

# 高調波音源에 의한 超音波映像의 解像度 改善

장지원 · 양정원 · 김동현

부산수산대학교

(1993년 11월 9일 접수)

## Ultrasound Imaging Improvement using Higher Harmonics of Impulse Sound

Jee - Won CHANG, Jeong - Won YANG and Dong - Hyun KIM

National Fisheries University of Pusan

(Received November 9, 1993)

Acoustical imaging has made brilliant progress in the medical science field, and has also made much progress in the nondestructive testing and under water acoustics applications since doctor Dussik brother had studied about possibilities of making images of brain by recording variations in the intensity of ultrasonic beam from head in 1937<sup>1)</sup>.

In this paper an acoustical image is reconstructed with the power spectra analysed by impulse ultrasound wave generated by electrodynamic transducer(EDT). The EDT generates the impulse ultrasound of 77KHz in center frequency and 120KHz in bandwidth at -20dB by 1200V excitor in this experiment. The impulse ultrasound has the dominant frequency components of 47KHz, 177KHz, 110KHz and 155KHz.

The U shape object is adopted in making an acoustical image. The resulted spectral acoustical images are different from the optical view of the U shape object. However the image reconstructed from 110KHz spectrum is very similar to the original optical shape of the object. Even KHz level impulse sound of 70 μsec pulse width is found to be useful in reconstructing acoustical imaging improvement.

### 서       론

초음파에 의한 영상을 역사적으로 처음 연구한 이는 Austria의 Dussik형제였다. 1937년 정신과 의사인 K.T.Dussik와 내과 의사인 F.Dussik가 머리를 투과한 초음파의 변화에서 뇌의 화

상을 만드는 가능성에 대하여 연구하여 1942년 "Hyper-phonogram"을 출간 하였다. 1946년에는 France의 A.Denier, 1950-1954년에는 미국 MIT음향연구소 및 Massachusetts General Hospital등 의학부문에서 화상연구가 시작되었다<sup>1)</sup>. 그 후 다른 부문 즉 비파괴검사, 수중감

시, 초음파 현미경, 초음파 홀로그래피등에 응용되고 지금도 각 분야마다 화질개선과 그 응용연구등이 계속되고 있는 상태이다.

초음파 영상은 주로 임펄스-에코(impulse-echo)법이 이용되고 있으며 음파에 의한 영상은 음파의 파장이 긴 탓으로 光波나 電磁波에 비하여 뚜렷하지 못하다. 따라서 그 解像度에도 한계가 있다. 집속하지 않은 음파에 대한 영상은 홀로그래피(Holography)방식<sup>3)</sup>이 쓰이며 수중화상에는 송수파기 배열(array)등이 쓰이고 있다. 초음파 현미경<sup>6)</sup>에는 주로 MHz수준의 고주파가 쓰이고 있으며 투과식과 반사식등으로 기계적인 주사에 의하여 영상을 재구성하고 있다. 이와 같이하여 얻는 영상은 물체에 보내는 초음파의 주파수가 높을수록 해상도가 좋으며 펄스폭이 짧을수록 거리 분해능이 좋으며, 음속(音束)을 잘 집속하여 시향각이 작을수록 방위분해능이 좋다. 그런데 충격파는 정현파가 아니므로 보통 고조파를 품고있다. 본 논문은 접형 전자구동 송파기가 발생한 초음파를 물체에 보내어 산란된 전방 산란파를 수신하고 그 고조파를 분석하여 그 고조파가 음파영상을 재구성할때 영상의 해상도는 어떻게 개선되는지를 실험을 통하여 측정, 정리하여 보고한 논문이다.

