

# 總體的 船體磁場의 實驗모델

朴吉鉉\* · 鄭泰權\*\* · 李相鏞\*\*\*

Empirical model of over-all ship's magnetism

*Kil-hyun, Park · Tae-gweon, Jeong · Sang-jib, Lee*

## 目 次

Abstract	2.2 船體磁場의 測定方法
記號說明	2.3 實測值의 特性과 모델의 開發
1. 序 論	3. 結果 및 考察
2. 資料 및 分析方法	4. 結 論
2.1 實驗對象 船舶과 測定裝備의 明細	參考文獻

## Abstract

In order to provide a basic information to locate the sensor of remote-indicating magnetic compass onboard, an empirical model for the over-all ship's magnetism was developed based on the periodicity of the observed magnetic field around the vessels.

The values of model parameters were determined by least-square method and optimum numbers of them were fixed using Akaike's information criterion theory, and also an approximation method to determine parameters was proposed based on the symmetrical characteristic of observed data versus ship's length.

The confidence level of the newly developed models was tested by analysis of variance method. The agreement between the modelled and real values was found to be remarkably accurate.

\* 正會員 : 韓國海洋大學 大學院

\*\* 正會員 : 韓國海技研修院

\*\*\* 正會員 : 韓國海洋大學

記 號 說 明

- $A_0$  : 常數項의 parameter
- $A_r$  : cosine 項의 parameter
- $B_r$  : sine 項의 parameter
- $e$  : 回轉 圓體의 軸점
- $H$  : 全磁場의 세기
- $H_x$  : 磁場의 船首方向 成分
- $H_y$  : 磁場의 右舷方向 成分
- $H_z$  : 磁場의 鉛直方向 成分
- $H_{(xk)}$  :  $x_k$ 에서의 實測磁場
- $\bar{H}$  : 實測磁場의 平均
- $\hat{H}_{(xk)}$  :  $x_k$ 에서의 實驗모델치
- $L$  : 船體길이
- $n$  : data 數
- $q$  : parameter 數
- $R^2$  : 決定係數
- $S$  : 殘差의 계곱sum

1. 序 論

船舶用 磁氣컴파스(magnetic compass)의 正確度를 높이는 方案으로서 磁氣컴파스 周邊의 船體磁場을 修正하는 自差修正技術이 活用되고 있다. 이것은 磁氣컴파스의 設置位置에 關한 Poisson의 船體磁場 方程式에 根據한 것으로 自差修正式에 內包된 各係數의 精密分析이 不可能한 境遇와 磁氣컴파스의 設置位置가 船內에서 磁氣的으로 左右 對稱이 아닌 境遇에는 그 實効性이 떨어진다. 뿐만아니라 實務에 있어서 船舶의 緯度變化가 크게 變動한 境遇에는 계속 補完修正을 하여야 하는 번거로움이 있다.<sup>1)</sup> 만약 船內에서 總體的 船體磁場이 最小인 곳에 本體에서 分離되는 磁北探知器(sensor)를 設置하여 地球磁場의 影響만 받도록 하면 이러한 問題點들은 解決될 것이다.<sup>2)</sup>

그러므로 오늘날 새로운 技術을 活用하여

磁氣 컴파스의 正確性和 實効性을 높이려면 먼저 總體的 船體磁場의 特性에 關한 研究가 進行되어야 할 것이다. 類似한 研究로서 異常地磁氣의 磁化度 推定에 活用되는 Vacquier 理論을 導入하여 總體的 船體磁場의 磁化方向 決定을 試圖한 바는 있으나<sup>3)</sup>, 體系의인 調查研究를 바탕으로하여 總體的 船體磁場에 關한 모델 開發을 試圖한 바는 없는 實情이다.

巨視的으로 볼 때 總體的 船體磁場은 하나의 막대形 永久磁石에 의한 磁場으로 볼 수 있다.<sup>4)</sup> 따라서 船體周圍의 磁場을 測定하여 總體的인 磁場을 決定할 수 있을 것이다. 이러한 點에 着眼하여 本 研究는 陸上에서 船體磁場을 實測하고 그 結果의 特性을 分析하여 實驗모델을 構成하고 最小自乘法과 略算法으로 파라메타를 決定한 다음 서플레이션 結果를 分散分析法으로 檢證하여 本 研究가 提案하는 實驗모델의 有効性을 立證하기로 한다.

즉, 크기가 서로 다른 4척(한바다호, 유달호, 부산-851호, 부산-205호)의 三島型船舶(three-islands vessel)을 實驗對象으로 하였으며 船體를 길이 2a, 폭 2b인 回轉 圓體로 볼 때  $0.2e \sim 0.5e$ (단  $e = \sqrt{a^2 - b^2}$ )로 떨어진 點에서 測定한 磁場의 特性은 規則的이라는 點에<sup>5)</sup> 着眼하여 本 研究에서는 船舶들이 埠頭에 接岸해 있을 때 船體에서 약 18~20m 떨어진 埠頭에서 一定間隔으로 測定位置를 定하여 磁場을 測定하였다. 船舶이 離岸 했을 때 同位置에서 磁場을 측정하여 그 차이로 船體磁場을 求하였다. 이렇게 求한 船體磁場의 特性을 分析하여 實驗모델을 構成하고 여기에 包含된 各 파라메타(parameter)를 最小自乘法을 利用하여 決定하고 파라메타의 數는 赤池의 情報量規準(AIC)<sup>6)</sup>을 利用하여 決定하였다. 한편 船

體磁場的 세기를 表示하는 曲線이 船體길이에 對하여 週期성을 가지고 變하는 點에 着眼하여 파라메타를 決定하는 새로운 略算式을 提案하였으며 提案한 實驗모델을 차물레이션하고 그 結果와 實測值를 比較하여 實驗모델의 妥當性を 統計的 理論으로 檢定하였다.

本 研究에서는 基礎段階의 研究로서 다음과 같은 制限點을 두었다.

- (1) 測定 對象 船舶은 三島型船舶에 局限하였다.
- (2) 局部磁場을 無視할 境遇 總體的 船體磁場은 하나의 막대形 永久磁石에 의한 磁場으로 간주하고 測定位置를 埠頭로 하였다.
- (3) 船體 一時磁氣의 영향은 永久磁場의

그것에 比하여 無視할 수 있는 것으로 보았다.

(4) 任意點에서의 磁場은 3成分의 空間벡터로 表示되므로 便宜上 한 點에서의 船體磁場은 船首方向成分 右舷方向成分 鉛直方向成分을 각각 測定하여 決定하였다.

## 2. 資料 및 分析方法

### 2-1. 實驗對象 船舶과 測定裝備의 明細

船體磁場에 關한 實驗모델을 開發하기 위해 測定對象이 된 船舶과 測定裝備의 明細는 Table 1과 같다.

**Table 1. Specifications of observed vessels and instrument**

Ship's name	HANBADA	YUDAL	BUSAN-851	BUSAN-205
Length(LBP) (m)	90	86	66	57
Breadth (m)	15.5	15	11.4	9.8
depth (m)	7.0	7.2	7.3	3.5
Gross tonnage	3492.0	3288.5	1126.5	500.0
Draft (m)	4.10	3.50	3.50	3.00

實驗對象 船舶의 明細

Instrument	Measuring reange	Model	Manufacturer
Magnetometer	5-100 Kgammas	750D	R F L, Industries Inc, U. S. A.

測定 裝備의 明細

2-2. 船體磁場的 測定方法

任意點에서의 船體磁場의 세기는 船舶이 埠頭に 있을 때 磁場의 세기와 船舶이 離岸하여 없을 때의 磁場의 세기와의 차이로 決定하였으며 그 測定方法 및 測定結果는 다음과 같다.

船舶이 埠頭に 接岸하였을 때 Fig. 1과 같이 船體에서 18-20m 떨어진 埠頭에서 3~5 m의 一定間隔으로 定한 각 測定位置에 magnetometer의 sensor를 1.5m의 높이에 놓고 그 sensor를 船首方向, 右舷方向 및 鉛直方向으로 向하게 하여 船體磁場의 成分을

各各 測定하고 船舶이 離岸하였을 때 같은 位置에서 같은 方法으로 다시 측정하였다(Fig. 2).

이와 같이 同位置에서 2回 測定한 各 成分의 合成値를 그 位置의 全磁場의 세기(total intensity)로 看做하였다.

