

# 함정에 의해 발생하는 수중 지자계 외란신호 분리방법에 대한 연구

論 文

56-8-10

## Study on Separating Underwater Earth Field Anomaly Generated by a Ship

李康珍\* · 梁昌燮\*\* · 鄭賢株\*\* · 金東勳†

(Kang-Jin Lee · Chang-Seop Yang · Hyun-Ju Jung · Dong-Hun Kim)

**Abstract** - Magnetic anomaly generated around a ship is mainly due to the permanent magnetization(PM) and induced magnetization(IM) remaining on the hull. It is very difficult to predict the direction and its magnitude of the permanent magnetization distributed over the hull, that is caused by mechanical or thermal stress. In this paper, an effective method is proposed to separate two components, the one produced by PM and the other by IM, from the underwater earth field signal distorted by the ferromagnetic material of the ship. The method can easily provide the two kinds of magnetic anomaly through exploiting experimental results and 3D electromagnetic field analyses even though the PM distribution on the hull is not known. To validate the proposed method, a model ship is manufactured and tested. The results would be of much help to basis research for securing safe navigation of a ship against dangerous factors in underwater.

**Key Words** : Finite Element Analysis, Induced Magnetization, Magnetic Anomaly, Permanent Magnetization

### 1. 서 론

16세기부터 함정의 접근을 효과적으로 차단하고 함정의 기능을 무력화하기 위해 개발된 수중 기뢰(mine)는 오늘날에도 함정의 안전운항을 위협하는 가장 강력한 무기체계 중 하나이다. 2차 세계대전 때 개발된 해저 감응식 기뢰는 함정의 재질특성에 의한 전자기장 신호, 추진기관에서 발생하는 소음, 함정의 진행에 따라 발생하는 수압변화 등에 감응함으로써 기뢰의 작동범위와 가해 범위가 훨씬 커지게 되었다. 또한 근래 과학기술 및 산업발전에 기인하여 기뢰의 탐지 수단이 고성능화, 고지능화 됨으로써, 함정 운항과 그 기능 수행에 큰 위협 요소가 되고 있다.

특히 지자계(earth field)의 수천에서 수만 분의 일의 정밀도를 갖는 고감도 자기 센서의 개발로 인해 강자성체(ferromagnetic material)로 구성된 함정의 선체에 기인한 전자기장 외란신호는 현대식 기뢰에 가장 취약한 부분으로 대두되고 있다. 이에 선진외국에서는 자국의 군사장비의 첨단화 사업의 일환으로 1990년대 초부터 함정으로부터 수중에 전파되는 전자기장 신호의 저감 및 통제 방안을 강구하기 위해 다양한 프로젝트들을 전략적으로 수행하고 있으나, 국내의 경우 이와 관련한 연구가 전무한 실정이다.

선체재질의 영구자화에 의한 자기장신호는 함정의 제작과

정에서 철판을 구부리거나 펴는 작업과정, 용접하면서 발생하는 열에 의한 재질의 피로(stress), 또는 장시간 함정이 같은 방향의 지자계 환경에 노출될 경우 발생한다. 따라서 영구자화에 의한 영구자기장 성분은 그 발생 원인에서 알 수 있듯이 이론적인 예측이나 측정이 어려울 수밖에 없다[1][2]. 반면 유도자기장 성분은 함정 외부에 인가되는 지자계에 의해 일시적으로 선체의 자성재질이 자화되어 발생하게 됨으로써 유한요소법 등의 정밀 전자장 수치해석 기법을 사용하여 이에 대한 예측이 비교적 용이한 편이다.

지금까지 국내·외 연구결과에서는 이러한 두 가지 자화 성분을 모두 고려하여 각각 수중에서 발생하는 지자계 외란신호 성분에 대한 정확한 분석 및 분리 방법을 제시하지 못하고 있다. 이는 실험을 통해 확보한 지자계 외란 신호에는 영구자화(residual magnetization) 및 유도자화(induced magnetization)에 의한 외란 성분이 모두 포함되어 있어 실험 결과만을 이용하여 이를 쉽게 분리하기가 힘들기 때문이다. 또한 전자장 수치해석 기법을 동원하여 선체에 분포하는 영구자화 성분의 정확한 분포특성을 예측할 수 있는 효과적인 방안이 제시되지 못하고 있기 때문이기도 하다.

