

超音波照射에 의한 磁性體의 特性 研究

孫 珍 鉉

A study on properties of magnetic substances by ultrasonic irradiation

Jinhyeon Sohn

目 次	
1. 序 論	4. 데이터處理 및 holograph 再生
2. 理 論	(1) Paper tape에 變換
3. 測 定	(2) 計算機에 의한 再生
(1) Data 收集 system	5. 結 論
(2) 超音波의 波長測定	

Abstract

Recently the ultrasonic holographic method is being widely used for the ultrasonic study of properties of magnetic substances.

The ultrasonic holograph has a great advantage over the optical holograph since the ultrasonic is more penetrative and handier for information analysis than the optical.

In the present work, the ultrasonic holograph reproduction has been investigated by using an electronic computer with cross- and s-shape samples, and satisfactory results have been obtained for 64×64 picture elements. A brief theoretical background for the reproduction of ultrasonic holograph has been also described.

Finally the present results may be considered as a useful method in studying properties of magnetic substances if a software is exploited, which is capable of analysing information increasing in proportion to the number of picture elements.

1. 序 論

磁性體의 特性, 特히 磁氣異方性 및 強磁性體의 磁區變化 등을 超音波에 의한 磁性體의 磁歪

로 觀測할 수 있다.

이 磁歪의 觀測에 超音波 Hologram 을 利用하는 方法이 最近 試圖되고 있다.

LASER 를 利用한 光學的 Hologram 의 發達에 수반하여, 超音波도 Coherent 인 波動을 容易하게 얻을 수 있고, 또 光이 到達할 수 없는 物体内部 및 水中에도 傳播할 수 있으므로 最近 이 超音波 hologram 의 研究도 活發하게 이루어지고 있다.

超音波는 光에 比하여 波長이 大端히 길고 波長에 對한 벌림도 光學的 hologram 의 경우보다 매우 작아진다. 따라서 超音波 hologram 의 情報量은 光學的 hologram 에 比하여 훨씬 작아지고 計算機에 依한 再生도 容易하게 이루어진다. 더욱이 光學的 hologram 에는 없는 線形檢波器로 波面의 振幅과 位相을 同時에 檢出할 수 있는 利點도 갖고 있다.

本 論文은 超音波에 依한 磁性體의 特性研究의 第一段階로 超音波의 連續波를 使用해서 水中에 있는 物體에 超音波를 二次元走査하여 그 透過波로부터 超音波 hologram 의 data를 얻고, 計算機를 利用하여 再生 및 處理를 한 研究 結果이다. 이 方法은 data를 얻는데 時間이 걸리는 缺點도 있지만 信號를 增幅해서 感度를 높일 수 있고, 또 參照波를 使用하지 않고 電子的으로 物體波의 振幅과 位相을 얻을 수 있으며, 共役像 및 零次像이 없는 再生이 可能하다는 點들의 長點이 있다.

2. 理 論

fig. 1과 같이 波源 $S(p, q)$ 에서 球面波가 發射하여 物體面上的의 點 (u, v) 를 지나 hologram 面上的의 點 $H(x, y)$ 에서의 波面의 세기 $U(x, y)$ 는 時間的인 振動項 $\exp(-j\omega t)$ 를 省略하고 空間的 分布만을 考慮하면 다음 式이 된다. (2)(3)

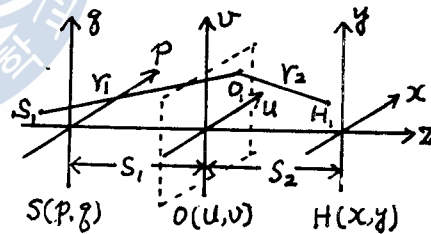


fig. 1

$$U(x, y) = A \int G \frac{\exp jk(\gamma_1 + \gamma_2)}{\gamma_1 \gamma_2} d\sigma \dots\dots\dots(1)$$

(1)式에서 A 는 波源에서 單位距離의 球面上的의 振幅이고, G 는 一次 波振幅에 對한 二次波의 複素振幅이며, $G = G(u, v)$, $k = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)$ 는 波數, $d\sigma = du \cdot dv$, γ_1 은 波源에서 $O_1(u_1, v_1)$ 까지, γ_2 는 $O_1(u_1, v_1)$ 에서 $H_1(x_1, y_1)$ 까지의 距離이다.

