

압전 액츄에이터를 이용한 단순지지 평판에서의 초음파 대역 진동 발생

Excitation of ultrasonic vibration on a simply supported plate with a piezoelectric actuator

안 순 홍*, 노 용 래**
(Son Hong Ahn*, Yong Rae Roh**)

요 약

본 연구에서는 자동차 유리판에 초음파 대역 진동을 효율적으로 발생시킬 수 있는 압전 액츄에이터를 개발하고자 하였다. 자동차 유리판을 단순지지 평판으로 가정하였으며, 액츄에이터로는 PZT 진동자를 사용하였다. 유한 요소법(Finite Element Method)을 통하여 유리판의 최적 공진 주파수와 유리판에 부착할 압전 진동자의 구조 조건인 최적 위치와 개수를 결정하였다. 실제 결과에 따라 자동차 유리판에 압전 진동자를 부착하여 임펄스 응답 해석(impulse response analysis)과 임피던스 해석(impedance analysis)을 수행하여 구동 주파수를 확인하였다. 그 결과, 이 주파수로 가진하여 유리판 전면에 걸쳐 고른 초음파 진동이 분포함을 확인하였으며, 나아가 전기적 임피던스 매칭(impedance matching)을 통해 더 큰 효율의 진동을 발생시킬 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, we develop piezoelectric actuators that can efficiently excite vibration of a simply supported plate at the ultrasonic frequency range. A glass window of an automobile is employed for the simply supported plate, and a PZT vibrator for the actuator. Through FEM(Finite Element Method) computer simulation, we get the optimum resonant frequency of the plate and the optimal structural factors of the actuator such as position and number. In experiments, the driving frequency of the excitation is confirmed through impulse response analysis and impedance analysis of the plate. In the experiments with the actuator, it is also confirmed that uniform distribution of the ultrasonic vibration is observed all over the window plate, and its driving efficiency is increased with impedance matching conditions of the actuator.

I. 서 론

근래의 자동차들은 안전을 위해 여러 장치들을 사용하고 있다. 운전자의 시야 확보를 위한 자동차 유리판의 경우도 예외가 아니다. 하지만, 빗방울이나 갑작스런 기온 변화에 의해 맺히는 물방울 등을 뒷유리판의 경우 대부분 열선에 의한 제거 방법을 채택하고 있으나, 이 방법은 시간이 오래 걸리고 열 손실에 의해 효율이 낮다는 단점을 가지고 있다. 이런 단점을 보완하고, 보다 직접적인 방안으로 초음파 진동에 의한 제거 방법을 들 수 있다. 이것은 압전 진동자에 의해 발생한 초음파 진동 에너지를 물방울에 전달하여 움직이게 함으로써 물방울을 제거하는 방법이다. 이렇게 초음파 진동을 이용하여 물방울을 제거하는 방법은 이미 자동차용 사이드미러에 적용된 바

있고, 배 밑바닥에 부착되는 각종 해조류 등의 이물질 제거나 보일러 배기관에 그을음 제거 등에도 이용될 수 있다[1], [2].

본 연구에서는 단순지지 평판에 압전 진동자를 부착하여 초음파 진동을 일으키는 방법을 자동차 유리판에 적용시키고자 하였다[3]. 적은 에너지를 사용하여 유리판에 효율적으로 초음파 주파수 대역의 진동을 발생시키기 위해서는, 유리판의 동적 거동 특성과 진동자의 구동 특성을 잘 일치시켜야 할 것이다. 따라서, 이러한 목적을 이루기 위해 우선 이론적으로 유한 요소법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 유리판의 동적 거동 상태를 해석하고, 그 결과를 바탕으로 압전 진동자의 설치 조건인 최적 위치와 개수를 구하였다. 실제 그 결과를 바탕으로 유리판의 진동 실험에서는 컴퓨터 시뮬레이션에서 구한 최적 조건을 적용하여 압전 진동자를 부착하고 이를 가진시킴으로써, 유리판 전면에 나타나는 초음파 진동과 전기적 임피던스 매칭을 통한 효율적인 초음파 진동을 확인하고자 하였다.

*경북대학교 신서공학과

**경북대학교 전자전기공학부/신서공학과

접수일자: 1997년 11월 7일

II. 이 론

2.1. 압전 재료

압전 물질이란, 그에 가해지는 기계적 에너지와 전기적 에너지를 서로간에 변환시킬 수 있는 전기 역학적 트랜스듀서를 만드는 재료이다[4]-[6]. 압전 효과는 재료에 가해지는 응력(T), 전계(E), 변형(S), 그리고 전기적 변위(D)로 표현된다. 이 때, 이들 변수의 관계에 압전계수를 이용하여 나타내면 다음과 같다[5].

$$S = s^E T + dE \quad D = dT + \epsilon^T E \quad (1)$$

여기서 s는 탄성 유연 계수(elastic compliance), ε은 유전율(permittivity), d는 압전 변형 상수(piezoelectric strain constant)이다. 본 연구에서는 이런 압전 특성을 나타내는 재료 중에서 고출력에 적합한 PZT를 사용하였으며, PZT 중에서도 큐리 온도(Curic temperature)가 높고, 상대 전력(relative power) 특성이 높은 PZT-4를 액츄에이터의 재료로 선정하였다. PZT-4의 물성은 표 1에 나타나 있다[6].