各 船舶에 對한 全磁場의 세기는 Table 2와 같고 그 세기는 式(1)을 利用하여 求하였다.

$$H = (H_x^2 + H_y^2 + H_z^2)^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

그 結果 各 船舶에 對한 測定位置에서의 全磁場의 세기는 Table 2와 같다.

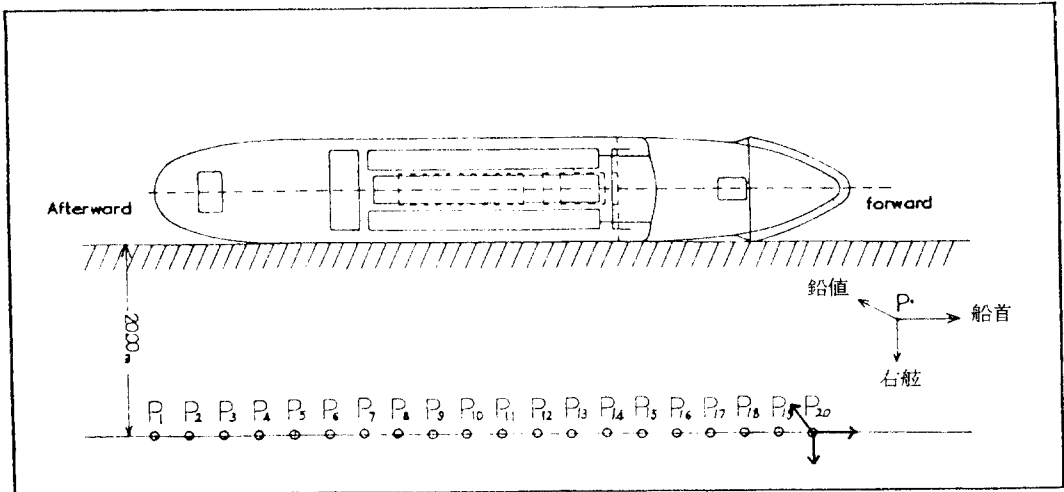


Fig. 1. Observation position on the dock

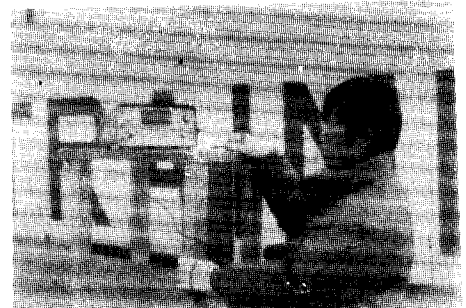
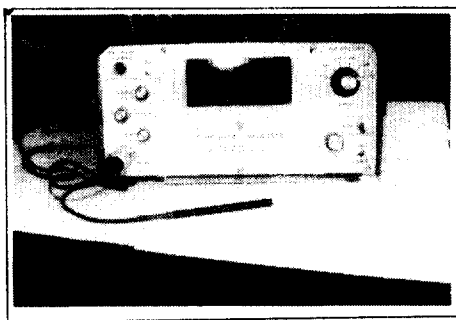


Fig. 2. Magnetometer and observed vessel

Table 2-1. Observed magnetism of M/V HANBADA

Observation points (m)	3 Components of observed magnetism						3 Components of ship's magnetism			Total intensity of ship's magnetism (Gauss)
	Ship alongside			Ship away			A-A' (Gauss)	B-B' (Gauss)	C-C' (Gauss)	
	Bow (A) (Gauss)	St'bd(B) (Gauss)	Plumb(C) (Gauss)	Bow (A') (Gauss)	St'bd(B') (Gauss)	Plumb(C') (Gauss)				
0	0.055	0.650	0.145	0.105	0.020	0.125	0.050	-0.045	-0.020	0.070
5	0.075	0.105	0.155	0.120	0.035	0.120	0.045	-0.070	-0.035	0.090
10	0.090	0.120	0.188	0.120	0.040	0.140	0.030	-0.080	-0.048	0.098
15	0.095	0.110	0.200	0.120	0.015	0.135	0.025	-0.095	-0.065	0.118
20	0.130	0.140	0.215	0.120	0.040	0.140	-0.010	-0.100	-0.075	0.125
25	0.155	0.135	0.200	0.130	0.020	0.125	-0.025	-0.115	-0.075	0.140
30	0.175	0.125	0.180	0.130	0.015	0.130	-0.045	-0.110	-0.050	0.129
35	0.180	0.105	0.170	0.120	0.010	0.130	-0.060	-0.095	-0.040	0.119
40	0.195	0.110	0.165	0.125	0.040	0.150	-0.070	-0.070	-0.015	0.100
45	0.205	0.065	0.125	0.130	0.020	0.120	-0.075	-0.045	-0.005	0.088
50	0.200	0.065	0.120	0.120	0.040	0.120	-0.080	-0.025	0	0.084
55	0.210	0.025	0.015	0.130	0.025	0.015	-0.080	0	0	0.080
60	0.200	-0.025	0.105	0.125	0.020	0.125	-0.075	0.045	0.020	0.090
65	0.200	-0.050	0.065	0.130	0.030	0.100	-0.070	0.080	0.035	0.112
70	0.180	-0.085	0.075	0.120	0.020	0.120	-0.060	0.105	0.045	0.129
75	0.175	-0.090	0.073	0.125	0.025	0.125	-0.050	0.115	0.052	0.136
80	0.175	-0.110	0.085	0.140	0.020	0.140	-0.035	0.130	0.055	0.145
85	0.140	-0.120	0.078	0.130	0.015	0.140	-0.010	0.135	0.062	0.149
90	0.135	-0.105	0.085	0.150	0.020	0.130	0.015	0.125	0.045	0.134
95	0.100	-0.100	0.090	0.130	0.010	0.140	0.030	0.110	0.050	0.124
100	0.105	-0.060	0.100	0.140	0.020	0.130	0.035	0.080	0.030	0.092
105	0.105	-0.050	0.125	0.140	0.020	0.140	0.035	0.070	0.015	0.080

Table 2-2. Observed magneism of M/V YUDAL

Observation points (m)	3 Components of observed magnetism						3 Components of ship's magnetism			Total intensity of ship's magnetism (Gauss)
	Ship alongside			Ship away			A-A' (Gauss)	B-B' (Gauss)	C-C' (Gauss)	
	Bow (A) (Gauss)	St'bd(B) (Gauss)	Plumb(C) (Gauss)	Bow (A) (Gauss)	St'bd(B) (Gauss)	Plumb(C) (Gauss)				
0	0.095	0.170	0.200	0.155	0.095	0.175	0.060	-0.075	-0.025	0.099
5	0.105	0.180	0.195	0.145	0.080	0.165	0.040	-0.100	-0.030	0.112
10	0.130	0.225	0.210	0.150	0.100	0.180	0.020	-0.125	-0.030	0.130
15	0.135	0.225	0.207	0.140	0.090	0.170	0.005	-0.135	-0.037	0.140
20	0.150	0.232	0.230	0.130	0.085	0.180	-0.020	-0.147	-0.050	0.157
25	0.195	0.250	0.205	0.150	0.090	0.170	-0.045	-0.160	-0.035	0.170
30	0.225	0.230	0.195	0.145	0.070	0.160	-0.080	-0.180	-0.035	0.200
35	0.240	0.240	0.192	0.140	0.080	0.170	-0.100	-0.160	-0.022	0.190
40	0.270	0.200	0.185	0.150	0.090	0.160	-0.120	-0.110	-0.025	0.165
45	0.270	0.145	0.210	0.140	0.070	0.180	-0.130	-0.075	-0.030	0.153
50	0.290	0.105	0.185	0.150	0.080	0.170	-0.140	-0.025	-0.015	0.143
55	0.315	0.035	0.125	0.160	0.090	0.160	-0.155	0.055	0.035	0.168
60	0.300	-0.015	0.070	0.170	0.080	0.150	-0.130	0.095	0.000	0.180
65	0.240	-0.070	0.085	0.150	0.070	0.170	-0.090	0.140	0.085	0.187
70	0.190	-0.045	0.125	0.145	0.085	0.165	-0.045	0.120	0.040	0.143
75	0.170	-0.045	0.123	0.155	0.070	0.160	-0.015	0.110	0.037	0.122
80	0.115	-0.020	0.108	0.135	0.090	0.145	0.020	0.110	0.037	0.118
85	0.095	-0.005	0.133	0.140	0.080	0.155	0.045	0.085	0.022	0.099