(1)式的 γ_1 과 γ_2 의 近似를 취하고 K 를 常數라 하면 (1)式은 다음 (2)式이 된다.

$$U(x, y) = K \exp j \frac{k}{2s_2} (x^2 + y^2) \int \int G(u, v) \exp j \frac{k}{2s} \left\{ \left(u - \frac{f}{s_1} p\right)^2 + \left(v - \frac{f}{s_1} q\right)^2 \right\} \exp \left\{ -j \frac{k}{s_2} (ux + vy) \right\} du \cdot dv \dots\dots\dots(2)$$

(2)式에서 $S = \frac{s_1 s_2}{s_1 + s_2}$ 이고 s_1 은 波源에서 物體面까지, 그리고 s_2 은 物體面에서 hologram 面까지

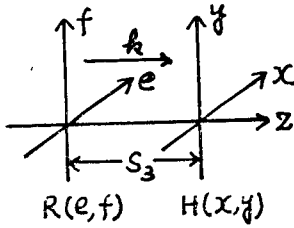


fig. 2

지의 距離이다.

(2)式을 Fresnel 逆變換을 취하면, 이것은 H面에 hologram $U(x, y)$ 를 記錄한 것을 波數 k 인 平面波로 照射해서 앞쪽에서 바라본 것이 된다. 再生面 (R)에서의 波面의 세기 $R(e, f)$ 는 H面에서 R面까지의 距離를 s_3 라 하면 다음 式이 된다.

$$R(e, f) = K' \exp \left\{ -j \frac{k}{2s_3} (e^2 + f^2) \right\} \iint U(x, y) \exp \left\{ -j \frac{k}{2s_3} (x^2 + y^2) \right\} \exp \left\{ j \frac{k}{s_3} (ex + fy) \right\} dx \cdot dy \dots \dots (3)$$

여기서 $s_2 = s_3$, 또 hologram 面이 充分히 큰 경우, (2)式을 (3)式에 代入하면,

$$R(e, f) = K'' G(e, f) \exp \left\{ -j \frac{k}{2s_2} (e^2 + f^2) \right\} \exp j \frac{k}{2s} \left\{ \left(e - \frac{s}{s_1} p \right)^2 + \left(f - \frac{s}{s_1} q \right)^2 \right\} \dots \dots (4)$$

이 된다. (4)式의 絶對值를 취하면,

$$|R(e, f)| = |K''| |G(e, f)| \dots \dots (5)$$

와 같이 物体의 線을 얻게 된다.

여기서 再生用 program을 作成하기 위하여, 物体面 (O), hologram 面 (H), 再生面 (R)의 sample 數를 $N \times N$, sample 間隔을 各各 $(\Delta u, \Delta v)$, $(\Delta x, \Delta y)$ $(\Delta e, \Delta f)$ 라 하고, sample 點의 座標를 各各 (u_s, v_h) (x_i, y_m) (e_a, f_b) 그리고

$$\Delta u \Delta x = \Delta v \Delta y = \Delta e \Delta x = \Delta f \Delta y = \frac{\lambda s_2}{N} \left(= \frac{\lambda s_3}{N} \right) \dots \dots (5)$$

가 成立하면, (2)式과 (3)式의 離散值로 나타낸 式은 各各 다음과 같다.

