

人爲的 地方磁氣 變動에 의한 가야호의 船體磁氣 分布特性에 관한 研究

조현정 · 신형일 · 김진건 · 김기윤

부경대학교

(1998년 2월 10일 접수)

A Study on the Characteristic of Ship's Magnetic Distribution of M. S. KAYA by the Varies of Artificial Local Disturbance

Hyeon-Jeong JO, Hyeong-Il SHIN, Jin-Kun KIM and Ki-Yun KIM

Pukyong National University

(Received February 10, 1998)

Abstract

In order to study basic information on the developed electro-magnetic compass, experiments were carried out on board M. S. KAYA at the pier of Dong Kuk Steel Mill in Pusan and the Korean southern sea using a three-axis magnetic sensor from Jan. 21, 1995 to Feb. 14, 1996.

The obtained results were as follows :

1. The amount of old metal on the pier was about 27,290tons~57, 440tons with an average of 40,560tons, the artificial local disturbance at the pier was min. $27.1\mu T$, max. $66.5\mu T$, ave. $43.3\mu T$ for the horizontal component and min. $-27.0\mu T$, max. $45.1\mu T$, ave. $3.7\mu T$ for the vertical component. Its direction of horizontal component was 305° with the ship's head up bearing at 225° .

2. The ship's magnetic distribution on the starboard side on berthing at the pier was $17.4\mu T$ for the horizontal component and $-6.2\mu T$ for the vertical component. On the ship's port side, it was $19.8\mu T$ for the horizontal component and $4.1\mu T$ for the vertical component. On the ship's starboard side at sea, the ship's magnetic distribution was $19.2\mu T$ for the horizontal component and $3.2\mu T$ for the vertical component. On the ship's port side, the readings were $22.0\mu T$ for the horizontal component and $-1.8\mu T$ for the vertical component. The directions of these readings were nearly starboard side.

3. On the pier, the secular change of the artificial local disturbance decreased $8.3\mu T$ from $61.0\mu T$ to $52.7\mu T$ for the horizontal component and decreased $7.1\mu T$ from $8.9\mu T$ to $1.8\mu T$ for the vertical component. On the starboard side from its berth, the ship's magnetic distribution increased $2.6\mu T$ from $14.8\mu T$ to $17.4\mu T$ for the horizontal component and increased $-0.1\mu T$ from $-6.1\mu T$ to $-6.2\mu T$ for the vertical component. On the ship's port side from its berth, it increased

7.1 μT from 12.7 μT to 19.8 μT for the horizontal component and increased 10.2 μT from -6.1 μT to 4.1 μT for the vertical component.

4. While at sea, on the ship's starboard side, the secular change of the ship's magnetic distribution increased 3.9 μT from 15.3 μT to 19.2 μT for the horizontal component and increased 2.0 μT from -5.2 μT to -3.2 μT for the vertical component. On the port side, the changes increased 11.4 μT from 10.6 μT to 22.0 μT for the horizontal component and increased 4.9 μT from -6.7 μT to -1.8 μT for the vertical component. Upon berthing at the pier, the deviation of the secular change increased westerly 1° W ~ 2.5° W from 3.5° W ~ 5° W to 6° W with the ship's head up bearing at 225°. While at sea, these increased westerly 2° ~ 3° from the Northeast to the South and increased easterly 1° ~ 8° from the Southwest to the North.

5. While at port, within 1 mile between the ship and berth of the pier, as we approached the pier, the westerly deviation increased and when we departed the pier easterly deviation increased. When approaching the pier, the deviation was smaller than the deviation when the ship was departing from the pier. When approaching the bearing at 225° with the ship's head up bearing, the varies of deviation was smaller than the varies when the ship's head up bearing was departing from it.

서 론

조선 기술의 발달에 따라 자동 제어 기술과 디지털 회로 기술에 의한 자료와 정보의 집성이 이루어지고, 기기 상호간의 디지털 신호에 의한 정보의 교환과 집중 표시화가 계속 진전되면서 재래식 자기컴퍼스의 특성을 유지하며 문제점을 보완하여 소형화, 고기능화, 고성능화 및 방위 정보 정도의 향상을 도모할 수 있는 방안으로 電子 磁氣 컴퍼스가 개발되어 실용화 단계에 이르게 되었다.

전자 자기컴퍼스는 재래식 자기컴퍼스와 같이 자차 수정용구에 의하지 않고 3軸 磁氣檢出素子를 이용하여 3축 방향에 대한 地磁氣의 각 성분을 구하여 선수방위를 산출하므로, 선박에 장착시 선내 자장에 의한 영향을 최소화하고 정밀도를 향상시키기 위하여 선내자장의 수평분력과 수직분력의 자기를 측정하여 선체 3축방향의 영구자기 및 유도자기 성분의 각 분력에 대한 매개변수를 구하고, 自差와 自差係數에 대한 일정한 값을 유도해 내어, 소프트웨어적으로 자동 자차수정이 가능할 수 있도록 하는 것에 대한 연구가 진행되고 있다^{2~4)}.

전자 자기컴퍼스도 재래식 자기컴퍼스와 같이 선체 철재와 각종 전자 계기등에 의한 자기의 영

향이 가장 적은 곳에 설치해야 하고, 지자기 수평 분력이 미약한 지역이나 국지적인 지방자기의 영향을 받는 연안과 변침이 빈번한 항구나 연안에서 선박의 대각도 선회나 악천후로 인한 선박의 요동 시에도 기준 컴퍼스로서의 기능을 갖추어야 한다.

따라서, 기기 상호간에 신뢰성이 있는 정보의 교류를 가능하게 하고 보다 더 안정되게 지북력을 유지시키기 위하여, 자기컴퍼스에 영향을 미치는 선내자장을 파악하고 이와 아울러 국지적인 지방 자기의 변동에 의한 선내자장의 영향을 분석함으로써, 선체의 변화 및 주변 환경의 변화에 대한 자기변동을 예측하고, 이것을 소프트웨어화 할 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 전자 자기컴퍼스의 성능 향상을 위한 기초 자료를 제공코자 1995년 1월 21일부터 1996년 2월 14일까지의 기간동안 고철을 야적하고 있는 동국제강 안벽(Lat. 35° 07' .7N, Long. 129° 07' .1E)에 접안 계류한 부경대학교 실습선 가야호에서 선체자기를 3축 자기검출소자로써 측정하여 인위적 지방자기가 선체자기 분포에 미치는 영향에 대하여 분석, 검토하였다.

장치 및 방법

1. 측정장치 및 시험선

선내자장 측정에 사용된 자기검출소자는 MAG-03MC(Bartington) 3軸 固定型 磁氣檢出素子였고, 실험에 사용한 선박과 선형은, 부경대학교 실습선 가야호(GT 1737ton)로서 長船首樓型 3층 갑판선이며, 그 제원은 각각 Table 1, 2와 같다.

Table 1. Specification of the three axis magnetic field sensor

Item	Specification
Sensor type	3 orthogonal sensing elements
Measuring range	$\pm 100 \mu T$
Linearity	0.02%
Dynamic range	94dB
Bandwidth	dc to -3dB at 1kHz, maximally flat, -12dB/octave roll off beyond 1kHz
Calibration accuracy	$\pm 1\%$
Operation Temperature range	-20℃ to +85℃
Output scaling	10 $\mu T/V$

Table 2. Principal particulars of the M.S. KAYA

Item	Specification
Length(L.O.A.)	81.70m
Breadth(M.L.D.)	13.20m
Depth(M.L.D.)	8.00m
Gross tonnage	1737.00ton
Main engine	2976ps \times 250r.p.m.
Speed(MAX.)	14.85knots
Steel cut	1991. 6. 1
Keel laid	1991. 7. 1
Launched	1992. 11. 14
Delivered	1993. 9. 7

2. 선체자기의 산출이론

3축 자기검출소자로 측정되는 선내자장은 3축 방향에 형성된 선체자기와 지구자장의 합성으로 이루어진 것이기 때문에 측정된 선내자장으로부터 선체 3축방향에 대한 지자기의 각 성분을 제거한 값이 선체자기가 되며, 그 상호관계는 Fig.1에 나타낸 것과 같이 선수미 방향을 x축, 좌우현 횡 방향을 y축, 상하 연직방향을 z축이라 했을 때, 선체

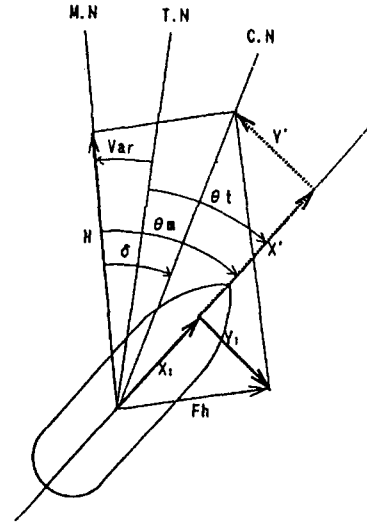


Fig. 1. Geometrical relations between geomagnetism and ship's magnetism.