이 값들은 육방정계 6mm 결정 구조를 가지는 PZT에서 행렬(matrix) 형태로 표현되고, 식(1)의 첫째 항을 행렬 형태로 표현하면 식(2)처럼 나타나게 된다[5].

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11}^E & s_{12}^E & s_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ & s_{11}^E & s_{13}^E & 0 & 0 & 0 \\ & & s_{33}^E & 0 & 0 & 0 \\ & & & s_{44}^E & 0 & 0 \\ & & & & s_{44}^E & 0 \\ & & & & & s_{66}^E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{31} \\ 0 & 0 & d_{33} \\ 0 & d_{15} & 0 \\ d_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, $s_{66}^E = (s_{11}^E - s_{12}^E)/2$ 이다. 식(2)에서 아래 첨자 1, 2, 3, 4, 5와 6은 각각 X, Y, Z, YZ, ZX 그리고 XY 축 방향을 나타낸다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 Z축 방향으로 전기장을 수직으로 가하고 X와 Y축 방향으로의 변형을 이용하게 되는데, 이는 변형률로 나타내어지며 식(2)에서 아래와 같이 유도할 수 있다.

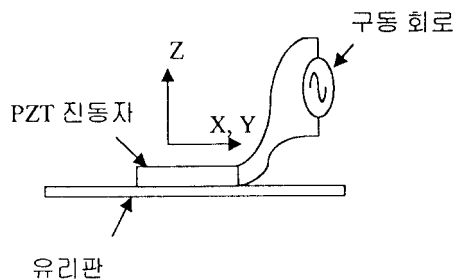


그림 1. PZT 진동자의 유리판에의 설치 모양

$$S_1 = d_{31} E_3, \quad S_2 = d_{31} E_3 \quad (3)$$

식(3)은 Z축 방향으로 전기장이 가해지면 PZT자체에서 X와 Y축 방향으로 수축과 팽창을 반복하는 S_1, S_2 가 발생함을 의미하며, 본 연구에서 이용하려는 압전 진동자의 경진동을 잘 설명하는 것이라 하겠다[7].

2.2. 평판의 진동

가로 a, 세로 b, 두께 h인 평판에 외력 F(x, y)가 가해질 경우 평판의 운동 방정식은 다음과 같이 된다[8].

$$\nabla^4 \Phi + \rho \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = F(x, y) \quad (4)$$

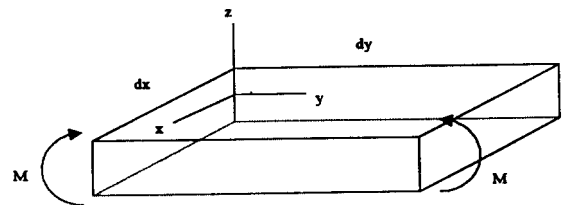
여기서, Φ 는 구하고자 하는 평판의 응답이고, ρ는 평판의 밀도이고, F(x, y)는 평판에 가해지는 외력이다. ∇^4 는 휨강성(flexural rigidity)으로 아래와 같이 나타낸다.

$$\nabla^4 = \frac{Yh^2}{12(1-\nu^2)} \quad (5)$$

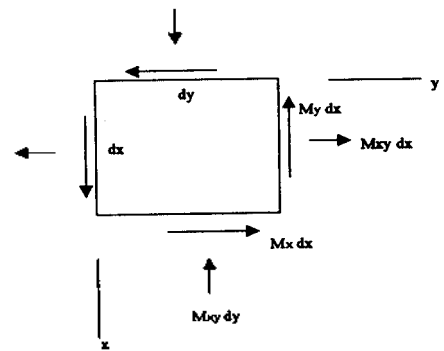
식(5)에서 Y는 영률(Young's modulus)을, ν는 포아송 비(Poisson's ratio)를 나타낸다.

