

衝擊電流를 이용한 非靜磁場의 集中形 EMAT의 제작과 그 특성에 관한 연구

Design of a Concave Type EMAT Operated by Shock Electric Current without Static Magnetic Fluxes

(Folded Copper Plate EMAT를 중심으로)

장 지 원*, 양 정 원*

(Jeewon Chang, Jungwon Yang)

요 약

이 논문은 접은 도체막판의 단순한 구조가 전자유도형 변환기(EMAT) 역할을 한다는 것을 기술하고 있다. Endoh 등(1986)은 볼록한 나선코일과 동박판(銅薄板)으로 구성된 볼록한 방사면 모양을 띤 전자유도형 변환기가 시간적으로 짧은 충격파를 발생시킬 수 있기 때문에 뚜렷한 초음파 영상을 얻을 목적으로 Eisenmenger에 이어 전자유도형 EMAT를 보고한바 있다.

여기서는 코일이 없는 EMAT를 소개한다. 이것은 두께 0.05 mm, 폭 5 cm 길이 임의의 동박판으로 구성되며 동박판은 절연도료를 칠한 종이로 절연되고 접어서 견고하게 밀착시키며, 여러번 접는 경우는 손부채처럼 접는 방향은 교대로 반대방향으로 접는다. 그리고는 얇은 고무판을 표면에 밀착시키고 연면을 실리본 충진세등으로 고정시키거나, polyester molding을 하여 표면을 concave형으로 하여 완성하였다. 완성된 EMAT들은 수조에서 축전기방전방식으로 실험을 하였으며 EMAT에서 발생하는 음파의 진폭은 접는 회수에 비해하였으며, 단접형 EMAT보다 다접형 EMAT의 발생음파가 보다 강력하였다. Concave형 EMAT의 음속은 예견한 바와 같이 잘 집중 되었다. 그러나 평판형의 경우는 지향성은 100 도로서 넓은 지향각을 나타내었다. 2 μ F, 600Volt의 축전기 방전에 의한 집중형 concave EMAT의 주파수는 -20 dB에서 0 kHz부터 145 kHz의 광대역이었으며, EMAT를 여기시키기 위한 축전기의 용량이 작을수록 대역폭은 더욱 넓었다.

ABSTRACT

This paper describes the simple structure of how folded metal foil is worked as an electromagnetic acoustic transducer(EMAT). After Eisenmenger's EMAT, Endoh et al(1986) reported the convex radiation surface electromagnetic transducer composed of a convex spiral coil and a copper membrane to obtain the clear image in ultrasonic imaging. This result was studied because the EMAT with a metal membrane was able to generate a short impulse.

In this experiment an EMAT with no coils is introduced. It is composed of a copper foil, 5 cm in width, 0.05 mm in thickness. The copper foil is insulated with varnished paper and tightly folded with one segment over another(like a

*부산수산대학교 자연과학대학 물리학과

접수일자: 1993년 8월 13일

handmade paper fan), is molded with polyester resin. The EMATS of flat surface and concave surface molds were then tested by a capacitor discharge pulser with a SCR gating system in a water tank. The amplitudes of the sonic pulses produced by the EMATs were proportional to the number of the copper foil's folding. Therefore, the multiple fold copper foil EMAT was more powerful than the single fold copper foil EMAT.

As was expected, the sound beam from the concave surface EMAT met at a focusing point. On the other hand, the sound beam from the flat surface EMAT had a wide directivity of 100 degrees. The generated sonic frequency of the five fold concave surface EMAT driven by the capacitor discharge pulser of $2\mu\text{F}$ in capacitance and 600 volt in charging voltage ranged from 0 kHz to 145 kHz at -20 dB .

※이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되어 이루어졌음.

I. 서 론

EMAT⁽¹⁾(Electromagnetic Acoustic Transducer)는 미파괴검사용으로 1970년대 부터 개발되어 왔으며 축전기 방전으로 코일에 의하여 금속매질에 충격탄성파를 유발하는 장치로 상유전체나 강자성체 센서처럼 매질체에 변환기를 접촉시키지 않는 것이 특색이다⁽¹²⁾. 1978년에는 종파평파 분리 김춘형 EMAT⁽¹³⁾와 그것의 AE에의 응용연구가 있었으며, 1980년에는 송수와 인체형⁽²⁾을 Shimizu 및 Ishii가 발표하였다. 1962년 Eisenmenger는 코일에 충격전류를 주어 전자유도에 의해서 도체막에 와전류를 유기 시키는 방법의 음원을 연구한 바 있으며, 그 후 Endoh등(1986)이 이를 이었다. 이와같은 EMAT는 결점이 대전류가 필요하다는 것인데, 장치가 간단한 구조로 제작이 용이하다는 매력도 없지 않다. 따라서 단지 음원으로만 쓴다면 더욱 간단한 장치로써 매력을 한층 더 높일 수 있는 방법이 있을 것으로 생각된다. Megagauss 영역의 초상자장의 발생⁽⁷⁾에 관한 보고서를 일별하면 내경이 2.5mm의 單-Coil(Single Turn Coil)로서 막대한 강한 자장 200T를 발생시키고 있으며 이것을 문성연구에 응용하고 있다(N.Miura & T. Goto)⁽⁵⁾. 음파의 발생은 이 응용연구에서 얻고 있는 것처럼 반드시 큰 Energy와 큰장치가 필요한 것은 아니다. 폭발이나 전기방전⁽⁴⁾같은 충격적인 시간적으로 폭이 좁은 진동은 주파수 영역에서 대역폭이 넓어지므로 필요한 주파수대만 여파기로 선택수신하는 경우 그 응용성은 매우 높아질 것이 기대되므로, 제 1보(한국 음향학회지 11권 3호, pp. 67-73, 1991. 5)의 전자유도형 수중음원의 제작과 특성해석에 이어 제 2보로서 구조가 매우 간단한 Folded copper plate EMAT를

여기 보고코저한다.

