대해 transfer matrix를 사용함으로써 설계 변경이 용이하도록 하였다. 초음파 변환자의 제작에 쓰이는 여러가지 재료의 음향임피던스와 손실계수를 측정하였으며 KLM-model의 본모정수는 실험적인 전기저항측정으로 부터 추정하였다.

이상의 시블레이션과 실험을 비교하기 위해 시편에 대한 pulse-echo 방법을 이용하여 RTIL을 측정하였다.

측 방향 해상도(lateral resolution)는 변환자 면에 평행한 방향으로의 구별능력을 말하며, beam 폭이 측 방향 해상도를 결정짓는 중요한 변수가 된다. 이 beam 폭에 영향을 주는 요소로는 변환자 geometry, 주파수, 음향렌즈의 유무 그리고 변환자로 부터의 거리를 들 수 있다.

초음파 변환자는 주파수를 높일수록 해상도가 좋아지나 일반적으로 매질의 손실이 주파수에 따라 커지므로 특히 손실계수가 큰 인체를 진단하는 의료용 변환자일 경우에는 성능을 얻을 수 있는 깊이의 제한이 있게 된다.

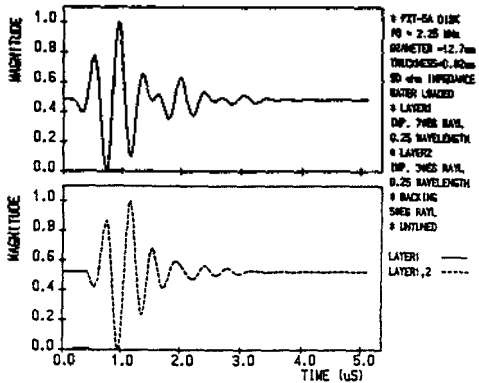


FIG. 7 IMPULSE RESPONSE

IV. 측정 및 실험결과

IV-1. Matching layer 및 backing의 음향특성 측정

속도와 손실계수에 대한 실험방법은 그림 8과 같이 oscillator와 electric pulse가 변환자에서 보음파로 바뀐 후, 시편의 경계면에서 반사된 echo를 수신함으로써 이루어진다.

Matching 및 backing에 사용할 재료는 epoxy resin에 여러 혼합 비율로 만든 재료에 대해 측정된 음향임피던스(손실) 손실계수는 그림 9와 같다.

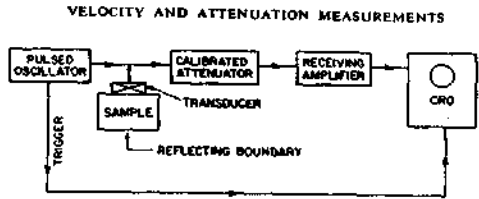


Fig. 8 Basic pulse-echo system.

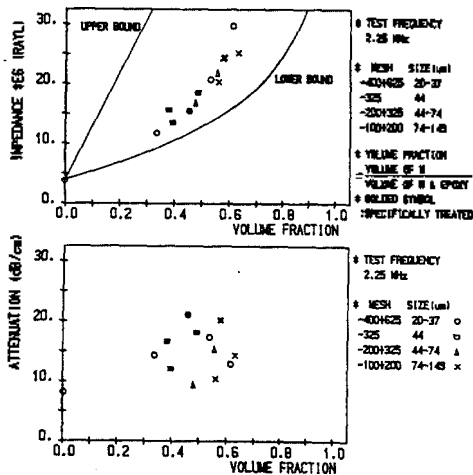


FIG.9 IMPEDANCE AND ATTENUATION

IV-2. 변환자의 특성 측정

변환자의 특성을 측정하기 위해 그림 8과 같이 변 반사체에 대한 pulse-echo 실험을 하였다. Pulse shape의 변형오차를 줄이기 위하여 시편내의 다공반사체의 의해 pulse가 흡수되지 않는 최소 두께의 시편을 사용하였으며 더욱 정확한 실험을 위해서는 변형 변환자의 면반사의 대한 diffraction filter <R. 4>를 사용하면 된다.

그림 10은 수신된 pulse-echo와 시뮬레이션에 의한 결과를 비교한 것이다. 비교적 이론과 실험이 잘 일치하나 trailing 부분에서 약간 다른 것은 변환자의 edge wave <R. 5>에 의한 것으로 생각되며 반사면에 대한 diffraction filter를 사용할 때 그 변형오차는 더욱 적어질 것이다.