### 고조파를 이용한 초음파 영상

임펄스파는 일반적으로 Fourier급수로 전개된다. 따라서 기본파와 고조파를 품는 복잡한 파형이다. 즉 임펄스 음파는 기본파와 고조파를 품는 음파가 되므로 고조파 음파를 이용하려면 임펄스 음원을 써야한다. 물체의 영상을 얻기 위해서는 송수파기를 이동시켜 물체면을 완전히 주사하여 물체의 각 점에서 투과 또는 반사되는 산란 충격 음파를 받아 그 음압진폭을 측정하여 위치에 따라 단색 CRT장치의 휘도(輝度)의 크기로 변조시키거나 색조 CRT에서는 밝기를 색으로 나누어 정의하여 나타내거나 하는데, 임펄스음원<sup>4)</sup>을 쓰는 경우는 수신된 음파의 주파수는 고조파를 품고 있

으므로 이것을 Fourier Transform으로 주파수 분석<sup>2)</sup>을 하여 주파수마다의 각 점의 에너지 강도를 전자계산기에 의해 계산하여 위치에 따른 화소로 하여 영상을 재구성한다<sup>5) 9)</sup>. 송파기에 의해 발생한 임펄스 초음파가 물체에 입사하는 경우 식 (1)과 같이 주어진다 가정한다. 그러면 Fourier의 식에서  $f(t)$ 는 임펄스 초음파의 강도,  $C_k$ 는 spectrum,  $e^{ikwt}$ 는 phase항이다.

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{ikwt} \quad (1)$$

이것이 물체에서 산란되어 수파기가 얻는 음파 신호를 탐지 기록하는 경우 반사굴절 흡수등으로 일부 spectrum은 약해지고 감쇠되어 없어지는 것도 있으므로 유한한  $C_k$ 의 spectra로 변한다. 따라서 그 유한개  $n$  특히 주류를 이루는 power spectra로서 그 모양을 재생시킬 수 있다고 가정하는 경우 spectra  $C_k$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$C_k = \sum_{k=1}^n f(t) e^{-jkwt} \quad (2)$$

그런데 수파기가 수신하는 신호는 음파 특성을 나타내는 것이며 광학상의 물체모양을 그대로 나타낸다고는 할 수 없다. 물체 표면에서 방사되는 음파를  $B_0(x', y')$ 라고 하면 수신경로를 통하여 화소점을 주사하여 화면을 재구성한 영상  $f(x, y)$ 와의 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$f(x, y) = \iint h(x, y, x', y') B_0(x', y') dx' dy' \quad (3)$$

여기서  $h(x, y, x', y')$ 는 점분산함수(point spread function)이다.

식 (3)의 Fourier 변환을  $F(w_x, w_y)$ 라고 하면

$$F(w_x, w_y) = \iint f(x, y) e^{-f(w_x x + w_y y)} dx dy \quad (4)$$

이것의 역변환은

$$f(x, y) = \iint F(w_x, w_y) e^{j(w_x x + w_y y)} dw_x dw_y \quad (5)$$

Parseval의 정리에서 T를 주기라고 하면

$$\frac{1}{T} \sum |f(x, y)|^2 = \sum |F(w_x, w_y)|^2 \quad (6)$$

즉 영상면이 받은 에너지의 모두는 주파수 별 에너지의 모두와 같다. 따라서 영상을 어느 주요 주파수 성분이 비록 초음파이지만 광학적 물체 모양을 잘 나타낼 수 있는지 주파수 마다의 에너지에 의한 영상 구성을 할 수 있다. 또 분석된 spectra의 특성을 Vector 표현을 한다면  $P$ 의 화소  $(x, y)_n$ 에 대응하여 그 요소를  $P_{lm}$ 로서 표시하면  $P_{lm} = \sum_{j=1}^n j P_{lm} \lambda_j$  라고 할 수 있다. 여기서  $\lambda_j$ 는 기본 파장 Vector이다. 이때 재구성하는 영상은 이 Vector의 내적이나 외적화상을 구성할 수 있다. J channel의 화상에 있어서 다중 주파수 화상의 비화상의 화소  $W_{lm}$ 은

$$W_{lm} = \frac{j P_{lm}}{\sum_{j=1}^n j P_{lm}} \quad (7)$$

이다

Fig. 1은 본 연구에서 초음파 영상을 얻기 위한 원리도이다.

