
碩 士 學 位 論 文

磁氣컴퍼스 方位指示部の 性能

Performance of the Directional System of
Magnetic Compass



濟州大學校 大學院

漁 業 學 科

安 瑛 化

1 9 8 4 年 1 2 月

認 准 書
學 位 論 文

磁氣컴퍼스 方位指示部の 性能

Performance of the Directional System of Magnetic Compass

指導教授 鄭 公 炘

이 論文을 水産學碩士學位 論文으로 提出함



濟州大學校 大學院

漁業學科

安 瑛 化

의 水産學碩士學位 論文을 認准함

1984年 12月 日

委 員 長

委 員

委 員

目 次

Summary	3
I 緒 論	5
II. 材 料 및 方 法	7
A. 材 料	7
B. 實 驗 裝 置	7
1. 人 工 磁 場 發 生 裝 置	7
2. 隨 伴 角 實 驗 裝 置	8
C. 實 驗 方 法	9
1. 垂 直 및 水 平 磁 場 測 定	9
2. 制 振 特 性 試 驗	10
3. 隨 伴 角 試 驗	12
4. 磁 針 的 磁 氣 能 率 및 킴 퍼 스 液 的 粘 性 係 數 測 定	13
III. 結 果 및 考 察	14
A. 制 振 特 性	14
1. 킴 퍼 스 種 類 別 制 振 特 性 과 主 要 點 的 變 化	14
2. 킴 퍼 스 液 的 粘 性 係 數 別 制 振 特 性 과 主 要 點 的 變 化	18
B. 隨 伴 角	21
1. 隨 伴 角 的 過 度 特 性	21

2. 컴 퍼 스 種 類 別 旋 回 角 速 度 와 水 平 磁 場 에 따 른 隨 伴 角	23
3. 컴 퍼 스 液 의 粘 性 係 數 와 隨 伴 角	25
IV. 摘 要	27
V. 參 考 文 獻	31



Summary

Magnetic compass as a basic navigational instruments have been used to measure target's bearing and to determinate ship's course for a long time, and it is the rule by IMO that all vessels should equip magnetic compass as a standard compass even now though gyro compass is developed.

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 the 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 the apparatus generating 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 and the concomitant angle 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 compass card prove to be more quickly stabilized. On the contrary, 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 time (t_i) reaching the principal points of the damping curves in the kinds of compass and the coefficient of viscosity of the liquid in the compass is to be in oroportion to the -0.71 multiplication and the -0.80 multiplication, but the damping degree (π) is to be in proportion to the 0.22 multiplication and the 0.13-1.08 multiplication.
4. Above the π (rad/min), the overdevelopment of the concomitant angle according to the turning angular velocity of the compass bowl regularly keep on the concomitant angle at optional degree, but below the $2\pi/3$ (rad/min) the period become the maximum or the minimum per 180 degree.
5. The concomitant angle is to be in proportion to the coefficient of viscosity of the liquid of the compass, and the turning angular velocity of the compass bowl, but ones is to be in contrary proportion to the magnetic moment of the magnetic needle and the horizontal magnetic field of geo-magnetic.
6. The coefficient of viscosity of the liquid in the A, B, C, D and E compasses used in the experiment is estimated that A is 0.03 poise, B; 0.02 poise, C; 0.02 poise, D; 0.015 poise and E is 0.048 poise by computer simulation.

I. 緒 論

磁氣컴퍼스는 磁石의 指北力을 이용하여 船舶의 針路決定이나 物標의 方位를 測定하는 基本 航海計器로서 오래전 부터 使用되어 왔다.

液體式 컴퍼스는 1924年 英國의 Henry Hughes社와 獨逸의 Ritche, Chetwynd等에 의해 製作되면서부터 船舶에는 거의 液體式 컴퍼스를 使用하게 되었으며, 性能이 좋은 컴퍼스 開發을 위해 많은 研究를 하게되었다.

이에 관한 研究에는, 熊癡, 石井¹⁾의 磁氣컴퍼스 性能調査를 위한 磁氣羅針儀實驗室의 磁場測定 및 檢定裝置, 井關, 庄司²⁾의 磁氣컴퍼스 磁針의 磁氣能率測定, 熊癡, 川崎等^{3,4)}의 隨伴角, 川崎, 鈴木^{5,6)}의 制振特性, 鈴木⁷⁾의 磁氣컴퍼스 性能改善에 관한 研究, 鈴木, 白井^{8,9,10)}의 水平軸回轉運動 및 上下 振動에 따른 磁氣컴퍼스 카아드의 運動에 관한 研究 등이 있다.

우리나라에서는 아직까지 이에대한 研究가 이루어진 바 없으며, 일부에서 磁氣컴퍼스 製作을 試圖한 바 있으나, 그 性能을 調査할 수 있는 施設과 裝置 및 技術 不足등으로 컴퍼스 製作에 많은 어려움이 있었다.

本 研究는 國產磁氣컴퍼스 製作과 性能檢査에 必要한 基礎資料를 提供하기 위해 人工磁場發生裝置와 컴퍼스 回轉台를 製作하여 地球磁場과 船舶의 旋回運動에 대한 여러가지 環境變化에 磁氣컴퍼스 方位指示部가 對應할 수 있는 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과, 回轉角速度에 따라 컴퍼스種類別, 카아드의 크기

別, 컴 퍼스液의 粘性係數別, 磁針의 磁氣能率에 따른 磁氣컴 퍼스 方位指
示部의 制振特性과 隨伴角을 測定하여 實驗式⁷⁾에 의한 計算値와 比較
檢討하였다.