M. N : Magnetic north. T. N : True north.
 C. N : Compass north. θ_t : True course.
 θ_m : Magnetic course. Var. : Variation. δ : Deviation.
 H : Horizontal component of geomagnetic field.
 X_1, Y_1 : x, y axis component of ship's magnetic field.
 X', Y' : x, y axis component of total magnetic field.
 F_h : Horizontal component of ship's magnetic field.

3축방향에 만들어진 선체자기의 분력을 각각 X_1, Y_1, Z_1 이라 하면, 이 때 x축, y축에 만들어진 선체자기의 수평분력(F_H)과 全磁力(F)은 각각 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F_H = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2} \quad (1)$$

$$F = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2} \quad (2)$$

여기서, 지자기의 수평분력을 H, 수직분력을 V 라 하면, x, y, z축 방향에 대한 선수미 방향의 지자기 분력 X, 좌우현 정횡방향의 지자기 분력 Y, 상하 연직방향의 지자기 분력 Z는

$$\begin{aligned} X &= H \cos \theta_m \\ Y &= -H \sin \theta_m \\ Z &= V = H \tan \beta \end{aligned} \quad (3)$$

가 되며, 여기서 θ_m 은 선수 자기방위이며, β 는 측정위치의 지자기의 伏角(Dip)이다. 또한, 선체의 3축방향에 형성된 선체자기와 지자기의 합성자계

인 선내자장의 측정치를 각각 X' , Y' , Z' 라 하면

$$\begin{aligned} X' &= X + X_1 \\ Y' &= Y + Y_1 \\ Z' &= Z + Z_1 \end{aligned} \quad (4)$$

가 되고, 따라서, 선체자기의 각 분력 X_1 , Y_1 , Z_1 은 아래와 같이 된다.

$$\begin{aligned} X_1 &= X' - H \cos\theta m \\ Y_1 &= Y' + H \sin\theta m \\ Z_1 &= Z' - H \tan\beta \end{aligned} \quad (5)$$

3. 측정방법

선내자장의 측정은 1995년 1월 21일부터 1996년 2월 14일까지의 기간동안 부경대학교 실습선 가야호가 계류되어 있는 부산항 동국제강 안벽과 거제도 동쪽 해상에서 실시하였으며, 측정지점의

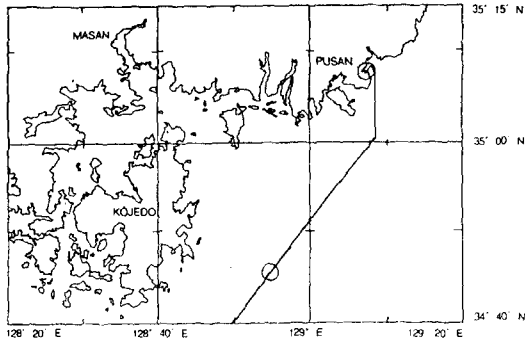


Fig. 2. Location of Dong Kuk Steel Mill pier and the trial experiment on the sea.

Table 3. Position and the elements of geomagnetism by the measured place of ship's magnetic fields

	On berthing	On the sea
Lat.	35° 07.7' N	34° 45.7' N
Long.	129° 07.1' E	128° 54.6' E
T. bearing	215°	215°
Var.	7.0° W	7.0° W
Dip	49.5° N	49.0° N
Horizontal force(H)	30.3 μT	30.8 μT
Vertical force(V)	35.5 μT	35.4 μT

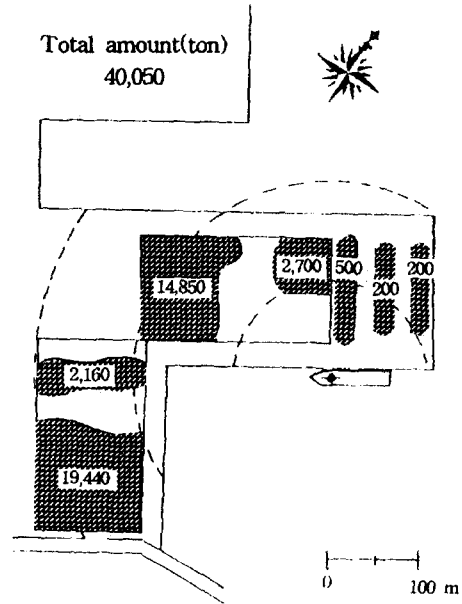


Fig. 3. Schematic distribution of old metal amounts and ship's location at the pier of Dong Kuk Steel Mill.

--- : euidistance from the position of the ship's magnetic compass

■ : old metals

위치와 측정지점에 있어서의 地磁氣의 주요 요소는 각각 Fig. 2, Fig.3 및 Table 3과 같다.

부산항 동국제강 부두의 자기적 환경의 변화를 파악하기 위하여 부두에 야적된 철재의 총량을 구하고, 가야호가 이 부두 안벽에 계류된 상태에서 선체 주변의 철재량 변동에 대한 부두와 해상에서 선체의 자기적 환경을 3축 자기검출소자를 사용하여 측정하였다.

동국제강 부두는 총 23만평의 매립부지 위에 철강 생산 공장과 고철 야적장, 고철선 해체용 부두로 이루어져 있으며, 원자재용 고철은 부두의 야적장에 산적한 후 철강제품 생산에 사용한다. 야적장은 약 90,000톤의 고철을 보관 할 수 있으며, 1일 고철 최대 소모량은 약 3,500톤이며, 여기에서 약 2,000톤 정도가 재생산된다. 가야호는 1993년 9월에 취항한 이후 1994년 4월까지 인근 용호 부두를 계류지로 사용하다가, 1994년 5월부터 이 부두를 접안 계류지로 사용하고 있으며, 1996년도 부터 시작된 광안대교 공사용 각종 시설물과 자재

가 부두에 반입되어 있다. 3축 자기검출소자에 의한 측정방법은 부두에서는 선체가 우현 접안하고 있는 상태에서 선체중앙부 우현외측으로부터 20m 떨어진 육지에서 선수정황으로부터 선미정황까지, 측정점의 높이는 1.5m, 측정점 사이의 간격은 2m로 하여 측정하였고, 선박에서는 上甲板(upper deck)상에서는 1.0m, 船首樓甲板(Forecastle deck), 船橋甲板(Nav. Bri. deck) 및 컴퍼스甲板(Compass deck)상에서는 측정점의 높이를 1.5m, 각 측정점 사이의 간격은 모두 부두에서와 같이 2m로 하였다.

또, 각 측정점에서의 3축 자기검출소자의 설치 방향은, 부두에서는 X축을 磁北방향, Y축을 磁東 방향이 되게 수평으로 유지하고, Z축은 연직방향이 되도록 하였으며, 선박에서는 X축을 선수미 방향, Y축을 좌우현 방향이 되게 수평으로 유지하고, Z축은 연직방향이 되도록 하였으며 각 측정점에서의 선내자장으로부터 구한 선체자기의 크기와 방

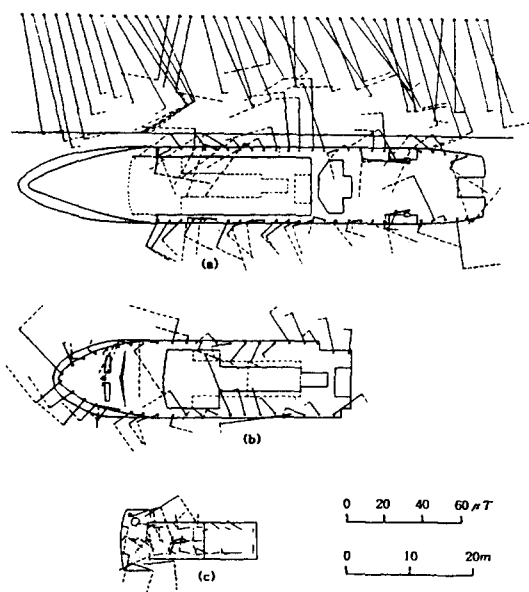


Fig. 4. Schematic distribution of the local magnetism on the pier of Dong Kuk Steel Mill and the ship's magnetism on the upper deck(a), the forecastle deck(b), and the compass deck(c) respectively.

