

## 廻轉 拋物面을 利用한 超音波 集束器에 關한 研究

## A Study of Ultrasonic Concentrator with Rotating parabolic surface

金 周 弘\* · 田 炳 實\*\*

(Kim, Joo Hong and Chon, Byoung Sil)

## 要 約

本 研究는 強力한 超音波 音界를 形成시키는 것을 目的으로한 反射形 超音波 集束器에 關한 것이다. 이 集束器는 超音波反射의 臨界角이 일어난 點을 境界로 하는 全反射가 일어나는 反射面만을 利用한 廻轉 拋物體로 構成하였다. 그리고 超音波를 發生한 變換器의 形態에 따라 平板形 變換器에 適用되는 內側面 反射體와 圓筒形 變換器에 適用된 外側面 反射體의 2種으로 區分하여 集束器를 設計製作하고 側定하였다. 이 反射形 集束器는 plastics lens 에 의한 透過形 集束器에 比하여 여러가지 長點을 갖이고 있다. 即 材質에 유리나 金屬을 사용하므로 높은 溫度의 媒體中은 勿論 強力한 音界內에서 適用도가 크고 또 全反射를 利用하므로 集束效率이 커서 強力한 超音波 音界를 必要로한 工業用 超音波 集束器로 利用될것으로 思料된다.

## Abstract

This paper describes the reflector type ultrasonic concentrator which makes highintensity of ultrasonic field. This was made by rotating parabolic surface which only using total reflection aria, that makes boundary by the critical angle of reflection of sound.

I made two kinds of concentrator according to the type of ultrasonic transducer; one is internal surface reflector type concentrator, which is available for disc type transducer, and the other is external surface reflector type concentrator which is available cylindrical transducer. In the meny aspects the reflector type concentrator is superier to the refraction type concentrator as plastics lens; It is more durable in high temperature and high intency ultrasonicfield then reflector type concentrator because of it is made by glas or metal, and it has higher. efficiency because of it wase made by only total reflection aria that is without absoption loss. I think this is useful ultrasonic concentrator in meny industrial field, in which high intency of ultrasonic energy was used.

## 1. 序 論

強力한 超音波의 發生과 利用에 있어서 超音波

\* 正會員 東國大學校 電子工學科  
Electronics Engineering Department, Dongkuk University

\*\* 正會員, 全北大學校 電子工學科  
Electricl Engineering Department, Chonbuk University

接受日字: 1973年 11月 18日

變換器와 傳達媒體의 impedance matching 關係로 氣體보다 音響 impedance 가 큰 液體나 固體가 Energy 傳達媒體로 利用되고 있다. 이러한 媒體內에서 變換器에서 發生한 超音波의 強度에 比하여 大端히 큰 強度의 音域을 얻기 爲하여서는 音 Energy 를 좁은 空間에 集中시키는 集束器가 必要하다. 液體中에서는 이 目的으로 超音波를 잘 透過하고 또 損失이 적은 plastics 로 만든 lens<sup>1, 2)</sup>

를 사용하여 왔다. 그러나 이것은材質이 plastics 이므로 傳達媒體의 溫度와 lens 가 놓여있는 音界의 強度에 對한 適用範圍가 좁고 또 lens 兩面에서 反射와 內部에서의 吸收에 依한 損失<sup>1,6)</sup>에 의한 集束效率의 低下 및 媒體의 種類에 따라 그 集束의 位置가 變化하는것等 여러가지 短點을 內包하고 있다. 여기서는 이러한 短點을 가지지 않은 液體內에서 使用된 反射形 超音波 集束器의 設計 試作하고 그 性能을 測定한 資料를 報告하려한다

## 2. Plastics Lens 集束器에 關한 實驗

물 알콜 등의 液中에서 使用할 目的으로 polystyrene 이나 Bakelite 를 使用하여 그림 1과 같은 凹 lens 를 試作 사진 2와 같은 500KHz, 300W, 10cm 徑의 圓板型 질콘 티탄산鉛 電否形 振動子에 附着하여 使用한 結果, 水溫 60°C에서 polystyrene 으로 만든 lens 는 3W/cm<sup>2</sup> 의 音界中에서 lens 의 表面의 變形되고 內外面에 1~3mm 徑의 氣泡가 發生하여(사진 1의 맨위 參照) 集束現象이 停止되었고, Bakelite lens 도 4W/cm<sup>2</sup> 에서 사진 1의 切斷面에서 보는것과 같이 lens 內部에 龜裂이 發生하고 變色하여 破壞되었다. 또 알콜中에서도 같은 現象이 일어났다. 使用直後에 lens 內部에 挿入한 thermistor 溫度計에 依하여 測定한 結果 最高 230°C를 얻었다. 이 實驗으로 plastics 를 材料로한 透過形 集束器는 1~2W/cm<sup>2</sup> 以下の 音界에 限하여 使用할 수 있으며 lens 內에서 吸收된 越音波 Energy 의 吸收現象에 基因한 發熱作用이 이 集束器의 破壞原因이 되는것을