II. 材料 및 方法

A. 材 料

本 實驗에서 使用된 磁氣컴퍼스는 現在 船舶에서 많이 使用하고 있는 日本製 磁氣컴퍼스 4種(A, B, C, D)과 韓國製 磁氣컴퍼스 1種(E)이며, 그 性能諸元은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of the experimented magnetic compass

Type of compass	Clearance (mm)	Diameter or 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

B. 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.1 과 같고, 諸元은 Table 2와 같다.

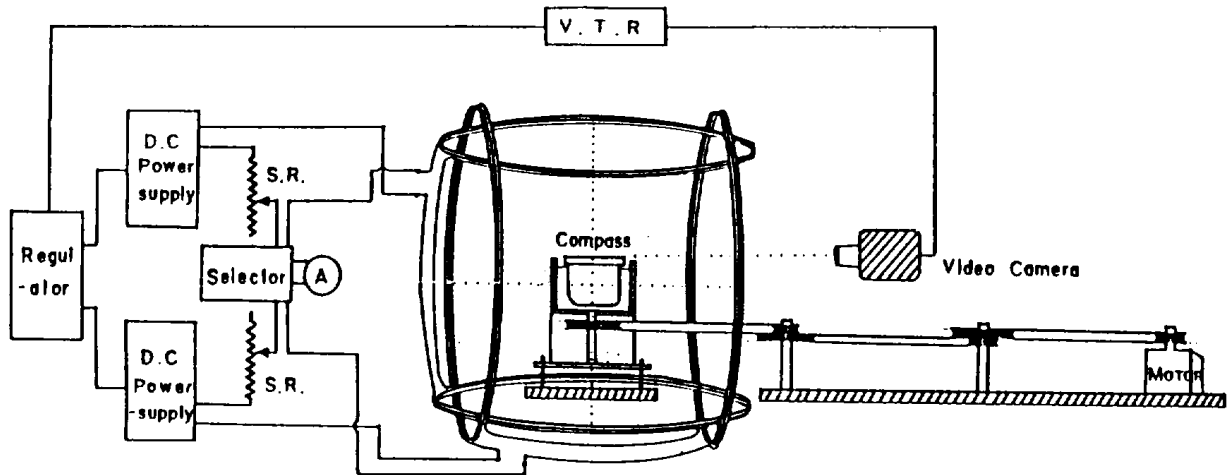


Fig. 1. Block diagram of the apparatus generating artificial magnetic force and testing performance of magnetic compass.

Fig. 1에서 人工磁場發生裝置는 水平, 垂直磁場을 發生시키는 各 2組의 Helmholtz Coil을 地面에 水平, 垂直되게 하고, 그 間隔을 75 cm 떨어지게 하여 上下, 左右로 對稱되게 配置하였으며, 그 中心이 磁氣子午線과 一致하도록 設置하였다.

磁氣子午線의 方向은 자이로컴퍼스에 의한 指北方向과 地磁氣의 地域偏差^{11,12)}에 의하여 구하였으며, 컴퍼스는 磁針이 그 中心을 通過하도록 裝置하였다.

2. 隨伴角 實驗裝置

隨伴角 實驗裝置는 船舶의 旋回運動과 對應하도록 回轉시키기 위하여 컴퍼스 回轉台는 無磁性 材料인 靑銅으로 製作하여 人工磁場發生裝置의

中央에 設置하였고, 그 諸元은 Table 3 과 같다.

컴퍼스 回轉台는 그 回轉速度를 150 R.P.M까지 줄일 수 있는 減速裝置가 附着된 可變電動機를 고무 belt 와 3 개의 pully 로 연결하였으며, 電動機에 의한 磁氣的인 影響을 받지않게 하기 위하여 實驗用 컴퍼스에서 3.6 m 떨어진 곳에 固定시켰다.

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

Table 3. Specification of the rotating apparatus

Diameter of rotating stand (mm)	Number of pully	Diameter of pully (mm)	Interval of pully (mm)	Rotating speed (R.P.M.)
385	3	304.8	1,200	150 ~ 1,500

C. 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 內部的 錘의 눈금을 0 에서 25 까지 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 -100mA에서 +140 mA까지 10mA 간격으로 變化시키면서 컴퍼스카아드의 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¹³⁾에 依하였다.

$$\begin{aligned} Z &= 0.340 + 1.506 I; \quad \dots\dots\dots (1) \\ H &= 0.183 + 1.506 I; \end{aligned}$$

2. 制振特性 試驗

컴퍼스 카아드의 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 依해 水平磁場을 變化시키면서 小型 永久磁石으로 컴퍼스 카아드의 指北端을 磁氣子午線으로 부터 45° 偏角시킨 후 永久磁石을 떼었을때, 카아드의 指北端이 磁北으로 되돌아와 靜止할때 까지의 旋回運動을 Video Camera로 撮影하여 V.T.R로써 制振曲線의 週期(T), 過行角(P_i) 및 主要點까지의 經過時間(t_i)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⁷⁾에 依하였다.

$$\theta = \frac{\pi}{\sqrt{I-\zeta^2}} e^{-\zeta\omega t} \cdot \cos(\omega\sqrt{I-\zeta^2}t + \varphi) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{但, } \zeta = \frac{K}{\sqrt{MH}}, \quad \omega = \sqrt{\frac{MH}{I}}, \quad \tan \varphi = \frac{\zeta}{\sqrt{I-\zeta^2}}$$

θ : 磁北에서의 偏角 (degree)
I : 컴퍼스 카아드의 慣性能率 (g - cm²)

K : 減衰定數

M : 磁針의 磁氣能率 (C, G, S, E, M, U)

H : 水平磁場 (gauss)

ζ, ω : 係數

(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 하였을때 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.

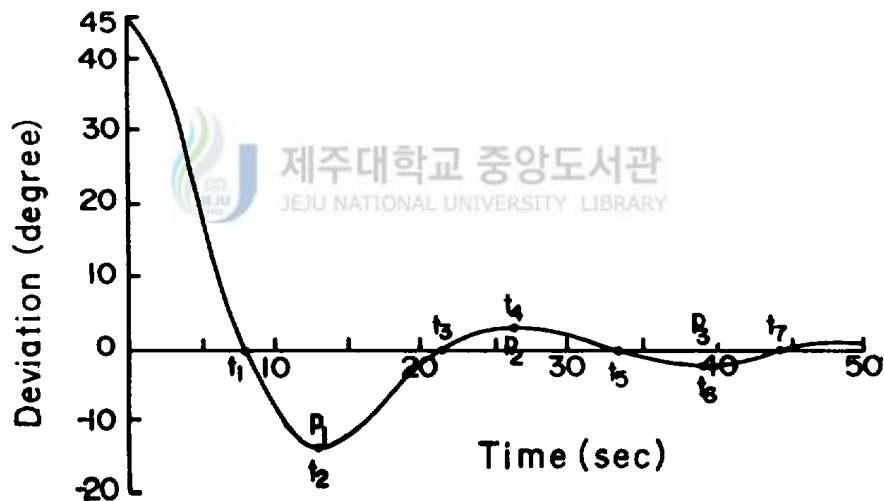


Fig. 2. Notation of the principal time and peak angle of a damping curve.