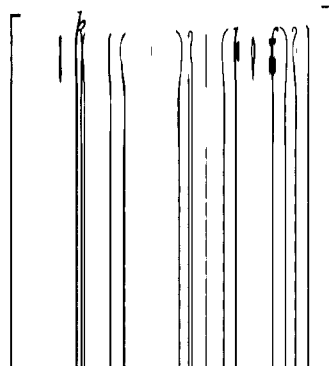
$$U(x_i, y_m) = KV(l\Delta x, m\Delta y) F[P(g\Delta u, h\Delta v)] \dots \dots (6)$$

여기서 $V(l\Delta x, m\Delta y) \equiv \exp j \frac{k}{2s_2} \{ (l\Delta x)^2 + (m\Delta y)^2 \}$

$$P(g\Delta u, h\Delta v) \equiv G_{gh} \exp j \frac{k}{2s} \left\{ \left(g\Delta u - \frac{s}{s_1} p \right)^2 + \left(h\Delta v - \frac{s}{s_1} q \right)^2 \right\}$$

$F[]$: Fourier 變換

$$R(a\Delta e, b\Delta f) = K' V'(a\Delta e, b\Delta f) F^{-1} [u_{lm} V'(l\Delta x, m\Delta y)] \dots \dots (7)$$



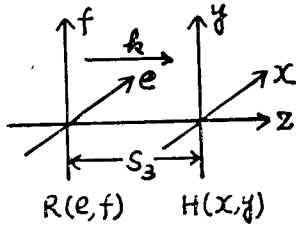


fig. 2

지의 距離이다.

(2)式을 Fresnel 逆變換을 취하면, 이것은 H面에 hologram $U(x, y)$ 를 記錄한 것을 波數 k 인 平面波로 照射해서 앞쪽에서 바라본 것이 된다. 再生面 (R)에서의 波面の 세기 $R(e, f)$ 는 H面에서 R面까지의 距離를 s_3 라 하면 다음 式이 된다.

$$R(e, f) = K' \exp \left\{ -j \frac{k}{2s_3} (e^2 + f^2) \right\} \iint U(x, y) \exp \left\{ -j \frac{k}{2s_3} (x^2 + y^2) \right\} \exp \left\{ j \frac{k}{s_3} (ex + fy) \right\} dx \cdot dy \dots\dots(3)$$

여기서 $s_2 = s_3$, 또 hologram 面이 充分히 큰 경우, (2)式을 (3)式에 代入하면,

$$R(e, f) = K'' G(e, f) \exp \left\{ -j \frac{k}{2s_2} (e^2 + f^2) \right\} \exp j \frac{k}{2s} \left\{ \left(e - \frac{s}{s_1} p \right)^2 + \left(f - \frac{s}{s_1} q \right)^2 \right\} \dots\dots(4)$$

이 된다. (4)式의 絶對值를 취하면,

$$|R(e, f)| = |K''| |G(e, f)| \dots\dots(5)$$

와 같이 物体의 線을 얻게 된다.

여기서 再生用 program을 作成하기 위하여, 物体面 (O), hologram 面 (H), 再生面 (R)의 sample 數를 $N \times N$, sample 間隔을 各各 $(\Delta u, \Delta v), (\Delta x, \Delta y), (\Delta e, \Delta f)$ 라 하고, sample 點의 座標를 各各 $(u_g, v_h), (x_i, y_m), (e_a, f_b)$ 그리고

$$\Delta u \Delta x = \Delta v \Delta y = \Delta e \Delta x = \Delta f \Delta y = \frac{\lambda s_2}{N} \left(= \frac{\lambda s_3}{N} \right) \dots\dots(5)$$

가 成立하면, (2)式과 (3)式의 離散值로 나타낸 式은 各各 다음과 같다.

$$U(x_i, y_m) = KV(l \Delta x, m \Delta y) F[P(g \Delta u, h \Delta v)] \dots\dots(6)$$

여기서 $V(l \Delta x, m \Delta y) \equiv \exp j \frac{k}{2s_2} \{ (l \Delta x)^2 + (m \Delta y)^2 \}$

$$P(g \Delta u, h \Delta v) \equiv G_{gh} \exp j \frac{k}{2s} \left\{ \left(g \Delta u - \frac{s}{s_1} p \right)^2 + \left(h \Delta v - \frac{s}{s_1} q \right)^2 \right\}$$

