

## 磁氣컴퍼스 方位指示部の 制振特性

安 瑛 化\* · 鄭 公 忻\*

## Characteristic of Damping Curve for the Directional System of Magnetic Compass

Young-Wha AHN\* and Kong-Heun JEONG\*

This paper describes that the characteristic of movement and the performance of the directional system of the liquid magnetic compass analyze and investigate in the kinds of compass and the coefficient of viscosity of the liquid of compass, which the horizontal magnetic field of the geo-magnetic is varied from the equator to the polar region (0.39 gauss-0.03 gauss) by use of apparatus generating artificial magnetic fields.

The results are as follows;

1. It is confirmed that the measured values and the calculated values on the characteristic of damping curve by the type of compass and coefficient of viscosity has almost agree with one another.
2. As the horizontal magnetic force geo-magnetic field approaches around the equator (0.39 gauss), the horizontal magnetic field get near the polar region (0.03 gauss), its period is to be longer and the compass card prove not to be more stabilized.
3. The coefficient of viscosity of the liquid in the A, B, C, D and E compasses used in the experiment is estimated 0.03 poises, 0.02 poises, 0.02 poises, 0.015 poises and 0.048 poises respectively by computer simulation.

## 緒 論

船舶의 針路維持와 物標의 方位測定에 이용되고 있는 液體式 磁氣컴퍼스 카아드의 安定性은 주로 方位指示部の 制振曲線의 週期와 過行角를 요소로 하는 制振特性과 地球磁場의 세기에 따라 다르다.

이들 상호간의 관계에 대한 研究로는 能凝, 石井<sup>1)</sup> 등의 磁氣컴퍼스 性能調査를 위한 磁氣羅針儀實驗室的 磁場測定 및 檢定裝置, 川崎, 鈴木<sup>2,3)</sup> 등의 磁氣컴퍼스 카아드의 制振曲線에 관한 研究, 鈴木<sup>4)</sup>의 磁氣컴퍼스 性能改善에 관한 研究 등이 있으나, 우리나라에서는 安·鄭<sup>5)</sup> 등의 人工磁場發生裝置와 磁氣컴퍼스 性能에 관한 研究를 계외하고는, 이에 대한 研究가 이루어진바 없다.

本 研究는 船舶의 位置變化로 인한 地球磁場의 變化에 對應할 수 있는 人工磁場發生裝置를 하여 地球磁場중 컴퍼스의 方位指示部에 直接的인 影響을 미치는 水平磁場의 세기에 따른 컴퍼스種類別, 카아드의 크기別, 컴퍼스液의 粘性係數別, 磁針의 磁氣能率別, 磁氣컴퍼스 方位指示部の 制振特性을 測定하여 實驗式<sup>6)</sup>에 의한 計算値와 比較, 檢討하였다.

## 材料 및 方法

## 1. 材 料

本 實驗에 使用한 磁氣컴퍼스는 現在 船舶에서 많이 使用하고 있는 日本製 磁氣컴퍼스 4種(A, B, C,

\* 濟州大學校 : Jeju National University

磁氣컴퍼스 方位指示部の 制振特性

Table 1. Specification of the experimented magnetic compass

Type of compass	Clearance (mm)	Diameter of card (mm)	Magnetic moment (c. g. s.)	Manufactured year
A	11	190	2,385	1,979
B	17	178	1,961	1,966
C	23.5	165	1,640	1,970
D	3.5	187	1,271	1,950
E	4	97	994	1,980

Table 2. Specification of the helmholtz coil

Diameter (mm)	Distance of helmholtz coil (mm)	Width (mm)	Diameter of coil (mm)	Winding number (turns)
1,000	750	50	1	117

D)과 韓國製磁氣컴퍼스 1種(E)이며, 그 性能諸元은 Table 1과 같다.

2. 實驗裝置

1) 人工磁場發生裝置

磁場의 세기에 따른 磁氣컴퍼스의 性能을 調査하기 위하여 製作한 人工磁場發生裝置는 水平 및 垂直으로 된 2組의 Helmholtz Coil에 電流 加減裝置를 했으며, 그 裝置의 系統圖는 Fig.1과 같고, 諸元은 Table 2와 같다.