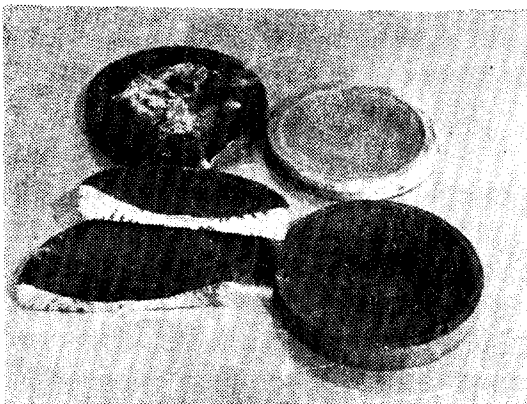


사진 1. 파괴된 超音波 plastics lens  
Photo 1. Destroyed ultrasonic lens



사진 2. A型 集束器와 圓板形 變換器  
Photo 2. A type concentrator & disc type transducer

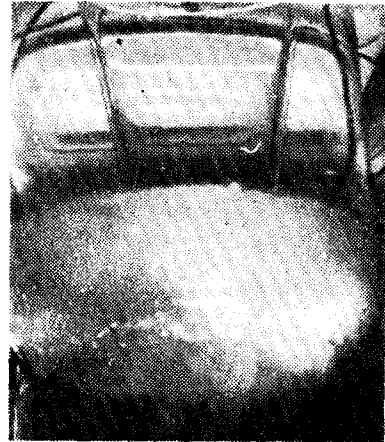


사진 3. A型 集束器에 依한 물의 霧化  
Photo 3. Water-mist by A concentrator

말하여 준다.

## 3. 反射形 超音波 集束器의 設計

液中에서 使用한 電否形 變換器에서 發生한 Energy 의 集束에 適한 集束器를 對象으로 하였다. 이때 周波數는 보통 萬100KHz 정도이며 液中の 超音波 波長은 數 mm 以內이므로 回折現象은 考慮하지 않고 光波같이 直進한 것으로 取扱하였다. 材料는 使用한 液體(물, 알콜, 절연油等)에 比하여 音響 impedance 가 큰 유리나 金屬을 使用하여서 反射率을 크게하고 同時에 溫度와 音의 세기에 對한 影響을 받지 않도록 하였다. 反射面은 廻轉 拋物面을 使用하되 反射效率을 높이

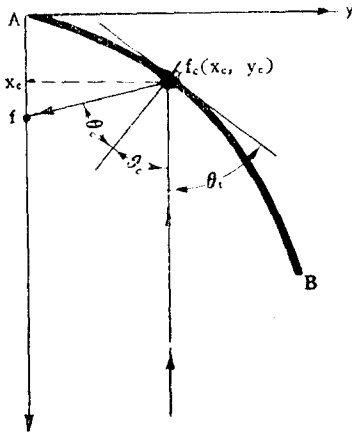


그림 1. 臨界點의 說明圖  
Fig 1. Description of critical point.

기 爲하여 全反射가 일어나는 領域 卽 그림 1에서  $f_c \sim B$  區間만을 使用하여 理論上 透過波를 全無하게 하였다. 그림 1에서 본것과 같이 臨界角  $\theta_c$  는 다음 式에 의하면  $A \sim f_c$  는 透過波가 있는 領域이고  $f_c \sim B$  는 全反射 領域이다.

$$\sin \theta_c = c_1 / c_2 \quad (1)$$

但  $c_1$  液中の 音速

$c_2$  는 反射體(例유리, 金屬等の 固體) 中の 音速

$A \sim B$  는 集束器의 反射面이고  $x$  는 焦點이며 좌표는 超音波의 進行方向을 表示한다. 여기서 拋物線  $A \sim B$  가  $A \sim x$  軸을 中心으로 回轉하는 面을 內側 反射面이라고 하고,  $A \sim y$  軸을 中心으로 回轉하는 面을 外側 反射面이라고 定한다.