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 , 다시 磁北을 통과하는 時機를 t_3 , 그 후 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 時機等の 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 達한 후 다시 磁北을 지나 最大가 되었을 때의 振搖回數이고, 週期(T) = $t_5 - t_1$ 으로 表示했다.

3. 隨伴角 試驗

隨伴角은 人工磁場發生裝置의 中央에 設置된 回轉台위에 實驗用 컴퍼스를 놓고, 水平磁場(H)의 세기를 $0.03 \text{ gauss} \sim 0.39 \text{ gauss}$ 範圍에서 0.02 gauss 간격으로 變化시키면서 船舶의 旋回運動에 相應하는 2分, 3分, 4分, 4.5分에 一回轉의 速度로 各 2回轉 시켰으며, 旋回角 45° 마다 컴퍼스 카아드의 偏角을 測定하고, 컴퍼스가 一回轉하였을때의 偏角을 隨伴角으로 하였다.

隨伴角의 크기는, 地磁氣의 水平磁場과 磁針의 磁氣能率, 컴퍼스液의 粘性係數와 船舶의 旋回角速度, Clearance 등에 따라 달라지므로 本 實驗에서 隨伴角에 關한 性能調査는, 水平磁場의 세기에 따라 컴퍼스種類別로 旋回角速度($2\pi/\omega$)와 컴퍼스液의 粘性係數를 달리해서 隨伴角의 過度特性을 測定하였으며, 이들 隨伴角에 影響을 미치는 要素別 測定値와 比較, 檢討하기 위한 計算値는 다음 式⁷⁾에 의하였다.

$$\theta = \frac{120\mu}{MH} (0.325r - 1.60) (100\omega)^{1-0.07(a-r)} \dots (3)$$

但, θ : 隨伴角 (radian)

μ : 킴 퍼스 液의 粘性係數 (poise)

M : 磁針의 磁氣能率 (C, G, S, E, M, U)

H : 水平磁場 (gauss)

r : 킴 퍼스 카아드의 伴徑 (mm)

ω : 보울의 旋回角速度 (radian/sec)

a : 보울의 內伴徑 (mm)

4. 磁針의 磁氣能率과 킴 퍼스 液의 粘性係數 測定

實驗에 使用한 킴 퍼스 種類別 磁針의 磁氣能率 測定은 Tangent式²⁾으로 測定하였으며 킴 퍼스 液의 粘性係數는 純度 99.8%의 에칠알콜과 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.

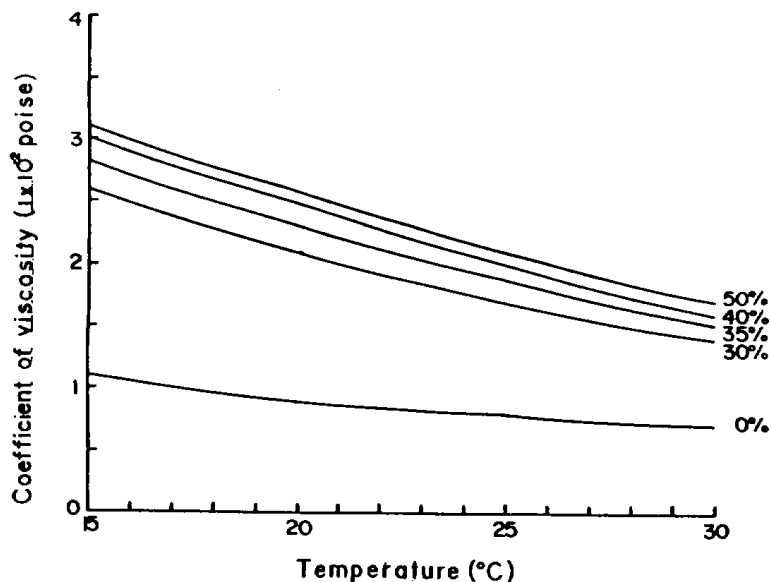


Fig. 3. Relation between coefficient of viscosity and temperature for the liquid mixed ethylalcohol and distilled water.

Ⅱ. 結果 및 考察

A. 制振特性

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 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.¹⁴⁾

Fig. 4에서 實驗에 사용한 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 gauss 에서의 週期는 D컴퍼스가 각각 18.0, 22.0, 30.0 초로서 가장 길었고, E컴퍼스가 각각 10.0, 12.0, 21.0 초로서 가장 짧았으며, 0.03 gauss 에서는 週期를 測定할 수 없었다.

따라서, 우리나라의 標準水平磁場인 0.30 gauss 를 基準하여 實驗에 사용한 컴퍼스에서 測定한 諸要素와 ISO의 許容範圍^{15,16)}와 比較하면, 減衰率은 實驗用 컴퍼스 모두가 ISO의 許容範圍인 0.6~0.8 이내였고, 振搖回數는 A, B, C 컴퍼스는 3 회로 許容範圍 이내이나, D, E 컴퍼스는 2 회로 許容範圍에 미달되었다.

