

란쥬반형 진동자에 관한 연구 A Study on the Langevin Type Vibrators

論 文
30~1~2

朴 昌 燁* · 韓 得 榮** · 朴 泰 坤***
(Chang-Yup Park · Duk-Young Han · Tae-Gone Park)

Abstract

The fabrication of Langevin type vibrators producing relatively high sonic and ultrasonic energy is described.

The dependence of the acoustic output and the frequency characteristics on the thickness of the steel plates and the pressure at the ceramics are investigated.

As results, the acoustic output of Langevin type vibrators are relatively high, and the resonant frequency is decreased by thickening the steel plates and lowering the pressure at the ceramics. Using these results, sonic and ultrasonic vibrator whose resonant frequency is determined can be designed.

1, 서 론

음파 및 초음파 에너지는 근래에 와서 여러 산업분야와 의학, 가정용품에 이르기까지 광범위하게 이용되고 있다. 예를들면 어군탐지기, 군사용 음향탐지기, 자원탐사를 위한 지질탐사기, 의학용 메스, 치석제거기, 반도체 및 보석류의 정밀가공기, 세척기, 가습기, 연마, 절삭기 등을 들 수 있는데 특히 금속의 가공등 기계산업분야에 있어서는 대출력이 요구되고 있다. 이러한 대출력의 음파 및 초음파 에너지를 발생 시키는데 있어서 가장 중요한 것은 효율이 높고 대출력에 안정된 진동자라고 할 수 있으며 최근에는 압전 진동자가 압도적인 위치를 차지하고 있다.

본 논문에서는 여러장의 압전소자를 전기적인 병렬과 기계적인 직렬로 연결하여 효율적인 진동효과를 얻을 수 있고 부착되는 철판의 두께를 변화시켜 그 공진 주파수를 조정할 수 있는 란쥬반형 진동자를 제작하고^{1,2,3)} 음향출력특성과 철판의 두께와 압전소자에 가해지는 압력의 변화에 따른 주파수특성을 측정하였다.

2. 란쥬반형 진동자의 특성^{4,5)}

음파 또는 초음파 진동자를 설계하는데 있어 기본이 되는 것은 기본적인 파동방정식이다.

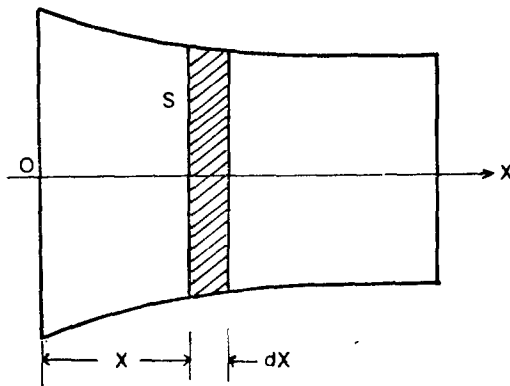


그림 1. 공진자의 단면
Fig. 1. Cross section of resonator.

그림 1과 같이 단면이 불균일한 진동의 경우 그 심방향에 대한 종진동을 고려하면 소위치의 단면적이 이고 봉의 영률 (Young's modulus)이 E일때

* 正會員 : 延世大 工大 電氣工學科 教授. 工博
** 正會員 : 建國大 工大 電氣工學科 專任講師.
*** 正會員 : 延世大 大學院 電氣工學科 博士過程
接受日字 : 1980年 9月 24日

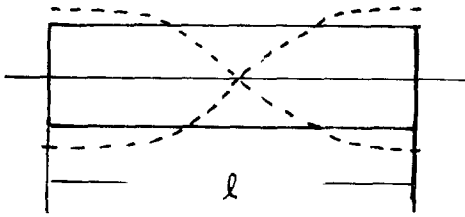


그림 2. 봉의 반파장 모드
Fig. 2. Half-wavelength mode of bar.

$$\rho s \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial}{\partial x} (s \frac{\partial u}{\partial x}) \quad (식 1)$$

는 봉의 밀도, u 는 변위, t 는 시간이다. 그림 2와 같이 봉의 단면적이 일정한 균일봉의 경우에는 식 1이

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (식 2)$$

$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ 로써 봉중을 통과하는 음파의 속도이다.