— : horizontal component, ... : vertical component

향은 선수방향을 기준으로 하여 벡터로 나타내었다(Fig. 4).

자기의 수평성분 벡터의 크기와 방향은 실선으로 나타내었으며, 수직성분 벡터는 실선의 끝에서부터 (+)일 때는 오른쪽에, (-)일 때는 왼쪽에 점선으로 표시하여 나타내었다. 또, 측정 지역별, 측정 시기별 비교를 위하여 그래프에서는 마크가 있는 실선과 점선으로 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 부두의 자기 환경과 선체의 자기 분포

1) 철재량의 변동과 자차의 변화

부두의 자기적 환경을 파악하기 위하여 1995년 1월 21일부터 1996년 2월 14일까지의 기간동안 철재량의 변동과 선수방향의 자차를 측정된 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5에서 나타난 것과 같이 철재의 총량은 27,290톤에서 57,440톤까지 변하고 있으며 철재량이 없는 기간의 자차량은 해상에서 측정된 각 방향의 자차중 부두에 접안 계류중일때의 선수방향과 같은 방향의 자차이다. 각 측정 시점에서의 자차는 3° E ~ 6° W로 나타났으며, 안벽에 계류된 상태에서 측정된 경우에는 3° W ~ 6° W로 나타났고, 해상에서 측정된 경우에는 2° W ~ 3° E로 나타

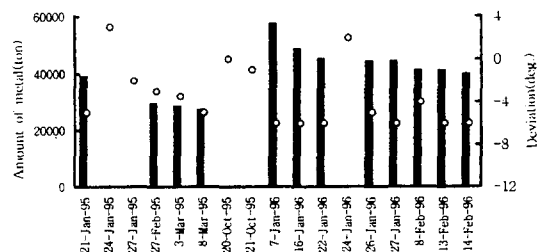


Fig. 5. Deviation and amount of old metal on the pier of Dong Kuk Steel Mill from Jan. 21, 1995 to Feb. 14, 1996.

○ : deviation

나 측정지역에 따라 차이를 보였다. 부두에서의 철재 변동량에 대한 자차의 변화는 대체로 1995년 1월~3월 사이에는 3.5° W~ 5° W까지 불안정한 상태를 보였으나, 1996년 1월~2월 사이에는 철재량의 변동이 많은데도 6° W 부근에서 안정되어 있는 것으로 나타나 측정선박이 선체 주변의 자기적 환경에 장기간 영향을 받으면서 선체의 자기가 안정되어 있는 것으로 보인다.

2) 지방자기와 선체자기 분포의 변화

선체와 부두 사이의 자기적 환경을 파악하기 위하여 1996년 2월 14일, 부두에서 측정한 지방자기와 측정 선박의 구조가 장선수루형 3층 갑판선으로 상갑판상의 선수측 선원 거주구역에서는 측정이 불가능하여 선수루 갑판상에서 측정한 선체자기를 함께 나타낸 결과는 Fig.6과 같다.

(1) 부두에서의 지방자기 분포

Fig. 6에서 나타낸 것과 같이 철재의 총량은 40,050톤이고 자차가 6° W일 때 부두의 인위적 지방자기 수평분력의 최소치는 26.4 μT , 최대치는 76.3 μT , 평균치는 52.7 μT 였으며, 수직분력의 최소치는 -27.9 μT , 최대치는 38.7 μT , 평균치는 1.4 μT 였다. 수평분력의 방향은 선박의 선수방향인 225°를 기준으로 할 때 231°~ 283°사이로 대체로 250° 즉, 부두에서 선박 쪽으로 나타났다. 부두에서의 지방자기의 수평분력이 30.3 μT , 수직분력이 35.5 μT , 자북방향이 선수방향에서 138°인 것과 비교하면 철재에 의해 부두에서의 인위적 지방자기 수평분력은 1.74배 증가하였고, 수직분력은

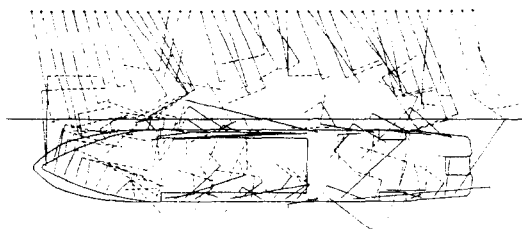


Fig. 6. Schematic distribution of the local magnetism and ship's magnetism at the pier of Dong Kuk Steel Mill.
 - : horizontal component, ... : vertical component.

96% 반대방향으로 역전된 것으로 나타났다.

(2) 선체의 자기 분포

Fig. 7(a)~(c)는 1996년 2월 14일에 부두에서 측정한 지방자기와 해상에서 측정한 선체자기의 수평분력과 수직분력의 크기와 방향을 선체의 우현측과 좌현측으로 구분하여 나타낸 것으로, (a)는 수평분력의 크기, (b)는 수직분력의 크기, (c)는 수평분력의 방향을 나타내었다. Fig. 7(a)에서 나타낸 것과 같이 선체자기의 수평분력은 우현측의 경우에 최소치 3.0 μT , 최대치 60.9 μT , 평균치 19.7 μT 였으며, 좌현측에서는 최소치 2.6 μT , 최대치 80.3 μT , 평균치 20.9 μT 로 선체자기의 수평분력은 우현측이 좌현측보다 평균 1.2 μT 정도 낮은 것으로 나타났다. Fig. 7(b)에서 나타낸 것과 같이 선체자기의 수직분력은 우현측의 경우 최소치 -17.8 μT , 최대치 17.0 μT , 평균치 -2.6 μT 였으

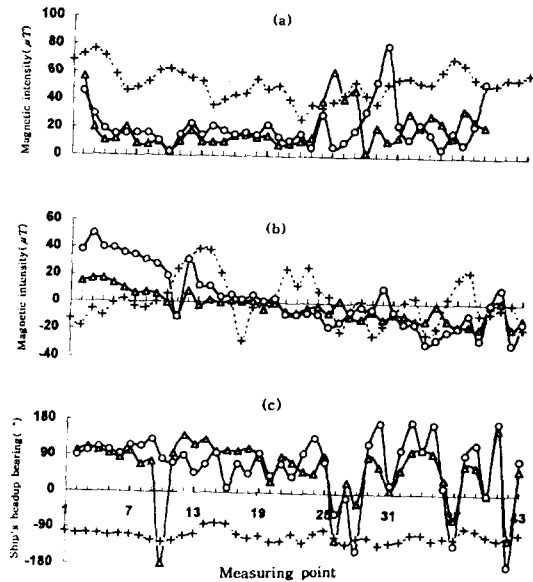


Fig. 7. Local magnetism on the pier and ship's magnetism on the berthing at the pier of Dong Kuk Steel Mill on Feb. 14, 1996.

- (a) Horizontal component
- (b) Vertical component
- (c) Direction of horizontal component
- + : pier, ---△--- : ship's starboard side,
- : ship's port side

며, 좌현측의 경우 최소치 $-29.1\mu T$, 최대치 $50.2\mu T$, 평균치 $2.9\mu T$ 로 선체자기의 수직분력은 우현측이 좌현측보다 $5.5\mu T$ 정도 낮은 것으로 나타났다. Fig. 7(c)에서 나타난 것과 같이 선체자기 수평분력의 방향은 대체로 우현 정황으로 향하고 있으며, 방향이 일정하고 고르게 분포하는 곳은 우현측에서는 선수부와 선체 중앙부였고, 좌현측에서는 선수부였으며, 선미부에서는 좌우현측 모두 분산되고 있는 것으로 나타났다.