Table 2-3. Observed magnetism of M/V BUSAN-851

Observation points (m)	3 Components of observed magnetism						3 Components of ship's magnetism			Total intensity of ship's magnetism (Gauss)
	Ship alongside			Ship away			A-A' (Gauss)	B-B' (Gauss)	C-C' (Gauss)	
	Bow (A) (Gauss)	St'bd(B) (Gauss)	Plumb(C) (Gauss)	Bow (A') (Gauss)	St'bd(B') (Gauss)	Plumb(C') (Gauss)				
0	0.125	0.135	0.195	0.155	0.040	0.180	0.030	-0.095	-0.015	0.101
3	0.152	0.120	0.242	0.160	0.020	0.200	0.008	-0.100	-0.042	0.109
6	0.185	0.160	0.237	0.170	0.040	0.195	-0.015	-0.120	-0.042	0.128
9	0.190	0.170	0.235	0.160	0.030	0.185	-0.030	-0.140	-0.050	0.152
12	0.215	0.200	0.210	0.170	0.040	0.170	-0.045	-0.160	-0.040	0.171
15	0.200	0.195	0.190	0.150	0.030	0.160	-0.050	-0.165	-0.030	0.175
18	0.250	0.190	0.250	0.170	0.040	0.180	-0.080	-0.150	-0.070	0.184
21	0.300	0.130	0.230	0.180	0.030	0.170	-0.120	-0.100	-0.060	0.167
24	0.300	0.100	0.193	0.170	0.040	0.160	-0.130	-0.060	-0.033	0.147
27	0.280	0.050	0.203	0.160	0.030	0.185	-0.120	-0.020	-0.018	0.123
30	0.285	0.008	0.170	0.170	0.040	0.190	-0.115	0.032	0.020	0.121
33	0.280	-0.030	0.158	0.180	0.045	0.200	-0.100	0.075	0.042	0.132
36	0.245	-0.065	0.108	0.160	0.050	0.185	-0.085	0.115	0.077	0.162
39	0.210	-0.135	0.143	0.150	0.030	0.190	-0.060	0.165	0.047	0.182
42	0.220	-0.105	0.095	0.175	0.040	0.180	-0.045	0.145	0.085	0.174
45	0.200	-0.090	0.093	0.180	0.040	0.190	-0.200	0.130	0.097	0.163
48	0.135	-0.085	0.089	0.170	0.035	0.170	0.035	0.120	0.081	0.149
51	0.120	-0.060	0.167	0.180	0.040	0.185	0.060	0.100	0.018	0.118
54	0.100	-0.030	0.160	0.170	0.040	0.190	0.070	0.070	0.030	0.103

Table 2-4. Observed magnetism of M/V BUSAN 205

Observation points (m)	3 Components of observed magnetism						3 Components of ship's magnetism			Total intensity of ship's magnetism (Gauss)
	Ship alongside			Ship away			A-A' (Gauss)	B-B' (Gauss)	C-C' (Gauss)	
	Bow (A) (Gauss)	St'bd(B) (Gauss)	Plumb(C) (Gauss)	Bow (A') (Gauss)	St'bd(B') (Gauss)	Plumb(C') (Gauss)				
0	0.170	0.180	0.262	0.205	0.085	0.220	0.035	-0.095	-0.042	0.110
3	0.210	0.205	0.255	0.220	0.090	0.210	0.010	-0.115	-0.045	0.124
6	0.225	0.195	0.262	0.210	0.070	0.220	-0.015	-0.125	-0.042	0.133
9	0.270	0.220	0.288	0.230	0.090	0.230	-0.040	-0.130	-0.058	0.148
12	0.260	0.225	0.245	0.210	0.070	0.210	-0.050	-0.155	-0.035	0.167
15	0.285	0.230	0.238	0.220	0.090	0.210	-0.065	-0.140	-0.028	0.157
18	0.285	0.205	0.242	0.210	0.085	0.210	-0.075	-0.120	-0.032	0.145
21	0.315	0.170	0.260	0.230	0.090	0.225	-0.085	-0.080	-0.035	0.122
24	0.305	0.130	0.230	0.210	0.085	0.195	-0.095	-0.045	-0.035	0.111
27	0.320	0.090	0.225	0.220	0.090	0.225	-0.100	0	0	0.100
30	0.330	0.035	0.153	0.235	0.085	0.210	-0.095	0.050	0.057	0.122
33	0.300	0.005	0.158	0.220	0.090	0.220	-0.080	0.085	0.062	0.132
36	0.275	-0.040	0.165	0.210	0.080	0.210	-0.065	0.120	0.045	0.144
39	0.280	-0.050	0.180	0.230	0.090	0.230	-0.050	0.140	0.050	0.157
42	0.230	-0.065	0.160	0.200	0.100	0.220	-0.030	0.165	0.060	0.178
45	0.235	-0.050	0.188	0.220	0.110	0.230	-0.015	0.160	0.042	0.166
48	0.195	-0.050	0.157	0.210	0.090	0.220	0.020	0.140	0.063	0.155
51	0.200	-0.030	0.157	0.230	0.100	0.210	0.030	0.130	0.053	0.144
54	0.180	-0.025	0.180	0.220	0.095	0.220	0.040	0.120	0.040	0.133
57	0.165	-0.020	0.173	0.210	0.085	0.210	0.045	0.105	0.037	0.120



2-3. 實測值의 特性과 모델의 開發

船體의 길이에 對한 實測值는 Fig. 3과 같다. 測定值를 代表하는 船體磁場의 曲線은 4척이 거의 類似한 形態를 가지고 있음을 알수 있다. 즉, 曲線은 船體 길이 方向에 對하여 週期性和 對稱性을 가지고 變動한다. 이런 點에 注目하여 總體的 船體磁場을 表示하는 模型式으로 Fourier 級數를 導入하여 任意點  $x_k$ 에서의 船舶의 길이 L에 對한 總體的 船體磁場의 세기  $H(x_k)$ 는 식(2)와 같이 表現할 수 있다.<sup>7)</sup>

$$H(x_k) = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} [A_i \cos \frac{2i\pi}{L} x_k + B_i \sin \frac{2i\pi}{L} x_k] \dots\dots\dots(2)$$

여기서 파라메타  $A_1, \dots, A_m$ , 와  $B_1, \dots, B_m$ ,  $\dots$ 의 數는 測定位置의 數 n 以內로 한다.

本 論文에서는 式(2)의 파라메타를 결정하기 위하여 最小自乘法을 導入하는 한편, 보다 效率的인 決定方法으로 略算式을 提案하기로 한다.

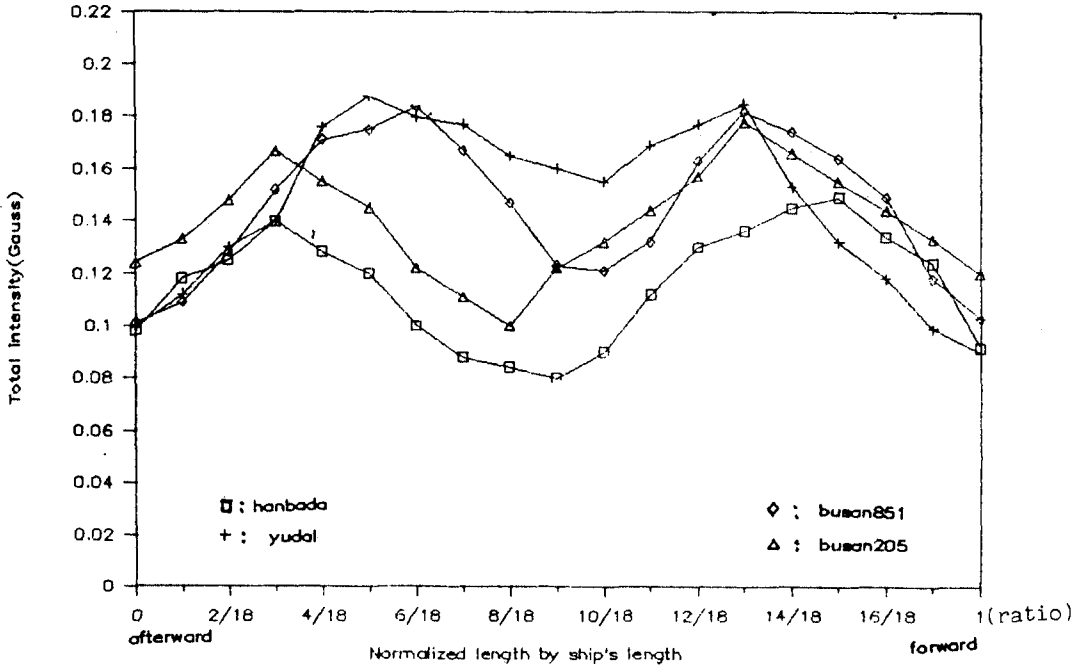


Fig. 3. Total intensity versus ship's length for respective vessels

(1) 最小自乘法에 의한 파라메타 決定  
式(2)의 파라메타를 얻기 위하여 最小自乘法에 따라 正規式을 세우면 다음과 같다.<sup>8)-</sup>