$F[]$: Fourier 變換

$$R(a \Delta e, b \Delta f) = K' V'(a \Delta e, b \Delta f) F^{-1} [u_{im} V'(l \Delta x, m \Delta y)] \dots\dots(7)$$

여기서 $V'(a \Delta e, b \Delta f) \equiv \exp \left[-j \frac{k}{s_3} \{ (a \Delta e)^2 + (b \Delta f)^2 \} \right]$

$F^{-1}[]$: Fourier 逆變換

(5), (6) 및 (7)式에서 다음 (8)式이 얻어진다.

$$R(a \Delta e, b \Delta f) \equiv R_{ab} = K'' V''(a \Delta e, b \Delta f) F^{-1} \{ F[P(g \Delta u, h \Delta v)] \} = K'' V''(a \Delta e, b \Delta f) P(a \Delta e, b \Delta f) \dots\dots(8)$$

(8)式의 絶對值를 취하면,

$$R_{ob} = |K''| |G(a\Delta e, b\Delta f)| \dots \dots \dots (9)$$

와 같이 되어 再生像을 얻게 된다.

이 경우 再生像의 sample 間隔 Δe , Δf 는 (5)式에서 求해진다.

以上에서 再生 program의 algorithm은 ① hologram의 data $U(x_i, y_m)$ 을 구하고, ② $exp \left[-j \frac{k}{2s_2} \{ (l\Delta x)^2 + (m\Delta y)^2 \} \right]$ 을 곱해서 二次位相項을 없애고, ③ FFT를 使用해서 Fourier 逆變換을 하고, ④ 이의 絕對值를 취하면 된다.

3. 測 定

fig 3은 本實驗의 全過程을 나타낸 構成圖이며, ① data를 취하는 部分, ② data의 記錄, ③ analog/digital 變換과 小型計算機에 依한 paper tape에 binary data를 收錄, ④ 中型計算機로 data 處理와 CRT에 表現 및 ⑤ 寫眞攝影으로 되어있다. 여기서 ①, ②를 測定過程에 그리고 ③, ④ 및 ⑤를 處理過程으로 나누었다.

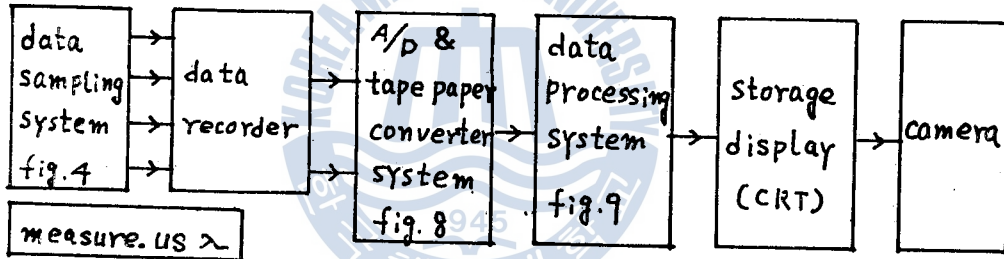


fig. 3. 測定 및 處理過程의 全構成圖

(1) Data 收集 system

fig 4는 hologram data를 취하는 system을 나타낸 것이다.

安定度가 높은 發振器(HP 5100A, frequency synthesizer driver)에서 連續波($f=10^6 \pm 0.05 H_z$, $V=3 V p-p$)는 電力增幅器(20dB)로 30V p-p까지 增幅시켜 水槽(49cm×49cm×49cm) 內底面