(3) 부두의 자기적 환경

1995년 1월 21일부터 1996년 2월 14일까지의 기간동안 부두의 자기변화를 측정 지점별로 정리하여 평균한 결과는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 나타난 것과 같이 수평분력의 최소치는 $27.1\mu T$, 최대치는 $66.5\mu T$, 평균치는 $43.3\mu T$ 였으며, 수직분력의 최소치는 $-27.0\mu T$, 최대치는 $45.1\mu T$, 평균치는 $3.7\mu T$ 였다. 수평분력의 방향은 선박의 선수방향인 225° 를 기준으로 할 때 $242^\circ \sim 37^\circ$, 대체로 305° 즉, 선체 중앙부를 제외하고는 부두에서 선박 쪽으로 향하고 있는 것으로 나타났다. 이것을 지자기의 각 분력과 비교해 보면 평균적으로 부두에서의 인위적인 지방자기 수평분력은 1.43배 증가하였고, 수직분력은 90% 반대방향으로 역전된 것으로 나타났다.

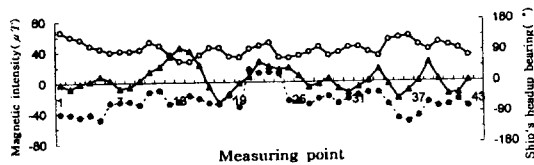


Fig. 8. Local magnetism on the pier of Dong Kuk Steel Mill from Jan. 21, 1995 to Feb. 14, 1996.

—○— : horizontal component,
 —△— : vertical component.
 ...●... : direction of horizontal component by ship's head up bearing.

2. 부두와 해상에서의 선체자기 분포

부두 안벽에 계류된 상태에서 선체 주변의 철재량 변동에 의한 선체의 자기적 환경의 변화를 파악하기 위하여 부두와 해상에서의 자기 분포를 표시

하면 Fig. 9(a)~(c)와 같다. Fig. 9(a)~(c)는 1996년 1월 22일~24일 사이에 부두와 해상에서 측정된 선체자기의 수평분력과 수직분력의 크기와 방향을 선체의 우현측과 좌현측으로 구분하여 나타낸 것으로, (a)는 수평분력의 크기, (b)는 수직분력의 크기, (c)는 수평분력의 방향을 나타내었다.

1) 부두의 자기 분포

Fig. 9(a)~(c)에서 나타난 것과 같이 철재의 총량이 45,150톤이고 자차가 $6^\circ W$ 일 때 부두에서의 지방자기 수평분력의 최소치는 $24.0\mu T$, 최대치는 $77.6\mu T$, 평균치는 $52.4\mu T$ 였으며, 수직분력의 최소치는 $-29.1\mu T$, 최대치는 $44.2\mu T$, 평균치는 $1.7\mu T$ 였다. 수평분력의 방향은 선박의 선수방향인 225° 를 기준으로 할 때 $228^\circ \sim 280^\circ$ 사이로 대체로 250° 즉, 부두에서 선박 쪽으로 향하고 있는

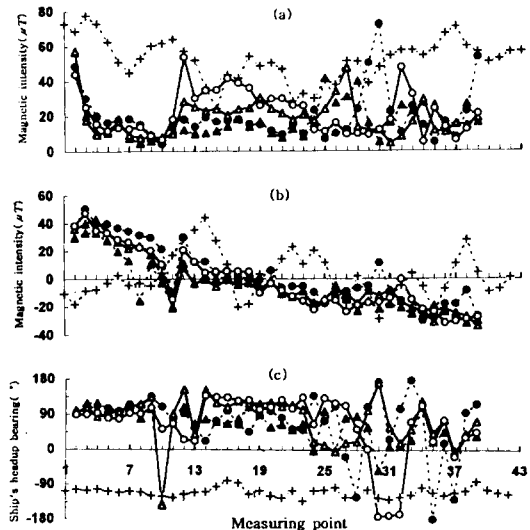


Fig. 9. Local magnetism on the pier and ship's magnetism on the berthing at the pier and the sailing on the sea.

(a) Horizontal component.
 (b) Vertical component.
 (c) Direction of horizontal component.
 ...+... : local magnetism on the pier
 —▲— : starboard side on the berthing
 —●— : port side on the berthing
 —△— : starboard side on the sailing
 —○— : port side on the sailing

것으로 나타났다. 부두에서의 지자기의 수평분력이 $30.3\mu T$, 수직분력이 $35.5\mu T$ 자북방향이 선수 방향에서 138° 인 것과 비교하면 철재에 의해 부두에서의 인위적인 지방자기가 수평분력은 1.73배 증가하였고, 수직분력은 90% 반대방향으로 역전된 것으로 나타났다.

2) 선체의 자기 분포

Fig. 9(a)에서 나타낸 것과 같이 안벽 계류중 선체 우현측에서의 수평분력의 최소치는 $4.5\mu T$, 최대치는 $56.6\mu T$, 평균치는 $17.4\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $4.1\mu T$, 최대치는 $72.5\mu T$, 평균치는 $19.8\mu T$ 였고, 해상에서 측정한 선체 우현측에서의 수평분력의 최소치는 $4.3\mu T$, 최대치는 $57.2\mu T$, 평균치는 $19.2\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $5.1\mu T$, 최대치는 $53.6\mu T$, 평균치는 $22.0\mu T$ 로 나타나 안벽 계류 중에는 우현측이 좌현측보다 $2.4\mu T$, 해상에서는 $2.8\mu T$ 더 낮은 것으로 나타났다. Fig. 9(b)에서 나타낸 것과 같이 안벽 계류중 선체 우현측에서의 수직분력의 최소치는 $-32.3\mu T$, 최대치는 $33.3\mu T$, 평균치는 $-6.2\mu T$ 였으며, 좌현측에서는 최소치가 $-30.2\mu T$, 최대치는 $50.7\mu T$, 평균치는 $4.1\mu T$ 였고, 해상에서 측정한 선체 우현측에서의 수직분력 최소치는 $-34.2\mu T$, 최대치는 $42.9\mu T$, 평균치는 $3.2\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $-31.9\mu T$, 최대치는 $47.6\mu T$, 평균치는 $-1.8\mu T$ 로 나타나 우현이 좌현보다 안벽 계류 중에는 $10.3\mu T$, 해상에서는 $1.4\mu T$ 더 낮은 것으로 나타났다. Fig. 9(c)에서 나타낸 것과 같이 부두 안벽 계류중 선체의 수평분력의 방향은 대체로 선수부와 중앙부에서는 우현 정황으로 향하고 있으며 선미부에서는 좌우로 분산되는 경향을 보이고 있고, 특히 좌현측에서의 방향 변화가 크게 나타났다. 해상에서 측정한 선체의 수평분력의 방향은 대체로 선수부와 중앙부에서는 우현으로 향하고 있으며 선미부에서는 좌우로 크게 분산되는 경향을 보였다.

3. 측정 위치별 선체자기의 연간 변화

선체 주변의 지방자기 변동에 의한 선체의 자기 변화를 파악하기 위하여 부두와 해상에서 1년 간격으로 측정된 결과를 정리하여 각 측정 위치에서

의 선체자기 변화를 비교하여 보았다.

1) 부두의 자기 변화

Fig. 10(a)~(c)는 1995년 2월 27일과 1996년 2월 14일에 측정한 부두에서의 지방자기의 수평분력과 수직분력의 크기와 방향을 나타낸 것으로 (a)는 수평분력의 크기, (b)는 수직분력의 크기, (c)는 수평분력의 방향을 나타내었다.

Fig. 10(a)~(c)에서 나타낸 것과 같이 부두에서 1995년 2월 27일의 수평분력 최소치는 $19.2\mu T$, 최대치는 $108.8\mu T$, 평균치는 $61.0\mu T$ 였으며, 1996년 2월 14일의 최소치는 $26.4\mu T$, 최대치는 $76.3\mu T$, 평균치는 $52.7\mu T$ 였고, 수직분력은 1995년 2월 27일의 최소치가 $-38.5\mu T$, 최대치는 $62.8\mu T$, 평균치는 $8.9\mu T$ 였으며, 1996년 2월 14일의 최소치는 $-27.9\mu T$, 최대치는 $38.7\mu T$, 평균치는 $1.8\mu T$ 였고, 수평분력의 방향은 선박의 선수방향인 225° 를 기준으로 할 때 1995년 2월 27일의 경우 $231^\circ \sim 283^\circ$ 사이로 대체로 250° , 1996년 2

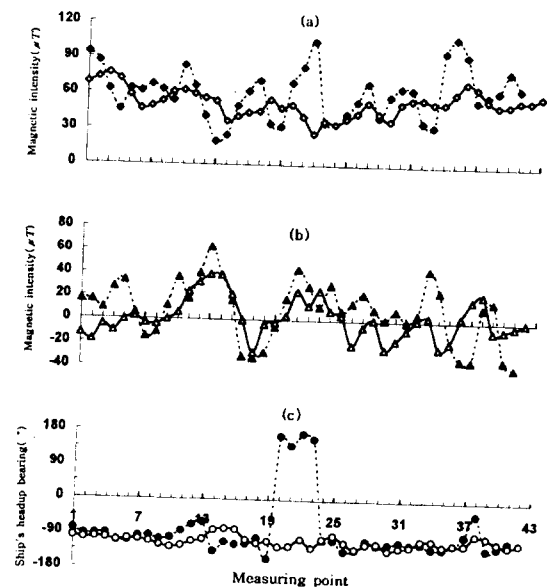


Fig. 10. Local magnetism on the pier of Dong Kuk Steel Mill on Feb. 27, 1995 and Feb. 14, 1996.

