

초음파와 다이내믹 집속 시스템의 설계

(Design of Ultrasound Dynamic Focusing Systems)

金鎮河*, 金晴月*, 申東熙*, 朴松培*

(Jin Ha Kim, Chung Wul Kim, Dong Hee Shin and Song Bae Park)

要 約

초음파 B스캐너의 경우 광대역 펄스를 사용하기 때문에 광학에서 사용되는 집속 계산식으로는 초음파 집속 시스템을 정확하게 설계할 수 없다. 본 연구에서는 초음파 다중소자에 광대역 펄스가 여기될 때 초음파의 전파모양을 정확하게 계산할 수 있는 방법이 연구되었다. 계산된 초음파의 전파 모양을 이용하여 고해상력을 갖는 다이내믹 집속(dynamic focusing)시스템의 구동소자수, 집속회로 지연값 및 집속점 위치등을 설계하도록 하였다. 저잡음 스위칭 특성을 갖는 다이내믹 집속 시스템을 구성하여 실험에 의해 3.5MHz 선형소자로서 18cm의 깊이까지 2~3mm의 해상도가 얻어짐을 확인하였다.

Abstracts

The design formular of optical focusing systems cannot be applied to ultrasonic B scanners, which use broadband pulses instead of continuous wave. In this paper, a calculation method is studied for analyzing the propagation of ultrasonic broadband pulse excited by ultrasonic array transducers. Using the results, several design parameters such as the number of transducer elements, delay time, and the focal point are determined to obtain high resolution in the ultrasonic dynamic focusing system. A dynamic focusing system with low-noise switching characteristics; which attains lateral resolution of 2-3mm all along the axial direction up to 18 cm with a 3.5 MHz linear array transducer, was implemented.

I. 序 論

의료진단용으로 사용되는 초음파 B스캐너는 짧은 초음파 펄스를 인체내에 발사한 후 반사되어 돌아오는 신호를 수신하여 TV디스플레이 신호의 크기를 밝기로써 표시하는 장치로서 상용화되어 널리 사용되고 있다. 이러한 초음파 B스캐너에서 축방향 해상도는 사용되는 초음파 펄스의 폭에 의해 결정되고 축방향 해상도는 빔폭에 의해 결정된다. 그러나 3.5MHz 시스템의 경우 축방향 해상도는 보통 2~7mm로서 1mm이내의 축

방향 해상도보다 매우 낮다. B스캐너의 영상의 질을 높이기 위해서는 우선 이러한 축방향 해상도를 높여야 한다. 축방향 해상도를 높이기 위한 방법으로 다이내믹 집속방법이 있는데 이의 설계를 위해서는 광대역 펄스의 전파모양을 정확하게 계산할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 파동방정식으로 부터 광대역 펄스의 전파 모양을 계산할 수 있는 식이 얻어졌으며 이를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 초음파 전파 모양이 3차원적으로 표시되었다. II장에는 기본적인 이론 및 설계된 다이내믹 집속시스템의 구성도가 제시되어 있고 III장에는 파동방정식으로 부터 초음파 전파 모양을 계산하기 위한 식까지의 이론적인 전개가 기술되어 있다. IV장에서는 설계된 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 양자화 오차에 대해 기술하고 V장에서는 실험방법

**正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Electrical Eng., KAIST)

接受日字: 1984年 4月 27日

및 실험결과를 보였다.

II. 다이내믹집속 시스템의 구성

측방향 해상도와 감도를 증가시키기 위하여 빔을 집중시키는 방법이 흔히 사용된다. 집중방법⁽¹⁾에는 그림 1(a)와 같이 초음파 소자면에 음향렌즈를 부착시켜서 기계적으로 스캔(scan)하는 기계적인 방법과 그림 1(b)와 같이 선형 배열소자(linear array transducer)를 구동시키는 펄스의 인가시간을 조정하여 집중시키고 전자적으로 스캔하는 전자적인 방법이 있다. 기계적 집

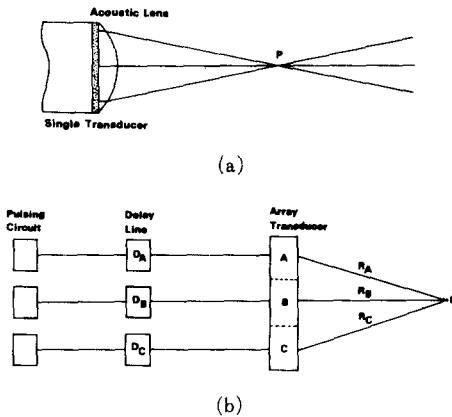


그림 1. 음향 집중방법
(a) 기계적 방법
(b) 전자적 방법
Fig. 1. Acoustic focusing methods.
(a) Mechanical method.
(b) Electronic method.