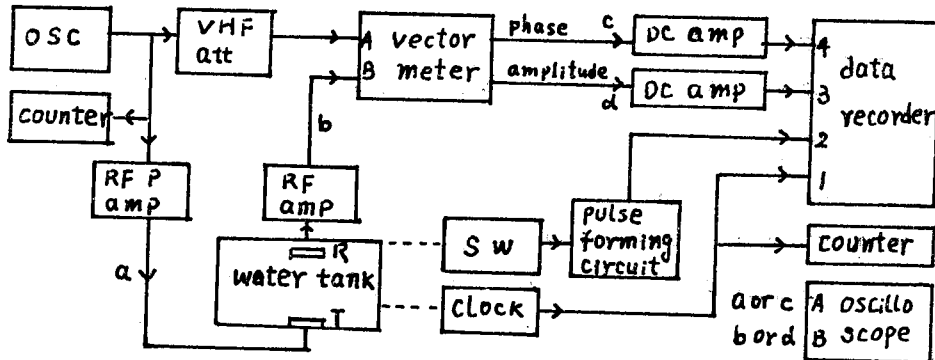


fig. 4. Hologram data 收集 system

에 놓인 直徑 5mm의 圓形壓電 ceramic 振動子로 된 送波器(T)를 勵振하여 $f=1M Hz$ 의 超音波를 發射한다. 送波器에서 400mm 上部(水深은 430mm)에 놓인 受波器(R)는 fig 5와 같이 X方向으로 約 1.7mm/s의 速度로, Y方向은 手動으로 二次元走査를 한다.

이때 受波器는 hologram面의 無物體時의 音場, 혹은 送受波器中間 즉 送波器에서 200mm에 놓인 fig 6과 같은 被測定用物體(1mm의 aluminium板)의 開孔을 通過한 物體波를 受信하여 高周波增幅器로 40 dB 增幅한다. 이 信號과 發振器에서 10 dB 減衰된 1 MHz의 參照波와 함께 vector meter (HP8405A)에 들어가 位相과 振幅으로 檢出된다. 이들 出力을 다시 各各 直流增幅器로 20 dB 增幅시켜 data recorder (TEAC R-410)에 各各 記錄한다.

한편 data recorder는 受信器가 (±)X方向으로 走査할 때 clock裝置(photo transistor와 X方向

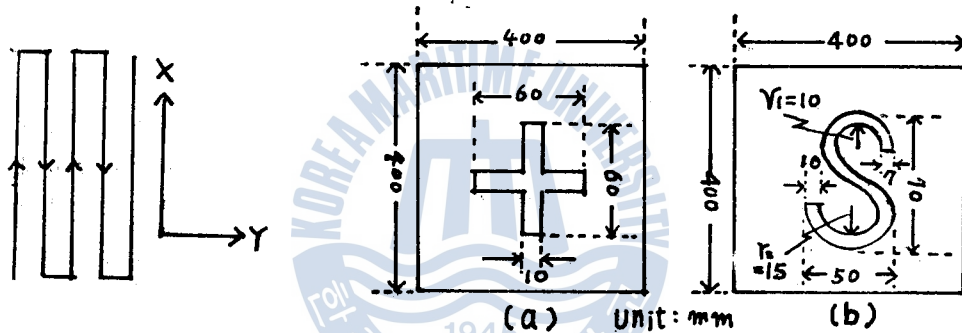


fig. 5. 受波器의 二次元走査方法

fig. 6. 開孔型 被測定用物體

走査用 motor로 回轉하는 작은 구멍이 있는 圓板으로 되어 있음)에서 Sampling點을 나타내는 clock pulse (pulse 幅 約 20m sec, 一走査時 66回)를 記錄하고, 또 X方向의 往復을 區分하기 위하여, X方向往復用 스위치로 動作하는 pulse 形成回路(chattering除去 回路)에서의 (+)X 方向에만 (+)DC를 記錄한다. data recorder의 速度는 3 IPS로 하고, Sample 間隔은 X, Y方向 다 같이 2mm 間隔으로 X方向은 66點, Y方向은 64點이며 data를 收集하는데 約 1時間45分이 所要되었다. 이 實驗에서 反射波를 除去하기 위하여 音吸收體로서 水槽底面에는 gauze를, 測定用 物體에는 gauze와 絶緣用 tape를, 그리고 水面에는 受波器와 같이 移動하는 gauze로 쓴 sponze를 使用했다.