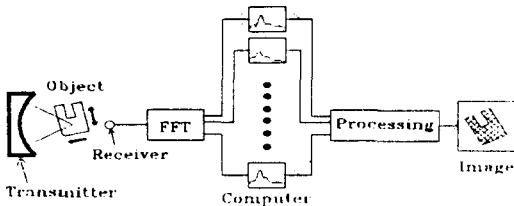


Fig. 1. Block diagram of spectrum processing for improving ultrasound imaging.

### 장치 및 방법

#### 1) 집속 EDT<sup>8)</sup>와 임펄스음원 구동장치

두께 0.05mm, 폭 5cm, 길이 25cm의 얇은 동판을 손부채처럼 5cm마다 접되 차례로 반대로 접어서 동판이 서로 절연되게 대립되는 동판 사이에 같은 넓이의 절연도료를 칠하여 건조시킨 종이(두

께 0.1mm)로 절연시키고 양단에 전극선을 달아낸다. 이것을 압착시켜 polyester수지로 molding하여 molding면을 반지름 15.5cm인 구면 유리판으로 concave형으로 완성하여 변환기로 하였다. 변환기 전극선 양단을 축전기에 이어 충격 전류를 흘리면 접은면 이웃은 전류가 만드는 자장의 작용으로 전류변동에 따라 진동하므로 매질과 접한 EDT(Electro Dynamic Transducer)표면에서 음파가 발생한다. 본 EDT는 구조가 매우 간단하여 제조가 쉬우며 축전지 방전 방식으로 전기를 EDT로 방전시키면 임펄스음파를 얻을 수 있다. 2μF의 축전지에 부가한 전압을 1200V로 정하여 전자계산기로 제어하여 음파를 발생시키고 hydrophone으로 수신한다. 방전회로는 전자

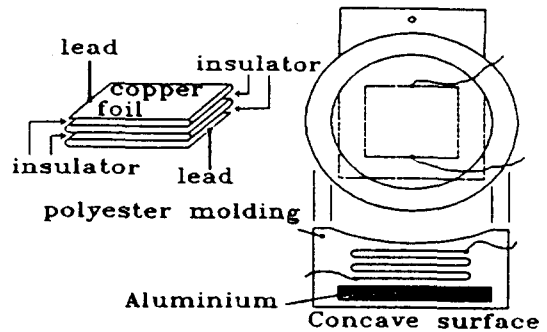


Fig. 2. Concave radiation surface EDT.

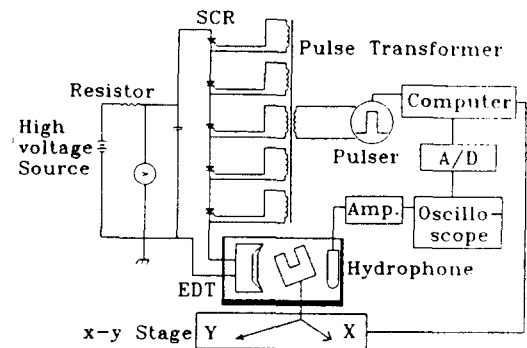


Fig. 3. Schematic circuit diagram of capacitor discharging for exciting EDT.

계산기로부터 임펄스음파 발사용 trigger를 받아 SCR의 gate를 점화하고 EDT에 순간적으로 축전지에 저장되어 있는 전기를 흐르게 하여 그 순간 임펄스음파를 발생한다.

## 2) 수신과 수신신호의 처리

임펄스음파의 수신은 B&K 8101 hydro-phone으로 수신하고 이것을 증폭기로 증폭하여 storage scope에 보내어 음압신호를 저장한다. 저장된 음압신호는 A/D Converter에 의하여 계수화 되어 computer에 저장된다. 저장된 계수치는 computer에 의해서 처리되는데 X-Y구동장치는 물체의 위치에 따라 수신된 신호와 함께 주사위치를 computer에 기록시킨다. 또 FFT program에 의해서 각 주사위치의 음압 신호는 주파수 영역에서 분석되고 주파수에 따라 에너지 진폭의 변화를 화소의 강약으로 영상을 재구성하는데 주사위치에 따른 에너지 진폭을 기록의 농도나 색상으로 정의하여 영상으로 재생시킨다. 이때 화소수는 sampling점에 의해서 주어지는데 분석되는 음파의 주 주파수가 77KHz이므로 수중에 있어서의 파장은 19.4mm이다. 따라서 20mm마다의 sampling점을 잡아도 될 것이나 10mm마다의 sampling점을 X축으로 30점과 Y축쪽으로 25점하여 모두 750점의 화소점을 잡아서 실험하기로 하였다. 그리고 화상재생에 이용한 물체는 두께 1mm이고 가로×세로가 130mm×133mm인 철판을 Fig. 4와 같이

