

## 二減溫點 熱電對에 의한 超音波의 強度測定에 關한 研究

正會員 金周弘\* 正會員 李東輝\*\* 正會員 吳永敦\*\*\*

### A Study on the Intensity Measurng of Ultrasonics by Added Two Sensitive point of Thermocouple

Kim, Joo Hong, *Member* Lee, Tong whei, *Member* Oh, Yung Don, *Member*

#### 要 約

本 研究는 液體內의 超音波強度測定法에 關한 것으로 反射板의 兩側에 吸音特質로 포위된 thermocouple 의 減溫點을 添付한 構造를 가진 probe 에 直接 받은 音波와 反射板을 투과한 音波에 依하여 上昇된 感溫點의 溫度差를 檢出하여 超音波強度를 溫定하였다. 이것은 液溫의 影響과 time constant 를 적게하고 超音波 進行을 考慮한 局所 強度를 간편하게 測定할 수 있는 工業用 計器製作을 위한 基礎研究로서 試圖한 것이다.

#### Abstract

This paper describes concerning the method of measurement for the intensity of ultrasonics in liquid. The probe which is added two sensitive point of thermocouple which is surrounded by the absorbed material of sonic wave on the both side of the reflective plate have measured the intensity of ultrasonics indirectly by the difference of the temperature of two sensitive point which had raised the temperature by the sonic wave and its reflective wave which transmitted the ultrasonic energy. This minify the influence from the temperature of liquid and time constant.

Consequently, this is the basic industrial method which is with in the bounds of possibility on the simple measurement of the intensity of the local ultrasonics concerning direction of its propagation.

#### 1. 序 論

液體內 局所領域에서의 超音波強度를 測定하는 方法에는 여러가지가 있으나,<sup>3)</sup> 電氣的인 方法으

로는 Thermister 나 Thermocouple 을 Sensor 로 使用하여 왔다. 이들의 方法은 測定時의 液溫에 對하여 어떤 補償을 해야하는 결점과 裝置가 복잡해지는 등의 問題點이 있다.

本 研究에서는 위와 같은 液溫에 依한 影響을 除去하고 時定數를 적게 하기 위하여 熱電對의 溫接點과 冷接點 사이의 超音波 energy 의 吸收로

\*,\*\*,\*\*\* 東國大學校 工科大學 電子工學科  
Dept. of Electronic Eng., college of Eng.  
Tongguk University

因한 溫度差를 檢出하는 方式을 取하므로써 신속하고도 간편한 工學的인 測定裝置를 開發하고자 試圖한 것이다.

本 研究는 液體로써 물을 爲始하여, methanol, 石油, 變壓器油등을 利用하였으며, 350 KHZ 및 400 KHZ의 超音波를 利用하여 液中の 超音波強度의 分布, 方向性, 進行 方向에 對한 檢出感度 등을 測定裝置에 의하여 實驗的으로 究明하므로써 測定器로써의 諸特性을 研究하였다.

2. 測定原理와 裝置

本 測定裝置는 그림 1의 부력선도 및 그림 2에 表示된 것과 같은 裝置로 이루어지고, 그림 3과 같이 stainless 板의 兩側面에 polyester 수지로 ※冷接點(A)과 ※熱接點(B)을 둘러싸고 固着시키고 이들 點間의 溫度差를 電位差로 變換하여 mV 程度의 入力信號에 動作하는 自動電壓記錄計에 연결하여 超音波強度를 間接的으로 測定記錄하도록 되어 있다.(그림 (4)-A, (4)-B 및 그림 5 參照)