(2) 超音波의 波長測定

(1)의 hologram data를 취하기에 앞서 fig 7와 같이 受波器(R)를 上下(Z方向) 移動시키면서 mixer (HP10514A)와 pulse gen. (HP222A) 등으로 遲延時間을 測定하여 超音波의 速度(v)와 波長(λ) 送波器와의 距離(D₁), 物體와의 距離(D₂)등을 測定했음.

$$v=1.493 \times 10^6 \text{ mm/s}$$

$$\lambda = 1.493\text{mm} \quad (f = 10^6\text{Hz})$$

$$D_1 = 400\text{mm}$$

$$D_2 = 200\text{mm}$$

4. 데이터處理 및 holograph再生

(1) Paper tape로 變換

fig 8은 data recorder의 analog data를 binary data로 變換시켜 다시 paper tape로 punch하는 過程의 block diagram이다. data recorder의 clock 信號(記錄時 pulse幅 20msec)는 再生時 recorder의 速度를 10倍인 30 IPS로 높이므로서 pulse幅이 2 msec가 된다. 이것을 다시 pulse

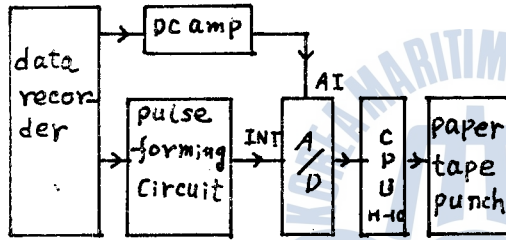


Fig. 8. Paper tape 變換 system

形成回路에서 中間點에서 pulse幅 5 μsec 로 變更시켜 A/D 變換器의 interrupt에 加하여 sampling 點으로 하고, 한편 位相 혹은 振幅信號가 最高(±) 1 volt이므로 20 dB 增幅해서 A/D 交換器의 AI에 加했음. 小型 計算機(HITAC-10)의 記憶容量이 8KW(word)이므로 位相과 振幅 data를 各各 別途로 記憶시켜 2회에 걸쳐 다음과 같이 處理하였다. 즉 이 計算機에서 X方向의 走査時 66點中 前後의 2點은 除去하고, (-)X方向의 走査인 復行時의 data는 順序를 바꾸어서 나열시키고, 맨 처음이 zero data인 경우의 error를 防止하기 위하여 rubout記號를 넣어 1 data當 16 bits (data 15 bits, 符號 1 bit)인 binary data로서 paper tape에 punch했다. 따라서 data는 位相, 振幅 各各 64×64個+1個가 된다.

(2) 計算機에 의한 再生

Paper tape의 binary data를 fig 9와 같이 中型計算機(YHP 2100, 記憶容量 32KW)로 맨 처음의 rubout 記號는 除外하고 全 data를 disc(記憶容量約 1.2MW)에 記憶시켜 SY 64의 soft system⁹⁾으로 storage display (CRT)에 나타낸 것을 polaroid camera (film 105)로 撮影한 것이 photo. 1~6의 寫眞이다.

photo. 1의 上과 下는 各各 無物體의 音場의 位相과 振幅의 hologram이며, 走査時 中心點이 약간 벗어났으나 比較的 鮮明하게 球面波의 音場을 나타내고 있다.

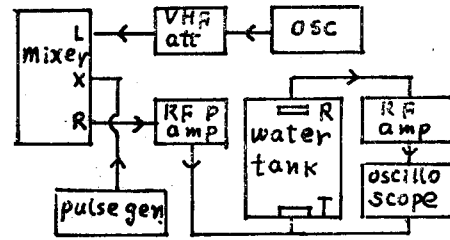


Fig. 7. 超音波의 波長測定 system

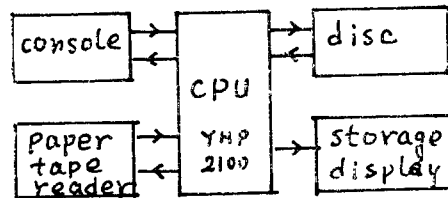


fig. 9. Data處理 system.

