

피에조 세라믹과 매칭레이어와의 최적 공진주파수 관계에 대한 연구

김권세¹, 최두석², 김영춘², 조재웅^{2*}
¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

Study on Relation of Optimum Resonant Frequencies between Piezo Ceramic and Matching Layer

Kwon-Se Kim¹, Doo-Seuk Choi², Young-Choon Kim² and Jae-Ung Cho^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요 약 초음파 센서는 거리를 측정하는 센서이다. 초음파 센서의 피에조 세라믹과 매칭레이어 접착기술이 가장 핵심이 되는 기술이다. 본 논문에서는 초음파를 공기 중으로 발진해 주는 매칭레이어에 대한 관계의 연구와 함께 피에조 세라믹과 매칭레이어를 접착한 경우 변화될 수 있는 결과를 추출하여 제 2의 사용가능 주파수를 발견하는 것이 목적이다. 또한 실제 압전소자인 피에조 세라믹과 케미컬우드인 매칭레이어를 사용하여 실험하였다. 피에조 세라믹의 OD는 $\phi 50 \times 3T$ 로 설계 되었으며 매칭레이어 OD는 $\lambda = 1/4$ 인 $\phi 62 \times 12t$ 로 설계하였다. 가장 최적의 공진 주파수는 53 Khz에서 음향 임피던스 값을 나타냈다. 실험결과, 유연성을 가진 접착제 보다 고체에 가까운 접착제를 사용할 경우에 많은 사용가능 주파수를 생성할 수 있는 결과를 얻을 수 있다.

Abstract Ultrasonic transducer is the sensor which is measuring distance. Piezo ceramic of ultrasonic sensor and adhesive technique of matching layer are the most core techniques. With the study of relation on matching layer which takes off the ultrasonic wave into the air, this paper aims to find the second useful frequency as the results which can be changed are extracted in case piezo ceramic and matching layer are bonded. And the experiment is done with piezo ceramic as real piezoelectric element and matching layer of chemical wood. OD of piezo ceramic has designed by $\phi 50 \times 3T$ and OD of matching layer is designed by $\phi 62 \times 12t$ with $\lambda = 1/4$. Acoustic impedance is generated at the most optimum resonant frequency of 53 Khz. As experimental result, more available frequency can be generated by using the adhesive close to solid than the flexible one.

Key Words : Adhesive, Matching layer, Piezo ceramic, Resonant frequency, Ultrasonic sensor

1. 서론

초음파는 1960년대 이후부터 많은 초음파연구원 들에 의해서 국외에서부터 많은 관심을 끌게 되었다[1,2]. 초음파를 이용한 기술력이 아직까지도 발전해 나가고 있는 상황이며 최근 연구 동향에 근거하여 많은 연구가 진행되고 있다.

초음파(Ultrasonic)란 음향 진동의 일종으로 인간의 가

청 범위의 상한을 넘는 20 Khz부터 수백 Mhz로 정의된다. 물체의 인식에 초음파센서를 사용하기에는 낮은 분해능(Resolution)을 초래하는 불량한 방향성과 측정 오류를 유발하는 반사성의 단점이 있다[3,4]. 이런 문제를 극복하기 위해 정확한 거리 검출이나 반사파 역시 얼마나 좋은 Matching layer를 사용하는가에 달려있다[5,6]. 이 역시 많은 연구가 필요하며 우리가 원하는 환경조건에 적용하기 위해서는 아주 시급한 상황이다[7-10]. 따라서 본 연구

*Corresponding Author : Jae-Ung Cho(Kongju Univ.)

Tel: +82-10-8807-8977 email: jucho@kongju.ac.kr

Received May 16, 2013

Revised June 24, 2013

Accepted July 11, 2013

에서는 센서의 설계와 센서의 구조를 이론적으로 설명하고 실험 데이터를 통하여 얼마나 좋은 초음파의 주파수를 얻을 수 있는지에 대하여 연구한 내용이며, 이 결과로써 많은 분야의 적용현장에 쓰일 수 있게 되는지에 대한 내용을 고안하고자 한다.