(a) Horizontal component

(b) Vertical component

(c) Direction of horizontal component

—◆— : H., —▲— : V., —●— : D. (Feb. 27, 1995)

- -○- - : H., - -△- - : V., - -○- - : D. (Feb. 14, 1996)

월 14일의 경우 $186^{\circ} \sim 206^{\circ}$ 사이로 대체로 280° 즉, 부두에서 선박 쪽으로 나타났다.

위의 결과를 비교하면 철재에 의해 부두에서의 인위적인 지방자기가 1년간 평균적으로 수평분력은 $8.3\mu T$, 수직분력은 $7.1\mu T$ 감소한 것으로 나타났다.

2) 안벽 계류중 선체자기의 변화

Fig. 11(a)~(c)는 1995년 1월 21일과 1996년 1월 22일에 안벽에서 측정한 선체자기의 수평분력과 수직분력의 크기와 방향을 나타낸 것으로, (a)는 수평분력의 크기, (b)는 수직분력의 크기, (c)는 수평분력의 방향을 나타내었다.

Fig. 11(a)에서 나타낸 것과 같이 안벽 계류중 1995년 1월 21일에 선체 우현측에서의 수평분력의 최소치는 $2.7\mu T$, 최대치는 $40.1\mu T$, 평균치는 $14.8\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $1.7\mu T$, 최대치는 $28.3\mu T$, 평균치는 $12.7\mu T$ 였고, 1996년 1월 22일에 측정한 선체 우현측에서의 수평분력의 최소치는 $4.5\mu T$, 최대치는 $56.6\mu T$, 평균치는 $17.4\mu T$ 였고, 좌현측에서는 최소치 $4.1\mu T$, 최대치 $72.5\mu T$, 평균치는 $19.8\mu T$ 로 나타나, 안벽 계류중 선체자기의 수평분력은 1년간 평균적으로 우현측에서는 $2.6\mu T$, 좌현측에서는 $7.1\mu T$ 증가한 것으로 나타났다.

Fig. 11(b)에서 나타낸 것과 같이 안벽 계류중 1995년 1월 21일에 선체 우현측에서의 수직분력의 최소치는 $-18.6\mu T$, 최대치는 $9.4\mu T$, 평균치는 $-6.1\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $-26.6\mu T$, 최대치는 $27.5\mu T$, 평균치는 $-6.1\mu T$ 였고, 1996년 1월 22일에 측정한 선체 우현측에서의 수직분력의 최소치는 $-32.3\mu T$, 최대치는 $33.3\mu T$, 평균치는 $-6.2\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $-30.2\mu T$, 최대치는 $50.7\mu T$, 평균치는 $4.1\mu T$ 로 나타나, 안벽 계류중 선체자기의 수직분력은 1년간 평균적으로 우현측에서는 $-0.1\mu T$ 증가하는데 그쳤고, 좌현측에서는 $10.2\mu T$ 증가한 것으로 나타나 대조를 보였다.

Fig. 11(c)에서 나타낸 것과 같이 안벽 계류중 선체자기의 수평분력 방향은 선수방향인 225° 를 기준으로 할 때, 1995년 1월 21일의 경우, 우현측은 050° , 좌현측은 075° 였으며, 1996년 1월 22일의 경우, 우현측에서는 060° , 좌현측은 070° 로 나타나

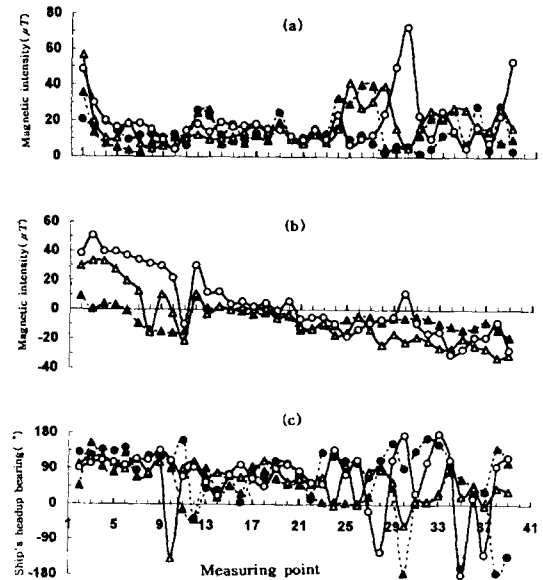


Fig. 11. Ship's magnetism on the berthing at the pier of Dong Kuk Steel Mill on Jan. 21, 1995 and Jan. 22, 1996.

(a) Horizontal component.

(b) Vertical component.

(c) Direction of horizontal component.

—▲— : starboard side, —○— : port side (Jan. 21, 1995)

—△— : starboard side, —○— : port side (Jan. 22, 1996)

대체로 선수 우현방향으로 향하고 있음을 보였다.

3) 해상에서의 선체자기 변화

Fig. 12(a)~(c)는 1995년 1월 21일과 1996년 1월 22일에 해상에서 측정한 선체자기의 수평분력과 수직분력의 크기와 방향을 나타낸 것으로, (a)는 수평분력의 크기, (b)는 수직분력의 크기, (c)는 수평분력의 방향을 나타내었다. Fig. 12(a)에서 나타낸 것과 같이 해상에서 1995년 1월 21일에 측정한 선체 우현측에서의 수평분력 최소치는 $5.8\mu T$, 최대치는 $30.1\mu T$, 평균치는 $15.3\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $1.3\mu T$, 최대치는 $49.0\mu T$, 평균치는 $10.6\mu T$ 였고, 1996년 1월 22일에 측정한 선체 우현측에서의 수평분력 최소치는 $4.3\mu T$, 최대치 $57.2\mu T$, 평균치 $19.2\mu T$ 였고, 좌현측의 최소치는 $5.1\mu T$, 최대치는 $53.6\mu T$, 평균치는 $22.0\mu T$

로 나타나, 1년간 선체자기의 수평분력은 평균적으로 우현측에서는 $3.9\mu T$, 좌현측에서는 $11.4\mu T$ 증가한 것으로 나타났다.

Fig. 12(b)에서 나타낸 것과 같이 해상에서 1995년 1월 21일에 측정된 선체 우현측에서의 수직분력의 최소치는 $-35.0\mu T$, 최대치는 $35.2\mu T$, 평균치는 $-5.2\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $-37.1\mu T$, 최대치는 $42.8\mu T$, 평균치는 $-6.7\mu T$ 였고, 1996년 1월 22일에 측정된 선체 우현측에서의 수직분력의 최소치는 $-34.2\mu T$, 최대치는 $42.9\mu T$, 평균치는 $-3.2\mu T$ 였으며, 좌현측의 최소치는 $-31.9\mu T$, 최대치는 $47.6\mu T$, 평균치는 $-1.8\mu T$ 로 나타나, 1년간 수직분력은 평균적으로 우현측에서는 $2.0\mu T$, 좌현측에서는 $4.9\mu T$ 증가한 것으로 나타났다.