속 시스템의 경우 초점에서만 그림 1(a)와 같이 집중되므로 측방향 해상도가 낮다. 원형 단일소자가 렌즈에 의해 집중될 경우 초점에서의 측방향 빔모양 (beam profile)은 그림 2와 같이 Airy 형상으로 나타나고 빔폭 Bw는 다음식으로 주어진다.⁽²⁾

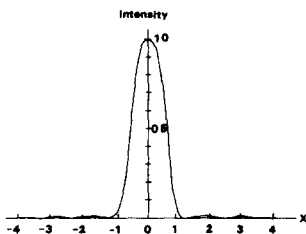


그림 2. 초점에서의 측방향 빔모양
Fig. 2. Lateral beam profile at the focal point.

$$Bw = 1.22 \frac{\lambda}{D} f \quad (1)$$

여기에서 D는 소자의 직경이고 f는 초점의 위치이며, λ는 초음파 파장으로서 (1)식은 초음파 소자에 연속파가 가해졌을 경우를 가정할 때 성립한다. 전자적 집중 시스템에는 보통 사용되는 고정 집중 시스템과 수신시 집중점 위치를 바꾸어 주는 다이내믹 집중 시스템이 있다. 다이내믹 집중 시스템의 경우 수신시 그림 1(b)의 지연회로값을 변화시켜서 초점의 위치를 바꾸게 되므로 측방향의 전범위에 걸쳐서 (1)식으로 표시되는 해상도를 얻을 수 있다. 초점을 연속적으로 변화시킬 수 없으므로 탭을 갖는 지연선(tapped delay line)을 사용하여 8개의 점에 집중되도록 하였다. 초점수가 유한하므로 초점부근에서 초점깊이(focal depth)가 적절히 유지되도록 그림 3과 같이 수신 초음파 소자수도 변화시키도록 한다. 초점의 위치와 수신 소자수를 수신시 실시간으로 바꿀 때 스위칭 잡음이 수신신호에 영향을 미치지 않도록 저잡음 특성을 위한 별도의 회로가 필요하다. 이에 대한 사항은 IV장에서 기술한다.

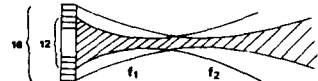


그림 3. 다이내믹 집중방법
Fig. 3. Dynamic focusing method.

본 시스템의 경우, 광대역 펄스를 사용하고, 지연값이 양자화(quantize)되어 있다. 광학에서 사용되는 렌즈 설계공식을 사용할 수 없기 때문에 빔전파 모양을 정확히 예측할 수 있는 계산방법이 요구된다. III장에서 기술되는 계산방법에 의해 빔전파 모양을 계산한 후에 의해 수신 초음파 소자수, 지연선값 및 초점위치 등을 결정한다. 다이내믹 집중기능을 갖는 초음파 B 스캐너의 송·수신회로가 그림 4의 구성도와 같이 설계되었다. 초음파를 발생시키고 수신하기 위해 사용된 초음파 소자는 70개의 소자로 구성된 선형 배열소자로서 중심 주파수는 3.5MHz 이고 대역폭은 약 1.5MHz 이다. 매초당 화면수가 30프레임(frame)을 유지할 수 있도록 하기 위해 송신시에는 고정 집중방법을, 수신시에는 다이내믹 집중방법을 사용하였다. 송신기는 트랜지스터 스위칭에 의해 80V의 펄스가 초음파 소자에 가해지도록 되어 있고 수신기는 저잡음 증폭기 및 각종 신호처리 회로로써 구성되어 있다. 저잡음 증폭기에서 20dB 증폭된 신호는 집중을 위한 지연선 회로를 거쳐서 대수 증폭기에 의해 압축된다. 압축된 신호는 검파기를 거쳐서 검파된 후 다이내믹 범위조정기, 이득조