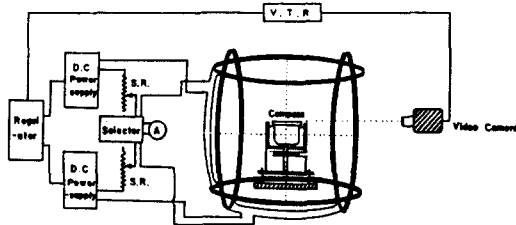


Fig. 1. Block diagram of the apparatus generating artificial magnetic force and testing performance of magnetic compass.

Fig.1에서 人工磁氣發生裝置는 水平, 垂直磁場을 발생시키는 각 2組의 Helmholtz Coil을 地面에 水平, 垂直되게 하고, 그 間격을 75cm 떨어지게 하여 上下, 左右로 대칭되게 배치하였으며, 그 中心이 磁氣子午線과 일치하도록 설치하였다.

磁氣子午線의 方向은 자이로컴퍼스에 의한 指北方向과 地磁氣의 地域偏差에 의하여 구하였으며, 컴퍼스는 磁針이 그 中心을 통과하도록 장치하였다.

3. 實驗方法

1) 垂直 및 水平磁場 測定

人工磁場發生裝置內에서의 垂直磁場은 그 裝置의

中心에 傾針儀를 水平으로 設置한 후 傾針儀 内部의 錘의 눈금을 0에서 25까지 차례로 옮기면서 슬라이드 抵抗을 調節하여 磁針이 平衡을 이루었을때의 電流를 測定하여 구하였다.

水平磁場은 裝置의 中央에 컴퍼스를 놓고 그 위에 偏針儀의 指針을 135°에 固定시킨 후 電流를 -100 mA에서 +140mA까지 10mA간격으로 變化시키면서 컴퍼스카야드의 指北端이 磁氣子午線과 90°의 交角을 이루도록 偏針儀의 눈금을 조절하여 測定하였으며, 垂直磁場(Z) 및 全水平磁場(H)과 電流와의 關係는 각각 다음 式에 의하여었다.

$$\left. \begin{aligned} Z &= 0.340 + 1.506I_i \\ H &= 0.183 + 1.506I_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2) 制振特性 試驗

컴퍼스 카야드의 制振特性은 地磁氣의 水平分力에 따라 變하므로 人工磁場發生裝置에 의해 水平磁場을 變化시키면서 小型 永久磁石으로 컴퍼스 카야드의 指北端을 磁氣子午線으로 부터 45° 偏角시킨후 永久磁石을 떼었을때, 카야드의 指北端이 磁北으로 되돌아와 静止할때까지의 旋回運動을 Video Camera로 撮影하여 V.T.R.로써 制振曲線의 週期(T), 通行角(P<sub>i</sub>) 및 主要點까지의 經過時間(t<sub>i</sub>)을 測定하였으며, 磁場의 세기에 따른 컴퍼스種類 및 液의 粘性係數別 制振曲線의 測定値와 比較, 檢討하기 위한 計算値는 다음 式에 의하여었다.

$$\theta = \frac{\pi}{4\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi\omega t} \cdot \cos(\omega\sqrt{1-\xi^2}t + \varphi) \quad (2)$$

但,  $\xi = \frac{K}{\sqrt{MH}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{MH}{I}}$ ,  $\tan \varphi = \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$

θ : 磁北에서의 偏角(degree)

I : 컴퍼스 카야드의 慣性能率(g-cm<sup>2</sup>)

K : 減衰定數, H : 水平磁場(gauss)

M : 磁針의 磁氣能率(C. G. S. E. M. U)

(2)式은 制振曲線에 의한 磁氣컴퍼스 카아드의 指北方程式으로서 카아드의 初期位相角을  $\frac{\pi}{4}$ 로 하였을 때 時間  $t$ 에 따라 減衰運動하는 偏角의 變化를 나타낸 것으로, 本 實驗에서는 (2)式에 의한 計算値와 測定値의 制振曲線을 Fig. 2와 같이 作成하여 比較, 分析하였다.