II. 접판형 전자유도형 음원

II-1. 접판형 EMAT의 구동력

현재까지 발표되어 있는 내용은 대부분 Convex形⁽⁹⁾,⁽¹⁰⁾과 기타의 음원이 주로 되어 있으며 Concave形은 찾아볼 수 없다. Concave形의 설계⁽¹¹⁾에 대한 시도는 대부분 평판 변환자에 아크릴과 같은 수지나 용융석영등의 매질을 부착시켜 lens형으로 한 것이나, 또는 Zone Plate형으로 하는 등이며 또한 반사형으로 전송로를 전환하는⁽¹¹⁾ 등의 것을 볼 수가 있으며 매우 복잡한 제작상의 과정등이 예상된다. 제 1차 보고서에서 발표한 바와 같이 권선 Coil의 경우 유장의 강도는 우수하나 그 Coil의 제작보다 더욱 간단한 형태와 구조를 한 EMAT를 고안설계제작하여 그 특성을 시험조사하였으므로 그 결과를 여기 보고코저 한다.

접은 두 도판간에 힘이 어떠한 크기의 분포로 작용하는지 알기 위하여 자장의 세기분포를 계산하였다. 거리 D_0 를 두고 폭 B , 길이 l_0 인 두 동판(銅板)을 대립하여 연결시키고 이에 고전압의 전기를 충격적으로 흘리는 경우 순간적으로 척력(斥力)이 작용하여 음파를 발생한다. 도판의 두께를 t 라고 하면 전류 i 를 흘렸을 때 도판의 전류밀도 $I = \frac{i}{B \cdot t}$ 가 되고 단위단면적당 I 가 흐른다고 생각된다. 여기서 $B \cdot I = S$ 라고 하고 $i = SI = nS_0 I = nI_0$ 라고 하면 도판에는 단면적 S_0 를 통하여 I_0 의 전류가 흐르고 I_0 의 전류는 n 개 나란히 흐르고 있다고 볼 수 있다. 이때 도판의 길이를 l_0 라고 하면, 임의의 일점 P 가 전류 I_0 로부터 거리 D_0 ,

길이 l_0 의 한쪽끝으로부터 x 의 거리에 있을때 그 점에 만드는 자장의 세기 H_0 는 Biot-Savart의 법칙에서 l_0 의 일단으로부터 I_0 에 나란하게 거리 x 에 있고 l_0 로부터 수직으로 거리 D_0 떨어져 있는 점 P(D_0, x)의 자장의 세기는 $H_x = \frac{I_0}{4\pi D_0} (\cos\varphi_2 - \cos\varphi_1)$ ⁽⁴⁾이 된다. 여기서 φ_1 과 φ_2 는 점 P와 전류 I_0 가 l_0 의 시심과 종점에서 이루는 각이다. 여현을 x, D_0, l_0 의 함수로 나타내면

$$H_x = \frac{I_0}{4\pi D_0} \left[\frac{x}{\sqrt{D_0^2 + x^2}} + \frac{l_0 - x}{\sqrt{D_0^2 + (l_0 - x)^2}} \right] \quad (1)$$

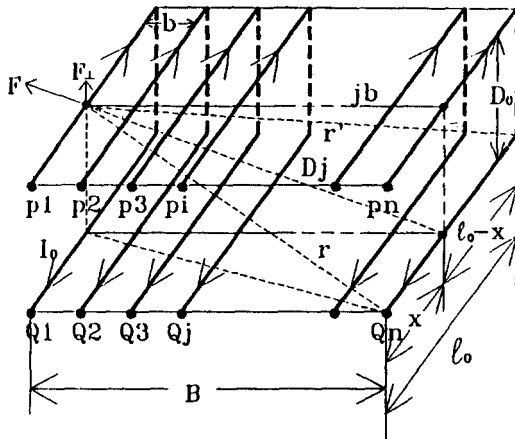


Fig.1 Repelling forces between parallel Currents of opposite directions on the folded conductive plate.