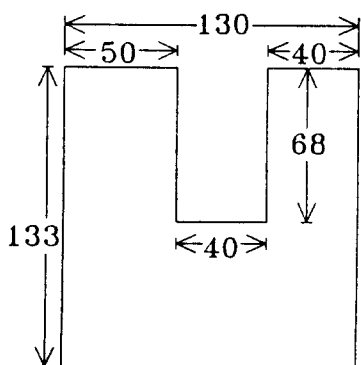


Fig. 4. Dimension of object for acoustical imaging.

절단하여 사용하였으며 X Y 주사방향에 대하여 40°의 각도를 갖도록 가느다란 철판으로 고정시켜 주사장치의 걸쇠에 고정시켰다. 본 실험에 이용할 수 조는 철판에 사방유리를 붙인 유리수조로써 가로 세로 길이가 890×440×535mm<sup>3</sup>크기의 것이다.

## 결과와 고찰

### 1) 접속형 EDT의 특성

음파의 방사면을 concave형으로 한 EDT변환기의 집속성과 발생 임펄스 음파의 주파수 분석

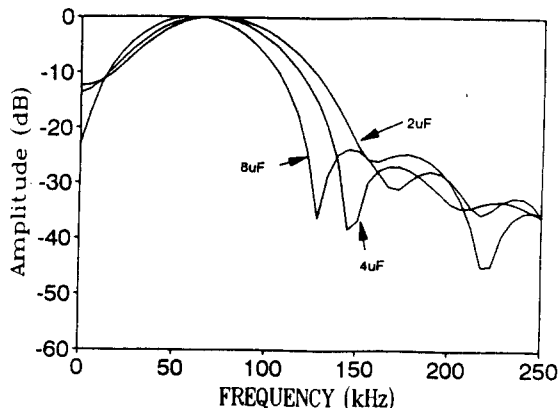


Fig. 5. Frequency distribution of concave radiation surface EDT by exciting voltage of 1200.

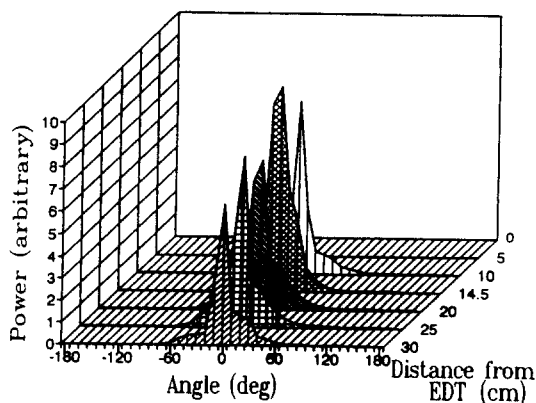
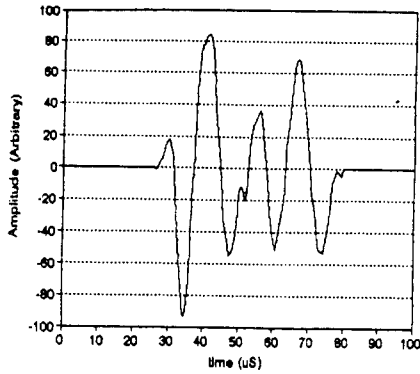
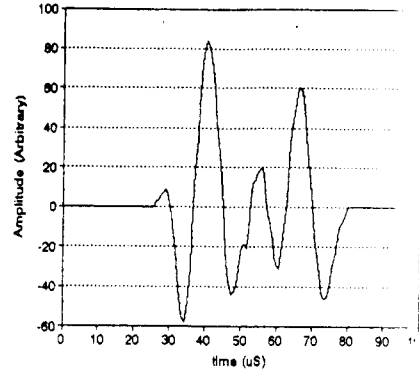


Fig. 6. Directivity pattern of concave radiation surface EDT.