이 봉의 길이가 l 이고 그 양단이 자유로운 경우의 기본파 진동(반파장 공진, 제 1차공진)에 대해 고려하면

$$x=0 \text{ 일 때 } \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

$$x=l \text{ 일 때 } \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \text{ 이므로}$$

x 위치의 단면의 변위는 식 2에서

$$u = u_0 \cos \frac{\pi}{l} x (\cos \frac{c\pi}{l} t + \sin \frac{c\pi}{l} t) \text{가 된다.}$$

여기서 u_0 는 봉 단면의 진폭을 나타내며 봉의 축심방향에 따른 변위분포를 나타내면 그림 2의 점선과 같다.

이때 봉의 길이 l 은 봉의 중심을 지나가는 종파의 반파장에 해당되며 공진주파수를 f 라고 할때 1차 공진에서

$$l = \frac{1}{2} \frac{c}{f} \text{이다.} \quad (식 3)$$

즉 공진자의 전체 길이는 공진주파수 f 에서의 반파장의 정수배가 될때 공진하게 된다.

3. 실험 및 측정

3-1. 진동소자의 제조^{7,8,9)}

탄츄반형 진동자의 구동소자가 되는 진동소자는 보토소성법에 의해 제조하였고 조성비는 표 1과 같다.

표 1. 시편의 조성비

Table 1. Composition ratio of Samples.

Sample	Composition ratio	PbO	ZrO ₂	TiO ₂	La ₂ O ₃
s-n	Pb(Zr _{0.84} Ti _{0.48})O ₃ +1.0wt%La ₂ O ₃	5.306124	4.655870	2.55870	0.22980

1차 열처리는 850(°C)에서 45분간, 2차 열처리에는 1250(°C)에서 2시간 동안하였고 전극은 실버 페이스트를 발라 600(°C)에서 열처리하여 부착하였다.

성형압력은 800(kg/cm²)을 가하였으며, 전극이 부착된 시편을 절연유 속에 넣고 상온에서 20(kv/cm)의 직류전계를 2시간 동안 가하여 분극하였다. 완성된 진동소자는 그림 3과 같다.

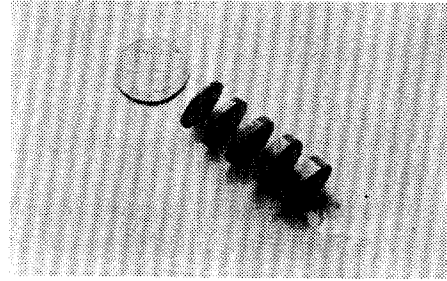


그림 3. 진동소자
Fig. 3. Vibrators

3-2. 진동소자의 제정수 측정

(1) 공진 반공진주파수 측정

압전세라믹 진동소자의 공진 반공진주파수는 진동소자의 어드미턴스가 극대극소가 되는 주파수를 말하며, 진동소자의 제정수들의 산출에 꼭 필요한 것이다. 측정은 그림 4의 정전압 회로를 이용 하였고 그 측정결과는 표 2와 같다.

표 2에 표기한 시편번호의 가운데 숫자는 시편의 두께를 나타내며 끝의 문자는 같은 두께의 시편 2장을 구별하고 있다.

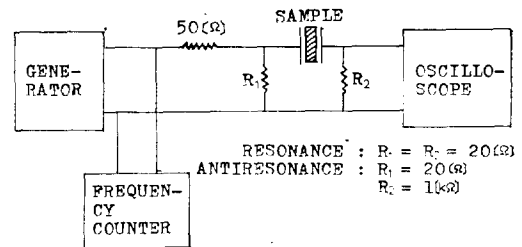


그림 4. 공진·반공진주파수 측정회로
Fig. 4. Measuring circuit of resonant & antiresonant frequency.

표 2. 시편의 공진·반공진 주파수, 정전용량 및 제제원

Table 2. Resonant antiresonant frequency, capacitance & dimensions of samples.