시간 하모닉 항은 간략화를 위하여 생략하면 임의의 외력이 여기될 때 평판의 응답 Φ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Phi(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_{nm} \phi_{nm}(x, y) \quad (6)$$



(a) 평판의 굽힘 모드 변형



(b) 평판의 수직 쪽에서 바라 본 발생 응력 성분
그림 2 평판의 굽힘에 대한 응력 성분

계수 α_{mn} 은 m 과 n 에 의해 나타나는 모드와 진폭을 나타내며, ϕ_{mn} 은 고유함수를 나타낸다. 이렇게 수식으로 나타나는 평판의 진폭 응답은 상수 m, n 이 변함에 따라 굽힘 모드(bending mode)와 뒤틀림 모드(twist mode), 그리고 휨 모드(flexural mode)들의 하모닉 모드(harmonic mode)를 가지게 된다. 본 연구는 서론에서 설명한 바와 같이 유리판 표면예의 물기를 제거하는 것을 목적으로 하므로, 이들 모드 중 굽힘 모드를 이용하고자 한다.

굽힘 모드는 외력이 평판 면에 대해 수직(normal) 성분과 전단(shear) 성분이 없을 때 발생하고, 뒤틀림 모드는 굽힘 모드 성분 중 $-M_{xy}$ 성분만 있을 때 발생한다. 그림 2는 평판의 굽힘에 대한 응력(stress) 성분을 나타낸 그림이다. M_{xy} 는 x 축 면에 대한 y 방향으로의 모멘트(moment)를 의미한다. 휨 모드는 굽힘 모드와는 달리 외력이 평판 면에 대한 성분을 가지고 있을 때 발생한다[9], [10].

III. 압전 진동자의 최적 조건 설계

유한 요소법(FEM)을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 최적 구동 주파수와 유리판에 초음파 진동을 발생시킬 압전 진동자의 구조 조건인 최적 위치와 개수를 설계하고자 하였다. 시뮬레이션 프로그램으로는 NISA II를 사용하였으며, 시뮬레이션에 사용된 유리판의 물성은 다음과 같다.

Density	2200 [kg/m ³]
Modulus of Elasticity	70 [GPa]
Poisson's Ratio	0.23

유리판은 실제 설치 상황을 고려하여 단순지지(simply supported: $U_x = U_y = U_z = 0, R_x \neq 0, R_y \neq 0, R_z \neq 0$)의 경계 조건을 주었으며, 유리판의 대칭성을 이용하여 절반만 시뮬레이션을 행하였다[11]. 여기서 U_x, U_y, U_z 는 각각 X, Y, Z 축 방향으로 발생하는 변위를 의미하며, R_x, R_y, R_z 는 각 축 방향으로의 회전을 의미한다.

유리판의 여러 공진 주파수 중에서 소음 방지를 위해 가장 주파수의 상한선인 20 kHz를 넘어서고, 진동자 부착 후 주파수 변화를 고려하여 20 kHz의 두 배인 40 kHz에서 50 kHz 사이에서 strain energy가 최대가 되는 공진 주파수를 찾아 구동 주파수로 결정하였다. 이는 또한 PZT 제작상 경진동 모드의 기본 공진 주파수가 20 kHz대가 되기 위한 크기는 너무 커서 제작이 대단히 어렵고, 역으로 크기가 작아져 주파수대가 올라가면 전력 손실이 급격히 증가하므로 이를 적절히 고려한 주파수대이다.

비교 기준이 되는 strain energy (W)는 외력에 의해 발생하는 탄성체의 변형 에너지를 의미하며, 아래 식(12)에서처럼 가속도의 제곱에 비례하여 나타나게 된다[10]

$$W = \frac{T^2}{2Y} V = \frac{F^2}{2YA^2} V = \frac{(ma)^2}{2YA^2} V \quad (12)$$

위 식에서 T 는 응력(stress), V 는 부피(volume), Y 는 영률(Young's modulus), F 는 힘(force), A 는 힘이 가해지는 면적(area), a 는 가속도(acceleration) 그리고 m 은 질량(mass)을 나타낸다. 결과적으로 이는 strain energy를 직접 구해 보지 않고도 가속도의 제곱을 비교하여도 됨을 의미한다.

그림 3은 가장자리의 여러 지점에서 가진하고 유리 평판의 열 일곱 군데 지점에서 나타나는 36 kHz에서 58 kHz까지 Z축방향의 가속도를 FEM을 통해 알아 본 그래프이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 열 일곱 군데 지점 거의 모두에서 46 kHz에서 50 kHz사이에서 큰 가속도를 보이고 있으며, 이 구간 내에서 strain energy가 가장 큰 공진 주파수를 찾아보면 약 48.82 kHz임을 확인하였다. 이는 이 모드의 주파수가 최적 구동 주파수임을 나타내