이 反射形 集束器는 變換器의 形態에 따라 構造를 달리 하여야하므로 圓板形 變換器에서 나오는 平行하게 進行한 平面波에 適合한 內側 反射形과 圓筒形 變換器에서 나오는 軸對稱 放射波에 適合한 外側 反射形의 2種으로 區分하여 設計하였다.

(i) 內側 反射形 集束器(A 型)

이 集束器의 構造는 다음과 같다.

그림 2과 같이  $x$  軸 方向에서 平行하게 進行한 音波를 廻轉拋物體의 內側面에서 反射하여 그 焦點  $f$  에 集束시킨 構造이며 두께 5mm 의 유리를 使用하였다.

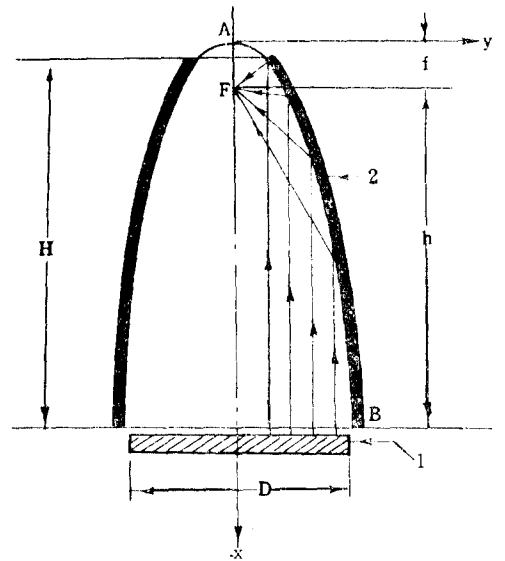


그림 2. A 型 集束器의 斷面圖

- ① 圓板形 變換器
- ② A 型 集束器

Fig. 2. Sectional view of A type concentrator

- ① Disc type transducer
- ② A type concentrator

표 1. 反射形 照音波 集束器

集束器	內側廻轉拋物面 反射形集束器 (A 型)	外側廻轉拋物面 反射形集束器 (B 型)
外形	그림 (1) 사진 (2)	그림 (3) 사진 (4)
結合한 Transducer	圓板形 500KHz, 300W 사진 (2)	圓筒形 800KHz, 180W 사진 (5)
焦點	10mmφ	4mmφ
材質	유리	鋼鐵

焦點(focal region) 附近에서 일어난 zet 流를 防害하지 않고 流體의 流動을 圓滑하게 하기 爲하여 그림 1의  $A \sim P_c$  部分 卽 全反射가 일어나지 않은 頭部는 切斷하는 것이 좋다. 特히 超音波 墳霧를 形成할 경우에는 焦點을 反射體의 上外部에 맺고 이 焦點이 液體의 表面 가까이 있게 하

모로 사진 2와 같이 焦點  $F$ 보다 낮은 點에  $f_c$  點이 오도록 設計에이어야 한다.

그림 1에서 臨界角  $\theta_c$ 이 成立한 位置  $f_c$ 는 拋物線의 公式 (2)와 切線方程

$$4fx = y^2 \quad (2)$$

단,  $f$ 는 頂과 焦點과의 距離  
式 (3)으로부터 式 (4)와 같이 求하여진다.

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\left(\frac{c_2}{c_1}\right)^2 - 1} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} x_c &= \frac{c_1^2 f}{c_2^2 - c_1^2} \\ y_c &= \frac{2c_1 f}{\sqrt{c_2^2 - c_1^2}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

여기서 反射體가 유리이고 液內가 물인 경우는  $c_1$ 은 1430[m/sec]  $c_2$ 는 4900~5900[m/sec]이므로  $c_2$ 를 5000[m/sec]로 보아 계산하면

$$\begin{aligned} \sin\theta_c &= 0.286 \\ \theta_c &= 16.5^\circ \end{aligned} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} x_c &= 0.15f \\ y_c &= 4.1f \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

의 關係가 成立한다.

그림 2에서 變換器의 直徑  $D$ 와 焦點거리  $f$ 가 定하여지면  $B$  點의 座標는

$$\left. \begin{aligned} x_b &= f+h \\ y_b &= \frac{D}{2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

이 成立하므로 式 (2)와 式 (7)에서

$$h = \frac{D^2}{16f} - f \quad (8)$$

式 (8)이 成立한다. 이때 拋物體의 높이  $H$ 를 全 反射가 일어난는 面 全部를 反射面으로 利用한다는 假定下에 다음과 같이 된다.

$$H = h + \left(1 - \frac{c_1^2}{c_2^2 - c_1^2}\right)f \quad (9)$$

이 集束器는 표 2의 寸수로 만든것이 사진 2의 右側의 集束器다.