이 된다. 전류 i 가 n 개로 나누어져 흘러들어간다고 가정하고 폭 B 를 등간격으로 나누어 $B/n = b$ 로 하여 첫번째 전류 I_0 의 입구위치를 P_1 으로 나타내고 이어서 P_2, P_3, \dots, P_n 으로 하면 흘러들어간 전류군은 Fig. 1과 같이 도판을 길이 $2l_0 + D_0$ m로 하여 접는 경우, 출구 도판형단면을 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 로 하여 그 위치를 나타내면 $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 와 $Q_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 는 서로 대립된다. 지금 P_i 위치에 있는 전류입구 I_0 가 거리 D_j 인 위치 즉 Q_j 위치에 있는 전류 I_0 의 길이 l_0 의 일부인 Δx 의 성분 $I_0 \Delta x$ 에 대하여 작용하는 힘 ΔF 의 두 직선간의 거리가 D_j 일 때 도판에 수직으로 작용하는 분력 ΔF_{\perp} 은

$$\Delta F_{\perp} = \mu_0 H_x I_0 \Delta s \frac{D_0}{D_j} = \frac{\mu_0 I_0^2 D_0}{4\pi D_j^2}$$

$$\left[\frac{x}{\sqrt{D_0^2 + x^2}} + \frac{l_0 - x}{\sqrt{D_0^2 + (l_0 - x)^2}} \right] \Delta x \quad (2)$$

이다. 여기서 μ_0 는 투자율이다. 길이 Δx 를 l_0 로 했을 때 작용하는 힘 F_j 는

$$F_j = \int_0^{l_0} \frac{D_0}{D_j^2} \mu_0 H_x I_0 dx = \frac{\mu_0 I_0^2 D_0}{2\pi D_j^2} \left\{ \sqrt{D_j^2 + I_0^2} - D_j \right\} \quad (3)$$

이고, $B/n = \overline{P_i P_{i+1}} = \overline{Q_j Q_{j+1}} = b$ 에서 위치 P_j 는 기준위치로부터 $jb (j = 1, 2, \dots, n)$ 로써 나타낼 수 있으므로

$$D_j = \sqrt{D_0^2 + (jb)^2} \quad (4)$$

으로 나타낼 수 있다. 이것을 F_j 식에 대입하면

$$F_j = \frac{\mu_0 I_0^2 D_0}{2\pi} \left[\frac{\sqrt{D_0^2 + (jb)^2} + I_0 - \sqrt{D_0^2 + (jb)^2}}{D_0^2 + (jb)^2} \right] \quad (5)$$

P_i 내부 및 Q_i 내부가 위치에 나란히 흐르는 전류 I_0 들은 상호 인력(引力) 및 척력(斥力)으로 상쇄되고 P_i 와 Q_j 간에 흐르는 방향이 반대인 전류들 간의 척력만을 남기게 된다. 모든 Q_j 위치에 있는 I_0 에 P_i 내의 모든 I_0 가 작용하는 힘 즉 두 도판간에 수직으로 작용하는 힘 F_{\perp} 는

$$F_{\perp} = \frac{\mu_0 I_0^2}{2\pi} \left\{ (2m+1) \frac{\sqrt{D_0^2 + I_0^2} - D_0}{I_0} + \sum_{j=1}^m 2(2m+1-j) D_0 \frac{\sqrt{D_0^2 + (jb)^2} + I_0 - \sqrt{D_0^2 + (jb)^2}}{D_0^2 + (jb)^2} \right\} \quad (6)$$

이 된다. 이상은 길이를 유한한 l_0 로 하여 계산한 것이나 다음은 무한길이의 직선전류의 식을 도입하여 계산해 보기로 한다.

평판에 흐르고 있는 전류밀도를 K_0 라고 하면 도판의 dx 쪽으로는 $K_0 dx_0$ 의 선전류가 흐른다고 생각된다. Fig.2에서 원점으로 부터 x 방향으로 거리 S 에 있는 도판 상부 dS 쪽에 $K_0 dS$ 전류가 있는 위치에서 거리 r 에 있는 하부의 도판 dx_0 쪽의 전류 $K_0 dx_0$ 가 만드는 자장 B 는 $B = \frac{\mu_0 K_0 dx_0}{2\pi r}$ 이고 이때 발생하는 척력 \vec{f} 는 $\vec{f} = (K_0 d\vec{S}) I_0 \times \vec{B}$ 이다. 따라서 단위 길이당의 힘

은 $\vec{f} = (K_0 d\vec{S}) \times \vec{B}$ 이다. 여기서 μ_0 는 투자율이고 l_0 은 도판의 길이이며, h 는 도판간의 간격이다. 이 힘의 y 방향의 분력은 h/r 배가 되므로 전류 $K_0 dS$ 와 작용하는 힘은 $\frac{f}{l_0} = \frac{\mu_0 K_0^2 dS}{2\pi r} \left(\frac{h}{r}\right) dx_0$ 이다. S 위치를 기준으로 S 보다 가까운 곳에 있는 전류와 S 보다 먼 곳에 있는 전류의 폭을 각각 $0 \sim S$ 까지, $S \sim W$ 까지로 넓혀 즉 아래전류층의 폭을 전체로 확대한 위전류층 $K_0 dS$ 에 작용하는 힘 F_s 는

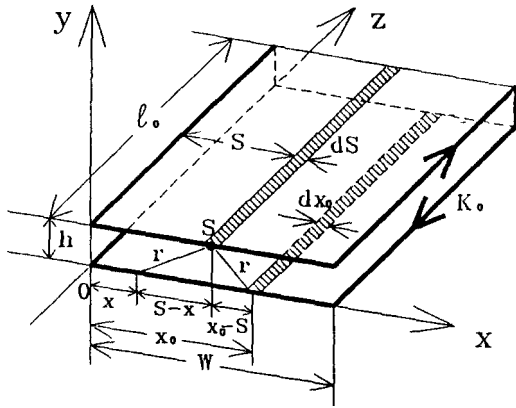


Fig.2 Repelling force between sheet currents of opposite directions on the folded conductive plate.