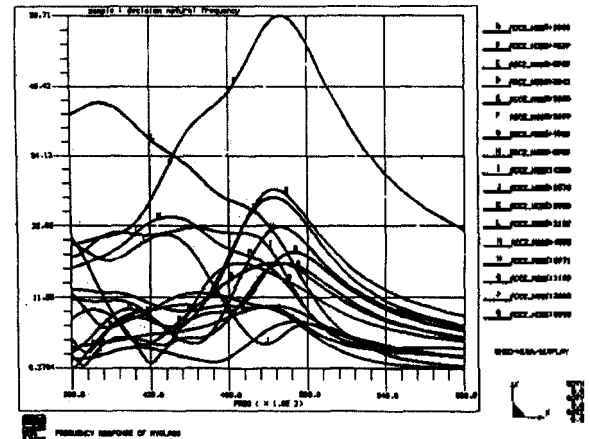


그림 3. 유리판의 열 일곱 지점에서의 가속도

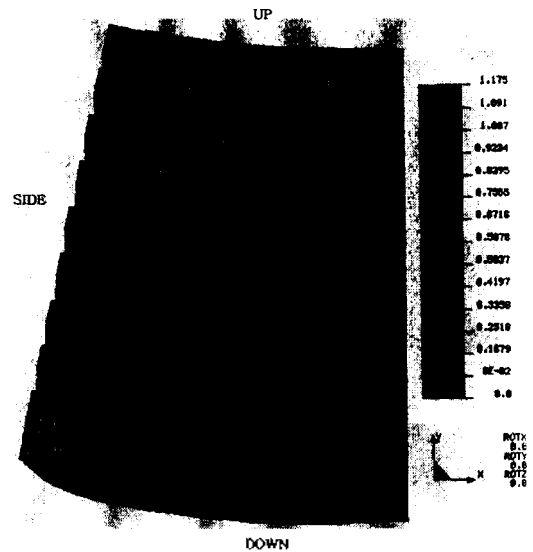


그림 4. 48.82 kHz에서의 유리판의 변형 그림

며, 이후의 위치와 개수 조건을 구할 때 이 모드를 이용하였다. 그림 4는 공진 주파수 48.82 kHz에서의 유리판의 변형 그림을 나타낸다.

앞서 구한 공진 주파수 48.82 kHz의 모드에서 압전 진동자의 최적 위치와 개수를 평판의 주파수 응답 해석을 통해 결정하였다. 비교 기준으로는 strain energy에 비례하는 $Accn^2$ 을 선정하였으며, 그 값은 유리판 전면에서 발생하는 X, Y, Z축 세 방향의 가속도를 각각 제공하여 합한 값으로 식(13)과 같이 나타낸다.

$$Accn^2 = a_x^2 + a_y^2 + a_z^2 \quad (13)$$

여기서, a_x, a_y, a_z 는 각 축방향의 가속도를 나타낸다. 시뮬레이션에서 가진할 부분은 유리판의 가장자리를 택하였으며, 위쪽, 아래쪽, 옆쪽을 UP, DOWN, SIDE(S)라고 명하고 $Accn^2$ 을 비교하였다. UP, DOWN, S. 다음의 숫자는 모델링상의 element ID number이다.

그림 5, 그림 6, 그림 7은 각각 유리판의 위쪽, 아래쪽, 옆쪽의 가장자리에서 각각 하나의 element에서 가진하였을 때 유리판 전면에서 나타나는 $Accn^2$ 을 크기 순으로 나타낸 그림이다. 예를 들어 그림 5에서 보면, UP의 element를 하나씩 가진하였을 때 element ID number 5705의 위치에서 가장 큰 가속도가 나타남을 의미한다.

여기서 UP, DOWN, SIDE의 전체적인 경향을 볼 때 "S_" 즉, 옆쪽에서 가진할 경우 위쪽이나 아래쪽에 비해 그 효율이 더 좋은 것을 알 수 있다. 이 결과는 개수를 변화시켜도 동일하게 옆쪽이 우수하게 나타나므로, 개수에 대한 시뮬레이션에서는 옆쪽에서 가진한 경우의 조합들을 사용하였다. 조합은 그림 7에서 $Accn^2$ 의 크기 순서를 이용하여 큰 것 6개 혹은 7개를 골라 그것들간의 조합을 행함으로써, 두 개와 세 개의 개수에 대한 시뮬레이션을 행하였다. 그림 8은 그림 7과 두 개와 세 개의 조합에 대해 가진하여 나타난 $Accn^2$ 을 크기 순으로 배열한 것이다. 그림 8에서 "K" 다음에 오는 숫자는 개수를 나타내며, "MAX" 다음에 오는 숫자는 크기 순의 조합된 것을 의미한다. 예를 들어 "SK3MAX126"은 옆쪽 element 중 크기