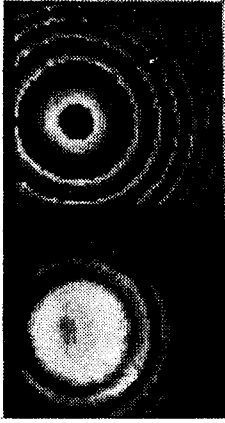


Photo. 1

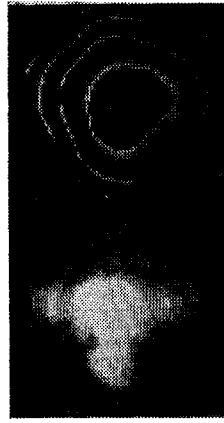


Photo. 2

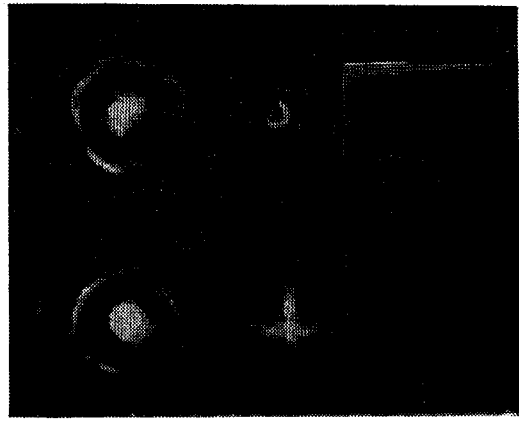


Photo. 3

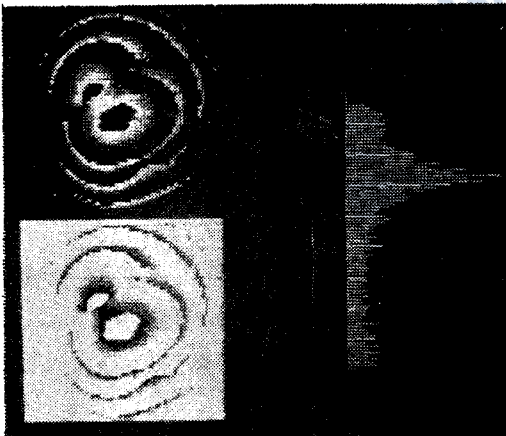


Photo. 4

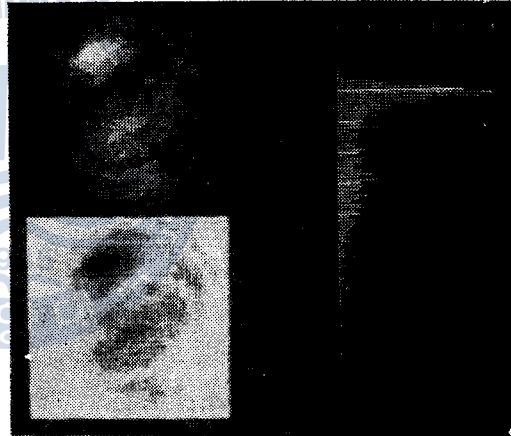


Photo. 5

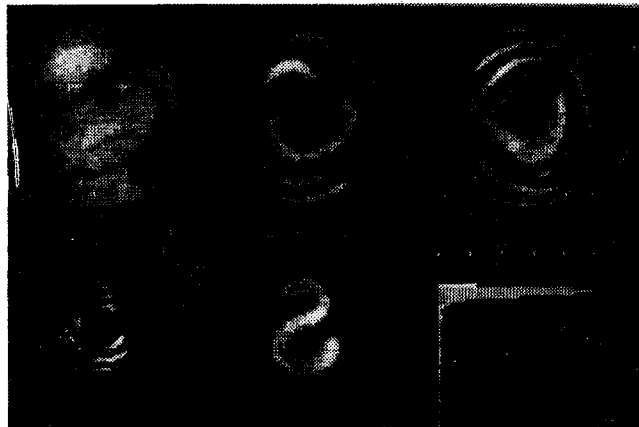


Photo. 6

10994

photo 2는 fig 6(a)의 十字形開孔物体의 hologram이고, 上이 位相, 下가 振幅의 hologram이다. photo. 3의 左上은 photo. 2를 다시 다음과 같이 計算機로 處理한 것이다. 즉 位相의 最大, 最小值를 $\pi, (-)\pi$ 로, 그리고 振幅의 最大, 最小值를 1, 0으로 規格化한 것을 複素數로 變換시킨 것中의 實數部分을 나타낸 것이다. 左側下는 다시 이것에 超音波의 波長 $\lambda=1.49\text{mm}$, 物体와 hologram面 間의 距離 $D_2=200\text{mm}$ 로 하여 Fresnel 變換을 한것의 實數部分이고, 中間上은 다시 이것을 Fourier 逆變換한 것을, 中間下는 이 逆變換한 것의 絕對值를 취한 것이다. 역시 無物体의 音場과 같이 中心點이 약간 벗어 났으나, 原物体의 開孔像을 제대로 나타내고 있다. photo. 3의 右側은 이 像의 histogram이다.

photo 4와 5는 fig 6 (b)의 S字形開孔物体의 hologram과 histogram을 나타낸 것이다. 즉 photo 4가 位相을 photo 5가 振幅을 各各 左側上이 陽畫를 左側下가 陰畫를, 그리고 右側이 이의 histogram이다. photo 6은 photo 5와 6의 것을 前述한 것과 같이 規格化한것의 實數部分(振幅)이 左側上이고, 中間上이 複素數化한 것의 實數部分을, 右上이 Fresnel 變換($\lambda=1.49\text{mm}$, $D_2=200\text{mm}$)한 것이고, 左下가 Fourier 逆變換의 것을 中間下가 이의 絕對值를 취한것이다. S字가 逆으로 되었지만 그의 完全한 原物体의 開孔像을 나타내고 있다. 右側下가 이것의 histogram이다.