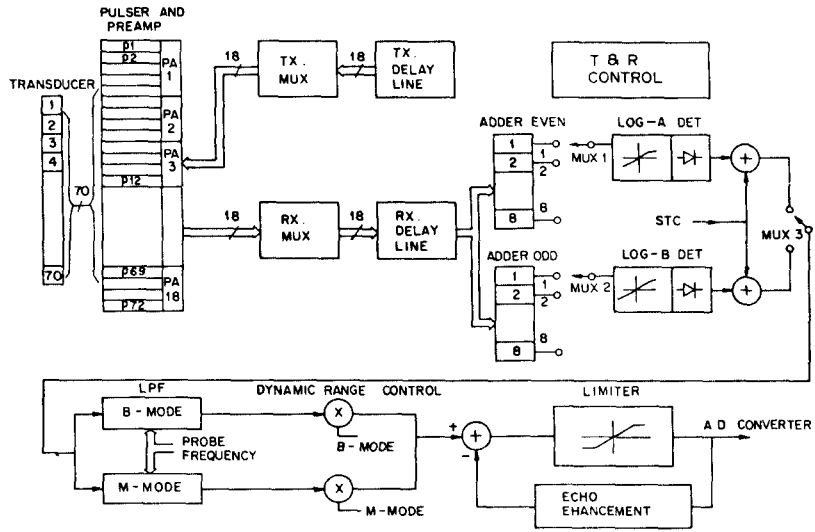


그림 4. 통일된 조직의 토막그림
Fig. 4. System block diagram.

정기를 거쳐서 반사신호 조정기에서 반사신호의 가장 자리들이 강조(echo enhance)된다. A/D변환기에 의해 디지털로 변환된 신호는 기억장치에 저장된 후 신호처리 과정을 거쳐 TV에 입력된다. 이러한 시스템의 구조는 상용화되어 있는 B스캐너와 비슷하나 집속회로 및 스위칭 회로는 다이내믹 집속을 위해 별도로 설계되었다.

III. 초음파 전파모양의 계산

그림 5와 같은 선형배열 소자에서 i번째 소자면에 $e_i(t)$ 의 압력(pressure)이 인가되었다고 하면 초음파의 움직임을 나타내는 파동방정식은 다음과 같이 주어진다.¹³⁾

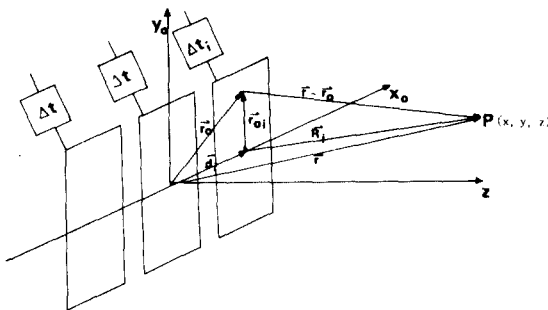


그림 5. 선형배열 소자
Fig. 5. Linear array transducer.

$$\nabla^2 P_i(\vec{r}, t) - \frac{1}{C^2} \frac{\partial^2 p_i(\vec{r}, t)}{\partial t^2} = e_i(t) \delta(\vec{r} - \vec{r}_0) \quad (2)$$

여기에서 $P_i(\vec{r})$ 은 i 번째 소자에 의한 \vec{r} 위치에서의 초음파 압력을 나타내고 C 는 초음파 속도, $\delta(r)$ 은 임펄스 함수, ∇^2 는 Laplacian 연산자이다. $P_i(\vec{r}, \omega)$, $E_i(\omega)$ 를 각각 $p_i(\vec{r}, t)$, $e_i(t)$ 의 Fourier 변환이라 하고, (2)식을 시간에 대해서 Fourier 변환을 취하면

$$\nabla^2 P_i(\vec{r}, \omega) + \frac{\omega^2}{C^2} P_i(\vec{r}, \omega) = E_i(\omega) \delta(\vec{r} - \vec{r}_0) \quad (3)$$

경계면이 없을 때 (3)식의 해는 다음과 같이 얻어진다.

$$P_i(\vec{r}, \omega) = \iint f_i(\vec{r}_0) \cdot E_i(\omega) g_\omega(\vec{r}/\vec{r}_0) dx_0 dy_0 \quad (4)$$

여기에서 소자의 구경(aperture) 함수 $f_i(\vec{r}_0)$ 와 Green 함수 $g_\omega(\vec{r}/\vec{r}_0)$ 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$f_i(\vec{r}_0) = \begin{cases} 1 & d_1 - \frac{a}{2} \leq x_0 \leq d_1 + \frac{a}{2}, -\frac{b}{2} \leq y_0 \leq \frac{b}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$g_\omega(\vec{r}/\vec{r}_0) = \frac{e^{i\frac{\omega}{C}|\vec{r}-\vec{r}_0|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}_0|} \quad (6)$$