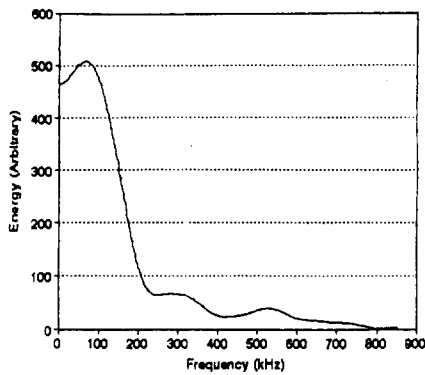


(a) Impulse ultrasound wave in the water tank.

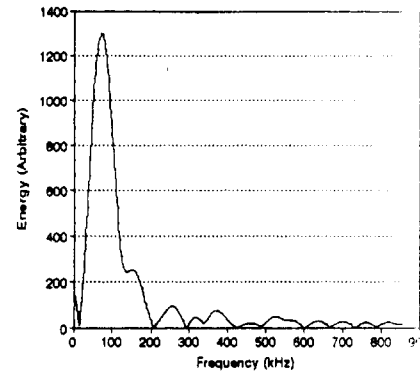


(b) Impulse ultrasound wave with an object on the focusing point of EDT.

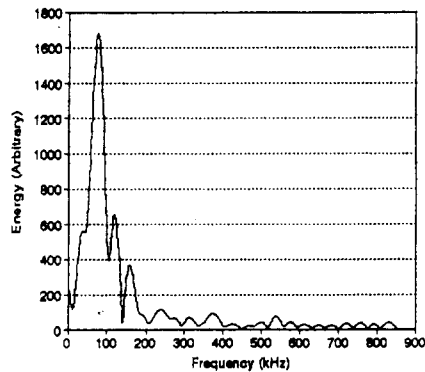
**Fig. 7.** Impulse ultrasound waves from EDT by exciting voltage of 1200 with  $2\mu\text{F}$  capacitor.



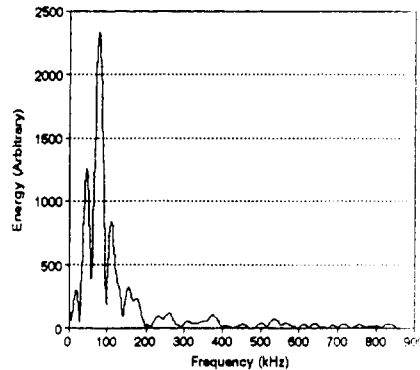
(a) Frequency analyzed by the first one wave of impulse.



(b) Frequency analyzed by the first two waves of impulse.

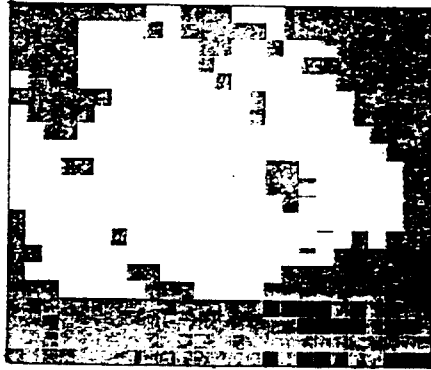


(c) Frequency analyzed by the first three waves of impulse.

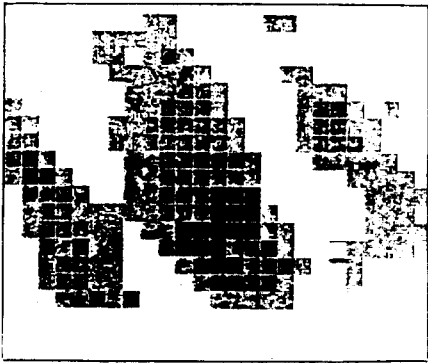


(d) Frequency analyzed by the first four waves of impulse.