$$\begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n F_{k1}^2 & \sum_{k=1}^n F_{k1}F_{k2} & \dots & \sum_{k=1}^n F_{k1}F_{k2m+1} \\ \sum_{k=1}^n F_{k1}F_{k2} & \sum_{k=1}^n F_{k2}^2 & \dots & \sum_{k=1}^n F_{k2}F_{k2m+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^n F_{k1}F_{k2m+1} & \sum_{k=1}^n F_{k2}F_{k2m+1} & \dots & \sum_{k=1}^n F_{k2m+1}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_0 \\ A_1 \\ \vdots \\ A_m \\ B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n H(xk)F_{k1} \\ \sum_{k=1}^n H(xk)F_{k2} \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^n H(xk)F_{k2m+1} \end{pmatrix} \dots (3)$$

단,  $F_{k1} = 1, F_{k2} = \cos \frac{2\pi xk}{L}, F_{k3} = \cos \frac{4\pi xk}{L},$   
 $F_{k_{2m+1}} = \cos \frac{2m\pi xk}{L}, F_{k_{m+2}} = \sin \frac{2\pi xk}{L},$   
 $F_{k_{2m+1}} = \sin \frac{2m\pi xk}{L}$

正規方程式(3)의 파라메타 最適數는 赤池의 情報量規準理論(Akaike's information criterion, AIC)에 의하여 式(4)를 利用하여 결정한다.

$$AIC = n \cdot \ln(S) + 2 \cdot q \dots (4)$$

實測置와 實驗모델치와의 차인 殘差의 제곱합을  $s$ , 파라메타의 數를  $q$ , 測定데이터 數를  $n$ 으로 한다. 파라메타 數를 增加시켜가면서 正規方程式(3)을 풀어 파라메타의 값을 決定함과 同時에 式(4)를 利用하여 AIC 값을 求한다. 이 過程에서 AIC 값이 最小가 될 때 그 파라메타의 數를 實驗모델의 파라메타 最適數로 한다.

式(4)에 의하여 파라메타에 對한 AIC를 船舶別로 나타낸것이 Fig. 4 이다. Fig. 4가 表示하는 峯과 같이 船舶別 最適의 모델은 便宜上 10項 展開 이내로 限定한 境遇 한바다호와 부산851호는 9項까지 展開될 때 이고 유달호와 부산205호는 各各 5項, 7項까지 展開할 때 이다. 船舶別 最適 모델의 各 파라메타는 Table 3과 같다.

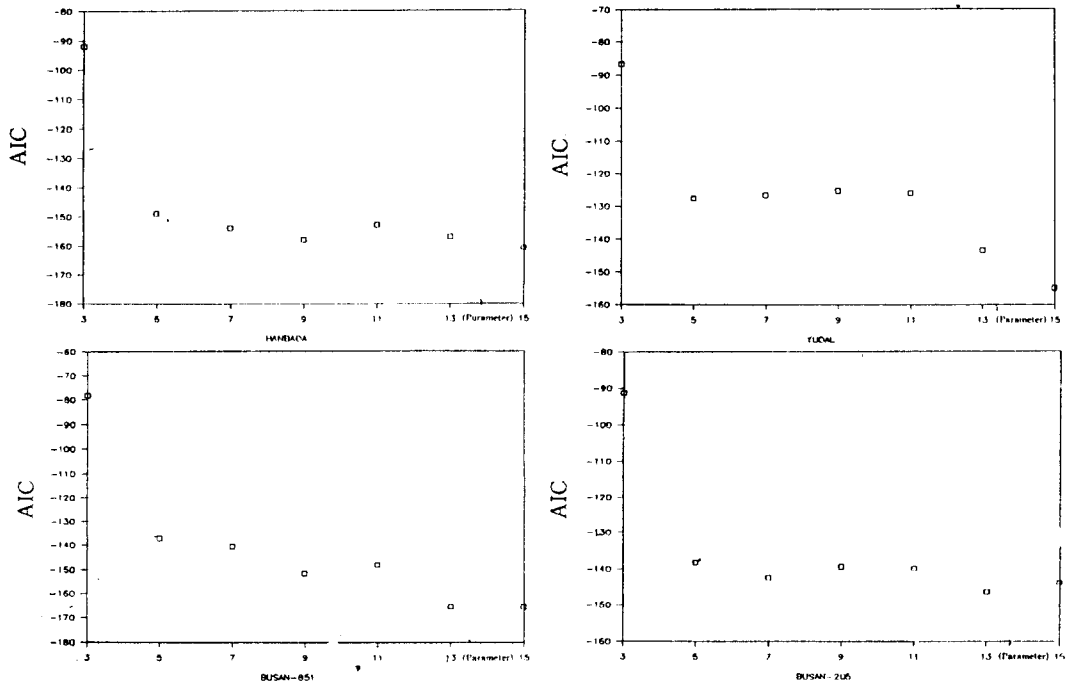


Fig. 4 Behavior of AIC

Table 3. Parameters for respective vessel models determined by least-square method **ethod**

HANBADA		YUDAL		BUSAN-851		BUSAN-205	
Para-meter	Value	Para-meter	Value	Para-meter	Value	Para-meter	Value
A <sub>0</sub>	0.11209	A <sub>0</sub>	0.15371	A <sub>0</sub>	0.14778	A <sub>0</sub>	0.13938
A <sub>1</sub>	0.00430	A <sub>1</sub>	-.02869	A <sub>1</sub>	-.01056	A <sub>1</sub>	0.00628
A <sub>2</sub>	-.03006	A <sub>2</sub>	-.02306	A <sub>2</sub>	-.03200	A <sub>2</sub>	-.02565
A <sub>3</sub>	-.00408	-	-	A <sub>3</sub>	0.00061	A <sub>3</sub>	-.00220
A <sub>4</sub>	-.00321	-	-	A <sub>4</sub>	-.00279	-	-
B <sub>1</sub>	-.00762	B <sub>1</sub>	0.00091	B <sub>1</sub>	0.00142	B <sub>1</sub>	-.00824
B <sub>2</sub>	-.00319	B <sub>2</sub>	-.00658	B <sub>2</sub>	-.01165	B <sub>2</sub>	0.00391
B <sub>3</sub>	-.00209	-	-	B <sub>3</sub>	0.00395	B <sub>3</sub>	0.00402
B <sub>4</sub>	-.00006	-	-	B <sub>4</sub>	-.00307	-	-
RMS	0.00528	RMS	0.00608	RMS	0.00364	RMS	0.00556
M E	0.00356	M E	0.00410	M E	0.00246	M E	0.00375

\* R M S : root mean square M E : median error

Table 4. Approximate parameters for respective vessel models

HANBADA		YUDAL		BUSAN-851		BUSAN-205	
Para-meter	VALUE	Para-meter	VALUE	Para-meter	VALUE	Para-meter	VALUE
A <sub>0</sub>	0.11113	A <sub>0</sub>	0.15788	A <sub>0</sub>	0.14286	A <sub>0</sub>	0.14075
A <sub>1</sub>	0.00280	A <sub>1</sub>	-.02508	A <sub>1</sub>	-.00976	A <sub>1</sub>	0.01254
A <sub>2</sub>	-.03375	A <sub>2</sub>	-.02525	A <sub>2</sub>	-.03025	A <sub>2</sub>	-.02720
B <sub>1</sub>	-.00443	B <sub>1</sub>	0.00358	B <sub>1</sub>	0.00210	B <sub>1</sub>	-.01088
B <sub>2</sub>	0.00150	B <sub>2</sub>	0.00000	B <sub>2</sub>	-.01347	B <sub>2</sub>	0.00375
RMS	0.00846	RMS	0.01033	RMS	0.00816	RMS	0.00882
M E	0.00570	M E	0.00697	M E	0.00550	M E	0.00595