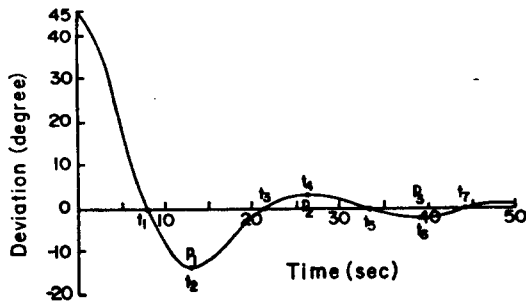


Fig. 2. Notation of the principal time and peak angle of a damping curve.

Fig. 2의 制振曲線에서 카아드를 45° 偏角시킨 후, 카아드의 指北端이 최초로 磁北을 통과하는 時機를  $t_1$ , 다음 反對側으로 過行角이 最大로 達한 時機를  $t_2$ , 그후 다시 過行角이 最大에 達한 時機, 또 다시 磁北을 통과하는 時機等, 카아드의 指北端이 磁北을 통과하는 時機와 最大角이 되는 時機等의 主要點까지의 經過時間을  $t_i$ 로 表示했으며, 過行角이 最大로 達했을 때를  $P_1, P_2, P_3 \dots P_i$ 로 하였고, 여기서  $P_1$ 은 第一過行角,  $D$ 는 最初偏角에 대한 制動角의 比인 減衰率이며,  $m$ 은 初期位相角에서 偏角이 反對側으로 最大에 달한 후 다시 磁北을 지나 最大가 되었을 때의 振擻回數이고, 週期  $T$ 는  $t_2$ 와  $t_1$ 의 차로 表示하였다.

### 3) 磁針의 磁氣能率과 컴퍼스液의 粘性係數 測定

實驗에 使用한 컴퍼스種類別 磁針의 磁氣能率 測定은 Tangent式<sup>7)</sup>으로 測定하였으며 컴퍼스液의 粘性係數는 純度 99.8%의 에틸알콜과 증류수를 각각 3:7, 7:13, 4:6, 5:5의 比率로 混合한 液의 溫度를 각각 15°C, 20°C, 25°C, 30°C로 變化시켜 Ostward粘度計로 測定한 값 (Fig. 3)을 이용하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 컴퍼스種類別 制振特性和 主要點의 變化

Table 1의 컴퍼스種類別 制振特성을 水平磁場의

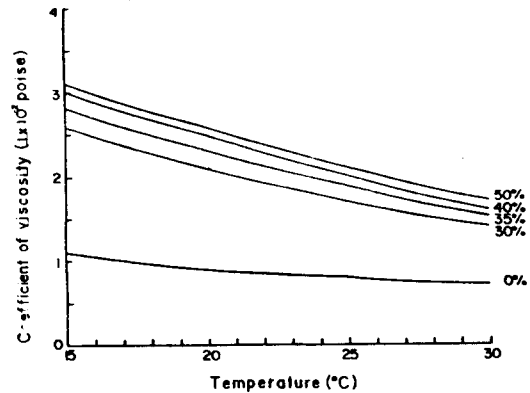


Fig. 3. Relation between coefficient of viscosity and temperature for the liquid mixed ethylalcohol and distilled water.

세기에 따라 測定한 測定値와 (2)式에 의한 計算値는 Fig. 4(a)와 같다.

Fig. 4(a)에서 磁場의 세기는 極地, 實驗場所, 韓國標準磁場, 赤道附近의 地磁氣의 水平磁場에 해당되는 0.03 gauss, 0.18 gauss, 0.30 gauss, 0.39 gauss 別로 나타내었다.

Fig. 4에서 實驗에 使用한 5種의 컴퍼스에 대한 制振曲線으로 부터, 時間에 따른 偏角變化의 感度, 週期 및 過行角의 測定値와 計算値를 구한 結果는 Table 4와 같다.

Table 4에서 컴퍼스種類別 制振曲線에 대한 各要素의 測定値와 計算値는 거의 一致하였으며, 磁場의 세기가 강할수록 週期는 짧고, 過行角은 크게 나타났다.