이것에 500KHz, 300W 圓板形 變換器를 結合하여 水中에서 裝置하고 水面 直下에 集束器의 焦點을 놓아 300W의 高周波를 供給하면 사진 3과 같이 zet를 수반한 霧化現象을 보이며 焦點은 直徑 10mm 정도였다.

(ii) 外側 反射型 集束器(B型)

사진 (5)와 같은 圓筒形 變換器의 音界는 軸對

表 2. 內側 反射面 集束器의 寸수

기 호	길이[mm]	기 호	길이[mm]
h	300	焦 域	2
H	250	유리의두께	5
D	100		

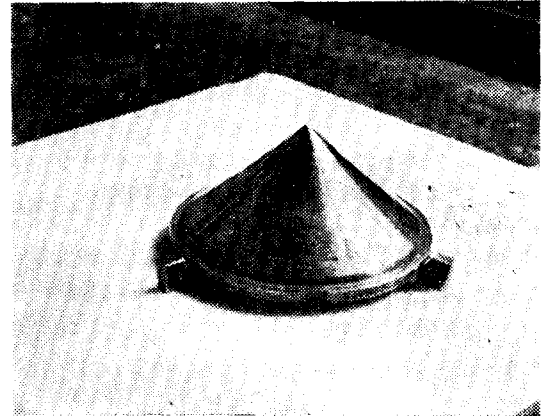


사진 4. B型 集束器  
Photo 4. Btype Concentrator

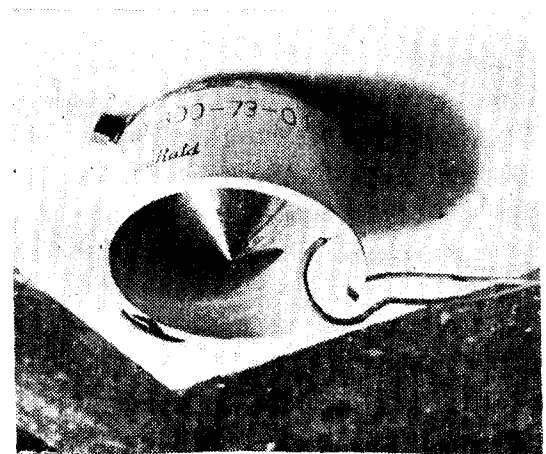


사진 5. B型 集束器와 圓筒形 變換器  
Photo 5. B type Concentrator & cylindrical transducer

稱이므로 이 變換器의 內側面에서 發射된 超音波가 變換器의 軸위의 一點에 焦點을 形成하는 集束器다.

이 集束器의 反射面은 그림 (3)에서 頂點  $D$ 와 焦點  $f$ 를 軸으로  $BAD\alpha\beta$ 의 拋物線을 廻轉시켜 만든 廻轉拋物面中  $\beta\alpha$  및  $\beta'a'$ 部分을 이용한다.

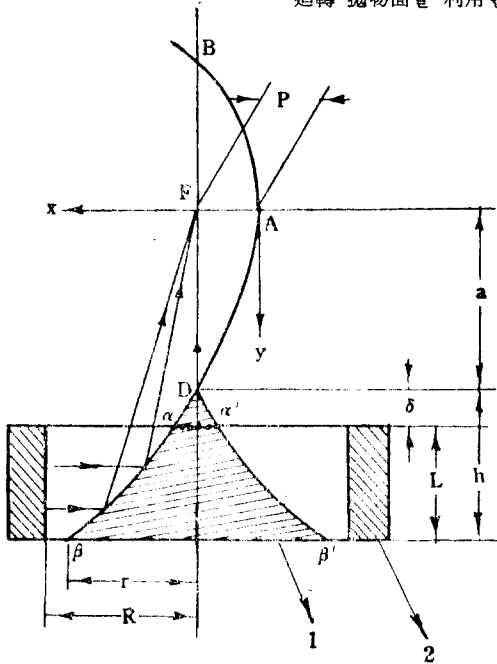


그림 3. B型 集束器와 變換器의 断面圖

- ① B type 集束器
- ② 圓筒形 變換器

Fig. 3. Sectional view of B type concentrator & transducer

- ① B type concentrator
- ② Cylindrical transducer

(그림 (3), 사진 (4) 참조)

이 集束器를 圓筒形 變換器內에 사진 (5)와 같이 놓으면 液中에서 變換器에 代하여 放出된 音波는 拋物面의 性質에 따라서 焦點 F와 같이 進行하여 焦點 F에 集束된다.