초음파 압력을 계산하고자 하는 점까지의 거리가 초음파 소자의 크기보다 훨씬크므로 ($r_0 \ll r$), $|\vec{r}-\vec{r}_0|$ 는 다음과 같이 근사시킬 수 있다.

$$|\vec{r}-\vec{r}_0| = |\vec{r} - (d_1 + \vec{r}_{01})| = |\vec{R}_1 - \vec{r}_{01}| \approx R_1 - \frac{\vec{R}_1 \cdot \vec{r}_{01}}{R_1} \quad (7)$$

(7)식에서 R_1 , r_{01} 는 i 번째 소자 중심에서 각각 p 점 및 i 번째 소자면의 한 점까지의 거리이다. (5), (6), (7) 식을 (4)식에 대입하면

$$P_1(\bar{r}, \omega) = E_1(\omega) \frac{e^{i\frac{\omega}{c}R_1}}{4\pi R_1} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} dy_0 \int_{\frac{a_1 - \frac{a}{2}}{c}}^{\frac{a_1 + \frac{a}{2}}{c}} dx_0 e^{-j\frac{\omega}{c} \frac{R_1 \cdot R_1}{R_1}} \quad (8)$$

$$= \frac{ab}{4\pi R_1} \cdot E_1(\omega) \cdot e^{i\frac{\omega}{c} R_1} \cdot \text{sinc} \frac{a(x-d_1)\omega}{2CR_1} \cdot \text{sinc} \frac{by\omega}{2CR_1} \quad (9)$$

(9)식에서 $\text{sinc } \omega = \sin \omega / \omega$ 이다. 만일 관찰점 p가 $y=0$ 인 xz 평면에 있다 하면 (9)식은

$$P_1(\bar{r}, \omega) = \frac{ab}{4\pi R_1} \cdot E_1(\omega) e^{i\frac{\omega}{c} R_1} \text{sinc} \frac{a(x-d_1)\omega}{2CR_1} \quad (10)$$

(10)식을 ω 에 대해서 Fourier 역변환한 후 컨벌루션(convolution)기호 *를 사용하여 나타내면 다음과 같다.

$$P_1(\bar{r}, t) = \frac{ab}{4\pi R_1} e^{i(t-\frac{R_1}{C})} * \frac{1}{\alpha_1} \Pi(\alpha_1 t) \quad (11)$$

여기서

$$\alpha_1 = \frac{a(x-d_1)}{CR_1} \quad (12)$$

$$\Pi(t) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{2} \leq t \leq \frac{1}{2} \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

이며 $\pi(t)$ 는 다음의 성질을 갖는다.

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \frac{1}{\alpha} \Pi(\alpha t) = \delta(t) \quad (14)$$

따라서 관찰점의 위치가 소자의 정면, 즉 $x=d_1$ 에 위치한다면 (11)식은

$$P_{1f}(\bar{r}, t) = \frac{ab}{4\pi R_1} e^{i(t-\frac{R_1}{C})} \quad (15)$$

로 주어지고 $x=d_1$ 에서 벗어나면 직각 원도우(rectangular window)함수 $\Pi(\alpha_1 t)$ 에 의해 컨벌루션된다. 초음파 소자를 집중시키기 위해 지연선을 사용하여 i번째 소자에 펄스를 Δt_i 만큼씩 지연시켜서 인가하는 경우 N개의 초음파 소자에 의한 p점에서의 압력은(11)식으로부터 다음과 같이 표시된다.

$$p(\bar{r}, t) = \sum_{i=1}^N p_i(\bar{r}, t) = \frac{ab}{4\pi R_1} \sum_{i=1}^N e^{i(t-\frac{R_1}{C} - \Delta t_i)} * \frac{1}{\alpha_i} \Pi(\alpha_i t) \quad (16)$$

또는 (10)식으로부터

$$P(\bar{r}, \omega) = \frac{ab}{4\pi R_1} \sum_{i=1}^N E_i(\omega) e^{i\frac{R_1}{c} - \Delta t_i} \cdot \text{sinc} \frac{\alpha_i \omega}{2} \quad (17)$$

(16)식 및 (17)식은 광대역 펄스의 신호원에 대한 원거리점(far field)에서의 압력을 정확히 나타내는 식으로 관측점이 축상에 멀리 떨어져 있어도 성립한다. 위상배열 시스템(phased array system)의 경우 빔을 편