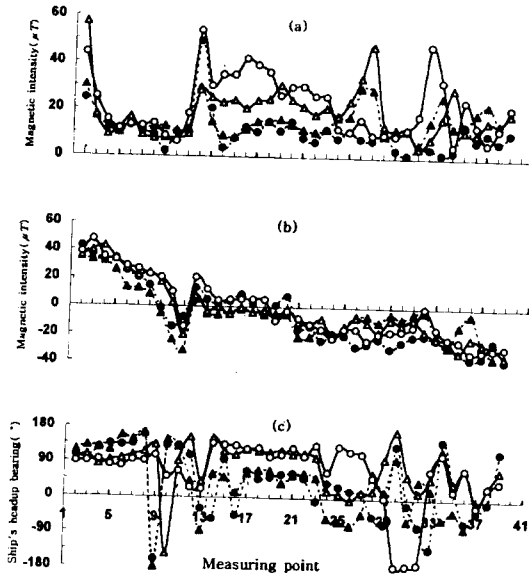


Fig. 12. Ship's magnetism on the sailing at the sea on Jan. 21, 1995 and Jan. 22, 1996.

- (a) Horizontal component.
- (b) Vertical component
- (c) Direction of horizontal component.
- ▲— : starboard side, —●— : port side (Jan. 21, 1995)
- △— : starboard side, —○— : port side (Jan. 22, 1996)

Fig. 12(c)에서 나타낸 것과 같이 해상에서의 수평분력의 방향은 선수방향인 225° 를 기준으로 할 때, 1995년 1월 21일의 경우는 양현측이 거의 040° 부근, 1996년 1월 22일은 우현측에서는 080° , 좌현측은 065° 로 나타나 대체로 선수 우현 방향으로 향하고 있음을 보여 주었다. 위의 결과를 종합하면 선체자기의 1년간 평균적으로 수평분력은 우현과 좌현에서 $3.9\mu T$, $11.4\mu T$, 수직분력은 우현과 좌현에서 $2.0\mu T$, $4.9\mu T$ 씩 증가한 것으로 나타났다.

4) 자차와 자기의 변화

(1) 선수 방위별 자차

선수 방위별 자차의 분포곡선은 Fig. 13과 같이 나타내었다. Fig. 13에서 나타낸 것과 같이 자차수정이 행해진 1993년 6월 11일의 경우 $1^\circ W \sim 2^\circ W$ 였으나, 19개월이 경과한 1995년 1월 24일에는 $5^\circ W$ 에서 $5^\circ E$ 까지 넓게 분산되었으며, 28개월이 경과된 1995년 10월 20일에는 N에서 $7^\circ W$, NE에서는 $10^\circ W$, E에서는 $7^\circ E$ 까지 나타났다. 자차수정 후 약 19개월 사이에 N에서는 $4^\circ E$, NE에서는 $2^\circ W$, E에서는 $4^\circ W$, SE에서는 $1^\circ W$, S에서는 변화가 없으며, SW에서는 $5^\circ E$, W에서는 $5^\circ E$, NW에서는 $7^\circ E$ 로 변동된 것으로 나타나, NE에서 SE까지는 편서자차가 $1^\circ \sim 4^\circ$ 증가하였고, SW에서 N까지는 편동자차가 $4^\circ \sim 7^\circ$ 증가하였다.

약 28개월 경과한 후에는 N에서 $6^\circ W$, NE에서는 $8^\circ W$, E에서는 $8^\circ E$, SE에서는 $3^\circ W$, S에서는 $3^\circ W$, SW에서는 $2^\circ E$, W에서는 $5^\circ E$, NW에서는 $2^\circ E$ 로 나타나 N에서 S까지 E에서 $8^\circ E$ 인 것을 제외한다면 편서자차가 $3^\circ \sim 8^\circ$ 증가하였고, SW에서 NW까지는 편동자차가 $2^\circ \sim 5^\circ$ 증가한 것으로 나타났다.

특히 N, E, SW, NW에서는 자차의 역전이 발생하였는데, E의 경우 자차수정 시점에서 19개월 경과한 후에 편서자차가 4° 증가하였다가 28개월 후에는 편동자차가 8° 증가하여, 두 측정시점 사이의 9개월 동안 E에서만 편동자차가 12° 증가한 것으로 나타났으며, SW, NW, N에서는 19개월 후에는 편동자차가 5° , 7° , 4° 발생하였다가 28개월 후에는 역전되어 편서자차가 3° , 5° , 10° 발생한 것으로

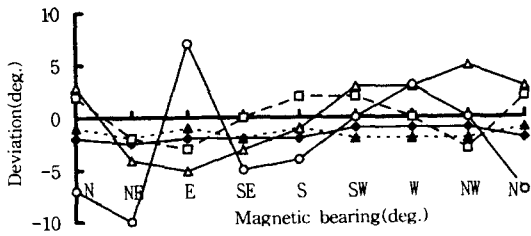


Fig. 13. Deviation curve by magnetic bearing.

- ...▲... : Jun. 11, 1993
- △— : Jan. 24, 1995
- : Oct. 20, 1995
- ◆— : Oct. 21, 1995
- : Jan. 24, 1996

나타나 컴퍼스가 지방자기의 영향을 강하게 받으면서 계속 변하고 있는 것으로 여겨진다.

1995년 10월 21일 실시한 자차수정 후에는 자차가 $1^{\circ}W \sim 2.5^{\circ}W$ 였으나 3개월이 경과된 1996년 1월 24일에는 E와 NW에서 편서자차가 각각 1° , 2° 씩 증가하였고, 다른 방향에서는 편동자차가 $0.5^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 까지 증가하여 편동자차가 현저하게 증가되는 경향을 보였다. 부두에 접안 계류 중일 때의 선수방향인 SW의 경우를 보면 1993년 6월 11일에는 $2^{\circ}W$ 였으나 19개월 후에는 $3^{\circ}E$ 로 편동자차가 5° 증가하였다가, 28개월 후에는 자차가 0으로 나타나 두 측정시점 사이의 9개월 동안 편서자차가 3° 증가한 것으로 나타났다. 또, 1995년 10월 21일에 행한 자차수정 후에는 자차가 $1^{\circ}W$ 였으

나 3개월 후에는 $2^{\circ}E$ 로 나타나 3개월 사이에 편동자차가 3° 증가하였음을 보였다. 이러한 결과는 부두에 접안 계류 중일 때 자차가 $3^{\circ}W \sim 6^{\circ}W$ 인 것과 비교하면 부두의 철재에 의한 인위적인 지방자기가 선체에 $5^{\circ}W \sim 8^{\circ}W$, 최대 $13^{\circ}W$ 까지 영향을 주는 것으로 보인다. 또한 부두에 접안 계류되었을 때 선수방향인 SW의 자차가 $3^{\circ}W \sim 6^{\circ}W$ 였으나 해상에서는 자차수정이 이루어진 이후에 편동자차가 각각 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 증가한 것으로 나타나, 부두에서는 인위적인 지방자기에 의해 선수방향의 자차가 $6^{\circ}W$ 로 안정되었거나 해상에서는 철재에 의한 지방자기의 영향이 없어지면서 접안 계류된 기간에 따라 선체가 받는 자기적 영향이 편동자차의 증가로 나타나는 것으로 보인다.

(2) 선수 방위별 자기의 변화

선수방위에 대한 선체자기의 변화를 파악하기 위하여 1995년 1월 24일과 1996년 1월 24일에 자기컴퍼스가 설치된 위치에서 선수 방위별로 선체자기를 측정된 결과는 Fig. 14(a)~(b)와 같다.

Fig. 14(a)에서 나타난 것과 같이 1995년 1월 24일에서 1년이 경과한 1996년 1월 24일 사이에 N에서는 $1^{\circ}E$, NE에서는 $2^{\circ}W$, E에서는 $2^{\circ}W$, SE에서는 $3^{\circ}W$, S에서는 $3^{\circ}W$, SW에서는 $1^{\circ}E$, W에서는 $3^{\circ}E$, NW에서는 $8^{\circ}E$ 만큼 증가된 것으로 나타나 NE에서 S까지는 편서자차가 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 증가하였고, SW에서 N까지는 편동자차가 $1^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 증가한 것으로 나타났다. 특히 안벽에 계류되었을 때

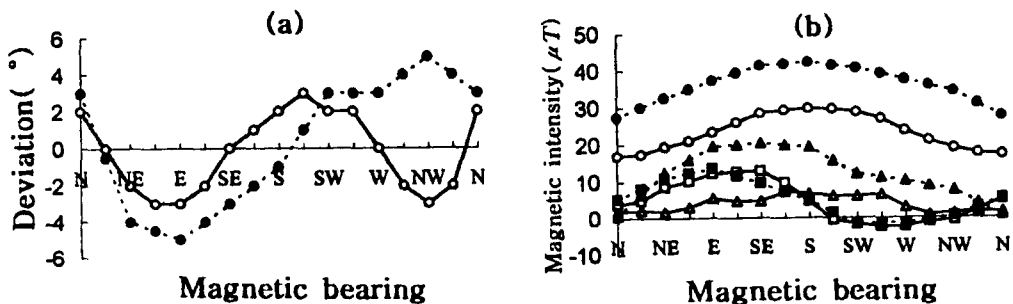


Fig. 14. Deviation and ship's magnetism at the sea on Jan. 24, 1995 and Jan. 24, 1996.