Sample	Thickness t[cm]	Radius a[cm]	Density ρ[g/cm ³]	Resonant frequency fr[KHz]	Antiresonant frequency fa[KHz]	Capacitance [PF]
S-1-a	0.12	0.87	7.25	118.37	128.41	2,125
S-1-b	0.12	0.87	7.48	118.01	126.94	2,150
S-2-a	0.22	0.87	7.56	116.08	128.32	1,015
S-2-b	0.22	0.87	7.50	117.31	127.73	1,080
S-3-a	0.32	0.87	7.24	115.29	126.83	740
S-3-b	0.32	0.87	7.29	114.48	126.52	760
S-4-a	0.42	0.87	7.29	114.62	124.36	573
S-4-b	0.42	0.85	7.33	115.84	124.64	495
S-5-a	0.52	0.85	7.25	117.47	127.61	396
S-5-b	0.52	0.84	7.25	114.65	124.63	398

(2) 제정수 산출

유전율은 $\epsilon_{33}^T = \frac{C \cdot T}{S} (F/m)$ 에 의해 산출 했으며, 이때 C는 시편의 정전용량, T는 두께, S는 단면적이다. 비유전율은 IRE규정에 의해 유전율 ϵ_{33}^T 를 진공중의 유전율 ϵ_0 로 나누어 산출 하였다. 전기기계 결합계수는 전기기계 에너지변의 척도로써 이 값이 크면 에너지 변환능률이 좋다. 원판형 진동소자의 전기기계 결합계수(K_t)는 尾上의 근사식⁹⁾을 이용하여 구하였다. 즉

$$\frac{1}{K_t^2} = a \cdot \frac{f_r}{\Delta f} + b$$

- f_r : 공진주파수 [Hz]
- f_a : 반공진주파수 [Hz]
- $\Delta f: f_a - f_r$
- $a: 0.450$
- $b: 0.810$

또한, 경방향 진동의 전기기계 결합계수(K_r)는 근사식

$$\frac{1}{K_r^2} = a \cdot \frac{f_r}{\Delta f} + b \left(\text{단, } a=0.395, b=0.574 \right) \text{를 사용하여 산}$$

출하였다.

$$\text{탄성정수}(Y_{11}^E = \frac{1}{S_{11}^E}) \text{는}$$

$$Y_{11}^E = \rho \left(\frac{2\pi \sqrt{1-\sigma^2}}{\eta_1} \cdot r + f_r \right)^2 \text{ [Newton/m}^2 \text{]의 식}$$

에 의해 산출하였다. 이때 PZT제의 포와 손비(σ)는 0.30이고 η_1 은 포와 손비에 의해 정해지는 정수로써 2.05이다.

압전정수 d_{31} 과 g_{31} 은

$$d_{31} = K_r \sqrt{\frac{1-\sigma}{2}} \cdot \frac{\epsilon_{33}^T}{Y_{11}^E} \text{ [Coulomb/Newton]}$$

$$g_{31} = \frac{d_{31}}{\epsilon_{33}^T} \text{ [V} \cdot \text{m/Newton]} \text{의 식으로 산출 하였}$$

다. 여기서 d 상수는 단위힘에 의하여 생기는 전하 또는 전위에 의하여 생기는 변형을 나타내고 g 상수는 단위응력에 의하여 일어나는 전계를 나타낸다. 표 2의 측정치를 이용하여 산출한 진동소자의 제정수는 표 3과 같다.

표 3. 시편의 특성

Table 3. Properties of samples

Sample	Relative Permittivity $\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$	Electromechanical coupling constant		Elastic constant Y_{11}^E [N/m ²]	Piezoelectric constant	
		kt [%]	kr [%]		d_{31} [m/v]	g_{31} [V-m/v]
S-1-a	1,188	42.39	43.72	6.5728×10^{10}	103.47×10^{-12}	9.8365×10^{-3}
S-1-b	1,211	40.28	41.54	6.7402×10^{10}	98.02×10^{-12}	9.1420×10^{-3}
S-2-a	1,021	43.00	44.49	6.5913×10^{10}	97.47×10^{-12}	10.7822×10^{-3}
S-2-b	1,123	43.15	44.63	6.6783×10^{10}	101.88×10^{-12}	10.2464×10^{-3}
S-3-a	1,140	45.54	47.21	6.2266×10^{10}	112.45×10^{-12}	11.1403×10^{-3}
S-3-b	1,186	46.32	48.06	6.1819×10^{10}	117.19×10^{-12}	11.1599×10^{-3}
S-4-a	1,143	42.35	43.76	6.1970×10^{10}	104.62×10^{-12}	10.3379×10^{-3}
S-4-b	1,022	40.35	41.62	6.0751×10^{10}	95.01×10^{-12}	10.4997×10^{-2}
S-5-a	1,053	42.63	41.07	6.1791×10^{10}	101.27×10^{-12}	10.3620×10^{-3}
S-5-b	1,075	42.79	44.23	5.7483×10^{10}	106.48×10^{-12}	11.1871×10^{-3}

(3) 진동소자의 음파특성 측정¹⁰⁾

그림 5와 같은 측정회로를 이용하여 각 진동소자에 서 발생하는 음파의 주파수 특성을 측정 하였다.