\* R M S : root mean square M E : median error

(2) 略算法에 의한 파라메타 決定

正規方程式(3)을 固有函數의 直交性에 注目하여 一般解法을 誘導한다.<sup>17)</sup> 任意 測定 位置  $x_k$ 는 船體길이  $L$ 을  $n$ 等分할 때  $k$ 번째의 位置가 되므로 式(5)로 쓸 수 있다.

$$x_k = \frac{L}{n} k \dots \dots \dots (5)$$

우선 式(3)의 1行을 整理하여 다차 쓰면 式(6)이 된다.

$$\begin{aligned} nA_0 + A_1 \sum_{k=1}^n \cos \frac{2\pi xk}{L} + A_2 \sum_{k=1}^n \cos \frac{4\pi xk}{L} + \\ \dots \dots \dots + A_m \sum_{k=1}^n \cos \frac{2m\pi xk}{L} + \dots \dots \dots \\ + B_1 \sum_{k=1}^n \sin \frac{2\pi xk}{L} + \dots \dots \dots + \\ B_m \sum_{k=1}^n \sin \frac{2m\pi xk}{L} = \sum_{k=1}^n H(xk) \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

式(5)를 이용하여 式(6)을 整理하면 左邊은 첫째項을 除外한 나머지項은 固有函數의 直交性에 따라 0이 된다.

따라서 파라메타  $A_0$ 는

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n H(xk) \dots \dots \dots (7)$$

式(7)로 表現된다.

이번에는  $\cos$ 의 任意의 파라메타  $A_r$ 을 求하기 위하여 式(3)을  $(r+1)$ 번째 行을 擇하여 整理하면 式(8)로 表現된다.

$$\begin{aligned} A_0 \sum_{k=1}^n \cos \frac{2r\pi}{L} xk + A_1 \sum_{k=1}^n \cos \frac{2\pi}{L} xk \cos \frac{2r\pi}{L} xk \\ + \dots \dots \dots + A_r \sum_{k=1}^n \left( \cos \frac{2r\pi}{L} xk \right)^2 + \dots \dots \dots \\ + A_p \sum_{k=1}^n \cos \frac{2p\pi}{L} xk \cos \frac{2r\pi}{L} xk + \dots \dots \dots \\ + B_p \sum_{k=1}^n \sin \frac{2p\pi}{L} xk \cos \frac{2r\pi}{L} xk + \dots \dots \dots \\ = \sum_{k=1}^n H(xk) \cos \frac{2r\pi}{L} xk \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

式(8)을 整理하면 固有函數의 直交性에 따라 左邊은  $A_r$ 項을 除外한 全項이 0된다. 또 파라메타  $A_r$ 의 係數

$\sum_{k=1}^n \left( \cos \frac{2r\pi}{L} xk \right)^2$ 은 式(6)을 利用하면  $n$ 이 짝수이고  $r = \frac{n}{2}$  일때  $n$ 가 되고,  $r \neq \frac{n}{2}$  일 때는  $\frac{n}{2}$  이 되므로  $A_r$ 는 式(9)로 表現된다.

$$\begin{aligned} A_r = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n H(xk) \cos \frac{2r\pi}{L} xk \left( r \neq \frac{n}{2} \right) \\ A_r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n H(xk) \cos \frac{n\pi}{L} xk \left( r = \frac{n}{2} \right) \dots \dots (9) \end{aligned}$$

마찬가지로  $\sin$ 의 任意의 파라메타  $B_r$ 를 求하기 위하여 正規方程式(3)에서  $(m+1+r)$ 行을 擇하여 整理하면 式(10)이 된다.

$$\begin{aligned} A_0 \sum_{k=1}^n \sin \frac{2r\pi}{L} xk + \dots + A_r \sum_{k=1}^n \cos \frac{2r\pi}{L} xk \\ \sin \frac{2r\pi}{L} xk + \dots + A_p \sum_{k=1}^n \cos \frac{2p\pi}{L} xk \\ \sin \frac{2r\pi}{L} xk + \dots + B_p \sum_{k=1}^n \sin \frac{2p\pi}{L} xk \\ \sin \frac{2r\pi}{L} xk + \dots + B_r \sum_{k=1}^n \left( \sin \frac{2r\pi}{L} xk \right)^2 + \dots \\ = \sum_{k=1}^n H(xk) \sin \frac{2r\pi}{L} xk \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

式(10)에서도 固有函數의 直交性에 따라 左邊은  $B_r$ 項을 除外한 나머지 項은 모두 0이 된다. 그런데 파라메타  $B_r$ 의 계수

$\sum_{k=1}^n \left( \sin \frac{2r\pi}{L} xk \right)^2$ 은 式(5)을 利用하면  $n$ 이 짝수이고  $r = \frac{n}{2}$  일 때 0이 되고,  $r \neq \frac{n}{2}$  일 때는  $\frac{n}{2}$  이 되므로  $B_r$ 는

$$\begin{aligned} B_r = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n H(xk) \sin \frac{2r\pi}{L} xk \left( r \neq \frac{n}{2} \right) \\ B_r = 0 \left( r = \frac{n}{2} \right) \dots \dots (11) \end{aligned}$$

式(11)이 된다.

測定值 曲線이 船體中央에 對하여 對稱性을 갖는點에 有意하여 船體길이를 8等分 즉,

O(또는 L),  $\frac{1}{8}L$ ,  $\frac{1}{4}L$ ,  $\frac{3}{8}L$ ,  $\frac{1}{2}L$ ,  $\frac{5}{8}L$ ,  $\frac{3}{4}L$ ,  $\frac{7}{8}L$  로 한 點을 測定位置로 하고 파라메타를 計算便宜上  $A_0, A_1, A_2, B_1, B_2$  와 같이 5개로 定하여 船體磁場の 實驗모델을 다음 式(12)와 같이 構成한다.

$$H(xk) = A_0 + A_1 \cos \frac{2\pi}{L} xk + A_2 \cos \frac{4\pi}{L} xk + B_1 \sin \frac{2\pi}{L} xk + B_2 \sin \frac{4\pi}{L} xk \dots\dots\dots(12)$$

式(12)의 파라메타는 다음과 같이 決定된다. 優先  $A_0$ 는 式(7)에서 다음의 式(13)과 같이 求할 수 있다.

$$A_0 = \frac{1}{8} \left[ H(0) + H\left(\frac{1}{8}L\right) + H\left(\frac{1}{4}L\right) + H\left(\frac{3}{8}L\right) + H\left(\frac{1}{2}L\right) + H\left(\frac{5}{8}L\right) + H\left(\frac{3}{4}L\right) + H\left(\frac{7}{8}L\right) \right] \dots\dots(13)$$

또  $A_1$  및  $A_2$ 는 式(9)로부터 各各 다음의 式(14)와 같이 求할 수 있다.

$$A_1 = \frac{1}{4} \left[ H(0) - H\left(\frac{1}{2}L\right) + \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ H\left(\frac{1}{8}L\right) + H\left(\frac{7}{8}L\right) - H\left(\frac{3}{8}L\right) - H\left(\frac{5}{8}L\right) \right\} \right] \dots\dots(14)$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \left[ H(0) + H\left(\frac{1}{2}L\right) - H\left(\frac{1}{4}L\right) - H\left(\frac{3}{4}L\right) \right] \dots\dots(14)$$

그 다음 式(11)에서  $B_1$  및  $B_2$ 를 求하면 다음과 같다.

$$B_1 = \frac{1}{4} \left[ H\left(\frac{1}{4}L\right) - H\left(\frac{3}{4}L\right) + \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ H\left(\frac{1}{8}L\right) + H\left(\frac{3}{8}L\right) - H\left(\frac{5}{8}L\right) - H\left(\frac{7}{8}L\right) \right\} \right] \dots\dots(15)$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \left[ H\left(\frac{1}{8}L\right) + H\left(\frac{5}{8}L\right) - H\left(\frac{3}{8}L\right) - H\left(\frac{7}{8}L\right) \right] \dots\dots(15)$$

상기의 式(13), (14), (15)를 利用하여 各 船舶에 對하여 5項까지 파라메타를 求한 結果는 Table 4와 같다.