그림 (3)에서  $\beta$  點은

$$\begin{cases} x = P + r \\ y = a + h \end{cases} \quad (10)$$

이므로 式 (2)에서 拋物線 AB는

$$4P(P+r) = (a+h)^2 \quad (11)$$

로 주어진다.

한편, 拋物線의 性質에 代하여

$$a = 2P \quad (12)$$

가 成立하며 (11)式과 (12)式에서

$$P = \frac{h^2}{4(r-h)} \quad (13)$$

이 誘導된다.

反射體의 構造上  $P > 0$ 가 되어야 하므로 (13)式에서  $h < r$ 의 制限을 받는다. 이 變換器의 內側面에서 나온 모든 音波를 集束시키기 위하여서는 圓筒形 transducer의 높이  $L$ 을

$$h > L \quad (14)$$

이 條件을 만족하여야 하므로 (11), (12), (14)式에서 反射體의 頂點 D로부터의 焦點 F의 높이

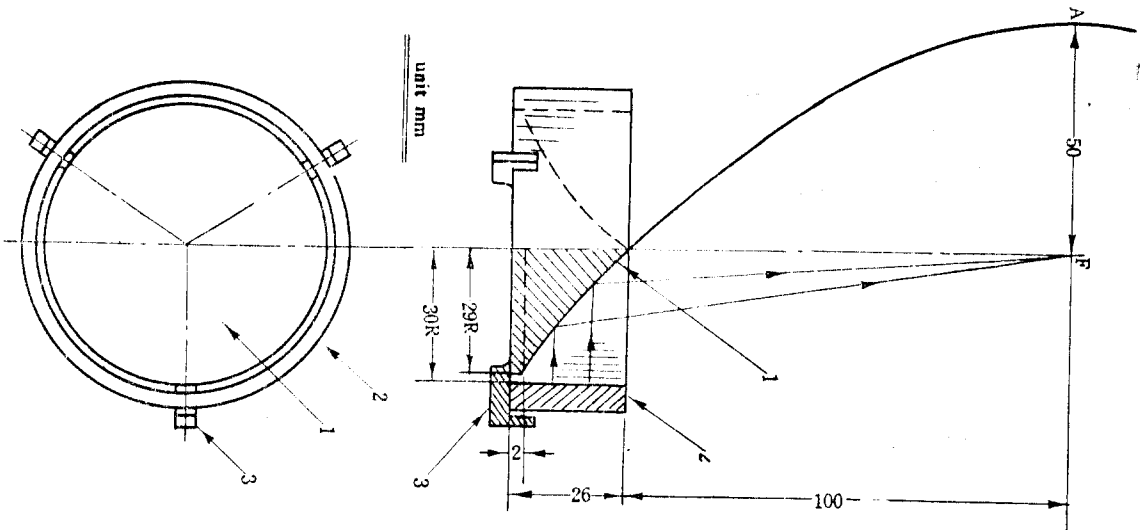


그림 4. 實驗에 使用한 B型集束器

- ① B型 集束器
- ② 圓筒形 變換器
- ③ 支持台

Fig. 4. A design of B type concentrator on experiment

- ① B type concentrator
- ② Cylindrical transducer
- ③ Support

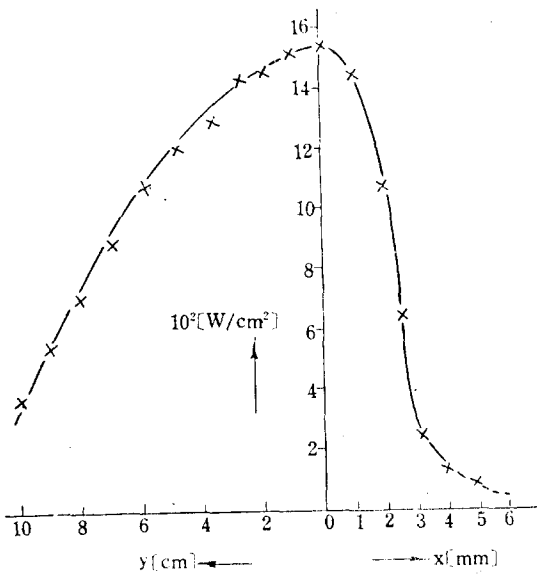


그림 5. 焦點附近의 超音波의 세기  
 I: 超音波의 세기  
 x: 中心軸으로부터의 거리  
 y: 焦點으로부터 垂直下方의 거리

Fig. 5. Ultrasonic intensity near the focal point  
 x: sonic intensity  
 x: distant form central axis  
 y: vertical downward distance form focus