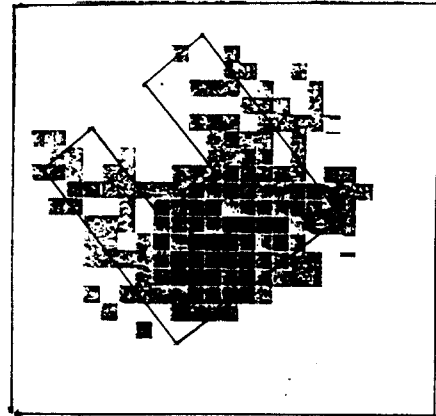
**Fig. 8.** Frequency distributions with impulse widths.



(a) Image reconstructed from 47KHz power spectrum by the first 4 waves of impulse sound.



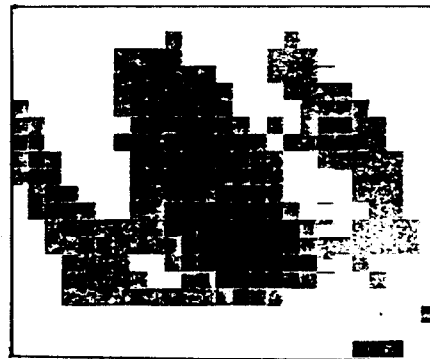
(b) Image reconstructed from 77KHz power spectrum by the first 4 waves of impulse sound.



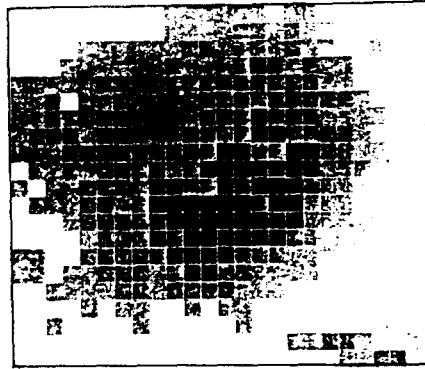
(c) Image reconstructed from 110KHz power spectrum by the first 4 waves of impulse sound.



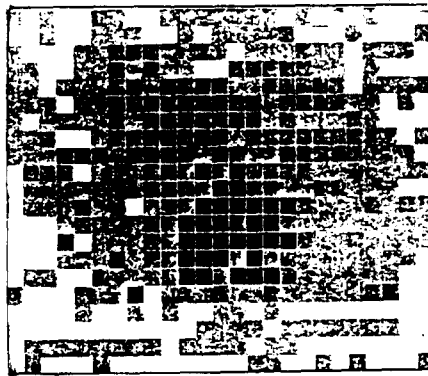
(d) Image reconstructed from 155KHz power spectrum by the first 4 waves of impulse sound.



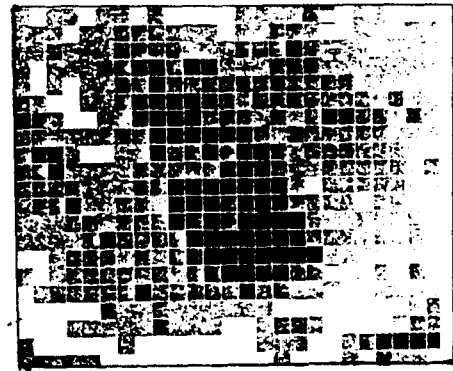
(e) Image reconstructed from 77KHz power spectrum by the first 3 waves of impulse sound.



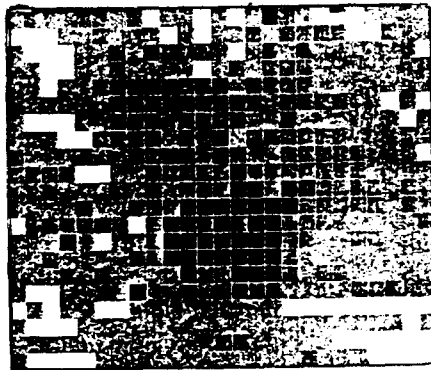
(f) Image reconstructed from 110KHz power spectrum by the first 3 waves of impulse sound.