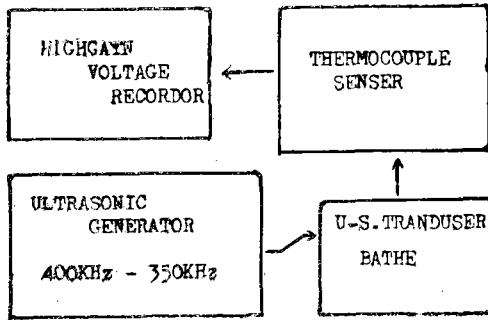


그림 1. 測定裝置의 부력선도  
Fig 1. Block diagram of measuring device

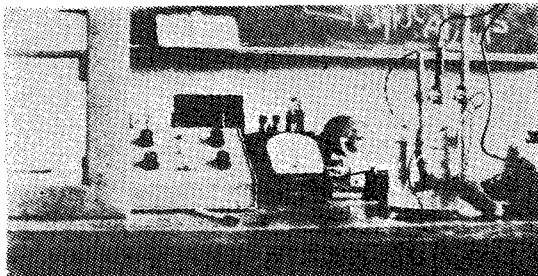


그림 2. 測定裝置  
Fig2. measuring device

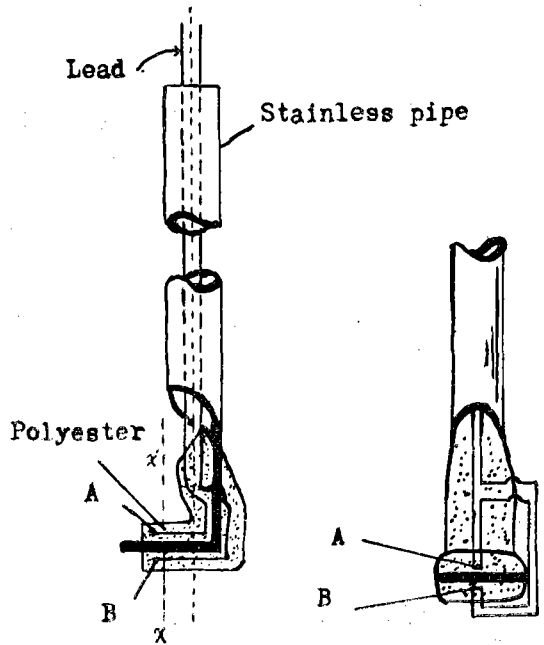


그림 3. probe의 構造  
Fig3. probe structure

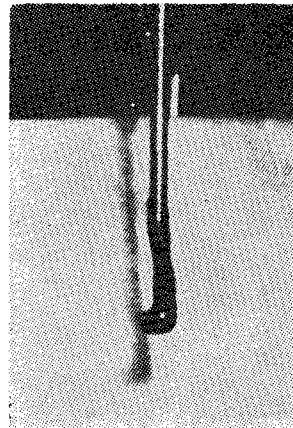


그림 4-A. probe의 外觀  
Fig 4-A. shape of probe

그림 3에서와 같이 probe의 熱接點(B)과 冷接點(A)을 통과한 x~x' 軸을 超音波의 進行方向과 一致시키고 音源을 下側에 두면 熱接點(B)는 直接照射되고 冷接點(A)는 stainless로된 反射板을 투과하여 照射되므로<sup>6)</sup> 超音波強度에 差가 생겨 超音波吸收에 依한 吸音材인 polyester 內部の 溫度가 달라지므로 이 溫度差를 그림 5와 같은 結線으로 測定한다.