2. 연구 모델과 재료 결합

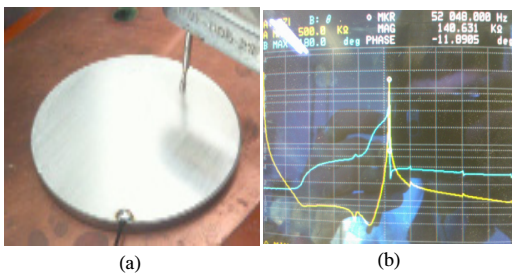
2.1 연구 모델

본 연구는 실제 Piezo ceramic과 Matching layer 사이에 접착제(Super-x)를 사용하여 제작하였다. Ceramic assay의 설계구조는 Fig. 1과 같다.



[Fig. 1] Configuration of ceramic assay

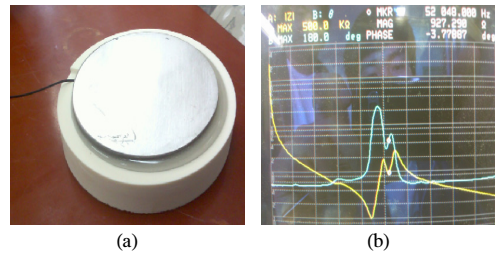
Fig. 2는 Piezo ceramic 사진과 Impedance data 결과이다. Fig. 2와 같이 OD($\Phi 50 \times 3t$) piezo ceramic에 대한 실제 Impedance data이며 공진 주파수는 47 KHz로 특성을 가지고 있다.



[Fig. 2] Piezo ceramic photo and impedance data
(a) Piezo ceramic photo (b) Ceramic impedance

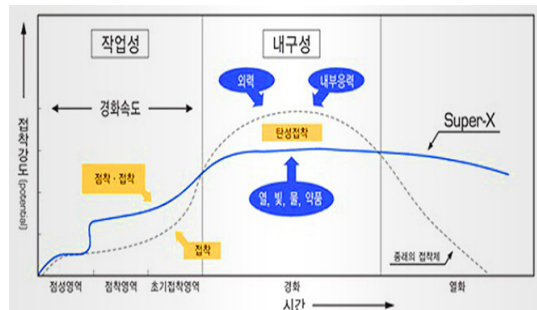
2.2 Piezo ceramic과 Matching layer 결합

본 연구에서는 실제 Piezo ceramic을 이용하여 Matching layer(Chemical wood SP170)를 결합하여 제작하였으며, 이러한 재료를 결합한 구조는 Fig. 3과 같다.



[Fig. 3] Combined configuration of piezo ceramic and matching layer
(a) Ceramic and matching layer (b) Ceramic and matching layer impedance

Fig. 3과 같이 두 재료를 결합하였으며, 접착제(Super-x)를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 접착제 Matching layer의 물성치는 Fig. 4 및 Table 1과 같다.



[Fig. 4] Graph of adhesive strength due to adhesive time

[Table 1] Property of adhesive

Test intent	Unit	Result value
Specific gravity	g/cm^3	0.680
Hardness	Shore - D	73
Tensile strength	N/mm^2	27.0
Bending strength	N/mm^2	37.9
Compressive strength	N/mm^2	70.2
Thermal expansion coefficient	K^{-1}	1.7×10^{-5}

3. Matching 특성 시험

3.1 내부 Side molding

Piezo ceramic과 Matching layer를 결합한 후에, 두 재료 사이에 Super-x 접착제를 접착하였다. 경화 방법은 압력을 줄 수 있는 Jig 장비의 Pressing device($P:4kg/cm^2$) 온도를 자동으로 조절할 수 있는 Oven($T:1hour$)에서 경

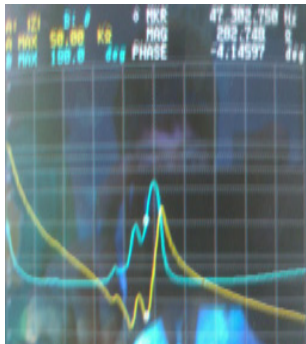
화하였으며, 1차 내부 Side molding에 대한 형상은 Fig. 5와 같다.