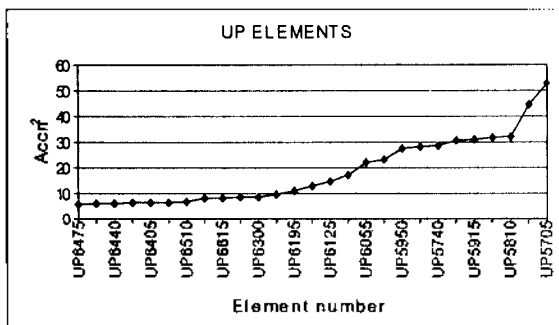


그림 5. UP element 가진 시 나타나는 가속도를 크기 순으로 배열한 것

순에서 첫 번째와 두 번째, 여섯 번째 element를 동시에 가진한 경우를 의미한다. 그림 8에서 보면 "S_5547"이 가장 큰 가속도를 나타내는 것으로 나타났으며, 개수는 한 개이고 그 위치를 유리판의 모델링 상에서 표시하면 그림 9에 색칠한 부분이다.

그림 9에서 보듯이 48.82 kHz의 유리판 공진 모드에서는 한 개의 진동자를 측면 하단 모서리 부분에 부착할 경우 가장 좋은 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

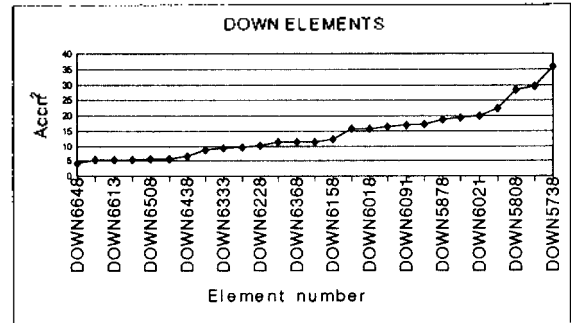


그림 6. DOWN element 가진 시 나타나는 가속도를 크기 순으로 배열한 것

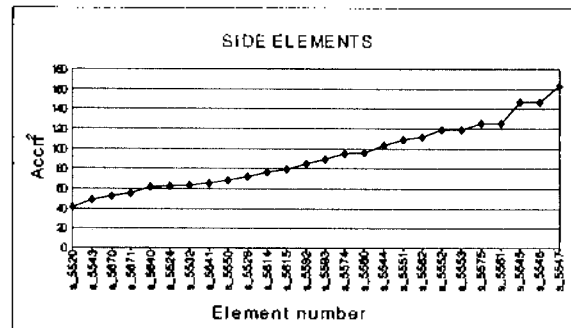


그림 7. SIDE element 가진 시 나타나는 가속도를 크기 순으로 배열한 것

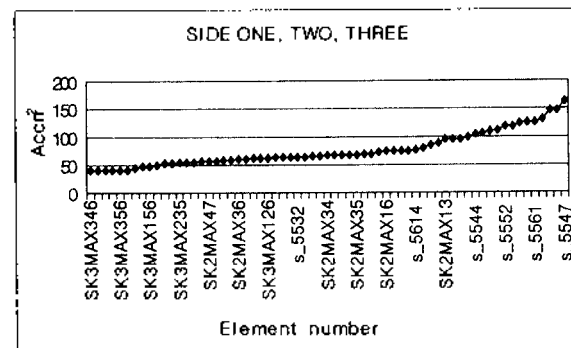


그림 8. SIDE element 개수 세 개까지의 조합에서 나타나는 가속도를 크기 순으로 배열한 것

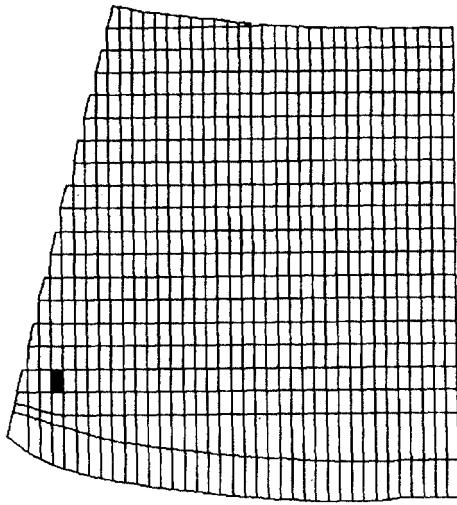


그림 9. S_5547 element 위치

IV. 실험

임피던스 해석을 통해 압전 공진자만의 공진 특성과 유리판 부착 이후의 압전 진동자 공진 특성을 알아보고, 임펄스 응답 해석을 통해 알아낸 유리판의 공진 주파수와 비교하여 압전 진동자의 실제적인 구동 주파수를 구하고자 하였다. 또한, 이 구동 주파수가 가진하였을 때 유리판 전면에 고른 초음파 진동이 발생하는가를 알아보고, 전기적 임피던스 매칭을 통해 그 효율을 높이고자 하였다.