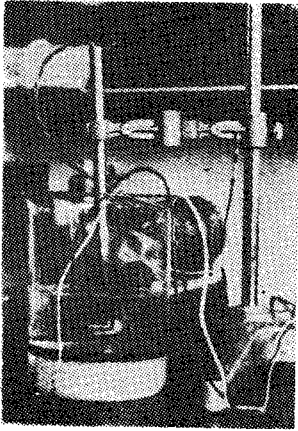


그림 (4)-B. probe 의 設置  
Fig (4)-B. probe setting

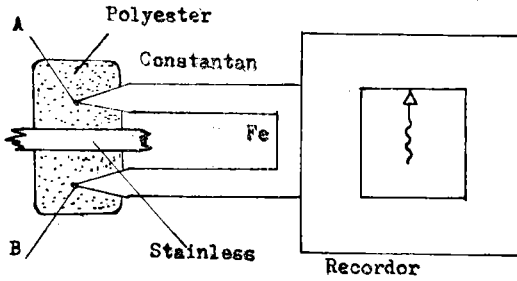


그림 5. Sensor 의 結線  
Fig 5. Connection diagram sensor and recorder

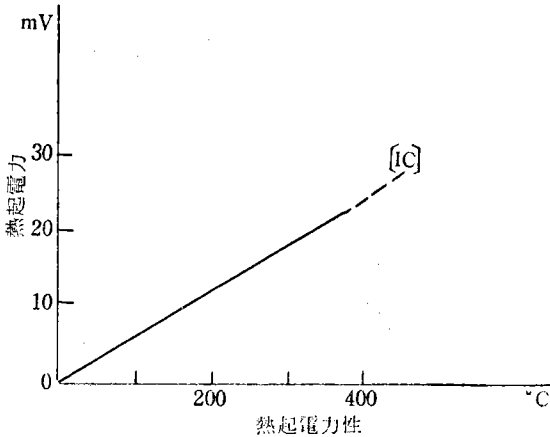


그림 6. Iron-constan 熱電對의 特性  
Fig 6. Ir-Co thermocouple characteristics

本 實驗에 使用된 Thermocouple 는 Iron-constantin(0.5 mmφ)이며 이것은 그림 6과 같이 低溫에 있어서 溫度對 電壓의 直線性이 좋으며 比較의 感度가 예민하다<sup>1)</sup>. 여기서 本裝置의 二接點의 溫度上昇率은 다음 (1)式으로 된다<sup>1)</sup>.

$$\left(\frac{dT}{dt}\right) = \frac{\mu I}{\rho c_p \cdot J e^{-\mu d}} \dots\dots\dots(1)$$

$T$ : 溫度.  $I$ : 音波의 強度.  $\rho$ : 吸音材의 密度  
 $J$ : Joule 定數.  $c_p$ : 比熱量.  
 $d$ : 吸音材의 境界面과 測定點까지의 거리.  
 $\mu$ : 吸音係數

여기서  $\mu, c_p, \rho, d$  는 probe 구조에 의하여 定하  
여지므로  $\frac{\mu}{\rho c_p \cdot J e^{-\mu d}} = k$  라 놓으면

$$(1)式은 \left(\frac{dT}{dt}\right) = KI \dots\dots\dots(2)로 된다.$$

Stainless 透過率을  $\beta_i$  라 하면

$$T_A = T_B \beta_i \dots\dots\dots(3)$$

의 關係가 成立한다. 여기서  $T_A$  와  $T_B$  는 接點(A)와 接點(B)의 溫度이다.

液體의 溫度를  $T_e$  라하고 音材와 液體間의 放熱係數를  $\alpha$  라하여 兩側面의 吸音材의 表面積  $S$  를 同一하게 만들고, 接點(A)에 對한 熱 Energy 平衡條件에서

$$\alpha S(T_A - T_B) = C_p \rho \frac{dT}{dt} \dots\dots\dots(4)$$

가 成立한다<sup>2)</sup>. 여기서  $T_A - T_e = \Delta T_A$  라 표시하면

$$\Delta T_A = \frac{C_p \rho}{\alpha S} \frac{dT}{dt} \dots\dots\dots(5)$$

(5)式에서  $\frac{C_p \rho}{\alpha S} = k_1$  이라 하면  $k_1$  은 probe 의 構造에 依하여 定해지므로  $k_1$  은 定數로 된다. 따라서

$$\Delta T_A = k_1 \frac{dT}{dt} \dots\dots\dots(6)$$

接點(B)에 對하여서도 同一하게

$$\Delta T_B = k_1 \frac{dT}{dt} \dots\dots\dots(7)이 얻어지고$$

(6), (7) 및 (2)式에서 다음의 關係를 얻는다.