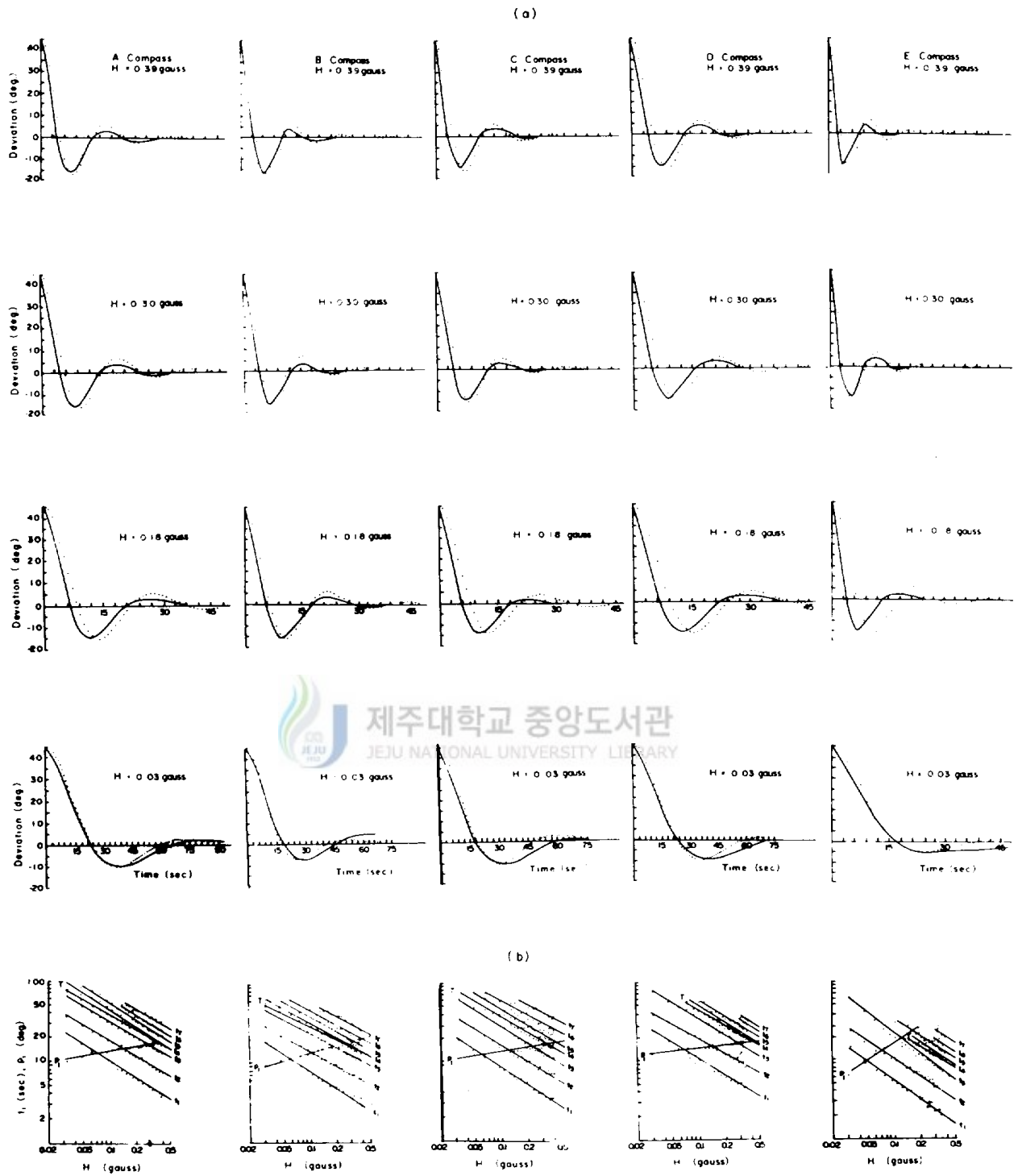


Fig. 4. Variation of the principal points (b) and damping curves (a) by the types of compass in the horizontal magnetic fields.
 : calculated values
 — : measured values

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
	0.18	0.70	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	0.63	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	0.67	2	3	14.5	15.0	30.0	28.0	6.5	9.0
	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 value

** C : calculated value

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

A 컴퍼스는 性能諸要素가 ISO의 許容範圍內였으며, B 컴퍼스는 週期가 15.1 초로서 ISO 許容範圍에 미달되었다.

이것은 Table 1 에서와 같이 製作年度가 오래되어 컴퍼스液의 粘性係數가 낮은 때문이라 推定된다.

C 컴퍼스는 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, D 컴퍼스는 磁氣能率이 1,271 gauss 로 許容範圍보다 적어 振搖回數가 2 회로써, 미달된것은 製作年度가 오래되었기 때문이며, E 컴퍼스는 磁針의 磁氣能率이 許容範圍보다 比較的 높은 994 gauss 로 週期는 짧았으나, 振搖回數가 2 회로써, 許容範圍에 미달되었다.

따라서 컴퍼스를 製作할 때는 磁針의 磁氣能率, 컴퍼스 카아드의 크기 및 地磁氣의 水平磁力을 고려하여야 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 ($i = 1, 2, 3 \dots$) 와 過行角 P_i ($i = 1, 2, 3 \dots$) 를 兩對數 方眼紙에 表示한 것이다.

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

$$A \text{ 컴퍼스} : P_1 = 20.32 H^{0.18}$$

$$B \text{ 컴퍼스} : P_1 = 24.13 H^{0.27}$$

$$C \text{ 컴퍼스} : P_1 = 17.68 H^{0.13}$$

$$D \text{ 컴퍼스} : P_1 = 19.48 H^{0.18}$$

$$E \text{ 컴퍼스} : P_1 = 27.43 H^{0.35}$$

또한, 主要點까지의 經過時間 (t_1)과 水平磁場 (H)間에는 각각 다음과 같은 負相關 關係이었다.

$$A \text{ 컴퍼스} : t_1 = 2.14 H^{-0.67}$$

$$B \text{ 컴퍼스} : t_1 = 1.59 H^{-0.70}$$

$$C \text{ 컴퍼스} : t_1 = 1.55 H^{-0.73}$$

$$D \text{ 컴퍼스} : t_1 = 2.11 H^{-0.69}$$

$$E \text{ 컴퍼스} : t_1 = 0.98 H^{-0.76}$$

따라서, 過行角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과 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.