그림 11은 RTIL에 대한 이론과 실험의 비교로서 20dB 주파수 대역내에서 2dB 정도의 오차를 보이고 있다.

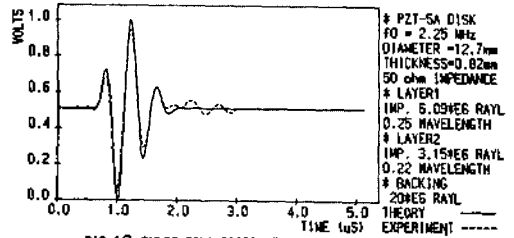


FIG.10 PULSE-ECHO RESPONSE

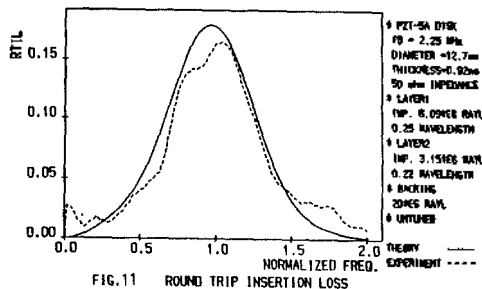


FIG.11 ROUND TRIP INSERTION LOSS

이제까지의 연구 내용을 검토해 볼 때, 변환자에 대한 시뮬레이션과 실험이 비교적 잘 일치함을 볼 수 있었다. 이것은 비파괴 재료시험이나 Doppler용 변환자의 실제 제작에 응용될 수 있으며 그 결과는 medical imaging용의 배열소자(transducer array)연구의 기초자료가 될 것으로 생각된다.

초음파 변환자에 대해 더 연구해야 할 과제로서는 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

(1) 육방량 해상도의 개선을 위해 음향집속이 필요한 경우에는 lens 부작에 의하여 해결할 수 있으며, 이를 위해서는 lens에 대한 연구와 함께 field simulation이 필요하다.

(2) 보다 좋은 변환자 제작을 필요로 할 때 변수의 값을 적당히 조절해야 하나, 그 특성에 영향을 주는 변수의 종류가 많고 복잡하여 사용목적에 따라 computer에 의한 optimization이 요구된다.

(3) PZT와 같은 압전체의 특성임피던스는 $30 \times 10^6 \text{ rayl}$ 이상으로서 매질이 인체나 물일 경우에 큰 impedance mismatch에 의해 음향에너지의 전달이 어려워진다. 낮은 임피던스와 압전물질로서 PUDF가 있으나 electro-mechanical coupling factor가 작은 단점이 있다. 임피던스와 효율에 대한 조건을 잘 만족시키는 재료로서는 PZT와 polymer의 복합재료 <R.6>가 알려지고 있어, 앞으로 이 방향의 연구가 계속될 전망이다.

본 논문은 주식회사 MEDISON의 지원에 의한 연구결과에 일부임을 밝히며, 그동안 박 종배 교수님의 격려와 도움 말씀에 무한히 감사드리며 또한 KAIST 음향실과 최로실 선후배 제씨의 도움에도 감사드립니다.

REFERENCES

1. S. G. SILK, "PREDICTIONS OF THE EFFECT OF SOME CONSTRUCTIONAL VARIABLES ON THE PERFORMANCE OF ULTRASONIC TRANSDUCERS", ULTRASONICS, 27-33 (MARCH 1983)
2. R. KRIMHOLTZ, D. LEEDOM AND G. MATTHAEI, "NEW EQUIVALENT CIRCUITS FOR ELEMENTARY PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS", ELECTRONICS LETT., 6, 398-399 (JUNE 1970)
3. S. J. H. VAN KERVALL AND J. M. THIJSSSEN, "A CALCULATION SCHEME FOR THE OPTIMUM DESIGN OF ULTRASONIC TRANSDUCERS", ULTRASONICS, 134-140 (MAY 1983)
4. T. L. RHYNE, "RADIATION COUPLING OF A DISK TO PLANE AND BACK OR A DISK TO A DISK; AN EXACT SOLUTION", JASA, 61(2), (FEB, 1979)
5. A. J. HAYMAN, "TRANSMISSION AND RECEPTION OF SHORT ULTRASONIC PULSES BY CIRCULAR AND SQUARE TRANSDUCERS", JASA, 66(4), (OCT, 1979)
6. W. A. SMITH, A. A. SHAULOV AND B. M. SINGER, "PROPERTIES OF COMPOSITE PIEZOELECTRIC MATERIALS FOR ULTRASONIC TRANSDUCERS", IEEE ULTRASONICS SYMP., 539-544 (1984)