향시키게 되므로 축상에서 멀리 떨어져 있는 점의 압력계산이 요구된다. 이 경우 (17)식에서 \bar{r} 값 즉 α_i 값 및 R_1 값을 고정시키고 ω 값을 변화시키면서 $P(\bar{r}, \omega)$ 를 계산한 후 FFT에 의해 Fourier 역변환을 취하면 압력의 시간에 따른 변화를 계산할 수 있다. \bar{r} 을 $z=z_0$ 직선을 따라 변화시키면서 위 과정을 반복하면 $z=z_0$ 인 선에서 압력의 시간에 따른 변화를 알 수 있다. 또는 (16)식에서 t 를 고정시킨 후 \bar{r} 를 변화시키면서 $p(\bar{r}, t)$ 를 계산하면 일정시간에서의 초음파 압력분포(snapshot)⁽⁴⁾를 알 수 있다. 선형 배열 소자에서는 집중축상에 하게 되므로 초음파가 거의 축을 따라 전파한다.

ω 를 중심 주파수 ω_0 로 가정하여 (17)식의 $\text{sinc} \alpha_i \omega / 2$ 를 계산하여도 큰 오차가 발생하지 않는다. 따라서 N개의 초음파 소자에 같은 펄스 $E(\omega)$ 가 가해지는 선형 배열 시스템에서 (17)식은 다음과 같이 근사적으로 표시될 수 있다.

$$P(\bar{r}, \omega) = \frac{ab}{4\pi z} \cdot \text{sinc} \frac{\alpha \omega_0}{2} \cdot E(\omega) \cdot \sum_{i=1}^N e^{j\omega(\frac{R_1}{c} + \Delta t_i)} \quad (18)$$

또는

$$p(\bar{r}, t) = \frac{ab}{4\pi z} \text{sinc} \frac{\alpha \omega_0}{2} \cdot \sum_{i=1}^N e^{i(t-\frac{R_1}{c} - \Delta t_i)} \quad (19)$$

여기에서 $\alpha = a(x-d_1)/CR_1$ 이다. (18), (19)식은 선형 배열 소자에서 근사적인 압력 계산에는 사용될 수 있으나 위상 배열 소자에서의 압력계산이나 정확한 압력 계산에는 (16)식 또는 (17)식을 사용하여야 한다.

IV. 시뮬레이션 방법 및 결과

초음파 전파 모양을 계산하기 위해 그림6과같이 측정된 소자 임펄스 응답을 사용 하였다.

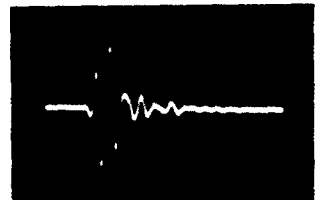


그림 1. 측정된 초음파소자의 임펄스응답(1칸=500ns)
Fig 6. Measured impulse response of ultrasonic transducer (1div. =500ns).

초음파 소자의 각각에 인가되는 펄스를 적절히 지연시키기 위해서는 탭을 갖는 LC지연선(tapped LC delay line)을 사용한다. 탭 사이의 지연시간이 일정하므

로 원하는 지연값이 양자화되어 양자화 오차¹⁾가 발생한다. 양자화 오차를 줄이기 위해서는 탭수를 많게 해야하나 이 경우 스위칭 회로가 복잡해진다. 우선 양자화 오차의 영향을 조사하기 위해 축방향으로 60mm되는 곳에 10개의 소자로 빔을 집속시킬 경우의 축방향 빔모양을 계산하였다. 탭간의 지연값을 10ns에서 100ns 까지 변화시키면서 축방향 빔모양을 계산한 결과 40ns 정도부터 축방향 빔폭과 사이드로브(sidelobe)가 심하게 증가되었다. 그림 7에 탭간의 지연값을 20ns와 100ns로 하여 축방향 빔모양을 계산한 결과가 나타나 있다. 본 연구에서는 양자화 오차 영향이 크지 않도록 탭간의 지연값이 20ns이고 10개의 탭을 갖는 광대역 LC 지연선을 사용하였다.

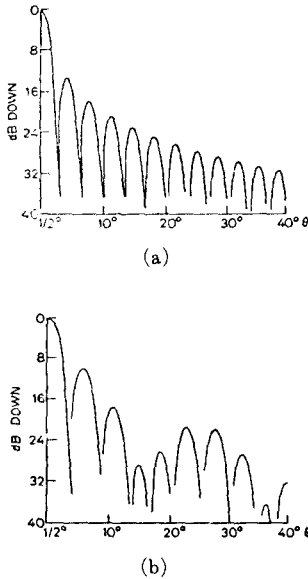


그림 7. 양자화 오차의 축방향 빔모양에 대한 영향
(a) 탭간의 지연값=20ns, (b) 탭간의 지연=100ns

Fig. 7. Quantization effects on lateral beam profile.
(a) delay time between taps=20ns,
(b) delay time between taps=100ns.