水平磁場이 0.39, 0.30, 0.18 gauss에서의 週期는 D컴퍼스가 각각 18, 22, 30초로서 가장 길었고, E컴퍼스가 각각 10, 12, 21초로서 가장 짧았으며, 0.03 gauss에서는 週期는 測定할 수 없었다.

따라서, 우리나라의 標準水平磁場인 0.30 gauss를 基準하여 實驗에 使用한 컴퍼스에서 測定한 諸要素와 ISO의 許用範圍<sup>8,9)</sup>와 比較하면, 減衰率은 實驗用 컴퍼스 모두가 ISO의 許用範圍인 0.6~0.8 이내였고, 振擻回數는 A, B, C컴퍼스는 3회로 許用範圍 이내이나, D, E컴퍼스는 2회로 許用範圍에 미달되었다.

또, 過行角은 D, C, A, E, B컴퍼스 순으로 크고, 週期는 E, B, C, A, D컴퍼스 순으로 길었다.

A컴퍼스는 性能諸要素가 ISO의 許容範圍內였으며, B컴퍼스는 週期가 15.1초로서 ISO 許容範圍에 미달되었다.

磁氣컴퍼스 方位指示部の 制振特性

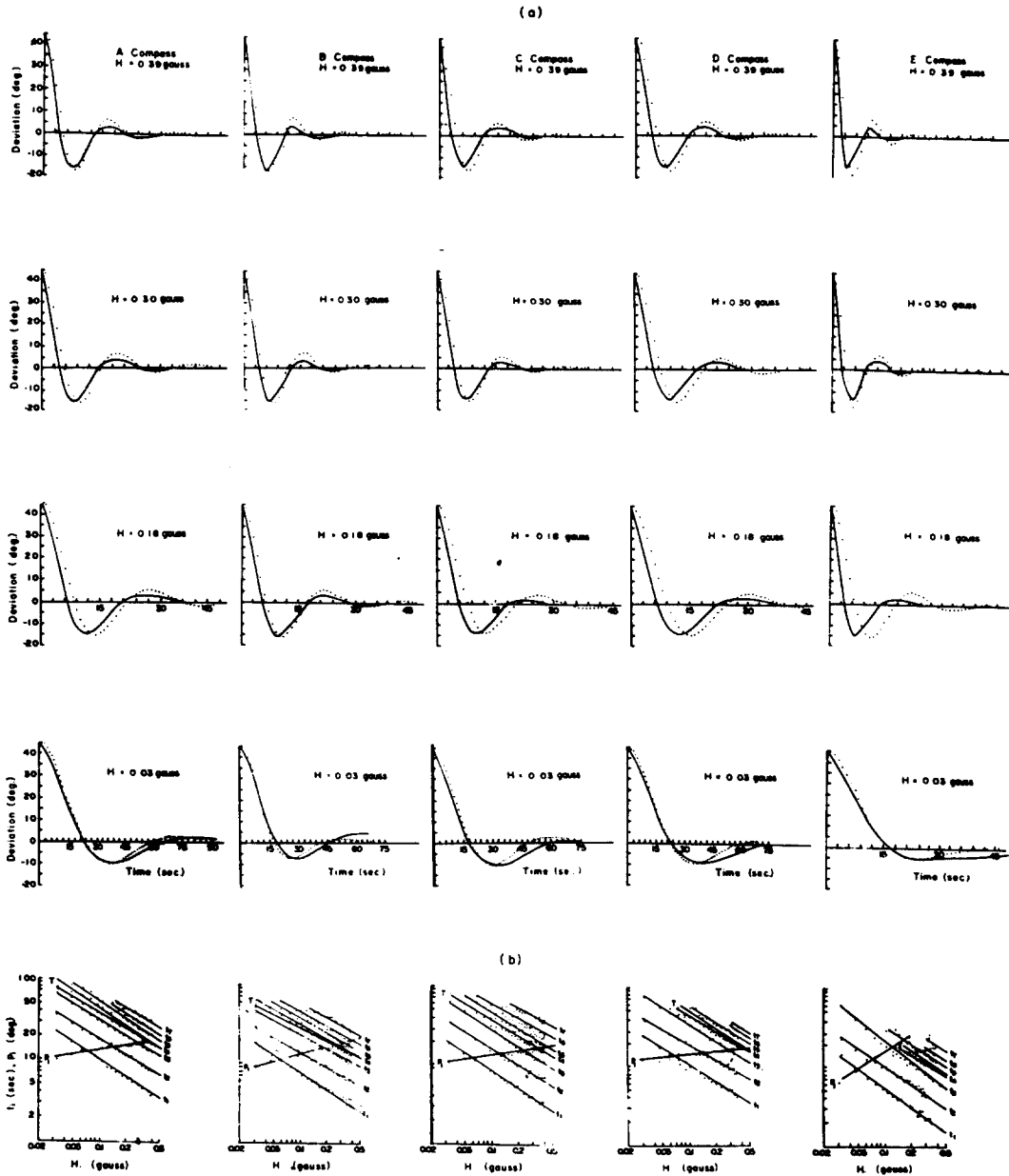


Fig. 4. Damping curves(a) variation of the principal points(b) and by the types of compass in the horizontal magnetic fields.

..... : calculated values, — : measured values

C컴퍼스는 諸要素가 모두 許容範圍 이내이나, 컴퍼스 카아드의 外徑이 보울의 內徑에 비하여 너무적어 Clearance가 크기 때문에 感도가 예민하여 컴퍼스 카아드가 不安定한 狀態이고, D컴퍼스는 磁氣能率이 1,271 gauss로 許容範圍보다 적어 振揺回數가

2회로써, 미달된 것은 製作年度가 오래되었기 때문이며, E컴퍼스는 磁針의 磁氣能率이 許容範圍보다 比較的 높은 994 gauss로 週期는 짧았으나, 振揺回數가 2회로써 許容範圍에 미달되었다.

따라서, 컴퍼스를 製作할 때는 磁針의 磁氣能率,

Table 4. The comparison of the measured values and the calculated values of damping curve by the types of compass in the horizontal magnetic field.

Type of compass	Horizontal magnetic field (gauss)	Damping factor (D)		Swing number (m)		Damping degree (P)		Period (T)		Sensitivity (t)	