$$\Delta T_A = k_1 k I_A \dots\dots\dots(8)$$

$$\Delta T_B = k_1 k I_B \dots\dots\dots(9)$$

여기서 probe 에 檢出된 溫度  $T_p$  는  $T_A$  와  $T_B$  의 差가 되므로 (7)과 (9)에서

$$T_p = \Delta T_B - \Delta T_A = k K_1 K (T_B - T_A) \dots\dots\dots(10)$$

이 成立한다. probe 의 stainless 板에 透過率  $\beta_i$  에 對하여 檢討하면

$$\beta_i = \frac{4}{4 \cos^2 kl + \left(\frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} + \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2}\right)^2 \sin^2 kl} \dots\dots\dots(11)$$

로 주어 진다<sup>2)</sup>.

여기서  $l$ 는 Stainless plate의 두께이고

$k = \frac{2\pi f}{C_2}$ ,  $\rho_1 c_1$ 과  $\rho_2 c_2$ 는 흡음材인 polyester와 反射板인 stainless plate의 音響 impedance이다 여기서 두 接點으로부터 stainless面까지의 거리에 의한 音波吸收의 影響은 거리가 微小하므로 無視하였다.

(3)式과 (10)式에서

$$T_P = K_1 K (1 - \beta_r) I_B \dots \dots \dots (12)$$

얻어지고  $K_1 K (1 - \beta_r)$ 는 測定液과 超音波周波數 및 probe構造에 依하여 定하여지므로

$$K_1 K (1 - \beta_r) = \gamma \text{라 놓으면}$$

$T_P = \gamma I_B \dots \dots (13)$ 이 成立하게 된다. 即  $T_P$ 는  $I_B$ 에 比例하며 Thermocouple과 Recorder의 變換定數를  $\delta$ 라고 하고 記錄된 電壓은  $V_r$ 이라면

$V_R = \delta \gamma I_B$ 가 成立되므로  $V_R$ 와  $I_B$ 가 比例하여  $V_R$ 의 測定에 依하여  $I_B$ 의 測定이 可能하게 된다.

### 3. 超音波強度의 測定

測定方法은 그림 3과 같은 probe를 사용하여 音波強度를 測定하였고, 한편 特性和 實用性을 調査하기 위하여 다음과 같은 裝置를 利用하였다 超音波 變換器로서는 表 1과 같은 두 種類의 탄산바륨 磁器를 使用하였다.

表 1. Transducer Characteristics

	Transducer A	Transducer B
周波數(KHZ)	350	400
出力(W)	50	80
直徑(cm)	6	8
出力電力密度 (W/cm <sup>2</sup> )	1.75	1.6

그리고 그림 7과 같이 Transducer를 비이커의 底面에 놓아 液중에 超音波를 發射시키고 probe를 垂直으로 挿入하여 液體中 여러 局所의 超音波強度를 測定하였다.

發振器의 超音波出力은 Calorie meter로 測定하고 Transducer의 效率 80%를 考慮한 測定値는 그림 8과 같으며 plate 電流  $I_B$ 와 超音波出力