III장에서 유도된 (19)식에 의한 초음파 진행모양의 컴퓨터 시뮬레이션은 VAX-11/780 컴퓨터와 Tektronix graphic terminal을 사용하여 수행되었다. 우선 광학렌즈 설계시의 수식에 의해 집속점의 위치 및 초음파 소자수를 대략 결정한 다음, 일정한 깊이에서 거리를 증가시키면서 초음파 압력을 계산한다.

시뮬레이션의 한 예로써 8개의 소자를 이용하여 50mm 깊이에 빔을 집속시켰을 때 거리에 따른 초음파 진

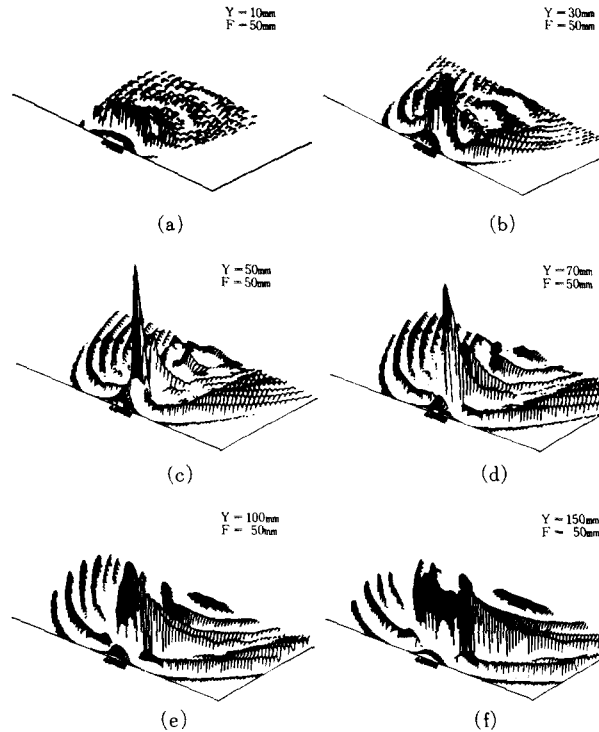


그림 8. 광대역 초음파 펄스 전파의 3차원 표시(초점 거리=50mm)
관측점의 거리: (a) 10mm (b) 30mm (c) 50mm (d) 70mm (e) 100mm (f) 150mm

Fig. 8. 3-dimensional display of ultrasonic pulse propagation with broadband (focal point=50mm)
observation point: (a) 10mm (b) 30mm (c) 50mm (d) 70mm (e) 100mm (f) 150mm

행모양이 그림 8에 나타나 있다. 빔이 집속점 부근에서 집속되고 있음을 보이고 있으나 광학렌즈 공식에 의해 계산된 집속점보다는 가까운 곳에서 집속되고 있

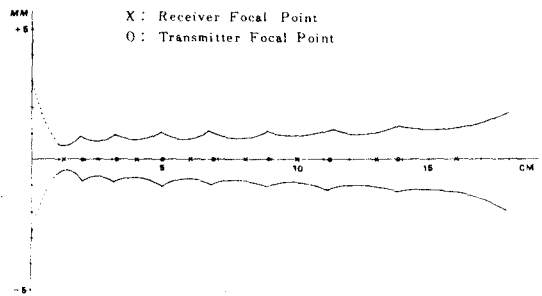
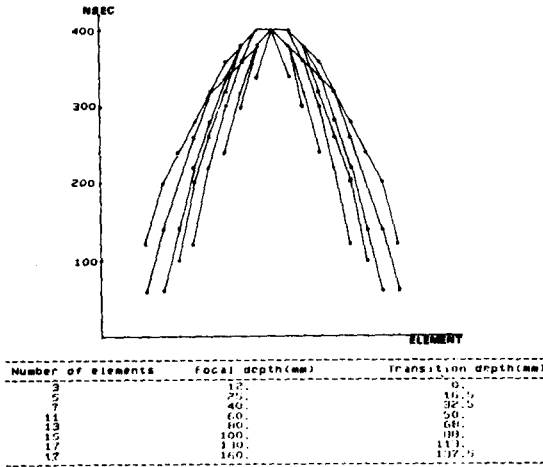


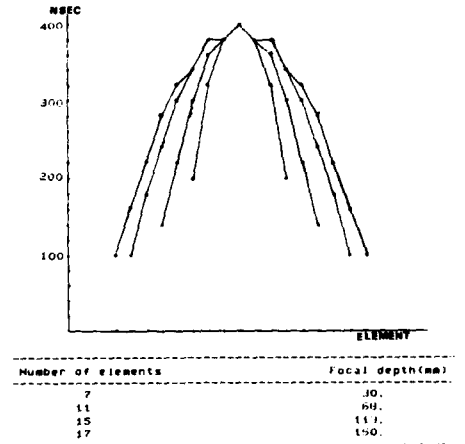
그림 9. 다이내믹 집속시스템의 축방향 해상도
Fig. 9. Lateral resolution of dynamic focusing system.