### 3. 結果 및 考察

最小自乘法으로 決定한 實驗모델을 차물레이션한 結果와 實測值를 各 船舶별로 對比한것이 Table 5와 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8과 같다. 실험모델의 有効性을 결정하기 위하여 차물레이션한 結果를 分散分析法으로 檢定하기로 한다<sup>13)14)15)16)</sup> 測定值  $H_{(xk)}$ 와  $\hat{H}_{(xk)}$ 의 平均值  $\bar{H}$ 와의 차이를 總偏差(total deviation)라 하고 차물레이션 결과치를  $\hat{H}$ 라 하면 이 總偏差는 다음 두개의 偏差의 합으로 나타낼 수 있다.

$$H_{(xk)} - \bar{H} = \{H_{(xk)} - \hat{H}_{(xk)}\} + \{\hat{H}_{(xk)} - \bar{H}\} \quad (16)$$

式(16) 右邊의 第1項은 殘差이고 第2項은 回歸曲線에 의하여 表示되는 偏差이다. 式(16)의 兩邊을 제곱하고  $i=1, 2, 3, \dots, n$ 에 對하여 合하면 式(17)가 된다.

$$\sum \{H_{(xk)} - \bar{H}\}^2 = \sum \{H_{(xk)} - \hat{H}_{(xk)}\}^2 + \sum \{\hat{H}_{(xk)} - \bar{H}\}^2 + 2 \sum \{H_{(xk)} - \hat{H}_{(xk)}\} \{\hat{H}_{(xk)} - \bar{H}\} \dots\dots(17)$$

式(17)의 右邊 세째項은 正規方程式(3)을 利用하면 0이 되므로 다음 式(18)이 된다.

$$\sum \{H_{(xk)} - \bar{H}\}^2 = \sum \{H_{(xk)} - \hat{H}_{(xk)}\}^2 + \sum \{\hat{H}_{(xk)} - \bar{H}\}^2 \dots\dots(18)$$

式(18)의 左邊은 總제곱sum(total sum of squares)이다. 또 右邊의 첫째項은 殘差제곱sum이며 두번째項은 回歸제곱sum(regression sum of squares)이다. 右邊에서 各各의 제곱sum에 對應하는 自由度(degrees of freedom)로 나눈것이 殘差제곱平均(residual mean squares) 및 回歸제곱平均(regression mean squares)이다. 한편 檢定統計量인 F-比率(F-ratio)은 殘差제곱平均에 對한 回歸제곱平均의 比로 表示되고 決定係數(coefficient of determination)인  $R^2$ 은 總變動에 對한 回歸變動의 比로 表示된다.

式(2)에서 cosine項과 sine項을 各各 m 項만큼 취하여 重回歸모델을 構成하고 여기에 包含된 獨立變數

$$\cos \frac{2\pi}{L} xk, \cos \frac{4\pi}{L} xk, \dots, \cos \frac{2m\pi}{L} xk, \\ \sin \frac{2\pi}{L} xk, \sin \frac{4\pi}{L} xk, \dots, \sin \frac{2m\pi}{L} xk$$

關한 項이 意味를 갖는가에 對한 檢定으로서 歸無假說( $H_0$ ): ' $A_1=A_2=\dots=A_m=B_1=B_2=\dots=B_m=0$ ', 對立假說( $H_a$ ): ' $A_1, B_1$ 는 0이 아니다'로 세우고 式(18)에 따라 分散分析한 結果가 Table 6이다.

Table 6에서는

F-比率이 39.37 ~ 128.68로 F-分布에서 有意水準  $\alpha=0.01$ 인  $F(\alpha)$ 의 값 4.62 ~ 5.21보다 매우 크므로 最小自乘法으로 決定한 實驗모델은 有意水準  $\alpha=0.01$ 에서 매우 有意한 것을 알 수 있다. 또 決定係數(coefficient of determination)인  $R^2$ 이 96%~99%정도로 매우 높다. 따라서 最小自乘法으로 構成한 實驗모델은 測定值를 잘 表現하고 있다고 할 수 있다.

한편 前章에서 略算法으로 構成한 實驗모델을 事例레이션한 結果와 實測值를 各 船舶별로 對比한 것이 table 5와 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 및 Fig. 8이다. 略算式으로 構成한 實驗모델에서는 式(17)의 第3項이 0이 되지 않으므로 殘差와 回歸曲線의 偏差에 對하여 상관관계를 알기 위하여 歸無假

說( $H_0$ ): '相關係數는 0이다', 對立假說( $H_a$ ): '相關係數는 0이 아니다'란 假說을 세우고 兩側檢定한 結果가 table 7과 같다. table 7에서 相關係數의 절대치는 4척 모두 1보다 작다. 또 檢定統計量인 T는 0.2685~1.7931로 T-分布에서 有意水準  $\alpha=0.05$ 인  $T(\alpha)$ 의 값 2.086~2.120보다 작으므로 相關係數가 0이라고 看做할 수 있다. 또 共分散도 4척이 모두 0.00001554~0.00007006이므로 式(17)의 第3項을 0이라 看做하고 決定係數  $R^2$ 을 決定하였고, 最小自乘法을 適用하여 얻은 結果를 檢定한 것과 같은 方法으로 式(18)에 따라 分散分析한 結果는 Table 8과 같다. Table 8을 보면 殘差제곱 平均에 對한 回歸제곱平均의 比인 F-比率이 F-分布에서 有意水準  $\alpha=0.01$ 인  $F(\alpha)$ 보다 크므로 略算法으로 구성된 實驗모델도 最小自乘法을 適用하여 얻은 結果를 分析할 때 導入한 것과 같은 假說下에서 有意水準  $\alpha=0.01$ 에서 有意한 것을 알 수 있다. 決定係數  $R^2$ 이 90~94%로 높은 比率을 차지하고 있으므로 略算法으로 構成한 實驗모델도 實測值를 잘 表現하고 있다고 할 수 있다. 따라서 三島型船舶의 境遇 船體 周邊의 全磁場의 세기는 式(12)로 表現할 수 있다. 式(11)의 파라메타는 船體길이를 8等分하여 各 等分點의 全磁場의 세기를 決定하면 式(13), (14) 및 (15)을 利用하여 求할 수 있다.

Table 5. Observation values and simulation results

M/V HANBADA-HO				M/V YUDAL-HO				M/V BUSAN-851				M/V BUSAN-205			
Position (m)	Values of observation	Results of least-square	Results of simple method	Position (m)	values of observation	Results of least-square	Results of simple method	Position (m)	Values of observation	Results of least-square	Results of simple method	Position (m)	values of observation	Results of least-square	Results of simple method
0	0.0700	0.0790	0.0802	0	0.0990	0.1020	0.1075	0	0.1010	0.1030	0.1029	0	0.1100	0.1178	0.1260
5	0.0900	0.0819	0.0855	5	0.1120	0.1058	0.1171	3	0.1090	0.1066	0.1026	3	0.1240	0.1202	0.1299
10	0.0980	0.0986	0.1000	10	0.1300	0.1244	0.1384	6	0.1280	0.1283	0.1182	6	0.1330	0.1340	0.1409
15	0.1180	0.1181	0.1184	15	0.1400	0.1504	0.1651	9	0.1520	0.1531	0.1433	9	0.1480	0.1513	0.1529
20	0.1250	0.1308	0.1338	20	0.1760	0.1734	0.1839	12	0.1710	0.1695	0.1670	12	0.1670	0.1618	0.1590
25	0.1400	0.1340	0.1405	25	0.1880	0.1855	0.1896	15	0.1750	0.1778	0.1797	15	0.1550	0.1587	0.1551
30	0.1280	0.1292	0.1359	30	0.1800	0.1844	0.1828	18	0.1740	0.1797	0.1764	18	0.1450	0.1430	0.1414
35	0.1200	0.1186	0.1215	35	0.1770	0.1742	0.1698	21	0.1670	0.1701	0.1597	21	0.1220	0.1231	0.1228
40	0.1000	0.1037	0.1020	40	0.1650	0.1630	0.1596	24	0.1470	0.1468	0.1382	24	0.1110	0.1088	0.1065
45	0.0880	0.0883	0.0845	45	0.1600	0.1579	0.1583	27	0.1230	0.1229	0.1224	27	0.1000	0.1063	0.0996
50	0.0840	0.0791	0.0750	50	0.1550	0.1615	0.1661	30	0.1210	0.1180	0.1195	30	0.1220	0.1154	0.1056
55	0.0800	0.0812	0.0772	55	0.1690	0.1703	0.1770	33	0.1320	0.1364	0.1305	33	0.1320	0.1312	0.1231
60	0.0900	0.0939	0.0907	60	0.1770	0.1768	0.1828	36	0.1630	0.1624	0.1494	36	0.1440	0.1479	0.1462
65	0.1120	0.1109	0.1111	65	0.1850	0.1740	0.1768	39	0.1820	0.1779	0.1663	39	0.1570	0.1613	0.1669
70	0.1300	0.1264	0.1317	70	0.1530	0.1593	0.1587	42	0.1740	0.1776	0.1721	42	0.1780	0.1686	0.1780
75	0.1360	0.1381	0.1459	75	0.1320	0.1363	0.1346	45	0.1640	0.1565	0.1630	45	0.1660	0.1681	0.1766
80	0.1450	0.1460	0.1489	80	0.1180	0.1140	0.1145	48	0.1490	0.1446	0.1421	48	0.1550	0.1593	0.1642
85	0.1490	0.1474	0.1400	85	0.0990	0.1020	0.1075	51	0.1180	0.1198	0.1185	51	0.1440	0.1439	0.1470
90	0.1340	0.1380	0.1224	-	-	-	-	54	0.1030	0.1030	0.1029	54	0.1330	0.1275	0.1323
95	0.1240	0.1173	0.1022	-	-	-	-	-	-	-	-	57	0.1200	0.1178	0.1260
100	0.0920	0.0934	0.0864	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
105	0.0800	0.0790	0.0802	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