[Fig. 5] Configuration of internal side molding

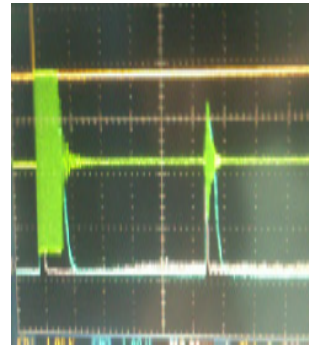
3.2 실험 결과

3.1절에서의 Body 및 내부 Shield는 Body: pvc, Shield: copper로 설계 및 결합하였다. 이는 초음파 특성상 내부에서 발생하는 노이즈를 최소화하기 위함이며, PVC는 실험 환경에 따른 변화가 가장 적으며, 쉽게 접할 수 있는 재료중의 하나이기 때문이다. 또한 Body size는 높이(H):73mm, 내경(D): $\Phi 65$, 두께(t): 5t로 설계 하였다. 실험결과 Impedance curve 특성 산과, 골을 형상에서 또 다른 산과 골이 생성됨을 알 수 있고, 이로 인하여 사용할 수 있는 제 2의 주파수가 생성됨을 알 수 있다. 따라서 최적공진 주파수는 47 Khz에서 52 Khz로 변화된 결과를 확인할 수 있었다. Side molding 후의 Impedance 값과 주파수는 Fig 6과 같다.



[Fig. 6] Impedance result after side molding

이러한 실험에서의 Impedance 결과를 가지고 Airmar kit를 사용하여 펄스 10으로 고정하고 주파수를 가변하여 실험 최적 공진 주파수에서 가장 큰 수신신호가 입력되는지를 실험하였다. 이 상황을 오실로스코프를 이용하여 Capture하였다(단, 펄스는 10이상일 경우 Saturation되는 문제가 발생됨). 수신신호의 출력 실험은 Fig. 7과 같다.



[Fig. 7] Wave configuration of reception signal

4. Sensor 제작 후 Impedance 시험

4.1 내부 Last molding

내부 Side molding 결합 및 실험 완료 후 내부 Last molding을 결합하여 Sensor assay 상태에서 최적공진 주파수 결과를 추출하고, 이결과를 이용하여 실제 Impedance curve의 변화를 관찰하였다. Cap size는 Body 내부를 D:65mm로 설계하였으며, Cap 높이는 (H): 25mm이며, 외경은 Body외경과 동일한 치수로 설계하였다. 또한 Body 내부와 Cap 내부 사이는 70A:B epoxy를 사용하였고, Epoxy는 연성이 존재하며, 온도변화가 가장 적고, 전자파를 차단할 수 있는 특성을 가지고 있다.



[Fig. 8] Configuration of sensor assay

그리고 Sensor assay 상태의 구조는 Fig. 8과 같다. Sensor assay 형상에 대한 Impedance 결과는 Fig. 9와 같다.



[Fig. 9] Configuration of sensor assay impedance

이러한 Impedance 결과처럼 Side molding과 또 다른 산과 골의 Impedance curve가 생성되었다. 이로써 최적 공진 주파수는 52 Khz에서 53 Khz로 변화되었음을 알 수 있다.