		M*	C**	M	C	M	C	M	C	M	C
A	0.39	0.63	0.63	3	4	16.8	16.8	16.2	16.2	4.1	4.3
	0.30	0.64	0.64	3	4	16.2	16.3	19.4	18.5	4.6	6.0
	0.18	0.66	0.66	3	3	15.1	15.3	27.4	30.0	6.6	8.0
	0.03	0.77	0.77	2	2	10.2	10.2	72.0	70.7	22.3	22.3
B	0.39	0.60	0.60	3	4	18.0	17.9	13.0	13.0	3.0	3.2
	0.30	0.62	0.62	3	4	17.1	17.2	15.1	15.2	3.7	3.8
	0.18	0.65	0.65	3	4	15.8	15.9	21.1	21.1	5.4	5.6
	0.03	0.83	0.84	2	2	7.5	7.3	—	51.0	18.2	18.0
C	0.39	0.64	0.64	3	3	16.0	16.0	15.0	13.0	3.0	4.5
	0.30	0.66	0.65	3	4	15.5	15.8	16.5	16.0	3.5	4.0
	0.70	0.71	0.71	3	3	13.5	13.0	26.0	25.5	5.5	8.5
	0.03	0.77	0.78	2	2	10.5	10.0	—	59.5	18.5	18.5
D	0.39	0.13	0.60	3	4	16.5	18.0	18.0	17.0	4.0	5.5
	0.30	0.67	0.66	2	4	15.0	15.2	22.0	21.5	5.0	6.5
	0.18	0.68	0.62	2	3	14.5	15.0	30.0	28.0	6.5	9.
	0.03	0.80	0.80	1	2	9.0	9.0	—	70.0	23.0	22.5
E	0.39	0.59	0.57	3	4	18.5	19.5	10.0	10.0	2.0	3.0
	0.30	0.62	0.58	2	4	17.0	19.0	12.0	12.5	2.5	3.5
	0.18	0.64	0.62	2	3	16.0	17.0	21.0	20.0	4.0	6.2
	0.03	0.88	0.89	1	2	5.5	5.0	—	45.0	15.0	15.0

\* M: measured values, \*\*C: calculated values

컴퍼스 카아드의 크기 및 地磁氣의 水平磁力을 고려 하여야 하며, 또한 장기간 사용중에 있는 컴퍼스는 시일이 經過함에 따라 磁針의 磁力이 減衰되고, 컴퍼스液의 粘性係數가 變化되므로 性能檢査를 하여 사용하여야 함을 알 수 있었다.