$$F_s = \frac{\mu_0 K_0 dSh}{2\pi} \left\{ \int_0^S \frac{K_0 dx}{h^2 + (S-x)^2} + \int_S^W \frac{K_0 dx_0}{h^2 + (x_0-S)^2} \right\} \quad (7)$$

이고, 위의 도판의 전류 $K_0 dS$ 폭을 W 로 넓힌 전류 즉 위전류층 전체에 작용하는 힘 즉 양판간의 척력 F_L 는

$$F_L = \frac{\mu_0 K_0^2}{2\pi} \int_0^W \left(\tan^{-1} \frac{S}{h} + \tan^{-1} \frac{W-S}{h} \right) dS \\ = \frac{\mu_0 K_0^2}{\pi} \left(W \tan^{-1} \frac{W}{h} - \frac{h}{2} \ln \frac{h^2 + W^2}{h^2} \right) \quad (8)$$

이다. 이 결과는 $K_0 dS$ 와 $K_0 dx_0$ 를 무한직선전류가 작용하는 결과를 적용하여 얻은 결과이다.

이상의 이론에 입각하여 얇은 동판을 접고 그 속에 얇은 고전압 절연체를 끼워서 압착한 간단한 모양의 장치를 Folded Copper plate EMAT라고 명명하였

는데, 이 접은 동판의 양단에 입출력 도선을 붙이고 고전압으로 축적된 축전기를 통하여 충격전류를 흘리면 접연체 사이에 있는 대립도판은 전류의 방향이 서로 반대방향으로 흐르고 있으므로 척력이 작용해서 장치에 충격적 변형을 일으키 음파를 발생한다. 이때 발생하는 음파는 축전기에서 EMAT을 흐르는 전류의 모양에 따라 그 모양이 정해진다. 전류는 처음에는 상승하고 그 다음에는 감소하는데 엄밀히는 비대칭이지만 거의 대칭에 가깝다. 따라서 전류 I_0 의 시간에 대한 변화를 $I_0(t)$ 라고 놓으면 $I_0(t) = I_m e^{-\beta t} \sin \omega t$ 의 형태로 줄 수 있으므로 시간에 따르는 구동력 $F_L(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_L(t) = A I_m^2 e^{-2\beta t} \sin^2 \omega t \quad (9)$$

여기서 A , β 는 상수이고, I_m 은 전류 I_0 의 최대순시값이다. 또 식(6)과 식(8)에 의한 계산결과는 거의 비슷하다. 따라서 어느 식을 이용하여도 구동력 계산에는 지장이 없다고 생각된다. 또 EMAT의 여기회로가 EMAT의 자기 inductance와 방전용 축전기를 적분로 하는 회로로 되어 있으므로 발생하는 음파의 주파수는 진동이 전기적 진동만으로 구성되지않고 전류가 증가하고 있는 동안은 전기적 특성에 따라, 감소하는 동안은 순간적으로 기전력이 없어진 후 기계적 특성에 따라 진폭이 감소하기 때문에, 일반적으로 경향은 $\frac{N}{2\pi \sqrt{LC}}$ 칩에 따른다고 생각되며 여기장치에 의해서 발생하는 pulse 폭이 작으면 작을수록 발생하는 음파의 대역폭은 넓어진다는 Fourier 변환법칙에 따른다고 생각된다.

III. 방 법

III-1. 접판형 EMAT의 제작

얇은 도체판⁽⁶⁾에 절연도료를 칠하여 접는 손부채처럼 접으면 접판형(摺板形) EMAT가 된다. 본 연구에서는 두께 0.05 mm, 폭 5 cm, 길이 10 cm 및 25 cm의 동판을 접어 가로 세로 5 cm되게 하고 대립면이 서로 절연되게 절연 도료를 칠하여 건조시킨 두께 0.1 mm의 종이를 각면마다 끼우고 silicon 충전제(상품명: Koreseal)를 칠하여 사각로 압착하여 건조시켰다. 동판 양끝은 전기 입력선으로 하기 위하여 수지피복 전선을 납땜하여 붙였으며 이것을 polyester 수지 (상품명: 호마이카)로서 molding하되 표면에

평유리판 또는 구(球)의 반지름이 15.5 cm인 concave형 유리(watch glass)를 놓고 응고시켰다(A형). 그러면 음파방사면이 평판형인 변환자와 Concave형인 변환자가 된다. 이들을 Fig. 3에 보인다. 음파방사면을 평판으로 하는 경우는 얇은 고무판을 silicon 충전제를 발라 밀착시키고 연변은 silicon 충전재로서 molding한 것도 제작하였다(B형). 또 집관울 외경 7.5 cm 내경 3.5 cm의 환상(環狀)으로 하이 5회 접은 것(5접형)을 앞에 설명한 concave 유리판에 밀착시키고 음파 방사면을 concave 형으로 얇은 수지박판으로 처리한 것도 제작하였다. 이것을 환상 접판 변환자(C형)로 명명해 둔다.