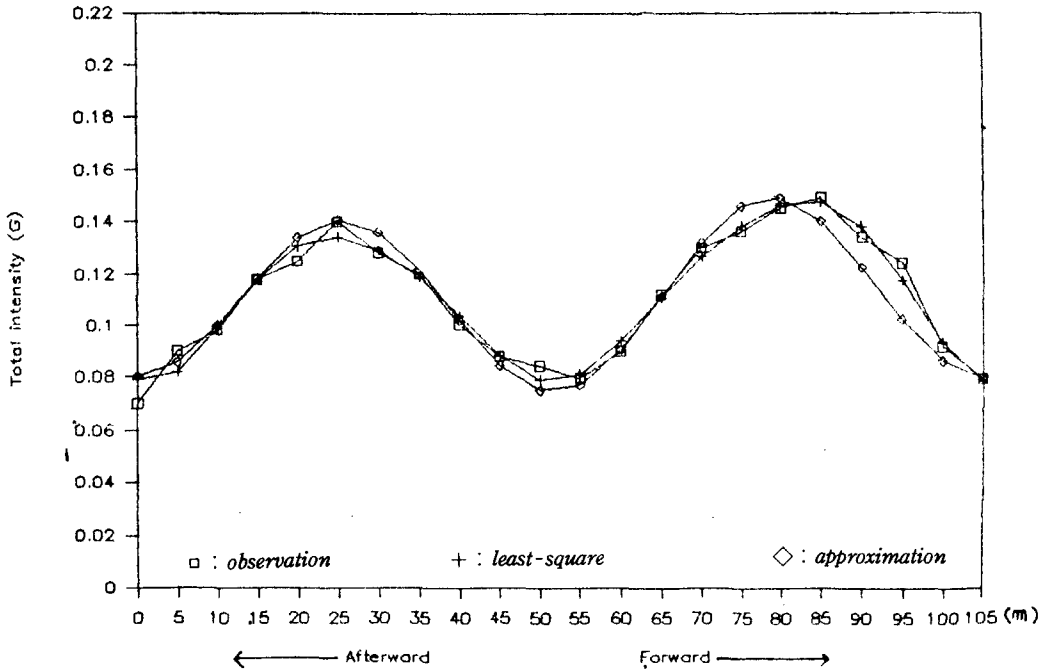


Fig. 5. Observed total intensities and simulation results for M/V HANBADA

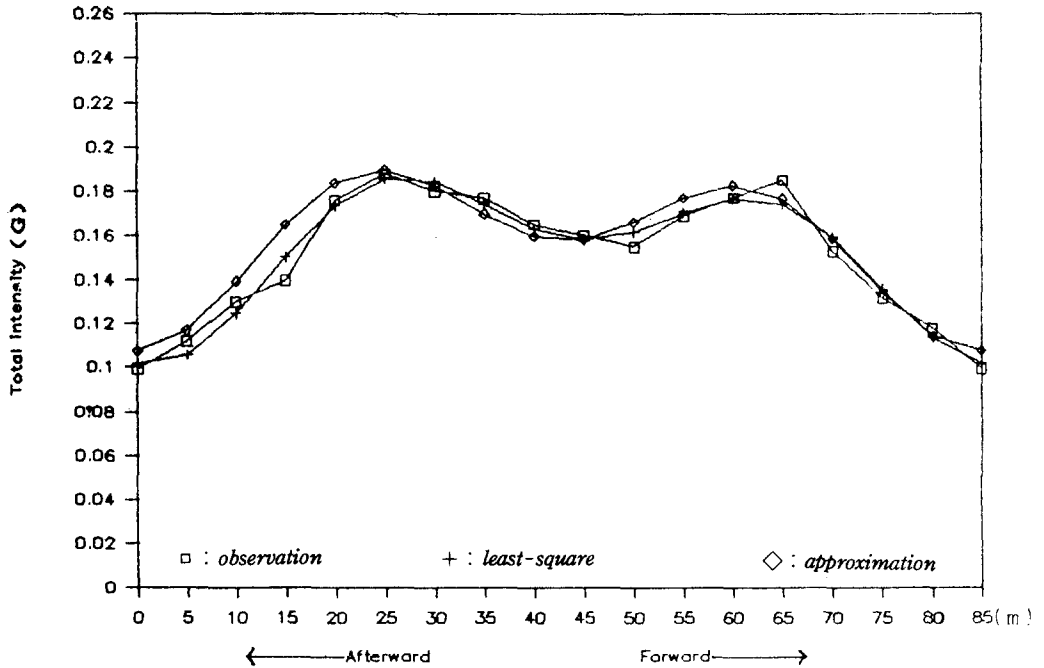


Fig. 6. Observed total intensities and simulation results for M/V YUDAL



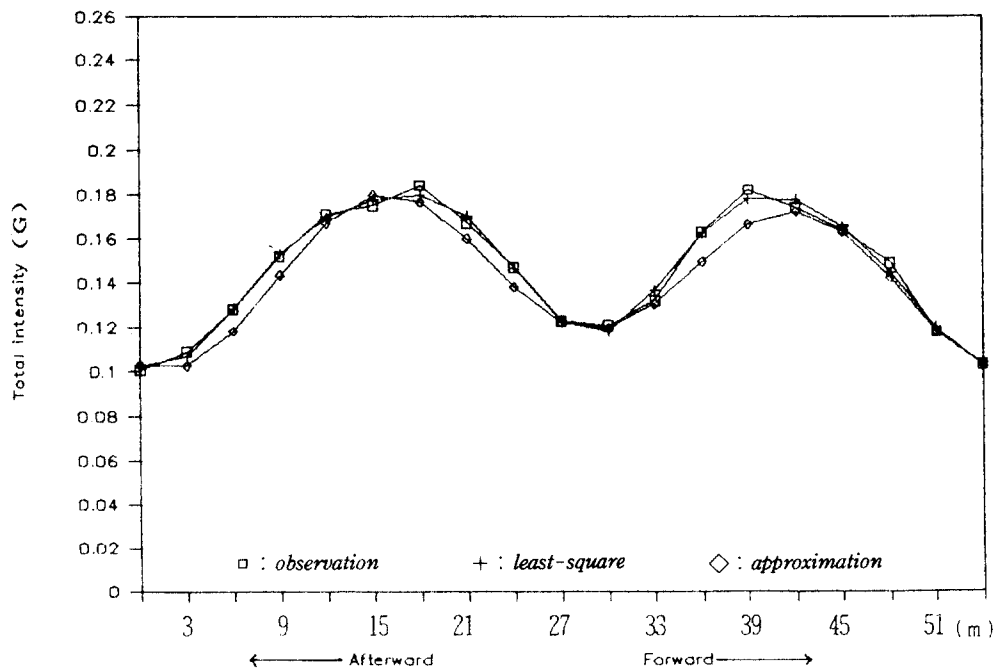


Fig. 7. Observed total intensities and simulation results for M/V BUSAN-851

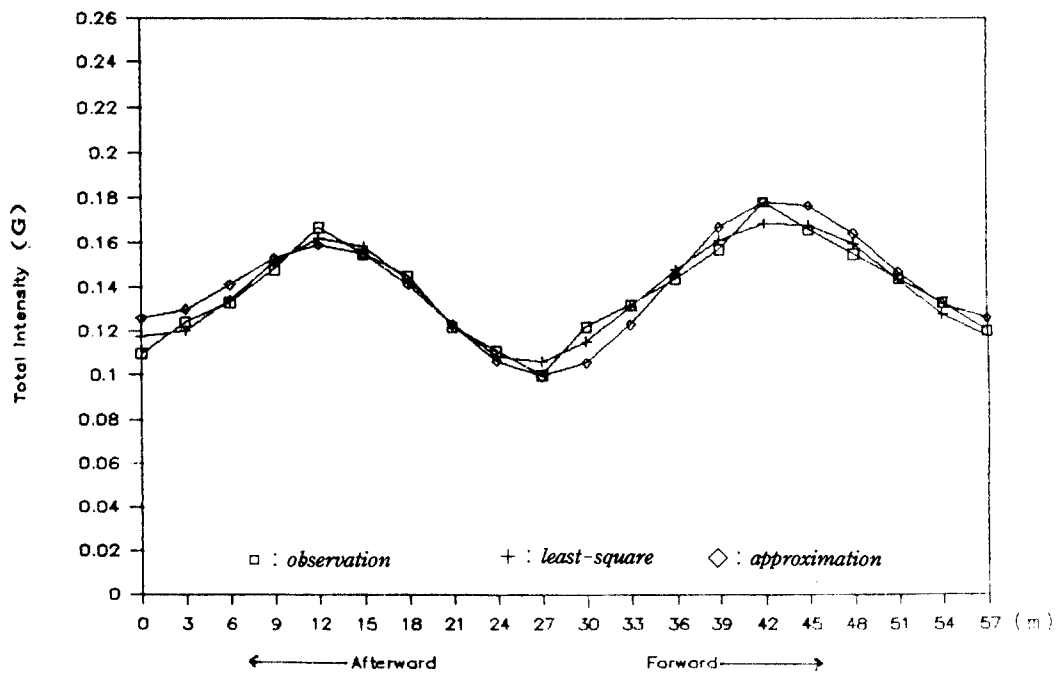


Fig. 8. Observed total intensities and simulation results for M/V BUSAN-205

Table 6. Variance analysis for respective vessel models determined by least-square method

Ship's name		HANBADA	YUDAL	BUSAN-851	BUSAN-205
No of parameter		9	5	9	7
Sum of square	Regression	0.008508	0.014424	0.013652	0.008057
	Residual	0.000270	0.000480	0.000133	0.000402
Mean of square	Regression	0.001063	0.003606	0.001707	0.001343
	Residual	0.000027	0.000037	0.000013	0.000031
Degree of freedom	Regression	8	4	8	6
	Residual	11	13	10	13
F		39.37**	97.63**	128.68**	43.46**
F (0.01)		4.74	5.21	5.06	4.62
Coefficient of determination		0.9692	0.9697	0.9904	0.9525

\*  $R^2$  : coefficient of determination (결정계수)

Table 7. Covariance, coefficient of correlation and test statistic for respective vessel models

Ship's name	HANBADA	YUDAL	BUSAN-851	BUSAN-205
Covariance	-0.0000155	0.0000169	0.0000273	-0.0000700
Coefficient of Correlation	-0.1307	0.0669	0.1451	-0.3893
T	-0.5107*	0.2685*	0.6048*	-1.7931*
T (0.05)	2.086	2.121	2.110	2.101

Table 8. Variance analysis for respective models determined by approximation method

Ship's name		HANBADA	YUDAL	BUSAN-851	BUSAN-205
No of parameter		5	5	5	5
Sum of square	Regression	0.00778	0.013592	0.012697	0.010070
	Residual	0.000465	0.013587	0.000932	0.001168
Mean of square	Regression	0.001945	0.003398	0.003174	0.002518
	Residual	0.000039	0.000107	0.000067	0.000078
Degree of free-dom	Regression	4	4	4	4
	Residual	15	13	14	15
F		50.14**	31.86**	47.66**	32.33**
F (0.01)		4.89	5.21	5.04	4.89