- (a) Deviation (—●— : Jan. 24, 1995 —○— : Jan. 24, 1996)
- (b) Ship's magnetism
- x axis component(—▲— : Jan. 24, 1995, —△— : Jan. 24, 1996)
- y axis component(—■— : Jan. 24, 1995, —□— : Jan. 24, 1996)
- vertical component(—●— : Jan. 24, 1995, —○— : Jan. 24, 1996)

선수방향인 SW에서는 1년간 자차의 변화가 1° E 였으나, 우현 정황방향인 NW에서는 편동자차가 8° 증가하여 자차의 변동이 가장 많은 것으로 나타났다. Fig. 14(b)에서 나타낸 것과 같이 1995년 1월 24일 선체자기 수평성분의 x축 방향 벡터 최소치는 0.7 μ T, 최대치는 20.3 μ T, 평균치는 12.0 μ T 였으며, 1996년 1월 24일의 최소치는 0.9 μ T, 최대치는 7.3 μ T, 평균치는 3.8 μ T였고, 1995년 1월 24일 수평성분의 y축 방향 벡터 최소치는 -1.7 μ T, 최대치는 13.5 μ T, 평균치는 5.2 μ T였으며, 1996년 1월 24일의 최소치는 -2.6 μ T, 최대치는 12.8 μ T, 평균치는 4.5 μ T였고, 수직성분 벡터는 1995년 1월 24일의 최소치가 27.4 μ T, 최대치는 42.2 μ T, 평균치는 36.1 μ T였으며, 1996년 1월 24일의 최소치는 16.9 μ T, 최대치는 29.6 μ T, 평균치는 23.1 μ T로 나타나, 1년간 평균적으로 선체자기 수평성분의 x축 방향 벡터는 8.2 μ T, 수평성분의 y축 벡터는 0.7 μ T, 수직성분 벡터는 12.9 μ T 감소한 것으로 나타났다.

4. 출입항중 자차 변화

지방자기의 영향이 강한 지역에서 자차의 변화가 가장 현저하게 나타나는 경우는 지방자기의 강한 곳으로의 접근과 이탈이 진행되는 출입항 때이다. 안벽 계류된 상태에서 장기간 지방자기의 영향을 받은 선박이 출항하거나, 입항할 경우에 발생하는 자차의 변화를 파악하기 위하여 선박의 자차 측정점에서 안벽 계류 위치까지의 거리를 기준으로 하여 거리와 자침방위에 따른 자차의 변화를 나타내면 Fig. 15(a₁)~(b₃)와 같다.

1) 거리별 변화

(1) 출항의 경우

Fig. 15(b₁)에서 나타낸 것과 같이 1996년 1월 22일 출항 개시 시점에서의 자차는 8.5° W이고, 선박과 안벽간의 거리가 0.9 mile되는 지점에서 47° E까지 증가하다가 그 이후 급격히 감소되는 경향을 보이고 있다. 거리가 멀어짐에 따라서 대체로 편동자차가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 거리가 비슷하거나 증가하는 지점에서 자차의 분산이 심하게 나타나는 것은 선박이 선회하면서 선수방

향이 변경되었기 때문인 것으로 보인다. Fig. 15(c₁)에서 나타낸 것과 같이 거리 간격이 증가함에 따라서 자차의 변화량이 급격하게 증가하는 것은 선박이 장기간 부두의 철재에 의한 지방자기의 영향을 받아 오다가 출항과 더불어 지방자기의 영향권내에서 이탈하는데서 오는 급격한 자기 영향의 상실 때문이라고 생각된다.

(2) 입항의 경우

Fig. 15(b₂)에서 보면 1996년 1월 26일 입항시 선박과 안벽 사이의 거리가 1 mile 이상 되는 위치에서의 자차는 4° E에서 3° W까지 변하다가, 1 mile 이내에서는 12° E에서 6° W까지 큰 폭으로 변동을 하며, 0.2 mile부터는 12° W까지 자차가 증가하는 경향을 보이고 있다. Fig. 15(c₁)에서 나타낸 것과 같이 선박과 안벽 사이의 거리가 가까워져도 출항시와 같은 대각도의 급격한 변화가 없이 대체로 소폭의 증감 추세를 보이는 것은 지방자기의 영향이 없는 해상에서 지방자기의 영향이 강한 부두로 접근하면서 선체가 서서히 영향을 받기 때문인 것으로 보인다.

2) 선수 방위별 변화

(1) 출항의 경우

출입항시의 자차의 변화를 자침방위를 기준으로 재구성한 것이 Fig. 15(c₂)이다. Fig. 15(c₂)에서 나타낸 것과 같이 N방향에서는 37° E, NE방향에서는 13° E, E방향에서는 10° E, SE방향에서는 12° E, S방향에서는 2° E, SW방향에서는 8° W, W방향에서는 5° E, NW방향에서는 20° E로 나타나 매우 현저한 자차의 증감을 보이고 있다. 이러한 결과는 자기컴퍼스의 고장이나 성능을 의심하게 하며 기준 컴퍼스로서의 기능을 상실했다고 생각하게 하는 것으로, 지방자기의 강한 곳에서 장기간 정박하는 경우에는 반드시 자차수정을 하는 것이 필요하다고 여겨진다.

(2) 입항의 경우

Fig. 15(c₂)에서 나타낸 것과 같이 N방향에서는 4° E, NE방향에서는 6° E, E방향에서는 3° E, SE방향에서는 1° W, S방향에서는 4° W, SW방향에서는 3° W, W방향에서는 0, NW방향에서는 9° E로 나타나 출항시보다는 자차의 변화 폭이 적은