Fig. 4(b)는 磁場의 세기를 0.03 gauss~0.39 gauss 까지 0.02 gauss 간격으로 測定한 制振曲線에 대한 主要點까지의 經過時間  $t_i(i=1, 2, 3\cdots)$ 와 通行角  $P_i(i=1, 2, 3)$ 를 兩對數方眼紙에 表示한 것이다.

Fig. 4(b)에서, 實驗用 컴퍼스 카아드의 通行角( $P_i$ )과 水平磁場( $H$ )間에는 각각 다음과 같은 正相關 關係 이었으며,

A 컴퍼스 :  $P_1 = 20.32H^{0.18}$

B 컴퍼스 :  $P_1 = 24.13H^{0.27}$

C 컴퍼스 :  $P_1 = 17.68H^{0.13}$

D 컴퍼스 :  $P_1 = 19.48H^{0.18}$

E 컴퍼스 :  $P_1 = 27.43H^{0.35}$

또한, 主要點까지의 經過時間( $t_i$ )과 水平磁場( $H$ )間에는 각각 다음과 같은 負相關 關係이었다.

A 컴퍼스 :  $t_1 = 2.14H^{-0.67}$

B 컴퍼스 :  $t_1 = 1.59H^{-0.70}$

C 컴퍼스 :  $t_1 = 1.55H^{-0.73}$

D 컴퍼스 :  $t_1 = 2.11H^{-0.69}$

E 컴퍼스 :  $t_1 = 0.98H^{-0.76}$

따라서, 通行角은 水平磁場의 0.22乘에 比例하고, 主要點까지의 經過時間은 水平磁場의 -0.71乘에 比例함을 알 수 있다.

## 2. 컴퍼스液의 粘性係數別 制振特性和 主要點의 變化

B型 컴퍼스에 에칠알콜과 증류수를 각각 3:7 (0.021 Poise), 7:13(0.023 Poise), 4:6(0.025 Poise), 5:5(0.026 Poise)의 比率로 混合한 컴퍼스液의 粘性係數別 制振曲線을 水平磁場의 세기에 따라 測定한 測定値와 (2)式에 의한 計算値의 結果는 Fig. 5(a)와 같다.