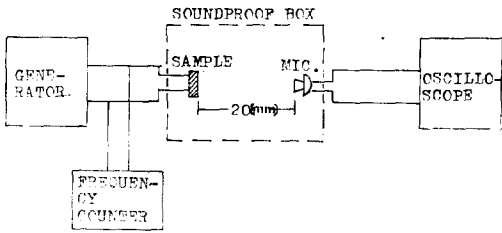


그림 5. 소자의 주파수 특성 측정 회로

Fig. 5. Measuring circuit of vibrator frequency characteristic.

측정시 발전기 출력전압을 $80[V_{p-p}]$ 로 일정하게 하였다. 측정결과는 그림 6과 같다.

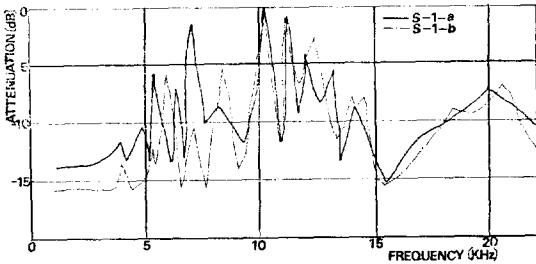


그림 6-1. S-1-a, S-1-b진동소자의 주파수특성
Fig. 6-1. Frequency characteristics of S-1-a, S-1-b vibrators.

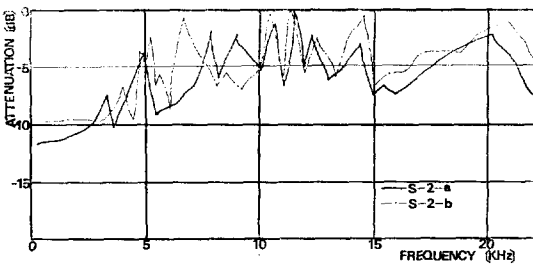


그림 6-2. S-2-a, S-2-b 진동소자의 주파수특성
Fig. 6-2. Frequency characteristics of S-2-a, S-2-b vibrators.

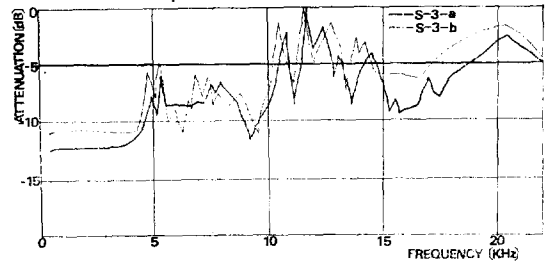


그림 6-3. S-3-a, S-3-b 진동소자의 주파수특성
Fig. 6-3. Frequency characteristics of S-3-a, S-3-b vibrators.

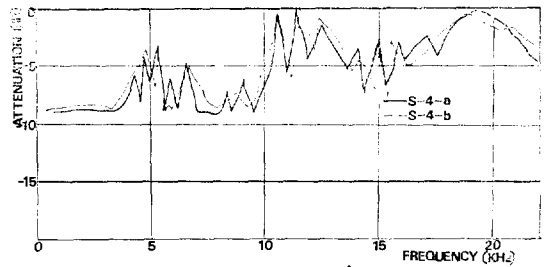


그림 6-4. S-4-a, S-4-b 진동소자의 주파수특성
Fig. 6-4. Frequency characteristics of S-4-a, S-4-b vibrators.

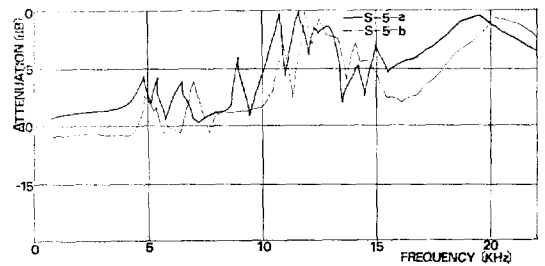


그림 6-5. S-5-a, S-5-b 진동소자의 주파수특성
Fig. 6-5. Frequency characteristics of S-5-a, S-5-b vibrators.