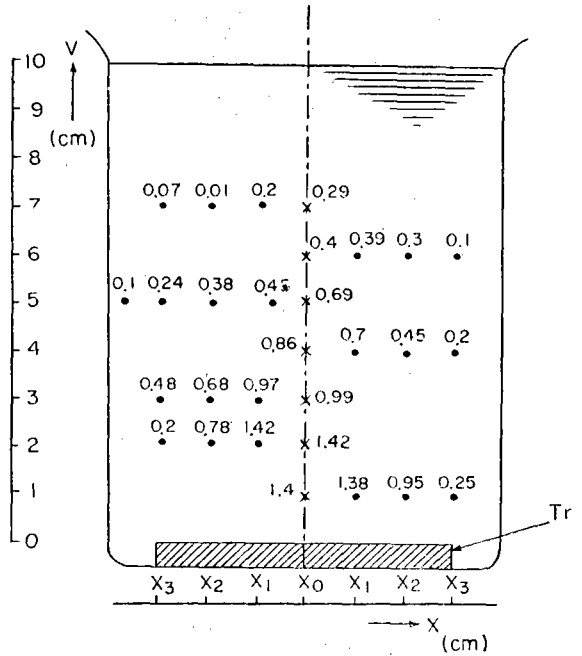


그림 7 Beaker內 초음파 강도의 分布  
Distribution of ultrasonics intensity in Beaker

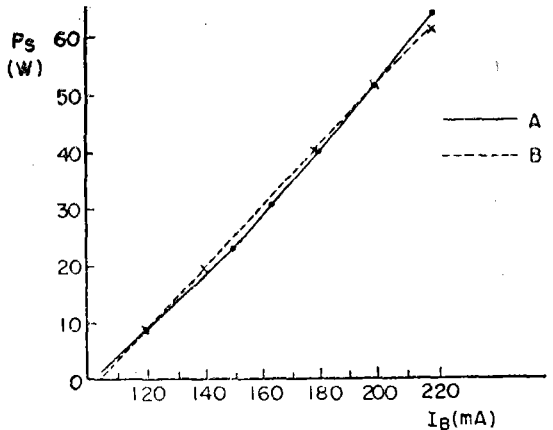


그림 8. plate 電流  $I_B$ 와 超音波 出力  $P_S$ 와의 關係  
Fig 8. Relation between Ultrasonics power  $P_S$  and plate Current  $I_B$

과의 關係는 거의 直線形으로 나타났다. 이때 液體는 물을 사용하였으며 그림 8의 線(A) 및 線(B)는 Transducer A와 B의 曲線이다. 이것은  $P_S = f(I_B)$ 의 關係에서 Sensor의 output Voltage

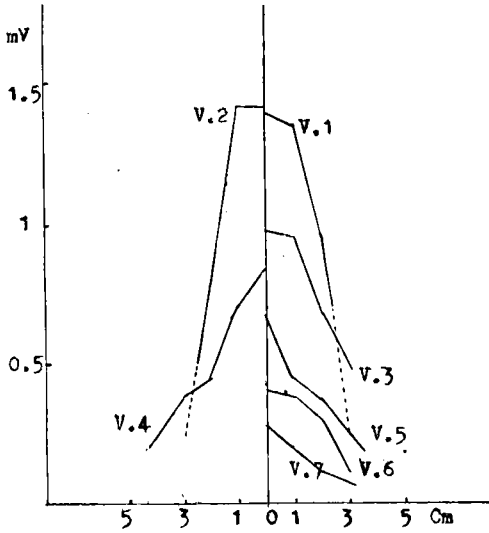


그림 9. 圓柱形水中的 超音波強度(Transducer A)  
Fig. 9. Ultrasonic intensity in the cylinder water

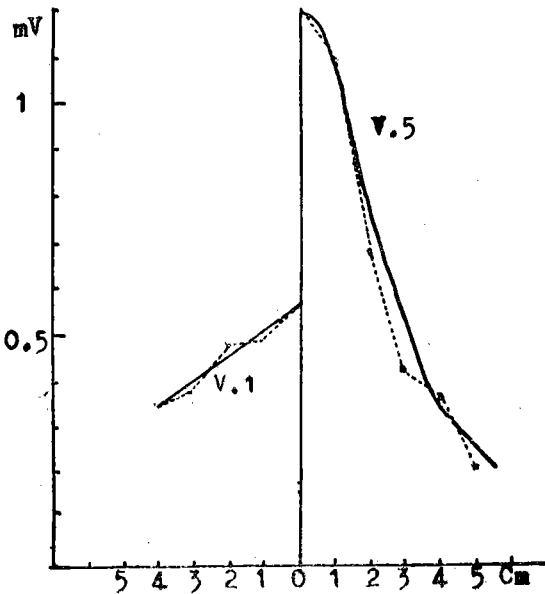


그림 10. 圓柱形水中的 超音波強度(Transducer B)  
Fig. 10. Ultrasonics intensity in the water which in Cylinder