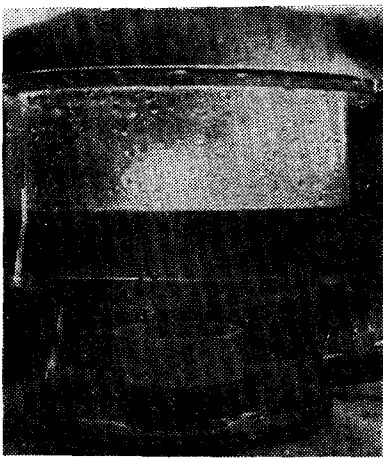


사진 6. B型集束器에 의한 물의 霧化  
 Photo 6. Water-mist by B type concentrator

a는

$$a \leq \frac{L^2}{2(r-L)} \quad (15)$$

의 制限을 받는다.

그리고 設計에서 反射體의 尖端의 길이  $h-L=$

$\delta$ 는 反射面으로 作用하지 않으므로 그림의 點線  $\alpha\alpha'$ 을 切斷除去함이 合理的이다.

試作한 集束器(B型)은 鋼鐵로 製作하였으며 사진 (4)와 같다. 이것을 사진 (5)와 같이 同筒形 變換器와 結合하여 水中에 놓고 그 形 한 焦點을 測定한 것을 그림 (5)에 表示하였다. 音界의 세기의 測定은 二感溫點 熱電對<sup>3)</sup>에 의하였으며 變換器는 800KHz, 180W 圓筒形 BaTiO<sub>3</sub>電歪形을 使用하였다.

이것부터 焦點附近의 音의 세기는 軸을 中心으로 水平面上의 半徑 2[mm]의 圓周에서 半減되며 半徑 3[mm]에서 1/6로 감소되고 있다.

垂直方向은 焦點부터 8[cm]에 半減值를 가지고 있으며 音은 beam 狀으로 集束됨을 알 수 있다. (사진 6 參照)

集束率 即 焦點의 音의 세기와 變換器 面上的 音의 세기의 比는 焦點 半徑<sup>5)</sup>을 2[mm]로 보아(그림 (5) 참조) 計算하면 約 400倍이며 焦點의 平均 超音波의 세기는 1600[W/cm<sup>2</sup>]로 計算된다.

水面附近에 焦點을 두면 사진 (6)과 같이 zet 를 形成하여 30[cm] 높이의 飛滴를 수반한 霧化 現象을 나타낸다.

### 結 論

前記한바와 같이 設計 製作된 2種의 反射形 超音波 變換器는 豫期한바와 같이 銳利한 Beam 形의 焦點을 形成하였으며 液溫과 音界의 세기에 制限을 받지 않고 또 全反射를 利用한 높은 集束 効效率을 갖은 實用性이 큰 集束器임을 나타내고 있다.

集束器 A型은 變換器에 比하여 그 形態가 큰 것이 短點이며 B型이 보다 銳利한 beam 狀의 焦點을 形成함을 알 수 있다. 이 集束器에 의하여 만들어진 極히 強力한 焦點은 보다 強力한 cavitation 作用을 隨伴하여 霧化, 抽出, 乳化, 熟成 등의 物理的 作用은 勿論 化學反應의 促進에 많은 效果가 있을 것이 期待된다.

### 參 考 文 獻

1. 實吉純一著: 超音波技術便覽 p. 173 日刊工

- 業新聞社, 1967
2. Benson; "Ultrasonic" p. 62, p. 90, 1960.
  3. 金周弘外 二人: 二減點 熱電對에 依한 超音波의 強度測定에 關한 研究. 電子工學會誌 8卷 6號 pp. 1-7 1971. 12.
  4. 島川正憲著: 強力超音波應用. p. 3, p. 7 日刊工業新聞社 1971.
  5. Matthew J. Golis; "An Analysis of the Ultrasonic zone Lens" IEEE transactions on sonics and Ultrasonics, Vol. Su-15. No. 2 p. 105 April 1968.
  6. 吉岡勝哉外 3人: 組織의 傷害를 目的의 集束超音波 發生裝置에 對하여. 日本音響學會 講演論文集 pp. 2-1-15 1957. 11.
-