Fig. 5(a)에서 測定値와 計算値는 거의 一致하였으

磁氣컴퍼스 方位指示部の 制振特性

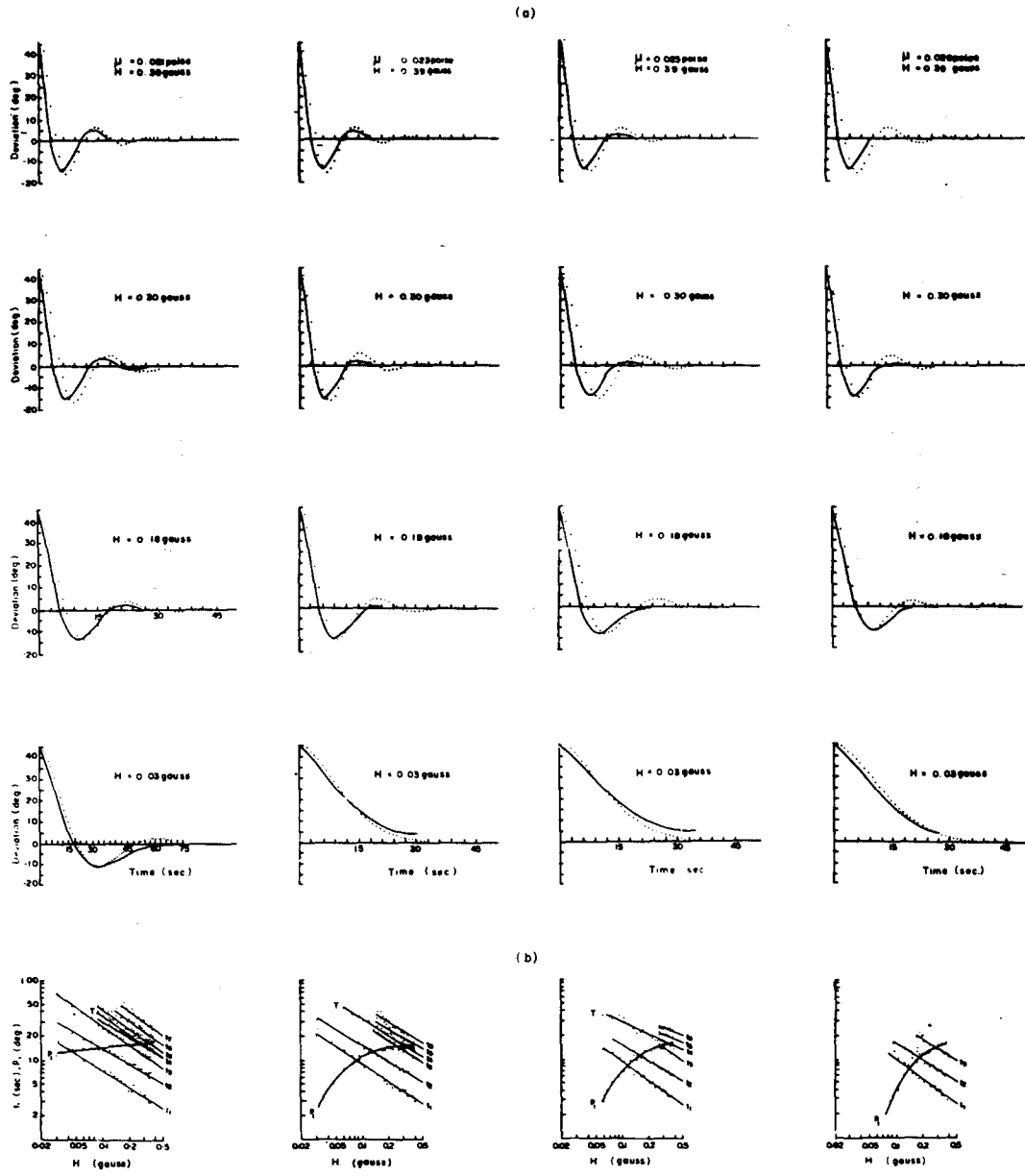


Fig. 5. Damping curves (a) variation of the principal points (b) and by the coefficient of viscosity of the liquid of compass in the horizontal magnetic fields.

.....: calculated values, —: measured values

며, 水平磁場이 강할수록 振幅은 크고, 週期는 짧은 傾向을 나타내었다. 또한 粘性係數가 커짐에 따라 週期는 짧아지며, 振搖回數는 0.39 gauss에서는 3, 2, 2, 1회, 0.30 gauss에서는 3, 2, 2, 1회, 0.18 gauss에서는 2, 2, 1, 1회, 0.03 gauss에서는 1, 0,

0, 0회의 순으로 적어지는 傾向을 나타내었다.

따라서, 粘性係數에 대한 制振特性 測定에 사용한 B형 컴퍼스에서는 粘性係數가 0.021 Poise로서 에칠 알콜과 증류수의 比率이 3:7인 컴퍼스液이 가장 適合하였다.

水平磁場の 세기를 0.03 gauss~0.39 gauss까지 0.02 gauss 간격으로 測定한 粘性係數別 制振曲線에 대한 主要點까지의 經過時間  $t_i(i=1, 2, 3\cdots)$ 와 過行角  $P_i(i=1, 2, 3\cdots)$ 를 兩對數 方眼紙에 나타내면 Fig. 5(b)와 같다.