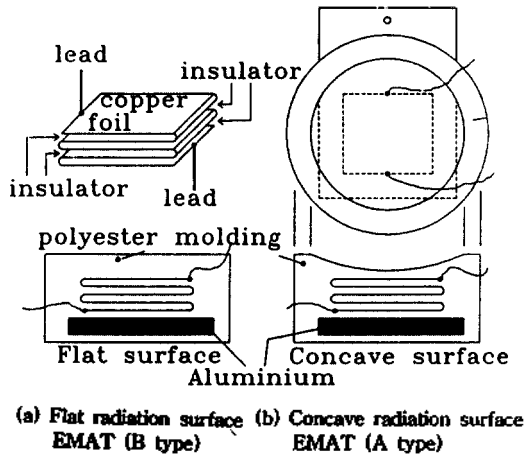


Fig.3 Schematic structure of EMATs

III-2. 실험방법

EMAT는 큰 출력을 내기 위해서는 막대한 전력이 필요하다. 그러나 지속파를 얻기 위해서는 두 대립관을 분리시켜 한쪽은 직류, 다른 한쪽은 교번전류를 흘리므로써 지속파를 얻을 수 있으나 이번 시험에서는 축전기 방전식을 택하였다. 충격전동을 순간적으로 얻으려면 매우 짧은 충격전류를 흘려야 하고 그렇게 함으로써 넓은 대역의 충격유파를 얻을 수 있을 것으로 기대하여 고전압을 이용하였다. 축전기는 2 μ F, 4 μ F, 8 μ F의 세가지를 이용하여 각각의 형태에 대하여 SCR^{(6), (10)}의 Gate신호로 방전시킴으로서 방전시의 발생음파를 Hydrophone(0Hz ~ 250kHz, B&K 8101)으로 수신하고 B&K Measureing Amplifier로 증폭하여 이것을 Storage Oscilloscope로서 관찰감시하였다. 수신된 음파펄스는 Storage Oscilloscope에서 기억된 것을 A/D변환기로 Sampling하여 computer에 입력하고 FFT Program으로써 분석 처리하였다.

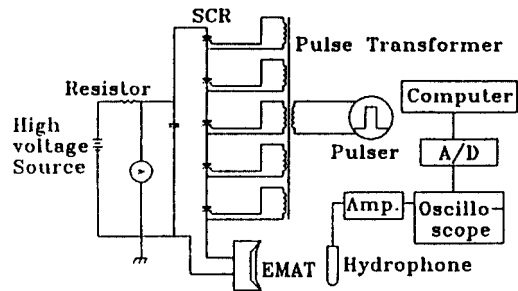


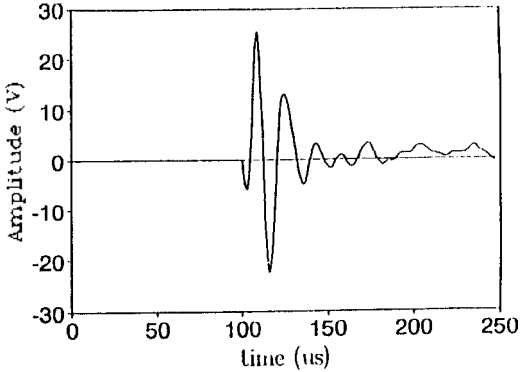
Fig.4 Schematic Circuit Diagram of Capacitor Discharging for Exciting EMAT

실험중 Hydrophone의 이동을 쉽게 하기 위하여 Computer(IBM 호환기종 PC-386DX)로 구동되는 가로·세로 90cm 이동가능한 X-Y 구동기를 사용하였고, 사용한 수조는 가로·세로·깊이가 50×85×43 cm³의 용량을 가진 유리 수조였으며, X-Y 구동기는 지지대를 놓고 수조위에 장치하였다. 실험장치의 회로도들 Fig. 4⁽¹²⁾에 보인다. SCR은 고전압전류를 흘리기 위해서 4개를 직렬로 연결시켜 pulse transformer로 동시에 개폐하는 방법으로 하였다.

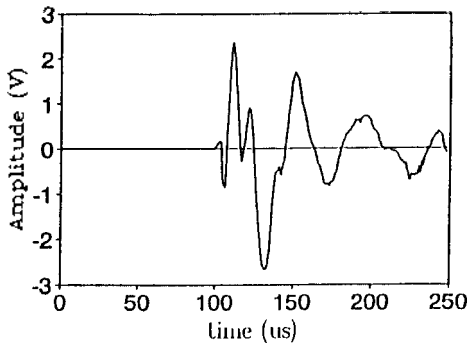
IV. 결과 및 고찰

이론적인 입장은 매우 복잡하지만 구조가 매우 간

단한 새로운 접판형 EMAT 즉 평판형과 Concave형을 제작하여 실험하고 그 특성을 알기 위하여 얻은 실험자료들을 정리한 결과 Fig. 5(a), (b)와 Fig. 6(a), (b), (c), (d) 및 Fig. 7(a), (b), (c)를 얻었다.