그림 6에 나타나는 최대공진주파수를 공진주파수(표 2의 f_r)와 구별하기 위해 진동공진주파수 라고 했으며 이것은 그림 5의 실험장치에 의해 측정가능한 음파대역에서의 최대공진점이다. 공진주파수가 현저히 다른 진동소자의 음파특성을 여러번 측정한 결과 공진주파수가 증가하면 음향대역에서의 진동공진주파수가 나란히 증가함을 알 수 있었다. 이 결과를 기초로 3-4절의 측정을 하였다.

3-3. 탄류반형 진동자의 제작⁶⁾

철판은 그림 7과 같이 직경 36(mm), 각각의 두께 5(mm), 10(mm), 15(mm), 20(mm), 25(mm),의 5가지 두께의 원판형으로 제작하여 외주에 각각 직경 3.5(mm)인 6개의 볼트 구멍을 등간격으로 뚫어 그림 8과 같이 2장의 철판 사이에 진동소자와 전극판을 놓고 볼트로써 균일한 압력으로 조일 수 있도록 하였다. 철판의 바깥면의 볼트구멍에는 볼트머리가 들어 갈 수 있도록 홈을 파서 볼트의 공전을 방지하고 세척기 등에 응용시 진동판에 부착이 용이하도록 하였다.

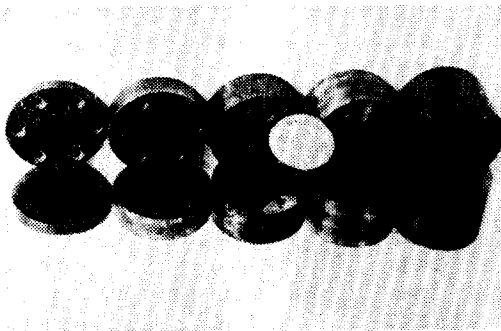


그림 7. 철판
Fig. 7. Steel plates

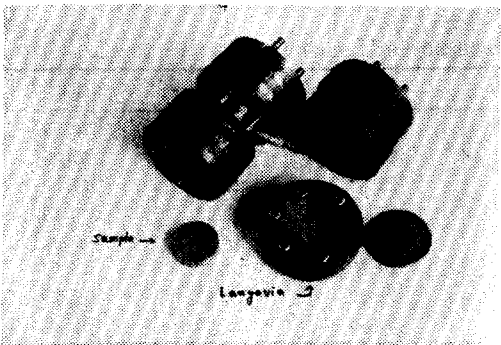


그림 8. 탄류반형 진동자
Fig. 8. Langevin type vibrators.

철판의 재질은 일반 구조용 탄소강인 S-45C를 사용하였고 경도를 높이기 위해 살트(salt) 열처리 했으며 진동소자와 접촉하게 되는 철판의 안쪽면은 결합을 충분히 하기위해 3/100(mm)의 정밀도로 연마 하였다. 전극판은 2장의 진동소자를 병렬연결할 때 +전극의 역할을 하고 진동소자간의 결합을 돕는 것으로써 두께 0.05(mm)인 동판으로 제작하였다.

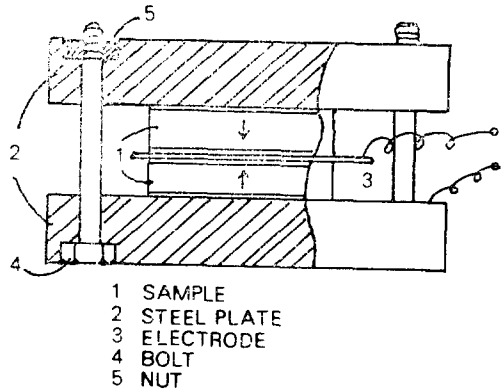


그림 9. 탄류반형 진동자의 구조
Fig. 9. Construction of Langevin type vibrator.