었다. 축방향으로 거리를 변화시키면서 빔 최대치의 6 dB 낮은 축방향점들을 표시하면 6dB 빔폭의 거리에 따른 변화가 얻어진다. 이 6dB 빔폭이 축방향으로 균일하도록 집속점 위치 및 각 집속점 위치에서 사용될 소자수를 시행착오식으로(cut and try) 구한다. 본 연구에서는 수신시 축방향 빔폭이 최대 진단깊이(18cm) 내에

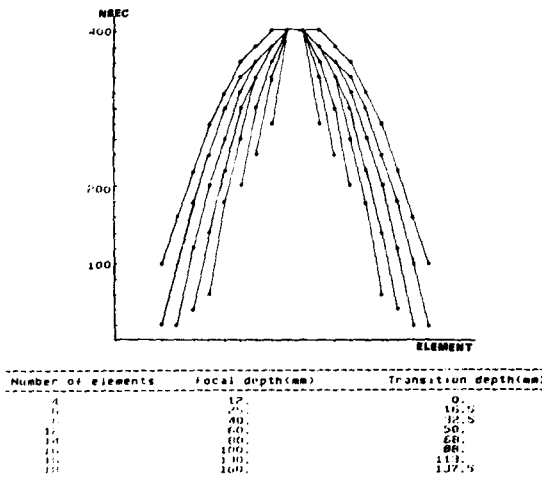
서는 축방향에 관계없이 2mm에서 3mm 범위내에 들도록 집속점 위치 및 소자수를 결정하였다. 그 결과에 의해 6dB 빔폭을 표시한 그림이 그림 9에 나타나 있다. 본 연구에서 설계된 B스캐너에서는 한 번은 짝수개 다른 한 번은 홀수개의 소자로 송수신하여 스캔선수를 2배로 늘리고 있다. 홀수개로 수신할 때의 집속점 위치, 스위칭위치 및 지연값이 그림 10에 나타나 있다.



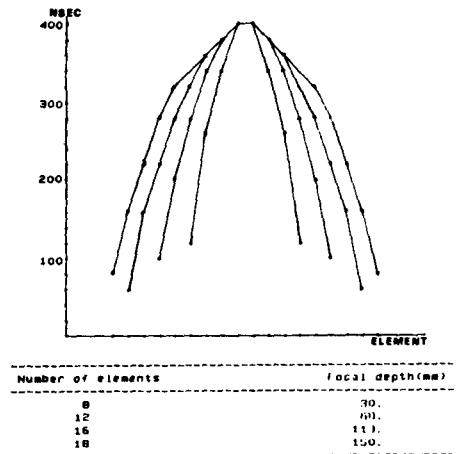
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 10. 설계된 수신기의 지연값, 구동소자수 및 초점거리

(a) 홀수개의 소자 (b) 짝수개의 소자

Fig. 10. Design values of delay time, number of exciting element, and focal point for receiving.

(a) Odd number of exciting transducer elements.
(b) Even number of exciting transducer elements.

그림 11. 설계된 송신기의 지연값, 구동소자수 및 초점거리

(a) 홀수개의 소자 구동시 (b) 짝수개의 소자 구동시

Fig. 11. Design values of delay time, number of exciting elements, and focal point.

(a) Odd number of exciting transducer elements.
(b) Even number of exciting transducer elements.

그림 9에서 보면 수신시 집속점이 바뀌는 위치에서 빔폭이 크므로 송신시의 집속점 위치를 이러한 스위칭 위치에 있도록 하였다. 송신시의 집속점 위치, 스위칭 위치 지연값이 그림11에 나타나 있다.