(a) The sonic pulse from the concave radiation surface EMAT(A type)



(b) The sonic pulse from the Multi folded copper ring EMAT (C type)

Fig.5 Generated sonic pulses from Multi-folded copper plate EMAT's

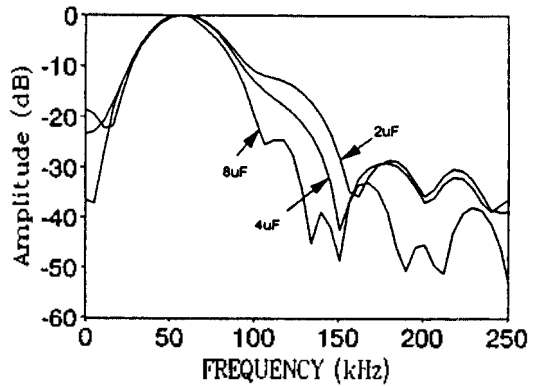
IV-1. EMAT의 발생음파 파형

Fig. 5(a)와 (b)는 평판형 EMAT(B형) 및 Concave형 EMAT(A형)와 환상접판 EMAT가 발생하는 음파 파형이며 수조벽에 반사되어 2차파가 일정간격 위에 나타났으며, X-Y구동기구로 위치를 바꾸면 Oscilloscope 상에서 그 위치가 이동함을 볼 수 있었다. 평판형과 concave형의 변환기의 구동기구가 같다는 점에서 발생하는 파형은 모두 유사하게 큰 차이가 없었으며 여기전압을 600 V 및 1500 V로 다르

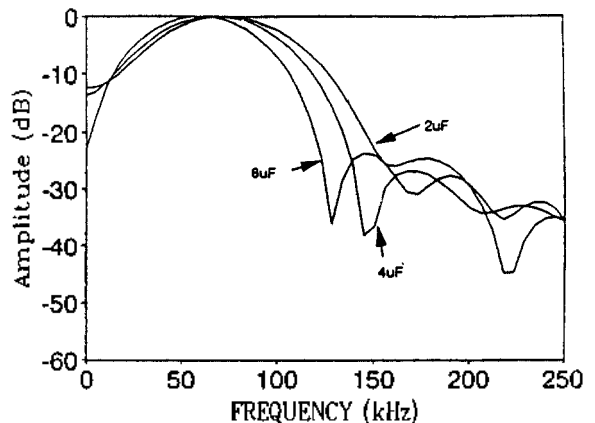
게 하여도 파형에는 차이가 없었다. 환상접판 변환기(C형)의 경우 Fig. 5(b)와 같이 Fig. 5(a)와는 모양이 약간 다르다. 전체적으로는 $e^{-2\alpha t}$ 와 같은 감쇄항이 역할은 하고 있으나 150 uscc로 길다는 것이 특색인데 이것은 구조상의 차이에서 오는 것으로 생각된다.

IV-2. EMAT의 발생음파와 주파수

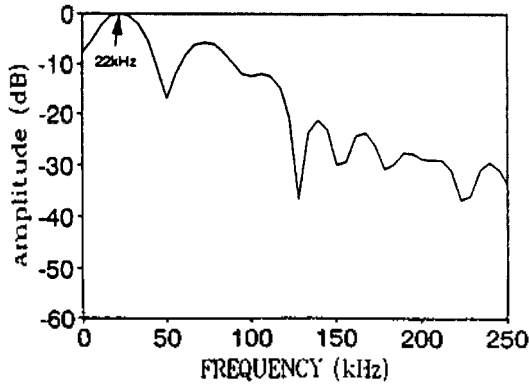
Fig. 6(a), (b)는 Concave형 5침(五指) EMAT(A형)의 음파주파수분석 결과이다. 수신장치는 B&K Hydrophone 8101으로서 200kHz까지는 감도는 평탄하다. 다행히 EMAT에서 발생하는 음파가 이 영역 범위내에 있었다. 여기전압을 올리거나 내리거나 하여도 파형의 진폭만 달라질 뿐 파형은 거의 변화가



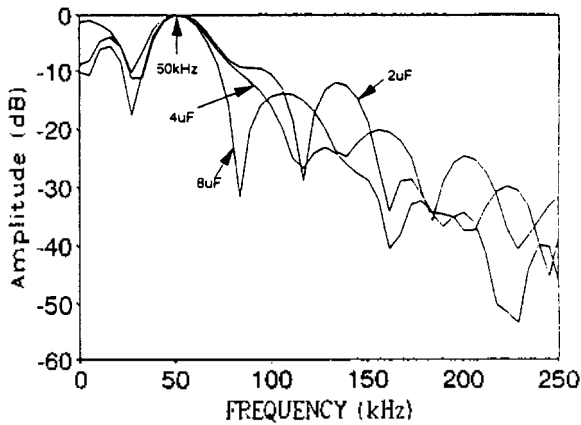
(a) In case of concave radiation surface EMAT by exciting voltage of 600



(b) In case of concave radiation surface EMAT by exciting voltage of 1500



(c) In case of concave radiation surface EMAT with multi-folded copper ring by exciting voltage of 600