진동자의 부착은 시뮬레이션에서의 결과를 바탕으로 유리판의 양쪽 가장자리 하단부에 하나씩 부착하였고, 진동자의 부착에는 에폭시를 사용하였으며, 전극으로는 진동에 방해될 주지 않고 초음파 진동에 견딜 수 있는 전도성 테이프를 사용하였다. 유리판의 경계는 실제 차체에 부착하는 방법을 채택하였다.

4.1. 압전 진동자의 공진 특성

각형에 비해 원형의 경우가 경진동에 있어 단일한 공진 주파수를 나타내게 되므로 원형의 압전 진동자를 사용하였다. 그림 10은 본 실험에서 사용된 지름 50 mm, 두께 3 mm인 원형의 PZT-4 진동자의 경진동 모드(radial mode)의 공진 특성을 HP 4192A Impedance analyzer를 사용하여 임피던스의 크기(magnitude)와 위상(phase)으로 나타낸 것으로서, 공진 주파수는 약 44.6 kHz임을 알 수 있다. 하지만, 실제로 압전 진동자를 물체에 부착하게 되면 그 공진 주파수가 달라지게 된다. 이것은 압전 진동자에 부착된 물체에 의해 진동자만의 탄성계수나 질량이 변화하기 때문이다. 유리판에 부착된 이후의 압전 진동자의 공진 주파수도 압전 진동자만의 공진 주파수에서 약간 어긋나게 되며, 이에 대한 측정이 요구된다. 유리판의 양쪽 가장자리 하단 위치에 지름 50 mm의 압전 진동

자를 하나씩 부착하여 HP 4192A Impedance analyzer를 이용하여 부착된 이후의 임피던스를 측정하였다. 그림 11은 그 결과로서, 압전 진동자를 유리판에 부착한 이후의 공진 주파수는 약 48.7 kHz, 그 때의 임피던스는 155.6 Ω 정도 나옴을 알 수 있다.

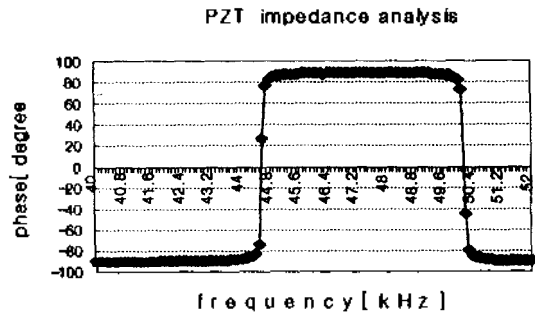
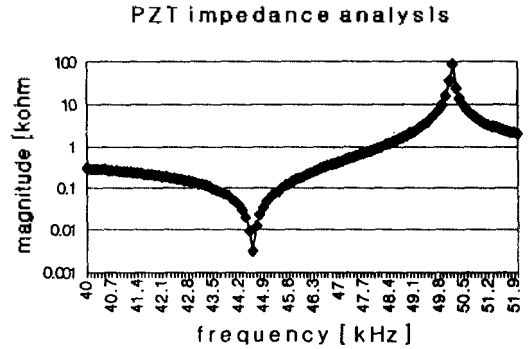


그림 10. 압전 진동자만의 공진 특성

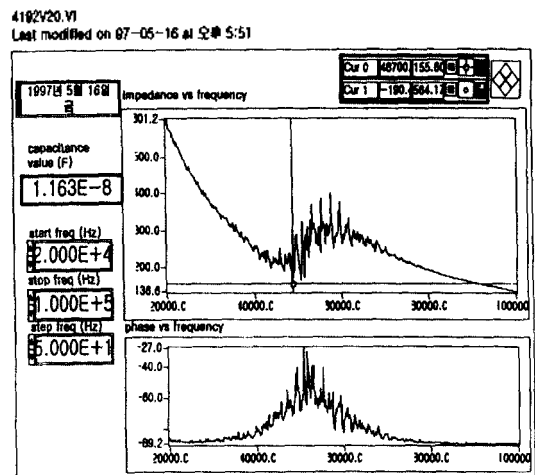


그림 11. 유리판 부착 후의 압전 진동자 임피던스 측정 결과

4.2. 유리판의 주파수 특성

본 실험에서는 압전 진동자를 이용하여 유리판에 임펄스 파를 인가하고, 유리판 표면에 가속도 센서를 부착하여 가속도의 출력값을 주파수 영역에서 관찰함으로써 유리판의 공진 주파수를 알아보았다. 그림 12는 임펄스 응

답 실험의 개략도를 나타낸 것이다. 가속도 센서는 B&K 4375 Accelerometer를 사용하였고, 임펄스 신호 발생을 위해 signal generator를 사용하였다. 가속도 센서의 출력을 주파수 영역에서 보기 위해 LeCroy 9310A Oscilloscope를 사용하여 가속도 센서의 출력을 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 하여 주파수별 power spectrum을 관찰하였다. 그림 13은 가속도 센서의 출력을 oscilloscope로 측정하여 FFT한 power spectrum의 결과이다. 그림 13에서 보는 바대로 여러 주파수에서 peak를 보이므로, 유리판이 여러 조화 모드(harmonic mode)를 가지고 있음을 알 수 있고, 특히 약 48.8 kHz 부근에서 다른 모드에 비해 큰 가속도 값을 나타내는 모드가 있음을 알 수 있다.