5. Matching layer 치수 변화에 대한 Impedance 시험

5.1 M-layer 두께 변화에 따른 Impedance 와 최적주파수 선정 시험

본문의 내용을 기반으로 하여, Last molding 결합 후, 최종 Impedance value와 최적 공진 주파수를 찾아낼 수 있었다. Matching layer는 초음파가 공기 층으로 발진 할 때, 좀 더 많은 에너지를 전달하게 된다. 그러므로 Matching layer의 체적은 Piezo ceramic을 기준으로 $\lambda = 1/4$ 이라는 이론에 근거하여 설계될 수 있다. 하지만 초음파는 밀도가 높은 곳에서 중파의 영향을 받아 좋은 결과를 낼 수 있지만 Piezo ceramic의 진동으로 인한 Matching layer의 두께는 재선정되어야만 한다. 본 연구는 동일한 Ceramic의 시료에서 Matching layer의 두께가 미치는 영향을 관찰함으로써 6개의 시료를 대상으로 결과를 확보할 수 있었다.

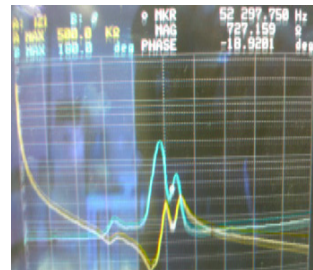
5.2 M-layer 두께 변화에 대한 시험 결과

각 Matching layer 두께별 Impedance 결과는 Fig. 10부터 Fig. 13과 같다.



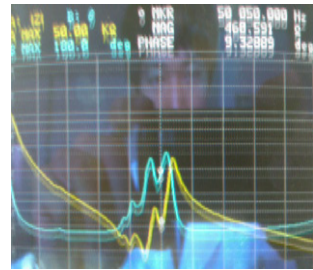
[Fig. 10] Result of M-layer(OD: ϕ62mm.T: 12mm)

Fig. 10은 Impedance 결과로서 (f): 52 Khz이며, Impedance(Ω):1.5K에서 최적 송수신 Signal을 가진다.



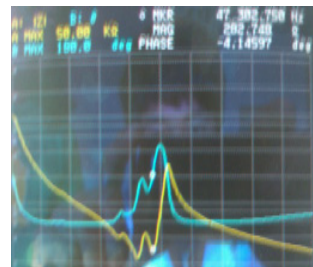
[Fig. 11] Result of M-layer(OD: ϕ62mm.T: 11mm)

Fig. 11은 Impedance 결과로서 (f): 51Khz이며, Impedance(Ω):1.4K에서 최적 송수신 Signal을 가진다.



[Fig. 12] Result of M-layer(OD: ϕ62mm.T: 10mm)

Fig. 12는 Impedance 결과로서 (f): 50 Khz이며, Impedance(Ω): 1.3K에서 최적 송수신 Signal을 가진다.



[Fig. 13] Result of M-layer(OD: ϕ62mm.T: 9mm)

Fig. 13은 Impedance 결과로서 (f): 49 Khz이며, Impedance(Ω): 1.3K에서 최적 송수신 Signal을 가진다.

6. 결론

본 연구에서는 고유 Piezo Ceramic 음향 임피던스 값이 Matching layer의 두께변화에 따라 그 결과가 변화된다는 것을 알 수 있었고, 이로 인한 최적공진 주파수(f)와 Impedance(Ω)값이 변화된다는 것을 알 수 있다. 이에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 음속은 온도에 크게 영향을 받으므로 초음파기기에 내장되어 있는 온도센서를 이용하여 음속을 보정하게 된다(나머지 두 요인인 압력과 습도는 별다른 영향을 미치지 않는다).
2. Piezo ceramic 고유의 공진 주파수는 접착제 선정에 따라서 제 2의 주파수가 생성된다는 것을 검출하였다.
3. 두 재료를 접합할 때 제2의 사용 가능한 주파수(f)가 생성되고 Matching layer와 Piezo ceramic이 접착될 때, 주파수의 변화가 가장 크다는 것을 검출하였다.
4. 접착제(Adhesive)는 유연성을 가진 물성치 보다 고체에 가까운 대단히 단단한 접착제에서 보다 많은 사용가능 주파수(f)를 가진다는 것을 검출하였다.
5. 수신신호(Reception signal)는 최적 공진 주파수와 일치 될 때 가장 큰 신호를 가진다는 것을 발견하였다. 그러므로 Matching layer 두께선정이 가장 중요하며 본 연구에서 사용된 PZT는 $\Phi 50$, 3t에서 Matching layer 선정은 $\Phi 60$, 12t를 선정해야 한다.
6. Piezo ceramic과 Matching layer의 관계는 어떤 접착제를 사용함에 따라 그 결과는 바뀌게 된다는 것을 검증할 수 있었다.