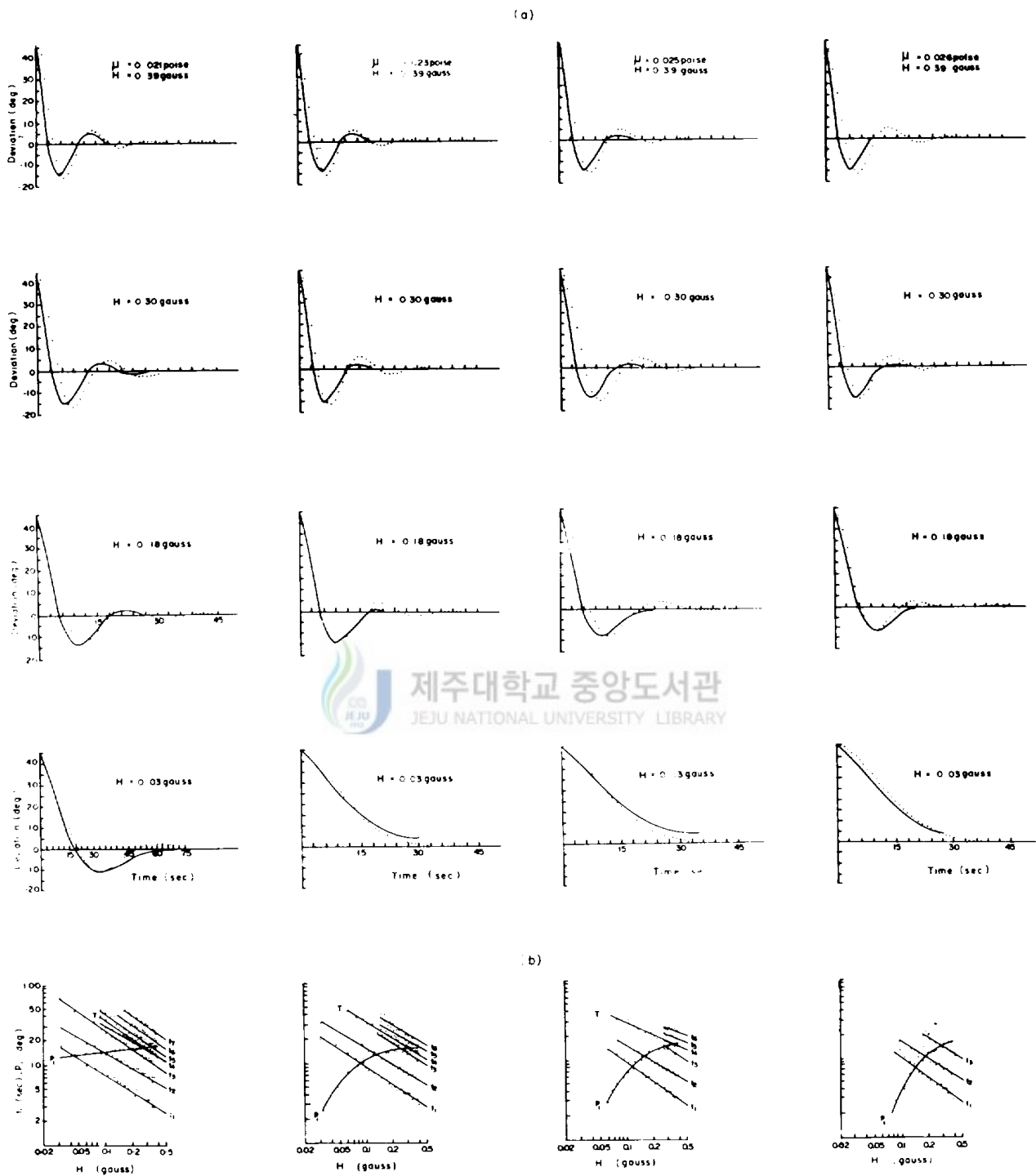


Fig. 5. Variation of the principal points (b) and damping curves (a) by the types of compass in the horizontal magnetic fields.
 : calculated values
 — : measured values

Fig. 5(a)에서 測定値와 計算値는 거의 一致하였으며, 水平磁場이 강할 수록 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 gauss 에서는 3, 2, 2, 1 회, 0.30 gauss 에서는 3, 2, 2, 1 회, 0.18 gauss 에서는 2, 2, 1, 1 회 0.03 gauss 에서는 1, 0, 0, 0 회의 순으로 적어지는 傾向을 나타내었다.

따라서, 粘性係數에 대한 制振特性 測定에 사용한 B型 컴퍼스에서는 粘性係數가 0.021 poise 로서 에칠알콜과 증류수의 比率이 3:7인 컴퍼스液이 가장 適合하였다.

水平磁場의 세기를 0.03 gauss ~ 0.39 gauss 까지 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 ($i=1, 2, 3 \dots$)와 過行角 P_i ($i=1, 2, 3 \dots$)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,

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

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

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

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

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.

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

$$0.023 \text{ poise} : t_1 = 1.51 H^{-0.78}$$

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

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

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.

B. 隨伴角

1. 隨伴角의 過度特性

Table 1의 A컴퍼스로써 水平磁場을 0.39 gauss, 0.30 gauss, 0.18 gauss, 0.03 gauss 에서 보울이 一回轉하는데 要하는 旋回時間(T_θ)을 1分, 2分, 3分, 4分, 4.5分으로 하여 2回轉시킨 경우의 回轉角度(0 ~ 720°)에 대한 隨伴角의 過度特性은 Fig. 6 과 같다.

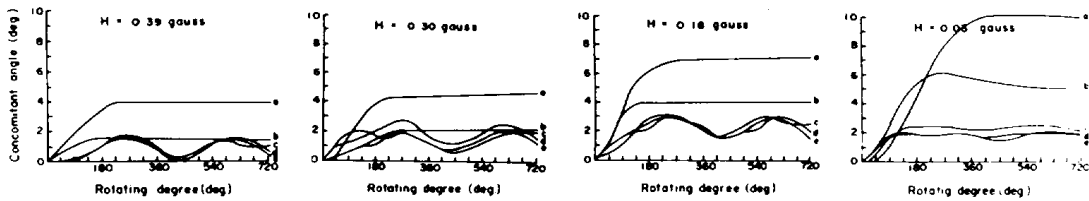


Fig. 6. Overdevelopment of concomitant angle by turning angular velocity of compass in the horizontal magnetic fields.

a : 2π (rad/min), b : π (rad/min), c : $2\pi/3$ (rad/min)
d : $\pi/2$ (rad/min), e : $4\pi/9$ (rad/min)

Fig. 6에서 角速度가 $2\pi/\text{min}$, π/min 인 경우 隨伴角이 一定하게 되는 回轉角度와 그때의 隨伴角을 水平磁場의 세기에 따라 구하면 Table 5와 같다.