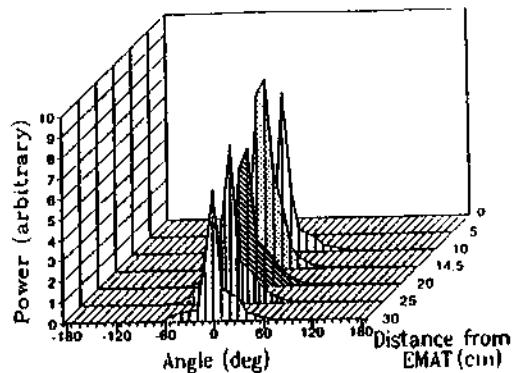


(d) In case of flat radiation surface EMAT by exciting voltage of 600

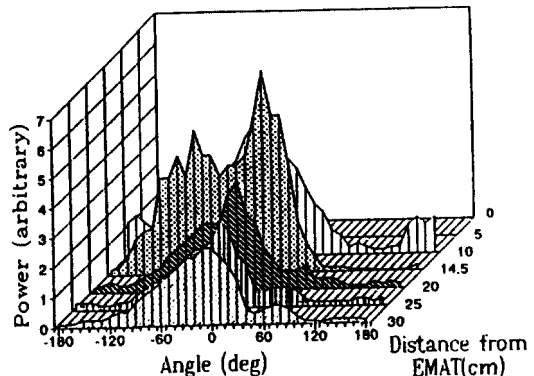
Fig.6 Frequency distributions of generated sonic pulses from the EMATs

없었다. Fig. 6(a), (b)는 방전전압을 600 Volt 및 1500 Volt로 하여 축전기 용량을 8 μ F, 4 μ F, 2 μ F로 했을 때의 발생음파의 주파수분석 결과인데, 방전회로의 용량이 작을수록 발생음파의 주파수대역이 넓어짐을 알 수 있다. 600 Volt의 방전전압의 경우, 각 용량에 대한 발생음파의 주파수는 -20 dB에서 14~100 kHz, 13~121 kHz, 12~140 kHz의 대역폭을 나타내고 있으며, 1500 Volt의 방전전압의 경우는 8~118 kHz, 0~131 kHz, 0~145 kHz의 앞의 경우와 같은 대역폭을 나타내어 축전기 용량이 작으며, 방전펄스가 짧을수록 발생음파의 주파수대역폭이 넓어지고 있음을 잘 나타내고 있다. Fig. 6(c), (d)는 환상접관형 EMAT(C형)를 8 μ F로서, 그리고 평판형

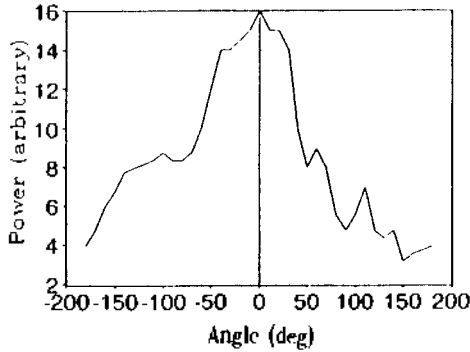
EMAT를 8, 4, 2 μ F로서 600V의 여기전압에 의해서 발생시킨 음파 pulse의 분석결과이다. 제작이 조잡한 탓인지 성능이 별로 좋지 못했다. Fig. 7(a), (b), (c)는 5접형 concave EMAT(A형)의 지향성 및 집속에 관한 관측결과이다. 무엇보다도 새로운 EMAT의 시도이므로 앞으로의 응용실험이 기대된다. 구체적이고 상세한 조사는 하지 않았지만 접는 면적이 작은 소규모의 접형변환기를 실험적으로 0.1 μ F나 0.001 μ F의 작은 용량의 축전기를 이용하여 발생음을 수신한 바 있으므로 출력을 높으려 할 필요가 있는 수송음원으로서 또 출력은 작지만 매우 높은 주파수의 음원이 필요할 경우 모두 응용가능성이 충분히 있다고 생각된다. 그런데 EMAT의 수신수단은 다른 검출소자에 맡겨야 한다는 점이 결점이라고 할 수 있고 대역폭이 넓어 수신에는 목적에 다른 어파기가 또한 필요하다.



(a) In case of Concave radiation surface EMAT (A type)



(b) In case of Concave surface EMAT with multi-folded copper ring (C type)



(c) In case of Flat radiation surface EMAT (B type)

Fig.7 Directivity patterns

Fig. 7(a)는 5집 concave mold형 EMAT(A형)의 집속성을 알아보기 위해서 EMAT 축상 전방으로의 거리와 축으로 부터의 각도 즉 극좌표에 따른 음압상도를 측정도시한 것인데 concave 곡면의 곡률반경인 15.5 cm구방위 전방 14.5 cm가 지향선도에서 보는 바와같이 주위 어: 위치보다 음압이 강한 선으로 보아 잘 집속되고 있음을 나타내고 있다. 또 Fig. 7(b)는 환상집관형(C형)의 경우인데 방사면이 Concave이므로 역시 잘 집속되고 있으나 mold형보다는 예리하지 못했다. Fig. 7(c)는 평판형 EMAT의 지향선도이며 지향각은 축을 중심으로 좌우로 50도씩 100도이다. 이것은 EMAT의 접판 back plate로 5 mm의 알루미늄 판을 쓴 것이 진방출력을 강하게 한 원인으로 음파의 후방방사를 막았다고 생각되며 접판의 진동방향이 또한 축방향으로 되어, 횡방향은 음파방사가 매우 약하였기 때문으로 생각된다. Fig. 6(d)에 보이는 바와 같이 평판형 EMAT의 발생음파의 주파수 분석결과를 보면, 8 μ F, 4 μ F와 2 μ F의 축신기에 600 Volt의 방진전압으로 여기서시킬때 -10 dB에서 대역폭은 35~75 kHz, 33~85 kHz와 30~105 kHz로서 여기필스가 짧을수록 발생음파의 대역폭이 넓어지고 있다. 이것은 시간영역의 pulse와 주파수영역의 에너지 분포의 Fourier의 이론에 잘 따르고 있음을 나타내고 있다.