탄류반형 진동자의 구조는 그림 9와 같다. 2장의 철판 사이에 2장의 진동소자를 병렬로 놓고 진동소자 사이에 전극판을 끼워 6개의 볼트로써 조였다. 이때 진동소자의 분극방향은 전극판 쪽으로 +방향을 일치 시키고 양철판중의 한 쪽에서 -전극을, 전극판에서 +전극을 뽑아 내었다. 이렇게 함으로써 진동소자는 전기적인 병렬연결이 되고 기계적인 진동은 직렬이 되므로 강력한 진동효과를 얻을 수 있다.

3-4. 탄류반형 진동자의 음파특성 측정

(1) 철판의 두께에 따른 음파특성

탄류반형 진동자의 음파특성은 그림 5의 회로를 이용하여 측정하였다. 진동소자와의 진폭비교를 위해 발진기의 출력전압을 80(V_{p-p})로 유지하여 측정조건을 같게 하였다. 진동자의 볼트압력은 ORANGEBURG S.C.의 Torque Control TCL-150을 사용하여 20 [LBS-IN]를 유지하였고 이러한 조건 하에서 진동자의 철판두께를 변화시켜 그 진동공진주파수의 변화를 측정하였다.

그 결과는 표 4와 같다. 표 4에 표기한 진동자 번호의 가운데 숫자는 제작에 사용된 진동소자의 두께를, 끝의 숫자는 철판의 두께를 나타낸다.

(2) 볼트압력에 따른 음파특성

철판과 볼트에 의해 진동소자에 가해지는 압력의 변화에 따른 진동공진주파수의 변화를 측정하였다. 그 결과는 표 5와 같다.

Ⅱ 4. 란쥬반형 진동자의 진동공진주파수, 반파장과 두께

Table 4. Vibrating resonant frequency, halfwavelength & thickness of Langevin type vibrators.

L-Vibrators	Vibrating resonant frequency [KHz]	Amplitude [Vp-p]	Half wavelength $\frac{\lambda}{2}$ [cm]	Thickness [cm]	Multiplier [$\times \frac{1}{10}$ 배]
S-1-5	24.51	12.4	11.85	1.203	1
S-2-5	20.49	48	14.18	1.424	1
S-3-5	24.63	31.2	11.79	1.609	(1)
S-4-5	23.94	54.4	12.13	1.819	(1)
S-5-5	22.81	41.6	12.74	2.026	(2)
S-1-10	24.25	62.4	11.97	2.258	2
S-2-10	23.30	70.4	12.47	2.479	2
S-3-10	21.54	184	13.49	2.664	2
S-4-10	20.40	64	14.24	2.874	2
S-5-10	16.29	68	17.83	3.081	(2)
S-1-15	22.17	88	13.10	3.233	(3)
S-2-15	21.05	80	13.80	3.444	(3)
S-3-15	20.03	144	14.50	3.630	(3)
S-4-15	18.78	192	15.84	3.839	(3)
S-5-15	16.28	96	17.84	4.046	(3)
S-1-20	21.19	116	13.71	4.233	3
S-2-20	19.42	152	14.96	4.454	3
S-3-20	18.85	208	15.41	4.639	3
S-4-20	15.09	112	19.25	4.849	(3)
S-5-20	14.45	184	20.10	5.056	(3)
S-1-25	16.68	67.2	17.42	5.233	3
S-2-25	16.65	50	17.45	5.454	(3)
S-3-25	15.56	72	18.67	5.639	3
S-4-25	14.86	136	19.55	5.849	3
S-5-25	11.95	264	24.31	6.056	(3)

()는 큰 오차를 갖는 것

Ⅱ 5. 란쥬반형 진동자의 볼트압력과 진동공진 주파수

Table 5. Bolt pressure and vibrating resonant frequency of Langevin type vibrators.