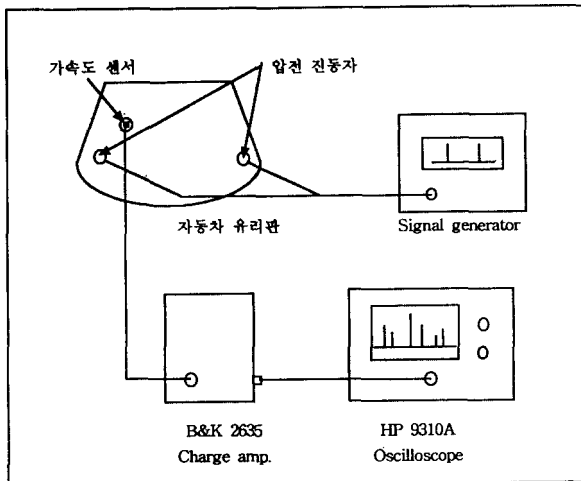


그림 12. 임펄스 응답 실험의 개략도

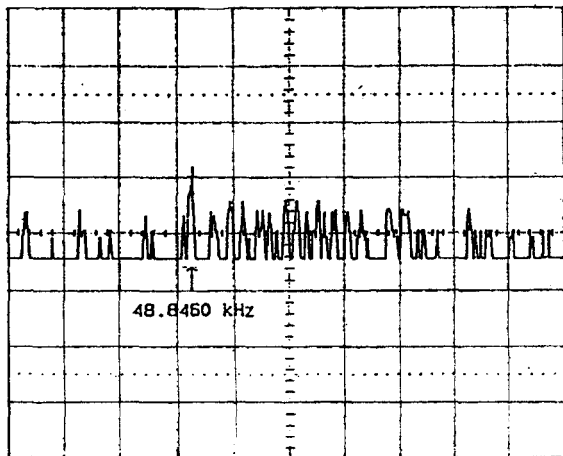


그림 13. 임펄스 가진 시 유리판의 가속도를 FFT한 결과

임펄스 응답 해석을 통해 48.8 kHz 부근에서 다른 모드에 비해 큰 가속도를 발생시키는 유리판의 공진 모드를 확인하였다. 이 값은 임피던스 해석에서 구한 유리판 부착 이후의 압전 진동자 공진 주파수 48.7 kHz과 거의 일

치함으로, 진동자의 공진 주파수와 유리판의 공진 주파수가 일치할 때 최대의 효율을 얻을 수 있다는 조건을 잘 만족시키고 있다. 따라서, 이 주파수는 실제적인 압전 진동자의 구동 주파수를 의미한다.

표 1. 실험 및 시뮬레이션에 사용된 PZT-4 특성

Parameter	Unit	Value
$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$		1300
$\epsilon_{11}^T/\epsilon_0$		1475
d_{31}	$[10^{-12}C/N]$	-123
d_{33}		289
d_{15}		496
s_{11}^E	$[10^{-12}m^2/N]$	12.3
s_{12}^E		-4.05
s_{13}^E		-5.31
s_{33}^E		15.5
s_{44}^E		39.0
Density	$[kg/m^3]$	7500

4.3. 유리판의 진동 실험

구동 주파수 48.7 kHz의 정현파로 유리판을 가진하여 초음파 진동이 유리판 전면에 고르게 분포되는가를 알아 보았다. 이를 확인하기 위해 그림 14에서 나타낸 열 두 지점에 대해 유리판 표면의 가속도를 측정하였다. 가속도 센서로는 B&K 4375 Accelerometer를 이용하였고, signal generator를 이용하여 정현파를 발생시켰다. 실험의 개략도는 그림 12와 동일하나, 단 압전 진동자의 구동부에 power amplifier를 추가하였다. 표 2는 유리판의 표면 가속도를 그림 14의 열 두 지점에 대해 peak-to-peak 전압으로 측정된 값이다. 표 2에서 보는 바와 같이 유리판 전면에 걸쳐 초음파 진동은 약 0.5 Vp-p 정도의 가속도값을 가지며 고르게 분포함을 알 수 있다.