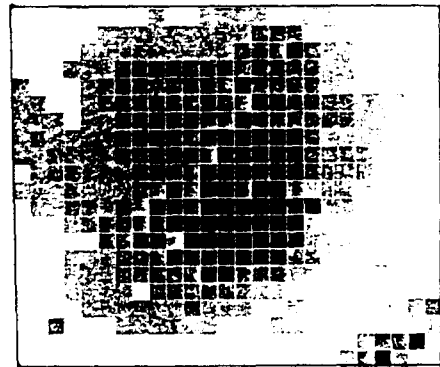
(g) Image reconstructed from 155KHz power spectrum by the first 2 waves of impulse sound.



(h) Image reconstructed from 77KHz power spectrum by the first 2 waves of impulse sound.



(i) Image reconstructed from 110KHz power spectrum by the first 2 waves of impulse sound.



(j) Image reconstructed from 77KHz power spectrum by the first 1 wave of impulse sound.

**Fig. 9.** acoustical images reconstructed from analysed power spectra.

결과는 Fig. 5와 Fig. 6에 보이는 바와 같이 집속성은 좋은 편이며 77KHz 근방을 중심으로 하여 20dB에서 대역폭이 약 120KHz 정도며, 집속 초점거리는 14.5cm이다. 축전기 2μF에 1200V의 전기를 담아 EDT를 수조에서 여기시키면 충격음파가 발생하는데 그 음파의 파형은 Fig. 7 (a), (b)와 같다.

## 2) 주파수 분석과 영상

송파기의 초점에 물체를 놓고 물체를 X-Y축에 따라 stepping motor로 주사시켜 10mm 간격으로 송신 임펄스가 물체를 지나가면서 전방 산란파가 되어 전파 되는 것을 수파기로 받는다. X-Y방향으로 30×25=750점의 산란파를 받아 이것을 주파수 분석한 결과 그 중 한 예는 Fig. 8의 (a)와 같다. 750개의 주파수 분석결과를 유사하며 에너지의 진폭에 차이가 생기는데 110KHz의 진폭으로 영상을 그린것은 Fig. 9 (c)와 같다.

임펄스 음파의 펄스폭을 70μSec, 59μSec, 35μSec, 11μSec이하로 잘라서 즉, 처음의 네 파장, 세 파장, 두 파장, 한 파장등으로 잘라 이것을 주파수 분석한 결과는 Fig. 8의 (b), (c), (d)인데 임펄스 음파이기 때문에 임펄스 음파의 펄스폭에 따라 그 부엽(Side lobe)의 모양이 달라짐을 알 수 있다.

수파기는 수면으로부터 11cm 깊이에 장치 하였으므로 수면에서 반사되어 돌아오는 시간은  $11/1500 \times 10^2 = 0.73 \times 10^{-4} \text{Sec} = 73\mu\text{Sec}$ 이므로 펄스폭을 70μSec이하로 잘라낸 것은 적당하다고 생각된다. 그렇지 않으면 잔향파가 혼입될 것이 예상된다.

Fig. 9 (a), (b), (c), (d)는 4파장의 임펄스의 분석된 47KHz, 77KHz, 110KHz, 155KHz 등의 peak를 토대로 그 에너지의 진폭으로 영상을 재생시킨 결과인데 110KHz의 영상은 뚜렷하나 다른것은 뚜렷하지 못하다. Fig. 9 (e), (f), (g)의 영상은 3파장의 임펄스 음파로써 분석한 47KHz, 77KHz, 110KHz 등의 peak를 토대로 그 에너지 진폭으로 영상을 재생한 것인데 역시

77KHz의 주엽이 부엽의 것보다 모양의 식별이 가능한 상태이다. Fig. 9(h), (i) 및 Fig. 9 (j)는 처음의 2파장의 임펄스와 처음의 1파장의 임펄스로 분석한 주파수별 에너지 진폭으로 영상을 재생한 것인데 앞의 두 경우보다 나은 형태를 볼 수 없다. 영상은 4파장의 것으로 110KHz가 만드는 영상이 가장 해상도가 좋다. 이것은 parametric 음원이 해상도가 좋다는 결과와 일치되며<sup>5)7)</sup>, 한 파장 두 파장 정도로서는 물체의 형상 정보를 지니지 못하며 어느 정도 pulse폭이 길어야 형상정보를 지닌다는 것을 뜻하는 것으로 생각된다. 따라서 본 실험은 단순한 임펄스 음원으로도 영상재생이 가능하며 해상도를 향상시킬 수 있음을 확인하여 주는 결과라고 생각된다.