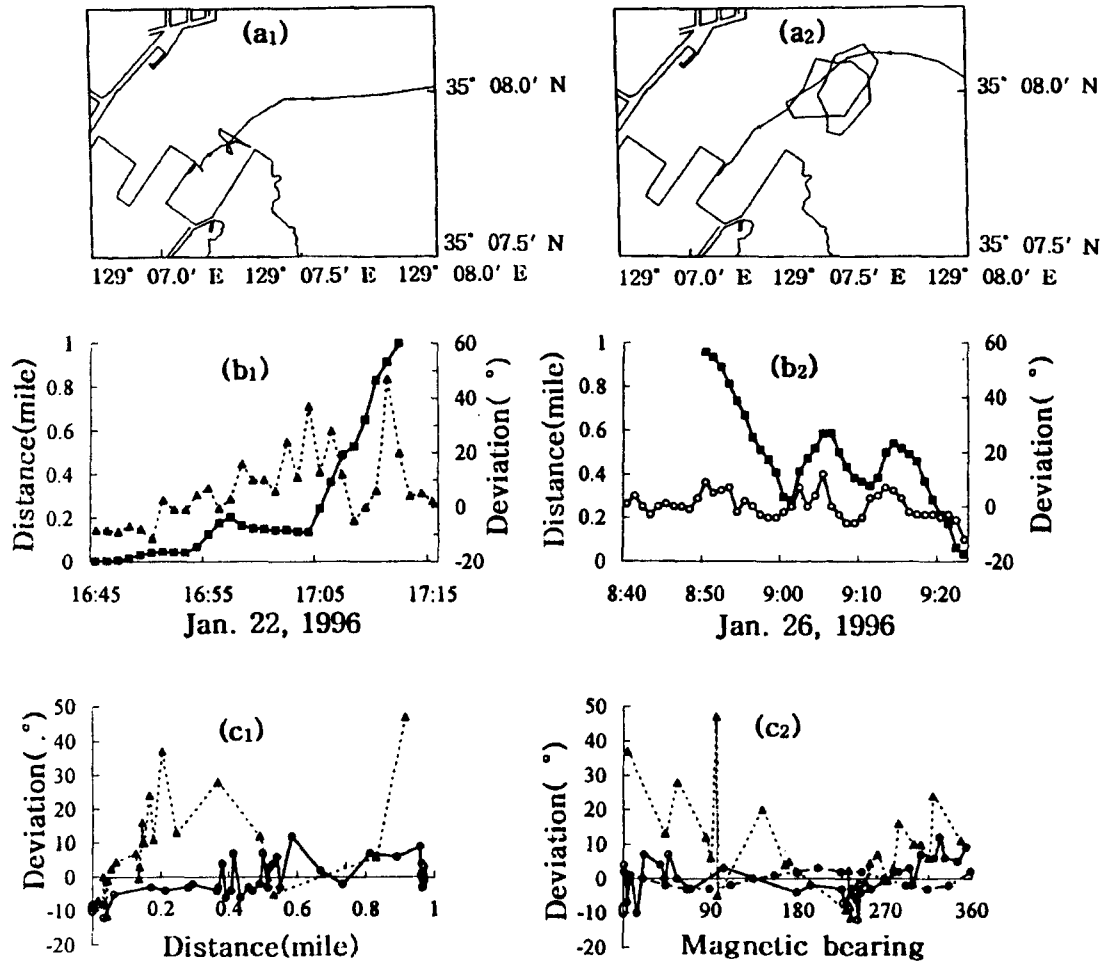


Fig. 15. Schematic distribution of departure and entrance to the pier.

- (a₁) Ship's trace of departure from pier on Jan. 22, 1996
- (a₂) Ship's trace of entrance to pier on Jan. 26, 1996
- (b₁) Deviation(···△···) and distance(—■—) of departure from pier
- (b₂) Deviation(---○---) and distance(---■---) of entrance to pier
- (c₁) Deviation by distance
- (c₂) Deviation by magnetic bearing
- △··· : departure, ---○--- : entrance, —●— : at the sea on Jan. 24, 1996

것으로 보이나, 해상에서 측정한 자차와 비교해 보면 증감 폭도 넓고 서로 상반된 방향으로의 증감을 보이고 있다. 이것은 지방자기의 영향이 강한 부두의 안벽으로 접근하면서 선체의 자기 변동이 발생하여 선체자기가 불안정해지기 때문인 것으로 보여진다.

요 약

최근 개발된 전자 자기컴퍼스의 성능 향상을 위한 기초 연구로서 1995년 1월 21일부터 1996년 2월 14일까지 고철이 야적된 동국제강 부두 안벽에서의 인위적 지방자기와 거제도 동쪽 해상에서의 부경대학교 실습선 가야호의 선체자기를 측정하

여 비교, 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 부두의 고철량은 27,290톤 ~ 57,440톤으로 평균 40,560톤이었고, 부두에서의 인위적 지방자기의 수평분력은 최소 27.1 μT , 최대 66.5 μT , 평균 43.3 μT 였으며, 수직분력은 최소 -27.0 μT , 최대 45.1 μT , 평균 3.7 μT 였고, 수평분력의 방향은 선박의 선수방향인 225°를 기준으로 할 때 대체로 305°로 향하고 있는 것으로 나타났다.

2) 안벽 계류중 선체 우현측에서의 선체자기 수평분력은 17.4 μT , 수직분력은 -6.2 μT 였고, 좌현측에서의 수평분력은 19.8 μT , 수직분력은 4.1 μT 로 나타났으며, 해상에서 선체 우현측에서의 선체자기 수평분력은 19.2 μT , 수직분력은 3.2 μT , 좌현측에서의 수평분력은 22.0 μT , 수직분력은 -1.8 μT 로 나타났고, 수평분력의 방향은 대체로 우현으로 향하고 있는 것으로 나타났다.

3) 부두에서의 인위적 지방자기의 영년변화는 수평분력은 61.0 μT 에서 52.7 μT 로 8.3 μT , 수직분력은 8.9 μT 에서 1.8 μT 로 7.1 μT 감소하였으며, 선체자기의 영년변화는 안벽 계류중 선체 우현측에서의 수평분력은 14.8 μT 에서 17.4 μT 로 2.6 μT , 수직분력은 -6.1 μT 에서 -6.2 μT 로 -0.1 μT , 좌현측에서의 수평분력은 12.7 μT 에서 19.8 μT 로 7.1 μT , 수직분력은 -6.1 μT 에서 4.1 μT 로 10.2 μT 증가하였다.

4) 해상에서 선체자기의 영년변화는 선체 우현측에서의 수평분력은 15.3 μT 에서 19.2 μT 로 3.9 μT , 수직분력은 -5.2 μT 에서 -3.2 μT 로 2.0 μT , 좌현측에서의 수평분력은 10.6 μT 에서 22.0 μT 로 11.4 μT , 수직분력은 -6.7 μT 에서 -1.8 μT 로 4.9 μT 증가하였으며, 선수방향의 자차는 안벽 계류시에는 3.5°W ~ 5°W에서 6°W로 증가하였고, 해상에서는 NE에서 S까지는 편서자차가 2° ~ 3°, SW에서 N까지는 편동자차가 1° ~ 8° 증가한 것으로 나타났다.

5) 인위적 지방자기의 영향이 강한 부두의 안벽과 선박간의 거리가 1 mile 이내에서는 선박이 안벽에 접근할수록 편서자차가 증가하고, 멀어질수록 편동자차가 증가하며, 선수방향이 안벽 계류시의 방향인 225°와 가까울수록, 출항시 보다는 입항시 자차의 변화가 작은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. AHN, Y. H., JEONG, K. H., AHN, J. Y., SHIN, H. I. : Helmholtz Coil and Performance of Magnetic Compass, Bull. Kor. Fish, Tech. Soc., 19(2), 111 - 116 (1983). (in Korean)
2. AHN, Y. H., SHIN, H. I., SHIRAI Y : Base Research on an Electro Magnetic Compass Using a Magnetic Detect Elements, Bull. Kor. Fish, Tech. Soc., 30(3), 182 - 188 (1994). (in Korean)
3. AHN, Y.H., SHIN, H. I. : Calculational Method of the Poisson's Coefficient by Use of Three Axis Magnetic Detect Elements, Bull. Kor. Fish, Tech. Soc., 31(2), 166 - 171 (1994). (in Korean)
4. AHN, Y.H., SHIN, H. I., SHIRAI Y : Measurement of the Ship' Magnetic Field in M. S. ARA by Use of Three Axis Magnetic Detect Elements, Bull. Kor. Fish, Tech. Soc., 31(4), 385 - 392 (1995). (in Korean)
5. Hydrographer of the navy, U.K. : Magnetic variation - North Pacific ocean (1991), The World - vertical magnetic intensity (1986), The World - horizontal magnetic intensity (1986), The World - magnetic dip (1986).
6. HONG, J. P., SHIN, H. I. : Performance of Magnetic Compasses Installed on the Small Fishing Vessels, Bull. Kor. Fish, Tech. Soc., 29(1), 21 - 29 (1993). (in Korean)
7. Maritime safety agency, Japan : Magnetic variation (1992), Magnetic dip (1988), Horizontal magnetic (1988).
8. Office of hydrographic affairs : Sailing Directions for the Coast of Korea, Vol. 1, Vol. 2, (1995, 1996). (in Korean)
9. OKUDA K., SUGIZAKI A. M. : On an Analysis of Compass Deviation, Japan Institute of Navigation, No. 56, 9 - 18 (1976). (in Japanese)
10. PARK, K. H. : Empirical model of over - all ship's magnetism, (1990). (in Korean)
11. SHIRAI Y, SUZUKI H, SAITO K. : Relation between the Error by the Compass - bowl - motion and the Directional System, Japan Institute of Navigation, No. 72, 69 - 76 (1985).

人爲的 地方磁氣 變動에 의한 가야호의 船體磁氣 分布特性에 관한 研究

- (in Japanese)
12. SHIRAI Y, SAITO K, SUZUKI H : On Ship' s Magnetic Field Measurement by a Three Dimensional Magnetic Field Detector, Japan Institute of Navigation, No. 74, 139 - 146 (1985). (in Japanese)
 13. SUZUKI H : Studies on the Improvement Concerning the Characteristics of Ship' s Magnetic Compass. Journal of the Tokyo University of Fisheries, Vol. 6, No. 13, 85 - 117 (1963). (in Japanese)
 14. Walford Denne : Magnetic compass deviation and correction, 54 - 76 (1979).