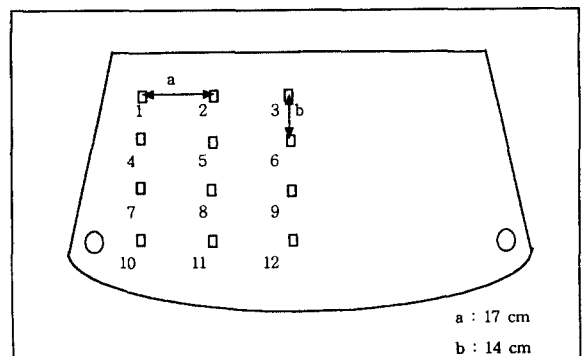


그림 14. 정현파 가진 시 유리판 표면 가속도를 측정된 열 두 지점

표 2. 열 두 지점에서의 가속도 센서 출력

point number	Vp-p [V]	point number	Vp-p [V]	point number	Vp-p [V]
1	0.38	5	0.43	9	0.54
2	0.58	6	0.48	10	0.61
3	0.57	7	0.31	11	0.40
4	0.42	8	0.48	12	0.72

일반적으로 압전 진동자는 수 MΩ의 매우 큰 임피던스를 가지고 있다. 하지만, 이 압전 진동자를 구동할 회로의 출력 임피던스는 이에 비해 매우 작으므로, 두 임피던스의 차에 의해 회로부에서 공급한 진원 전력의 압전 진동자 쪽으로의 전달이 나빠지게 된다. 이를 보상하여 압전 진동자와 회로부 간의 임피던스차를 줄임으로써 효율적인 공급 전력의 전달을 위한 전기적 임피던스 매칭이 필요하다. 본 실험에서는 회로부와 압전 진동자 사이의 전기적 임피던스 매칭을 위하여 매칭 트랜스포머(matching transformer)를 사용하였다. 트랜스포머의 권선수는 양단의 임피던스 비율의 실험적 시행착오를 거쳐 최적치를 설정하였다. 실험 결과, 유리판 표면의 가속도는 6.19 Vp-p정도 나왔으며, 매칭 트랜스포머 2차측 전압은 256 Vp-p정도 나왔다. 이는 매칭 트랜스포머를 사용하지 않고 측정한 유리판 표면의 가속도 0.5 Vp-p에 비해 12배 이상 큰 값으로, 전기적 임피던스 매칭을 통해 더 큰 효율을 발생시킴을 알 수 있었다.

V. 결 론

단순지지 자동차 유리 평판에 압전 진동자를 부착하여 효율적인 초음파 진동을 발생시키고자 하였다. FEM을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 유리판에 부착할 압전 진동자의 최적 위치와 개수는 양쪽 측면 하단 모서리 부분에 하나씩임을 확인하였으며, 임펄스 응답 실험과 임피던스 해석을 통해 유리판의 공진 주파수와 압전 진동자의 공진 주파수가 일치하는 48.7kHz의 구동 주파수를 찾았다. 이 주파수로 가진하여 유리판 전면에 발생하는 고른 초음파 진동을 확인하였으며, 전기적 임피던스 매칭을 통해 더 큰 효율의 초음파 진동을 발생시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 정이봉, 이영진, 노용래, "유리판용 초음파 물기 제거기 개발", 한국음향학회지, Vol.16, No.5, pp.12-17, 1997.
2. M. Latour and P. V. Murphy, "Application of PVF2 transducers as piezoelectric vibrations for marine fouling prevention", *Ferroelectrics*, Vol. 32, pp. 33-37, 1981.
3. E. K. Dimitriads, C. R. Fuller and C. A. Roger, "Piezoelectric actuator for distributed vibration excitation of thin plates", *Journal of Vibration and Acoustics*, Transactions

of the ASME 113, pp. 100-107, 1991.

4. Velimir M. Ristic, "Principles of Acoustic Devices", America, John Wiley & Sons Inc., 1983.
5. J. F. Nye, "Physical Properties of Crystals", New York Toronto Oxford University Press, 1986.
6. O. B. Wilson, "Introduction to Theory and Design of Sonar Transducers", Peninsula Publishing Los Altos USA, 1988.
7. 박창엽, "전기전자용 압전세라믹스", 반도체출판사, 1995.
8. Yu Chen, "Vibration: Theoretical Methods", Addison Wesley Publishing Company Inc., 1966.
9. K. J. Bathe, "Finite Element Procedures", Prentice-Hall Inc. 1996.
10. F. P. Beer and E. R. Johnston Jr., "Mechanics of Materials", McGraw-Hill Inc., 1992.
11. S. S. Rao, "Mechanical Vibration", Addison Wesley, 2nd, 1992.

▲안 순 홍



1996년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1996년 3월~현재: 경북대학교 대학원 센서공학과(석사과정)

▲노 용 래

한국음향학회지 15권 5호 참조