## 결 론

Parametric 음원도 아니고 burst파도 아닌 단순한 충격 초음파도 물체에 전송하여 산란되어 전파되는 것을 수신하여 이것을 신호처리하는 방법에 따라 물체의 형상정보인 영상을 얻을 수 있다는 결론을 본 실험에서 확인할 수 있었다. 축전기 방전을 통하여 접형 EDT가 발생하는 임펄스 초음파는 주엽의 주파수가 77KHz이고 부엽은 47KHz, 110KHz, 155KHz 등이 있으나 각 화소마다 110KHz의 에너지 level로서 영상을 재구성한 것이 가장 물체의 원 모양을 잘 나타내고 있으며, 임펄스 음파의 펄스폭도 짧은 것 보다는 긴 것이 산란될 때 물체의 원 모양의 정보를 보다 풍부하게 지니고 있다. 즉, 한 파장의 펄스폭으로는 산란에서 별로 변화가 없는 것으로 보이며 4파장의 펄스폭은 마치 burst파 처럼 parametric 음원과 같은 효과를 내는 것으로 판단된다.

이와 같은 결론에서 어군 탐지나 초음파 현미경에도 임펄스 초음파를 이용할 수 있다고 생각된다. 현행 어군 탐지기는 20KHz - 500KHz 정도의 burst파를 이용하고 있으며 P.Z.T 또는 ceramic 磁歪 변환기를 송수파기로 쓰고 있는데 최대 2000m 정도의 탐지거리가 고작이다. 그러나 원거



리 임펄스 음파를 쓰는 경우 전자의 10배 탐지거리를 가진 어군 탐지기가 가능할 것으로 생각된다. 초음파 현미경의 경우도 **MHz**수준의 burst파를 쓰고 있는데 단순 임펄스 초음파를 쓰는 경우도 초음파 영상을 얻을 수 있다고 판단되어 앞으로 이 방면의 연구에도 관심을 가지기를 바란다.

### 참고문헌

- 1) K.F.Graff(1981) : A history of ultrasonics, Physical Acoustis vol. 15, p.1 - 97.
- 2) U.Bencharit, J.L.Kaufman, N.M.Bilgutay and J.Saniie(1986) : Frequency and spatial compounding technique for improved ultrasonic imaging, Ultrasonic Symposium vol.2, p.1021 - 1026.
- 3) H.Okada and K.Shibayama(1981) : 連続波の反射波によるホログラムからの像再生, 日本音講論集(5月), p.285 - 286.
- 4) D.Okuyama and Y.Sato(194) : イソパルス超音波による超音波映像, 日本音講論集(3月), p.667 - 668.
- 5) N.Seki, Y.Hatanaka, T.Kamakura and K.Ikegaya(1985) : 高調波パラメトリック音源を利用した超音波映像, 日本音講論集(3月), p.667 - 668.
- 6) T.Sannomiya, J.Kushubiki and N.Chubachi(1980) : 機械走査型 超音波顕微鏡のUHF帯における実験, 日本音講論集(10月), p.123 - 124.
- 7) M.Okujima, N.Endoh and M.Tanji(1981) : 電磁誘導形イソパルス音源おを用いたイソパルス 音波音響映像, 日本音講論集(5月), p.289 - 290.
- 8) 장지원, 양정원(1993) : 충격전류를 이용한 Flooded copper Plate EMAT의 특성연구 제 8회 수중음향학 학술 발표회 논문집, 한국음향학회, p.53 - 56.
- 9) E.L.Hall(1979) : Computer Image Processing and Recognition, Academic Press, p.8 - 10.