Table 5. Concomitant angle and the rotated degree of compass bowl in accordance with horizontal magnetic force

H (gauss)	0.03		0.18		0.30		0.39	
	A *	P**	A	P	A	P	A	P
2π	10	405	7	270	4	225	4	225
π	6	225	4	135	2	225	2	225

* A : Concomitant angle

** P : Rotating degree of compass bowl when the concomitant angle is keeping constant

Table 5에서, 隨伴角은 回轉角速度가 커지거나, 水平磁場이 약할수록 커지고, 또 隨伴角이 一定하게 될 때 까지의 回轉角度는 角速度가 커지거나, 水平磁場이 약해질때, 커지는 傾向이 있었다.

또한, 旋回角速度가 $2\pi/3\text{min}$, $\pi/2\text{min}$, $4\pi/9\text{min}$ 인 경우의 隨伴角은 水平磁場이 0.03 gauss를 除外하고 0.39 gauss, 0.30 gauss, 0.18 gauss 일때는, 回轉角度가 270° 부근까지는 增加하다가, 점차 減少하여 450° 부근에서 最小가 되었고, 다시 增加하기 시작하여 630° 부근에서 最大가 되어, 180° 를 週期로 隨伴角이 最大, 最小가 되는 過度特性을 나타내었다.

2. 컴퍼스種類別 旋回角速度와 水平磁場에 따른 隨伴角

實驗用 컴퍼스의 種類別 隨伴角을 水平磁場의 세기에 따라 보울의 旋回角速度를 2分, 3分, 4分, 4.5分에 1回轉의 순으로 測定한 測定 値와 (3)式에 의한 計算値를 比較한 結果는 Fig. 7과 같다.

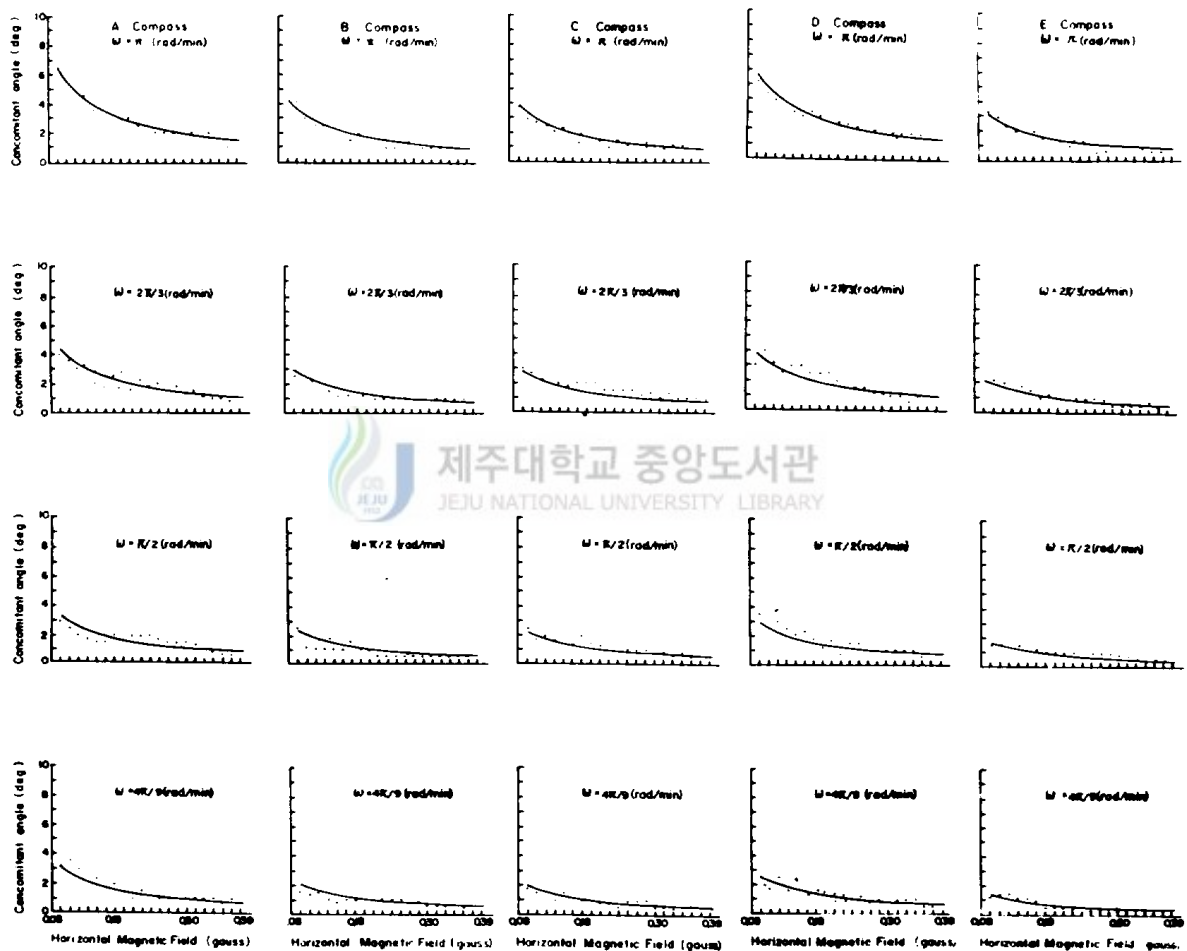


Fig. 7. Concomitant angle by the types of compass and the turning angular velocity in a accordance with the horizontal magnetic force.