Coefficient of determinant (R <sup>2</sup> )		0.944	0.907	0.932	0.896

#### 4. 結 論

磁氣콤파스의 正確性和 實効性を 높이기 위한 基礎研究로서 總體的 船體磁場의 實驗 모델을 開發하였다. 實驗모델의 파라메타는 最小自乘法과 略算法으로 決定하고 最小自乘法의 境遇 파라메타의 最適數는 赤池의 情報量規準(AIC) 技法을 導入하여 決定하였다. 이와같은 課程으로 決定한 總體的 船體磁場은 實驗모델에 의한 시뮬레이션結果와 實測値를 比較 分析한 結果 本 研究가 提案한 實驗모델이 매우 有効하다는 것이 立證되었으며, 또한 本 研究가 開發한 略算法으로 求한 實驗모델에 의하면 總體的 船體磁

場의 決定은 最小한 8地點 測定만으로도 可能한 것이 立證 되었으므로 船體磁場 實測作業의 번거러움을 줄이는데 活用될 것으로 기대된다.

本 研究 結果 그 主要 內容을 要約하면 다음과 같다.

(1) 船體周圍의 全磁場 세기의 分布는 Fourier級數로 表示될 수 있고, 最小自乘法으로 파라메타를 決定한 경우 파라메타 最適數는 한바다호와 부산851호는 9개, 또 유달호, 부산205호는 각각 5개, 7개임을 알았다. 이렇게 決定한 시뮬레이션結果는 實測値와 약 96%~99%의 높은 比率로 잘 符合되고 있음을 알았다.

(2) 船體 周圍의 全磁場의 세기는 船舶길이에 對하여 週期性을 가지고 變하고 있다는 點에 着眼하여 略算法으로 實驗모델의 파라메타를 決定하는 方法을 提案하였으며 이 方法으로 決定한 實驗모델을 차물레이션한 결과도 實測值와 약 90%~93%의 比率로 잘 符合되고 있음을 알았다.

(3) 따라서 三島型船舶의 경우 그 周圍의 全磁場 세기의 分布는 Fourier級數로 5項 展開한 式(12)로 表現할 수 있으며 測定回數는 8地點으로 줄여도 無妨함을 알았다.

本 研究에서는 便宜上 三島型船舶을 測定 對象으로 하여 埠頭에서 實測하였으나 앞으로는 多樣한 形態의 船舶을 測定對象으로 하고 또 船體 上部의 適當한 높이에서 측정 結果를 土臺로 하는 實驗모델이 開發되어야 할 것이다.

### 參 考 文 獻

1. 李 相 鏞 : 기본항해기기, 아성출판사, pp. 132~138, 1982
2. 李 相 鏞 : 遠隔指示式 磁氣콤파스에 關한 研究(1), 韓國航海學會誌, 第10卷, 第1號, pp. 60~68, 1978
3. 李 相 鏞, 鄭 泰 權 : 遠隔指示式 磁氣콤파스에 關한 研究(2), 韓國航海學會誌, 第11卷, 第1號, pp. 55~60, 1988
4. 李 相 鏞, 鄭 泰 權 : 前揭書(3), p. 63

5. 孫 雲 澤(譯) : 磁氣工學, pp. 86~105, 1989
6. H. Akaike : A new look at the statistical identification model, IEEE. Trans. AC-19, pp. 716~723, 1974
7. 沼倉三郎 : 測定計算法, 森北出版株式會社, pp. 227~228, 1956
8. 奧田耕晴, 杉崎昭生 : 自差(解析)의-考察, 日本航海學會論文, 第56號, pp. 9~18, 1976
9. 前揭書(4) : pp. 716~723
10. 大津昭平 外 4人 : 海軍工學への統計モデル의 應用, 日本航海學會誌, 航海, 第101號, pp. 33~41, 1989
11. 中川徹, 小柳義夫 : 最小二乘法による 實驗データ解析, 東京大學出版社, pp. 150~155, 1982
12. 前揭書(5) : pp. 229~237, 1982
13. 近藤次郎 : 數學モデル, 丸善株式會社, pp. 72~106, 1981
14. 田口玄一 : 實驗計畫法, 丸善株式會社, pp. 994~996, 1977
15. Robert V. Hogg & Elliot A. Tanis : pobability & statistical inference, Macmillan Publishing Co, Inc, pp. 454~461, 1983
16. 金宇哲 外 7人 : 現代統計學, 英志文化社, pp. 251~255, 1988