vibrators	pressure					
	14	16	18	20	22	24
S-1-5	26.38	26.52	27.62	27.39	28.45	29.25
S-1-10	20.66	21.79	22.88	24.10	24.78	25.36
S-1-15	19.76	21.68	21.80	23.53	23.70	24.80
S-1-20	14.42	16.85	18.18	19.04	20.13	20.89
S-1-25	12.55	14.08	16.02	17.27	18.57	18.62
S-2-5	18.63	21.11	24.06	26.55	27.07	27.59
S-2-10	17.82	20.19	21.72	23.00	23.82	24.77
S-2-15	17.91	20.04	20.92	21.80	22.95	23.47
S-2-20	13.51	16.68	17.61	18.08	18.90	19.58
S-2-25	13.45	14.82	15.81	16.81	17.11	17.64
S-3-5	21.63	23.30	24.00	25.90	26.40	26.78
S-3-10	20.24	21.48	22.90	23.73	23.91	24.41
S-3-15	16.67	19.32	20.00	20.97	21.75	22.29
S-3-20	13.45	15.31	16.90	17.32	18.02	18.61
S-3-25	11.62	12.51	13.38	14.62	15.54	16.69
S-4-5	22.81	23.82	24.22	24.77	24.95	25.21
S-4-10	18.55	20.03	21.33	23.39	22.16	23.20
S-4-15	14.60	17.01	18.28	19.10	19.87	20.59
S-4-20	12.85	14.38	15.63	16.74	17.32	17.94
S-4-25	12.39	13.18	13.82	14.58	15.13	15.20
S-5-5	21.08	22.09	22.74	23.18	23.73	25.18
S-5-10	14.55	16.04	17.13	17.02	18.50	17.92
S-5-15	13.34	14.61	15.61	16.45	17.18	17.63
S-5-20	10.35	11.43	12.75	13.57	14.26	14.74
S-5-25	10.21	10.91	11.70	12.25	12.72	13.25

단위 : [KHz]

4. 결과고찰

탄류반형 진동자의 구동소자로서 제조된 압전 세라믹 진동소자의 주파수특성을 측정한 결과 표 2에서와 같이 두께에 따른 공진주파수의 뚜렷한 변화는 나타나지 않았다. 음향특성에 있어서도 그림 6에서와 같이 두께에 관계없이 11[kHz] 근처에서 최대공진점을 찾을 수 있었다. 이것은 얇은 원판형 진동소자가 주로 경방향 진동을 하므로 두께가 공진주파수에 미치는 영향은 미세하며 직경의 변화에 따라 공진주파수가 크게 변화하기 때문이다.

표 2와 표 3의 측정결과에서 같은 조성비로 제조된 소자들의 밀도, 유전율, 계정수들이 약간씩 다른것은 제조시의 소성온도, 분극시간등의 오차에 의한 것으로 사료된다.

진동소자의 음파응답과 탄류반형 진동자의 음파응답과의 진폭을 비교하여 보면 표 6과 같이 최소 2.5배 최대 94.3배의 응답을 얻을 수 있었다.

표 6. 진동소자와 탄류반형 진동자의 진폭비

Table 6. Amplitude ratio of sample & Langevin type vibrator.

Sample	Amplitude [Vp-p]	Langevin type	Amplitude [Vp-p]	Multiplier [배]	비 고
S-1-a	3.88	S-1-5	12.4	2.5	최 소
S-1-b	4.96				
S-5-a	2.28	S-5-25	264	94.3	최 대
S-5-b	2.8				

그러나 진폭에 대한 일정한 범칙은 발견할 수 없었다. 표 4에서 알 수 있듯이 탄류반형 진동자의 진동공진주파수는 철판의 두께가 두꺼워 질수록 낮아졌다. 이것은 3-2절에서 언급한 바와 같이 초음파 대역에서의 공진주파수가 낮아지면 음파대역에서의 진동공진주파수가 나란히 낮아지기 때문이다. 제작된 탄류반형 진동자의 압전세라믹부분을 철판과 일체로 보아 균일한 단면적을 가진 봉으로 보고 공진주파수를 계산하여 보면 표 4의 결과와 일치되고 있다. 즉 서론의 식 3으로부터 균일봉의 공진주파수는

$$f = \frac{1}{2} \frac{c}{l} = \frac{c}{\lambda} \text{ 가 되며 } \quad (\text{식 4})$$

이때 c = 강철속의 음속 = 5.81×10^6 [cm/sec]이다. 예를 들어, 표 4의 S-1-5는 길이가 1.203[cm]이므로 식 4로부터 실제의 공진주파수가 241.48[kHz]이며, S-5-25는 길이가 6.05[cm]로써 $\lambda/2$ 의 3배에서 공진하므로 133.91[kHz]이다. 그러나, 이 주파수는 음향측정