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

Fig. 7에서 水平磁場의 세기와 旋回角速度別 隨伴角은 實驗用 컴퍼스 (A, B, C, D, E)의 測定値와 計算値는 거의 一致하였으며, 隨伴角은 水平磁場이 약할수록, 旋回角速度가 빠를수록 增加하였다.

이와같은 事實은 水平磁場이 약해짐에 따라 磁針의 指北力이 減少하는데 比하여 컴퍼스液의 粘性에 의한 카아드의 隨伴運動이 커지기 때문이며, 또한 보울의 旋回角速度가 빠를수록 컴퍼스液의 回轉運動도 加速化되므로 그 粘性에 의한 偏角이 커지기 때문이라 推定된다.

實驗用 컴퍼스種類別 旋回角速度에 대한 隨伴角의 크기는 水平磁場이 약해짐에 따라 A컴퍼스가 가장 많이 增加하였으며, 다음 D, B, C, E컴퍼스 순으로 增加하였다. A컴퍼스가 隨伴角이 가장 큰것은 磁針의 磁氣能率에 比해 카아드의 面積이 커서 水平磁場이 약해질수록 磁針의 指北力이 減少되는데 比해, 컴퍼스液의 粘性에 의한 카아드의 隨伴運動이 커지기 때문이다.

E컴퍼스가 隨伴角이 가장 적은것은, 카아드面積에 比해 磁針의 磁氣能率이 커서, 粘性에 의한 隨伴角은 적는데 比해 磁針의 指北力은 강하기 때문이다.

實驗用 컴퍼스 A, B, C, D, E의 水平磁場과 旋回角速度에 따른 隨伴角은, 水平磁場 0.30 gauss, 旋回角速度 $2\pi/4$ 分일때, 각각 1.1° , 0.7° , 0.8° , 1.0° , 0.5° 로서, ISO가 規定한 隨伴角의 許容範圍인 1.2° 보다 적으므로 韓國近海에서의 使用이 適合하다.

또한, A, B, C, D, E컴퍼스에 대한 諸元과 水平磁場 및 旋回角速度에 따른 隨伴角을 (3)式에 의한 計算器 시뮬레이션으로 구한 粘性係數

μ 는 각각 0.03, 0.02, 0.02, 0.015, 0.048 poise로서 E컴퍼스의 粘性係數가 가장 높고, D컴퍼스가 가장 낮았다.

이상에서 컴퍼스液의 粘性係數가 높으면서, 隨伴角이 적은것은 磁針의 磁氣能率이 粘性係數보다 隨伴角에 미치는 影響이 크기 때문이다.

3. 컴퍼스液의 粘性係數와 隨伴角

粘性係數에 따른 隨伴角의 變化를 檢討하기 위하여 B컴퍼스에 에칠 알콜과 증류수를 각각 3:7, 7:13, 4:6, 5:5의 比率로 混合한 液을 넣어 溫度變化에 대한 粘性係數를 Fig. 3에서 구한 混合比率別 粘性係數는 각각 0.017 poise, 0.021 poise, 0.023 poise, 0.025 poise, 0.026 poise였으며, 이들 粘性係數에 따른 旋回角速度別 隨伴角을 測定할 結果는 Fig. 8과 같다.

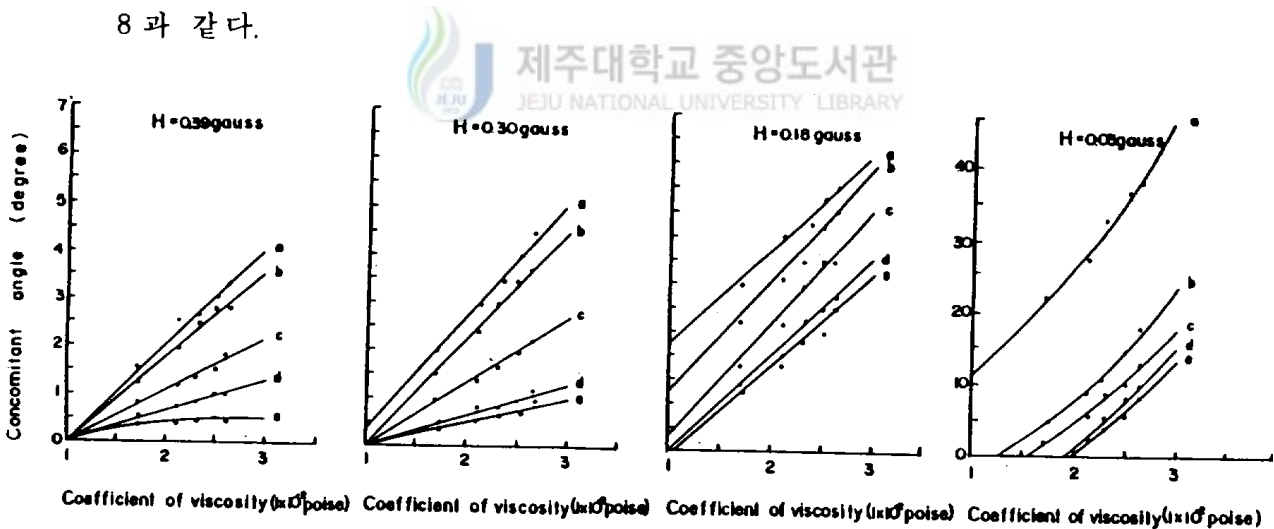


Fig. 8. Variation of concomitant angle by the turning angular velocity of compass and the coefficient of viscosity.
 a : 2π (rad/min), b : π (rad/min), c : $2\pi/3$ (rad/min) d : $\pi/2$ (rad/min), e : $4\pi/9$ (rad/min)

Fig. 8에서 隨伴角은 粘性係數가 높고, 컴퍼스 旋回角速度가 빠를수록 그리고 水平磁場이 약할수록 增加하였다.

水平磁場이 0.03 gauss 에서는 컴퍼스의 旋回角速度가 比較的 빠른 $2\pi / 3 \text{ min}$ 이상에서는 粘性係數가 높을수록 隨伴角의 增加率이 $2\pi / 4 \text{ min}$, $2\pi / 4.5 \text{ min}$ 보다 높았다.