이상에서 본 연구에서 실험한 집속형 EMAT는 평집관을 polyester molding으로 방사면을 concave 면으로 한 것(A형)과 환상집관을 concave 면에 고정시킨 것(C형)의 두 종류이며, polyester molding한 것이 매우 그 성능이 우수하였으며 환상집관형은 구조상 진동기구에 있어서 진동이 균등하지 못한 점을

생각할 때 앞으로 그 개량에 관한 연구가 요구된다. polyester molding A형도 이번에 실험한 것은 5변집은 것(五摺形)인데 한번 접은 것(단접형)과는 10배의 음압차가 생기는 것으로 비루이 볼 때, 접는 회수를 높이면 강력한 음원으로 할 수 있을 것이 예상되므로 앞으로 그 응용에도 기대가 크다.

V. 결 론

본 논문은 매우 간단한 접형(摺形) EMAT를 고안 설계제작하여 그 특성을 조사한 것이다. 이 EMAT를 구동하기 위해서는 축전기 방진을 이용하면 그때 생기는 구동력은 II 1의 식(6), (7)으로서 주어진다. 그리고 concave형 EMAT(A형)가 발생하는 필스음파의 주파수영역은 방진여기전압과 축전기 용량에 좌우되는데 방진전압을 600 Volt 및 1500 Volt로하고 축전기 용량을 8, 4, 2 μ F로 각각 다르게 하는 경우 정규화하여 -20 dB에서 최대 0~145 kHz 대역으로 그 폭은 축전기 용량이 작을 수록 넓었다. 또 concave형의 음파 집속성은 지향선곡선에서 판단할 수 있는데 집속점에서 -3 dB선이 20도로 음향축을 중심으로 ± 10 도로 매우 폭이 좁으며 음향축에 따라 거의 집속되어 있음을 알 수 있다. 그러나 환상집관형의 경우 집속은 되나 graph에서 보는 바와같이 상당히 퍼져있으며 예리하지 못하였다. 이것은 구조상 별로 좋은 효과를 기대하기는 어렵다고 생각된다.

본 EMAT의 연구중 원통형, spiral coil에 의한 진동판 분할형등 여러가지를 실험하였는데 앞으로 그 응용연구를 환영하며 강력한 원거리 수중음원이나 혹은 고주파 소형음원으로서의 응용연구에 크게 기대한다.

참 고 문 헌

1. 박윤규의 2인: 電磁誘導形 水中音源의 제작과 특성분석 韓國音響學會誌 11(3), pp. 67~73, 1992.
2. 清水洋, 石井後一郎: 送受波一體構造의 非破壞檢査用 非接觸 超音波 トランス듀サー, 東北大學電氣通信研究所, 第 233回 音響工學研究會 pp. 11, 1985.
3. 清水洋, 渡邊博, 佐藤道雄: 縱波·橫波分離檢出形 EMAT と それによる AE 檢出の 試み, 日本音響學會講演集, pp. 659~660.
4. P. L. Pitt, et al: A pulsed plasma jet acoustic source for profiling the ocean floor, Geophysical Prospecting 36, pp. 523~536, 1988.

5. 後藤恒昭, 三浦登:メガガウス領域의 強磁場의 發生 日本物理學會誌 42(7), pp. 657 ~ 666, 1987.
6. 科學の實驗 編輯部:物理實驗, 公立出版社 pp. 166 ~ 169, 1967.
7. E. Herlach: Strong and ultrastrong magnetic fields and their applications, Springer-Verlag, pp. 278 ~ 307, 1985.
8. 近角聰信:磁氣(實驗物理學講座 17) 公立出版社, pp. 137 ~ 162, 1968.
9. N. Endoh, et al: Radiation of Impulse Sound by Convex surface electromagnetic Transducer, 1986 Ultrasonics Symposium Proceeding Vol. 2(2), pp. 1027 ~ 103, 1986.
10. 電子展望編輯部:半導體의 應用と 回路, 誠文堂新光社, p. 296, 1970.
11. 尹藤洋一, 川村雅恭:放射音波を一點に 集中する 變形集中方向變換形 音源, 日本音響學會講論集, pp. 647 ~ 648, 1988.
12. E. R. Dobbs: Electromagnetic generation of ultrasonic waves, Physical Acoustics vol. 10, pp. 127 ~ 135, 1973.

▲장 지 원



1930년 2월 25일생
 1955년 ~ 1993년: 부산수산대학교
 근무
 현재: 부산수산대학교 자연대 물
 리학과 교수

▲양 정 원



1973년 1월 4일생
 1991년 3월 ~ 1993년 10월: 부산
 수산대학교 물리
 학과
 1993년 1월 ~ 1993년 10월: 과기
 처 부산 지방 환경
 방사능 측정소 측
 정요원