$V_R$  와  $P_S$  와의 關係를 구하기 위한 補助手段으로 測定한 것이다. 그림 7에서

$$\Delta P_S = G_1 \Delta I_P = 520 \Delta I_B \dots \dots \dots (14)$$

그림 7과 같이 500 cc 의 Beaker 에 물을 500cc 넣고 Transducer B를 下面에서 上方向으로 照射시켜 그림 7과 같이 28點에서 測定하여 이를 圖示

한 것이 그림 9이다. 그림에서 V.1은 Transducer 面の 中心軸으로 부터 높이 1cm에서 測定하고 橫軸은 Transducer 中心軸으로부터 水平距離를 나타낸 것이다. 縱軸은 記錄計에 나타난 數值이다. 또 V.5는 높이 5cm의 面上에서의 測定을 意味한다. 그림 10은 Transducer B에 의한 1/ Beaker 内の 水柱에 對한 音波의 強度를 나타내는 測定值이다. 이때 水柱의 直徑은 12cm, 높이는 14cm이다. 이 實驗 結果로 보아 Transducer 의 面積과 周波數에 따라 音波強度分布의 形態가 달라지는 것을 알 수가 있다. 여기서 probe의 變換定數  $G$ 는  $I = G V_R \dots \dots \dots (15)$ 과 그림 8과 같은 測定法으로 Transducer 面上에서 그 中心軸으로부터 수평거리를 1cm의 간격으로  $x, x_1, \dots, x_n$ 까지 測定하였다. 여기서  $x_i$ 를 直徑으로한  $\pm 0.5$ cm의 圓帶面上的의 音波強度를  $x_i$ 點이라는 近似值로 보고 Transducer 全面에서 外部로 放出된 全 power의 平均面積密度와  $V_R$  面に 對한 平均値의 比를 式 (16)에 依하여 計算하여 보면

$$V_R = \frac{\pi(S_1 V R_1 + S_2 V R_2 + \dots + S_n V R_n)}{\pi(S_1 + S_2 + \dots + S_n)} \dots (16)$$

이고, 여기에서  $G = 3.2 \text{ W/mV} \cdot \text{cm}^2$ 를 얻었다. 따라서 (15)式에 依하여  $V_R$ 로부터 音波強度  $I$ 가 直接 計算되어 meter나 記錄計上的  $I$ 를 直接

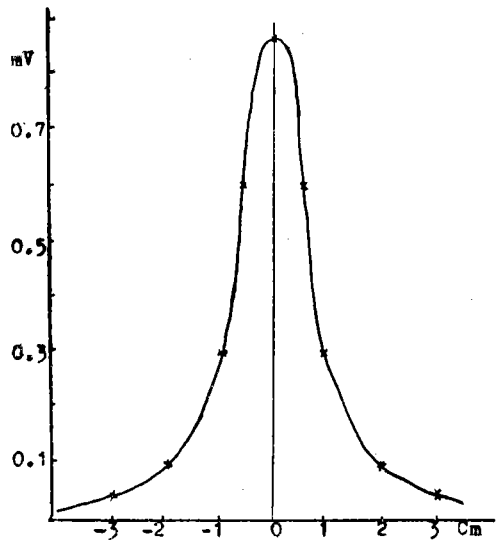


그림 11. (a) Transducer A의 發生한 超音波의 指向性  
Fig. 11. Directional of ultrasonics intensity by Transducer A