References

[1] K. Ohsaka, E.H. Trinh, "Dynamic Nucleation of Ice Induced by a Single Stable Cavitation Bubble", Applied Physic Letter, Vol. 73, pp. 129-131, 1998.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.121706>

[2] M.-S. Kim, N. H.-G. Choi, S.-K. Byon, "Heat Transfer Analysis of a Thermal Storage System using the Ice Capsule of Bar and Ring Module", J. of the Korean

Society of Marine Engineering, Vol. 31, pp. 268-275, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2008.32.2.268>

[3] T. Inada, X. Zhang, A. Yabe, Y. Kozawa, "Active Control of Phase Change from Supercooled Water to Ice by Ultrasonic Vibration 1. Control of Free zing Temperature", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 44, pp. 4523-4531, 2001.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310\(01\)00057-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00057-6)

[4] Y. G. Shin, H. C. Yang, C. S. Tae, S. Cho, Y. I. Kim, "In-site measurement of chiller performance and thermal storage density of an ice thermal storage system", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, pp. 1204- 1209, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.009>

[5] K. H. Yang, T. C. Yeh, "Renovation of an ice storage AC system in an aquarium for energy conservation", Building and Environment, Vol. 42, pp. 1851-1861, 2006.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310\(01\)00057-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00057-6)

[6] T. Inada, X. Zhang, A. Yabe, Y. Kozawa, " Active Control of Phase Change from Supercooled Water to Ice by Ultrasonic Vibration 1. Control of Freezing Temperature", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 44, pp. 4523-4531, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1707821>

[7] J. D. Hunt, K. A. Jackson, "Nucleation of Solid in an Undercooled Liquid By Cavitation", J. of Applied Physics, Vol. 37, pp. 254-257, 1966.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.1707821>

[8] M. Yamada, S. Fukusako, T. Kawanami, "Per formance analysis on the liquid-ice thermal storage system for optimum operation", Int. J. of Refr igeration, Vol. 25, pp. 267-277, 2002.

[9] S. H., Hwang, "RF and Ultrasonic Interference Reduction Technique in Indoor Location Sensing Systems", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 1 pp. 364-369, 2012,

[10] S. K., Byon, C. S., Gong and N. W., Kim, " Ice-slurry Generation of Ice Thermal Energy Storage System using Ultrasonic Vibration", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, No. 2, pp. 578-584, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.2.578>

김 권 세(Kwon-se Kim)

[준회원]



- 2011년 2월 : 공주대학교 자동차 공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 (공학석사)

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 내연기관 및 자동차 내외장 부품 성능 평가

김 영 춘(Young-Choon Kim)

[종신회원]



- 1987년 2월 : 대전공업대학교 전기공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 명지대학교 전기 공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 명지대학교 전기 공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

전기자동차전력변환, 전장제어, 하이브리드자동차

최 두 석(Doo-Seuk Choi)

[정회원]



- 1981년 2월 : 충남대학교 기계 공학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 충남대학교 기계 공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 충남대학교 기계 공학과 (공학박사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : 한국자동차공학회 대전충청지부 지부장
- 2010년 2월 ~ 현재 : 공주대학교 그린카기술연구소 소장
- 2006년 6월 ~ 2008년 6월 : 공주대학교 산학협력단장
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

자동차 배기계 및 대체 연료, 미래형 자동차

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[종신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계 공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계 공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계 공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석