이 불가능한 초음파 대역에 있다. 표 4에서 S-1-5의 진동공진주파수는 24.51[kHz]이며 이 주파수가 공진주파수가 되는 진동자의 두께는 식 4로부터 $\lambda/2$, 즉 11.85[cm]가 되어야 한다. 그러나 진동자의 실제 두께는 계산에 의한 값의 1/10인 1.208[cm]이다. 그러므로 S-1-5의 실제 공진주파수는 초음파범위인 245 [kHz] 부근에 있으며 표 4의 진동공진주파수는 음향측정이 가능한 범위 내에서의 최대공진점이며 이 공진점의 이동으로써 초음파범위의 공진주파수를 관찰할 수 있다. 이는 측정된 25개의 진동자에서 일치되고 있다. 표 4에 나타나는 오차는 압전소자의 직경과 철판의 직경의 차이, 강철과 압전소자내의 음속의 차이, 그리고 볼트구멍 밖으로 나온 볼트의 자체공진과 철판 제작시열처리 조건등의 차이에 의한 오차로 생각되며, 본 논문에서는 두께가 얇은 압전세라믹을 철판과 일체로 보아 균일봉으로 해석했으나 이를 구분하여 복합진동자로 보고 철판과 압전소자의 직경을 일치 시킴으로써 더욱 정확한 해석이 가능하며, 공진주파수가 음향측정이 가능한 음향대역에 있는 두꺼운 진동자를 제작하거나 초음파의 진동을 측정할 수 있는 방법을 찾음으로써 직접 공진주파수를 찾을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 표 5에서와 같이 압전소자에 가해지는 압력이 커짐에 따라 공진주파수가 현저히 높아짐을 알수 있었으나 이에 대한 해석은 할 수 없었다. 그러나 진동자의 공진주파수에 크게 영향을 미치는 요소로써 꼭 해결 해야할 문제로 사료된다.

탄류반형 진동자의 제작에 의해 압전소자를 전기적인 병렬과 기계적인 직렬로 연결함으로써 높은 출력율을 얻을 수 있었고, 대출력으로 장기간 사용시 일어나기 쉬운 자기파괴를 방지할 수 있는 잇점이 있다. 또한 철판의 두께와 압전세라믹에 가해지는 압력을 조정함으로써 공진주파수를 임의로 조정할 수 있으므로 탄류반형 진동자를 대형화하고 철판의 두께와 압력의 최적 조건을 찾아 대출력을 범으로써 여러 분야에 요구되고 있는 우수한 진동자를 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

- 1) 원판형으로 제조된 진동소자의 두께의 변화에 따른 공진주파수의 뚜렷한 변화는 없었다.
- 2) 탄류반형 진동자의 제작에 의해 강력한 음파응답을 얻을 수 있었다.
- 3) 철판의 두께가 두꺼워 질에 따라 진동공진 주파수가 낮아졌다.

4) 불트압력이 커짐에 따라 진동공진주파수가 높아졌다.

5) 상기한 특성을 이용하고, 보다 정확한 진동자의 설계방법을 연구하여 효율적이고 안정된 진동자를 개발함으로써 광범위하게 실용화 되고 있는 음파및 초음파 에너지분야에 도움이 될 수 있을 것으로 생각한다.

Reference

1. P. Langevin, French Patent, 505,703, 1920.
2. W.P. Mason, U.S. Patent, 2,415,832, 1950.
3. S.R. Rich, U.S. Patent, 3,101,419, 1963.
4. H. Minchenko, "High-Power Piezoelectric Transducer Design." IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-16, No.3, pp.126~131, July, 1969.

5. Nicholas Maropis, "The Design of High-Power Ceramic Transducer Assemblies." IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics, Vol.SU-16, No.3, pp.132~136, July, 1969.
6. 鳥川正憲 "초음파공학", 공업조사회, p.47, 1975.
7. F. Kulscar, "Electromechanical Properties of Lead Titanite Zirconite Ceramics Modified with Certain Three or Five Valent Additions.", J. Am. Ceram. Soc., Vol.47, No.7, pp.343~349, 1959.
8. 박창엽 : "불순물 첨가에 의한 PZT 진동소자의 특성", 연세대학교 산업기술연구소, 11. 1979.
9. 전자재료공업회, "압전セラミツとその應用", 동경 전파신문사, pp.62~78, 1974.
10. 한득영 : "불순물 Nb에 의한 Pb(ZrTi)O₃ 압전 세라믹 진동소자 음파특성", 석사학위 논문, 1978.