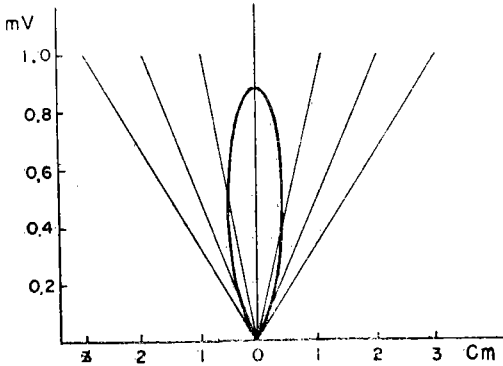


그림 11(b.) Transducer A의 發生한 超音波의 指向性 (그림 11(a)의 극좌표 표시)

Fig. 11. Directional of ultrasonics intensity by Transducer A (polar coordinate fig. 11(a))

Scale에 記入할 수 있게 된다. 높이 5 cm 即 그림 9의 V5의 曲線으로 부터 音波強度의 Transducer 軸에 對한 方向性은 그림 11과 같이 나타났다. Transducer가 넓어짐에 따라 진동은 piston 운동으로 부터 멀어져 振幅의 最大點이 Transducer 面의 數個所로 分割되어 一定한 規則性을 發見하지 못하였음은 그림 (9)에 의하여 엿볼 수가 있다.

### 3.1 溫度特性

probe 特性에 있어서 probe 自體의 動作은 液溫에 無關하지만 超音波의 性質에 對한 影響, 即 周波數에 對한 吸音率의 變化와 溫度 上昇에 따른 氣泡의 發生率의 增加에 依한 音波의 散亂 및 Transducer의 腹點位置變化 그리고 液體의 音響 impedance의 變化 등이 加算되어 實驗値는 그림 (12)와 같은 特性을 나타낸다. 特히 比등점 附近에서는 測定值  $V_R$ 가 下降特性을 나타내며 比등점에 이르러서는 測定值가 아주 적게 나타났다. 따라서 測定範圍는 그림 12의 A~B 사이의 溫度範圍에 限하며 여러가지 液體에 對한 特性을 測定한 結果는 表 2와 같다.

表 (2)에서 K는 같은 超音波發生條件에서 水中과 다른 液中의 音波強度의 測定值  $V_R$ 의 比는

$$K = \frac{V_R(\text{液})}{V_R(\text{水})} \dots \dots \dots (17)$$

를 나타낸다.

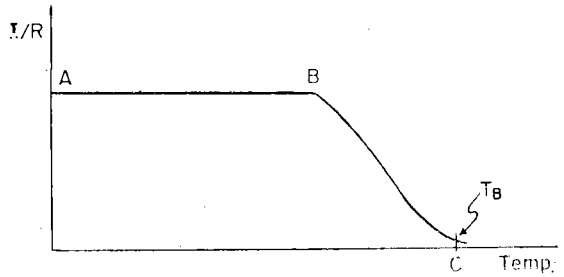


그림 12. 液溫과 測定值와의 關係  
Fig. 12. liquid temperature response

表 2. 여러液의 特性

表 2. Various liquid characteristic

液 體	G[W/mV.cm <sup>2</sup> ]	A~B[°C]	比등점 (°C)	K
水	3.2	10~85	100	1
ethanol	2.9	10~20	78.3	1.1
methanol	1.92	10~45	64.5	1.66
등 유	3.7	10~85	150~250	0.88

이것은 水 물에 對한 換算係數이다. 表 (2)에서 的 實驗 範圍는 10°C 부터 85°C 까지 밖에 되지 않았지만 A~B點은 10°C 以下로부터 85°C 以上의 範圍에도 미치는 경우가 있을 수 있다.(例 등유)

### 3.2 時定數 T

本 測定의 時定數는 probe의 Time delay가 支配的이며 ReRecorder에 나타난 曲線의 解析으로 是 時定數가 10秒 以下이고 20秒後에는 過渡値는 無視된다.

probe의 構造를 改良하여 吸溫體의 容積을 줄이고 Stainless(反射)板의 放熱面을 크게하여 放熱效果를 크게하면 Time constant를 주릴 수 있을 것이 豫測된다.