V. 실험 및 실험결과

그림 4와 같이 구성된 송수신회로를 제작하여 측방향 해상도를 측정하였다. 다이내믹 집속시 초점을 전환할 때 발생하는 스위칭 잡음은 그림 4와 같은 회로에 의해 줄이도록 하였다. 그림 4에서 가산기(adder)는 지연선을 통해서 입력되는 신호를 합하는 회로로써 초점수만큼 구성하여 각각의 초점에 1 : 1로 대응되도록 하였다. 대수증폭기 A와 B는 각각 흡수번째 가산기 및 썩수번째 가산기를 스캔한다. 대수증폭기 A가 출력에 연결되어 있는 동안 대수증폭기 B가 다음 채널로 스위칭하므로 출력에는 스위칭 잡음이 나타나지 않는다. 선(wire)을 측방향으로 스캔한 후 이를 TV에 밝기로서 표시한 B스캔결과가 그림12에 나타나 있다. 그림12에서 측방향 및 축방향의 스케일(scale) 표시는 한눈금 간격이 10mm임을 나타낸다. 그림12(a)는 상용화되어 있는 T사 제품인 2점고정집속시스템의 B스캔영상을, 또 그림12(b)는 본 연구에서 연구된

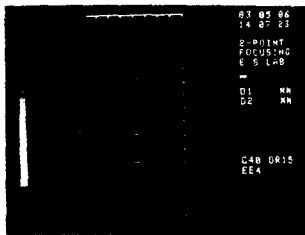
다이내믹 집속 시스템의 B스캔 영상을 나타낸다. 2점 고정 집속 시스템의 경우 측방향 빔폭이 2~6mm이나 다이내믹 집속시스템은 처음에 가정된 최대 진단 깊이 18cm전체에 걸쳐 컴퓨터 시뮬레이션 결과에서와 같이 2~3mm의 균일한 빔폭을 나타내고 있다. 또한 2점 고정 집속 시스템의 경우 매초당 화면수가 다이내믹 집속 시스템의 1/2밖에 되지 않는 단점을 갖고 있다.

IV. 結 論

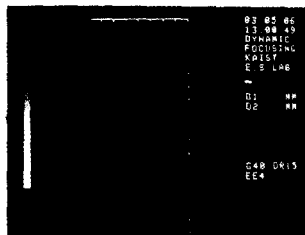
초음파 다중소자가 광대역 펄스에 의해 여기될 때 빔의 전파 모양을 정확히 계산할 수 있는 방법이 연구되었다. 계산된 결과를 이용하여 다이내믹 집속기능을 갖는 초음파 B스캐너의 초점위치, 지연회로의 지연값 및 수신 초음파 소자수들을 결정하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 18cm의 측방향 전체에 걸쳐서 2-3mm의 해상도를 얻을 수 있음을 예상하였고 실험에 의해 이를 확인하였다. 본 연구에서 연구된 빔전파 모양의 계산방법은 초음파 진단장치 이외에도 광대역 신호를 여기서시키는 소나(sonar), 초음파현미경 등의 집속 시스템 설계에 이용될 수 있다. 본 논문은 과학기술처 지원사업인 "초음파 진단장치의 개발" 연구 결과의 일부를 밝힌다.

參 考 文 獻

- [1] J.F. Havlice, "Medical ultrasonic imaging: An overview of principle and instrumentation," *Proc. IEEE*, vol. 67, no. 4, pp. 620-641, Apr. 1979.
- [2] J.W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, McGraw-Hill, chap. 4, 1968.
- [3] P.M. Morse, *Theoretical Acoustics*, McGraw-Hill, chap. 7, 1968.
- [4] A.J. Duerinckx, "Matched Gaussian apodization of pulsed acoustic phased array", *Ultrasonic Imaging*, vol. 2, no. 4, 1980
- [5] P.A. Magnin, "Delay quantization error in phased array images", *IEEE Trans. Son. Ultrason.*, vol. SU-28, pp. 305-310, Sep. 1981.
- [6] C.W. Kim, *A Study on the Ultrasonic B-Scanner-Computer Simulation*. KAIST, M.S. Thesis, 1982.
- [7] D.H. Shin, *A Study on the Ultrasonic B-Scanner-Analog Part*. KAIST, M.S. Thesis, 1982.
- [8] 김침원, 김진하, 박송배, "초음파 Linear Array Transducer의 Dynamic Focusing Beam Profile의 계산", 대한전자공학회, 하계종합학술대회 논문집, vol. 5, no. 1, pp. 207-209, Sep. 1982. *



(a)



(b)

그림 12. B스캔 영상
 (a) 상용시스템 : 2점 고정집속
 (b) 제작된 시스템 : 다이내믹 집속

Fig. 12. B scan image.
 (a) Commercial system : 2point fixed focusing.
 (b) Developed system : dynamic focusing.