5. 總 論

本研究에서는 磁性體의 特性研究에 對한 第一段階로서 電子計算機를 利用하여 超音波 hologram을 再生하는 方法에 對해서 理論的으로 考察하고 實驗的으로 檢討하였다. 例로서 畫素를 64×64 로 하여 單純한 十字形 및 S字形物体에 對한 超音波 hologram을 實際로 再生하여 보았더니 그 結果는 大體로 滿足스러웠다.

複雜한 物体에 對한 超音波 hologram의 再生을 위해서 畫素를 128×128 , 256×256 程度로 增加시키는 問題 및 이에 따라 增加되는 情報量을 同時에 處理하는 software의 開發등은 앞으로 더욱 檢討되어야 할 課題이다. 또한 理論面에서도 보다 正確한 angular spectrum diffraction theory에 의해서 畫面을 再生하는 方法, 計算機에 의해서 畫像을 處理함에 있어서 相關法, 및 Hadamard 變換등을 利用하는 方法등은 더욱 興味있는 方法이 될 것으로 생각된다.

本研究의 應用面으로서는 材料의 非破壞檢査, 醫療診斷, 海底探査, SONAR 등을 들 수 있으나 現在 筆者는 超音波 hologram에 依한 磁性體의 特性考察 및 side looking SONAR에 對해서 研究를 推進中에 있는바 이에 對해서는 다음 機會에 發表하기로 한다.

References

- 1) "Acoustical Holography" vol. 1 (1969), vol. 2 (1970), vol. 3 (1971), vol. 4 (1972), vol. 5 (1973), Plenum Press, N. Y.
- 2) 久保田廣, "波動光學" 239p 岩波書店 (1971)
- 3) 石川俊行, "音響プログラムの計算機處理" 東大生研電氣談話會報告 vol. 23, No. 2, Jan. 18 1973.
- 4) A. L. Boyer et al., "Reconstruction of Ultrasonic Images by Backward propagation", Acoustical Holography vol. 3, chap. 18, Plenum Press, N. Y. (1971)
- 5) 尾上守夫・柴田義文, "SY61" 東大生研電氣談話會報告, vol. 24, No. 26, June 27 1974.