### 3.3 超音波의 方向性 測定

이 probe는 局所 超音波強度測定에 適合한 特性을 가지고 있으므로 超音波의 進行方向 및 方向性測定에 適用된다.

Transducer A의 경우는 그림 11과 같은 方向

性을 나타내며 進行方向이 prob 軸  $x-x'$ (그림 3 參照)의 方向과 一致할 때 測定值가 最大值를 指示하고, 이들間의 角度를 變化하여 測定한 結果는 그림 13와 같다.

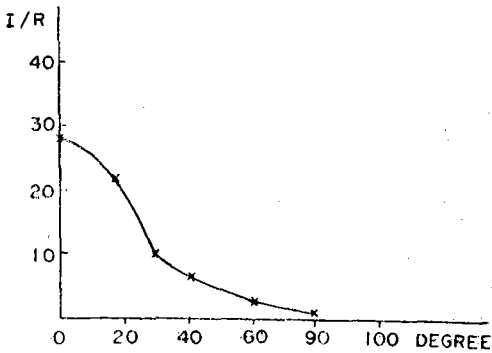


그림 13. 超音波의 進行方向에 대한 probe의 特性  
Fig. 13. Characteristics of The porbe for ultrasonics direction.

即 probe의 設置方向에 依하여 超音波의 進行方向 測定이 可能함을 나타내고 있다.

### 3.4 周波數의 影響

超音波의 透過率이 式(11) 및 吸收率  $\mu$ 와 frequency  $f$ 의 函數로 주어지므로 넓은 範圍의 frequency에 對하여서는 frequency에 따르는 補正이 必要하지만 이에 關한 實驗은 本 實驗에서 除外하였다.

### 3.5 測定 感度

測定感度は 指示器나 記錄裝置의 感度に 左右되나 1 mV full Scale 計器를 使用하면 10w/cm<sup>2</sup> 級까지의 測定이 可能하다.

上限은 吸音材(polyester)의 溫度上昇에 支配되므로 수 10w/cm<sup>2</sup> 級까지 可能하며 따라서 液中에서의 強力 超音波 測定 範圍를 充分히 包含한다.

## 4. 結 論

本 測定法에 依한 實驗結果를 考察해 보면 이 方法은 被測定體의 非等温에서 相當히 떨어진(즉 물 alchole 등은 약 15°C 範圍內에서는 溫度의 영향없이 평탄한 特性을 나타냄으로써 局所와 方向을 考慮한 초음과 강도의 比較測定에 適合한 것임을 알수 있다. 이 測定方式은 또한 時定數가 적고 probe의 취급이 간편하므로 工業用 液中 超音波測定裝置로써 간편하고 迅速한 測定을 可能케 하는 特性을 가지고 있다.

따라서 被測定液의 種類 및 超音波의 周波數에 對한 補正係數를 利用하면 더욱 많은 測定對象에 對하여 適用이 可能하게 될 것이다.

## 參 考 文 獻

- 1) 友田八二: "電子計測" p239-240 Corona社 1962.
- 2) 島川正憲: "強力超音波應用", p2-8 日刊工業新聞社 1970.
- 3) Benson: "Ultra Sonics," p 152. p.87~90, 1960.
- 4) "超音波技術便覽" p421~428 日刊工業新聞社 1967.
- 5) E. J. Post: "Radiation pressure and dispersion", J, Acous, SOC Amer. 25(1950) p 55-60.
- 6) S. Morita: "Sonde method of Measuring Ultrasonic field Intensity", p214 J, physics, Soc 1952.
- 7) Coughanowr & Kopple: "process system analysis and contral", p 45~p48 Mcgraw-hill 1965,