Fig. 5(b)에서 粘性係數의 變化에 따른 컴퍼스 카아드의 過行角( $P_i$ )과 水平磁場( $H$ )間에는 다음과 같은 正相關 關係이었고,

$$0.021 \text{ Poise} : P_1 = 18.63H^{0.13}$$

$$0.023 \text{ Poise} : P_1 = 27.08H^{0.50}$$

$$0.025 \text{ Poise} : P_1 = 30.06H^{0.61}$$

$$0.026 \text{ Poise} : P_1 = 53.02H^{1.08}$$

또한, 主要點까지의 經過時間( $t_i$ )과 水平磁場( $H$ )間에는 각각 다음과 같이 負相關 關係였다.

$$0.021 \text{ Poise} : t_1 = 1.41H^{-0.73}$$

$$0.023 \text{ Poise} : t_1 = 1.51H^{-0.73}$$

$$0.025 \text{ Poise} : t_1 = 1.57H^{-0.78}$$

$$0.026 \text{ Poise} : t_1 = 1.36H^{-0.87}$$

過行角은 水平磁場의 0.13~1.08乘에 比例하고, 主要點까지의 經過時間은 水平磁場의 -0.80乘에 比例하였다.

## 要 約

液體式 磁氣컴퍼스 方位指示部の 制振特性을 人工 磁場發生裝置內에서 水平磁場의 세기에 따라, 컴퍼스種類 및 컴퍼스液의 粘性係數別로 測定한 結果는 다음과 같다.

1. 컴퍼스種類別 制振特性은, 實驗用 컴퍼스(A, B, C, D, E) 모두 水平磁場의 세기가 강할수록 週期는 짧으며, 過行角은 커지는 傾向을 나타내었다.

2. 實驗用 컴퍼스 모두 地磁氣의 水平磁場이 0.39 gauss인 赤道附近에 가까울수록 磁氣컴퍼스 카아드는 비교적 빨리安定되고, 水平磁場이 아주 약한 極地인 0.03 gauss에서는 週期는 45초 이상으로 길어져 不安定하였다.

3. 컴퍼스種類別 諸要素를 ISO의 性能基準과 比較

한 結果, A 컴퍼스가 그 性能이 가장 양호하여, 磁針의 磁氣能率과 카아드의 直徑이 磁氣컴퍼스 方位指示部の 制振特性에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

4. 컴퍼스液의 粘性係數別 制振特性은 粘性係數가 크고 水平磁場이 강할수록 振幅은 커지며, 週期는 짧아지는 傾向을 나타내었다.

5. 컴퍼스種類別 制振曲線의 主要點까지의 經過時間( $t_i$ )은 水平磁場( $H$ )의 -0.71乘에, 過行角( $P_i$ )은 0.22乘에 比例하였으며, 컴퍼스液의 粘性係數에 다른 制振曲線의 主要點까지의 經過時間( $t_i$ )은 水平磁場( $H$ )의 -0.80乘에, 過行角( $P_i$ )은 0.13~1.08乘에 比例하였다.

## 參 考 文 獻

- 熊燮武晴·石井謙治 (1951): 磁氣羅針儀實驗室について. 漁船研究技報 2, 83-89.
- 川崎種一 (1951): 磁氣羅針의 制振曲線について. 日本航海學會誌 3, 67-72.
- 鈴木裕 (1961): 磁氣コンパス의 制振特性について— 日本航海學會誌 24, 15-20.
- \_\_\_\_\_ (1962): 船用磁氣コンパス의 性能改善に關する研究. 東京水産大學特別研究報告6(3), 6-45.
- 安瑛化·鄭公析·安長榮·辛亨鎔(1983): 人工磁場發生裝置와 磁氣컴퍼스의 性能. 漁業技術 19(2), 111-116.
- 李相鍊(1979): 韓國南西海岸의 地磁氣偏差에 關하여. 海洋大學 論文集 14, 100-106.
- 井關貢·庄司和民(1956): 新訂航海計器學. 海文堂, 東京, 15-16.
- ISO/TC8/WGI (1974): Addendum to international Standard ISO 2269. Magnetic Compass and Accessories, Rules for Testing and Certification.
- 鈴木裕(1979): 磁氣コンパスに關する規格について. 日本航海學會誌 59, 50-54.