이러한 사실은 粘性係數가 높을수록 磁針의 指北力에 비해 컴퍼스液의 粘性에 의한 摩擦抵抗이 커지고 水平磁場이 약할수록 磁針의 指北力도 減少하기 때문이다.

IV. 摘 要

液體式 磁氣컴퍼스 方位指示部の 性能을 分析, 檢討하기 위하여 人工磁場發生 裝置內에서 水平磁場의 세기에 따라, 컴퍼스種類 및 粘性係數別 制振特性과 隨伴角에 關한 實驗結果를 要約하면 다음과 같다.

A. 制振特性

磁氣컴퍼스의 種類別 制振特性과 컴퍼스液의 粘性係數別 制振特性을 測定한 結果, 制振曲線에 대한 各 要素들의 測定値와 計算値는 거의 一致하였다.

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 경향을 나타내었다.

2. 實驗用 컴퍼스 모두 地磁氣의 水平磁場이 0.39 gauss 인 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 gauss 에서는 週期는 45 초 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 알수 있었다.

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

5. 컴퍼스種類 및 粘性係數別 制振曲線의 主要點까지의 經過時間 t_i 및

過行角 P_i 와 水平磁場 (H) 사이에는,

a. 實驗用 컴퍼스 모두 制振曲線의 主要點까지의 經過時間 (t_i) 은 水平磁場 (H) 과 負相關을 이루어 -0.71 乘에 比例하였고, 過行角 (P_i) 은 水平磁場 (H) 과 正相關을 이루어, 0.22 乘에 比例하였다.

b. 컴퍼스液의 粘性係數에 따른 制振曲線의 主要點까지의 經過時間 (t_i) 은 水平磁場 (H) 과 負相關을 이루어, -0.80 乘에 比例하였고, 過行角 (P_i) 은 水平磁場 (H) 과 正相關을 이루어, $0.13 \sim 1.08$ 乘에 比例하였다.

B. 隨伴角

磁氣컴퍼스의 隨伴角을 水平磁場의 세기에 따라 컴퍼스種類 및 液의 粘性係數別로, 컴퍼스 보울을 等角速度 回轉시켜 測定한 測定値와 計算値는 거의 一致하였으며,

1. 컴퍼스種類別 隨伴角은 實驗用 컴퍼스 모두 水平磁場의 세기가 약할수록, 컴퍼스 보울의 旋回角速度가 빠를수록, 컴퍼스液의 粘性係數가 높을수록, 增加하는 경향을 보였다.

2. 컴퍼스 보울의 回轉角에 대한 旋回角速度別 隨伴角의 過度特性은, 角速度가 $2\pi/2\text{min}$ 以上에서는 回轉角度가 어느 基準角度에서 부터 一定한 偏角으로 維持 되었고, $2\pi/3\text{min}$ 以下에서는 180° 를 週期로 하여 最大, 最小로 變했다.

3. 컴퍼스種類別 旋回角速度에 대한 隨伴角의 크기는, 水平磁場이 약해짐에 따라 A, D, B, C, E 컴퍼스 순으로 增加하였다.

4. 地磁氣의 水平磁場이 韓國近海의 標準磁場인 0.30 gauss 에서 컴

퍼스 보울의 旋回角速度를 $2\pi/4\text{min}$ 으로 하였을때, 實驗用 컴퍼스 모두 ISO의 許容範圍인 1.2° 보다 적었다.

5. 實驗에 사용한 A, B, C, D, E 컴퍼스液의 粘性係數를 計算器 시뮬레이션 한 結果 각각 0.03poise, 0.02poise, 0.02poise, 0.015poise, 0.048poise 임을 推定할수 있었다.

謝 辭

本 研究를 遂行함에 있어 始終 細心한 指導와 鞭撻을 해주신 鄭公炳 教授님과 論文作成에 유익한 助言을 하여주신 孫泰俊 教授님, 安長榮 教授님 그리고, 研究計劃에서 부터 實驗과 論文作成에 이르기까지 많은 資料와 指導를 아끼지 않으신 釜山水產大學 辛亨鎔 博士님께 깊은 感謝를 드리며, 資料整理에 協助하여 주신 航海學 實驗室의 申鉉玉 助教께 謝意를 표합니다.



V. 参考文献

1. 熊擬武晴. 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.
2. 井關貢. 庄司和. 1956. 新訂航海計器學. 海文堂. 東京, p.15-16.
3. 熊擬武晴. 川崎種一. 1948. 磁氣羅盆の隨伴角について. 日本航海學會誌 1 : 75-83.
4. _____ . 石井. 鈴木裕. 1952. 磁氣羅針儀 隨伴角に 關する實驗. 水産廳 漁船研究技報 3 : 111-129.
5. 川崎種一. 1951. 磁氣羅針儀の 制振曲線について. 日本航海學會誌 3 : 67-72.
6. 鈴木裕. 1961. 磁氣コンパスの 制振特性について - 6 . 日本航海學會誌 24:15-20.
7. _____. 1962. 船用磁氣コンパスの 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.
8. _____. 自井靖辛. 1980. 磁氣コンパスの 性能試験. 日本航海學會誌 68:147-151.
9. _____. _____. 1982. 上下振動に伴う 磁氣コンパスカードの運動 日本航海學會誌 67:115-118.
10. _____. _____. 1982. 磁氣コンパスカードの 水平軸回りの 運動について. 日本航海學會誌 68:147-151.

11. 大韓民國 水路局. 海圖 No, 214, 1975.
12. 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.
13. 安瑛化. 鄭公析. 安長榮. 辛亨鎰. 1983. 人工磁場發生裝置와 磁氣컴 퍼스의 性能. 漁業技術 19(2):111-116.
14. Nye S. Spencer and Gearge F. Kucera. 1975. Handbook of Magnetic Compass Adjustment and Compensation. U.S. Navy Department Bureau of Ships, Washington D.C, 7-13
15. ISO/TC8/WGI. 1974. Addendum to international Standard ISO2269. Magnetic Compass and Accessories, Rules for Testing and Certification.
16. 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.