본 논문에서는 함정에 의해 발생하는 수중 지자계 외란신호에 가장 큰 영향을 미치는 영구자화에 의한 선체 주위에서의 자기장(영구자기장) 성분과 유도자화에 의한 자기장(유도자기장) 성분을 측정·분석하여 이를 효과적으로 분리할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 위하여 실제 함정의 제원을 축소한 모델함정을 제작하여 실험을 수행하였으며 이와 더불어 모델함정에 대한 3차원 정밀 전자장 수치해석도 병행하였다[3]. 우선 모델함정을 지자계에 노출시켜 측정된 실험 결과로부터 유도자기장 성분 중 함정의 길이 방향인 수평방향 성분을 분리한 후 3차원 전자장 수치해석 결과와 비

† 교신저자, 正 會 員 : 慶北大學校 電氣工學科 助敎授 · 工博  
E-mail : dh29kim@ee.knu.ac.kr

\* 學生會員 : 慶北大學校 電氣工學科 碩士課程

\*\* 正 會 員 : 國防科學研究所 先任研究員

接受日字 : 2007年 6月 2日

最終完了 : 2007年 7月 9日

교하여 수치해석기법의 정밀도를 확인하였다. 이를 바탕으로 수직방향 유도자기장 성분을 수치해석기법을 이용해 예측하면 전체의 유도자화에 의한 유도자기장 성분을 구할 수 있다. 따라서 실험을 통해 측정되는 지자계 외란신호에 3차원 정밀 전자장 수치해석을 통해 얻어진 유도자기장 성분을 감하게 되면 선체의 영구자화 분포에 의한 영구자기장 성분이 분리가능하다. 본 연구결과는 향후 수중에 잠재하는 위험요소로부터 함정의 자유로운 안전운항을 확보하기 위한 연구의 기본 자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 본 론

### 2.1 함정 자기장 신호특성

함정에 의해 수중에서 발생하는 자기장 외란신호는 그 발생 원인에 따라 영구자기장(permanent magnetic field; 이하 PM), 유도자기장(induced magnetic field; 이하 IM), 와전류 자기장(eddy current magnetic field), 누설자기장(stray magnetic field) 등으로 분류할 수 있으나 전체적으로 PM과 IM 성분이 외란신호의 대부분을 차지한다[4]. 따라서 함정으로부터 발생하는 전체 자기장의 외란신호는 식(1)로서 나타낼 수 있다.

또한, 함정 외부에서 인가되는 지자계 성분을 그림 1과 같이 함정의 수직, 수평, 현측방향의 세 가지 축을 기준으로 분해하여 함정의 자기장 성분을 정의할 수 있다. 식 (2)는 PM과 IM의 각 축 방향성분으로 표현하고 있으며, 반대로 축 방향 전체 자기장성분을 식 (3)과 같이 각 축 방향의 PM과 IM의 합으로 쓸 수 있다.

$$Earth\ Field\ Anomaly = PM + IM \quad (1)$$

$$\begin{aligned} PM &= PVM + PLM + PAM \\ IM &= IVM + ILM + IAM \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} VM &= PVM + IVM \\ LM &= PLM + ILM \\ AM &= PAM + IAM \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 VM, LM, AM은 각각 수직방향자화(vertical magnetization), 현측방향자화(athwartship magnetization), 수평방향 자화(longitudinal magnetization)에 의해 발생하는 자기장 외란신호 성분을 표시하는 약자이다. 예를 들면 PVM은 수평방향 영구자화에 의해 발생하는 자기장 성분을 의미한다.

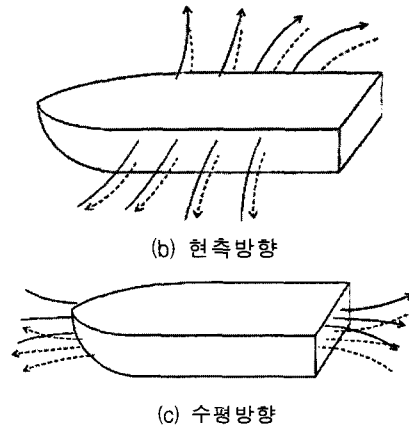
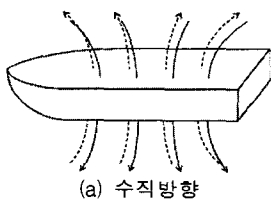


그림 1 함정의 자기장 외란신호 성분 분해

Fig. 1 Decomposing magnetic anomaly components of a ship

앞서 기술한 바와 같이 PM은 그 특성상 함정을 구성하고 있는 재질을 세분하여 잔류 자속을 직접 측정하여 영구자화의 분포를 구하지 않는 이상 이에 대한 예측이 매우 어렵다[5][6]. 반면, IM 성분은 정자장(magnetostatic fields) 방정식과 구성방정식(constitutive equations)을 조합한 정자장 수치해석기법을 동원하면 예측이 용이한 편이다. 함정이 지자계에 노출되어 있는 경우 함정을 이루는 선체 미소면적상의 자계세기  $\vec{H}$ 는 식 (4)로 표현할 수 있다[7][8].

$$\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}_p \quad (4)$$

여기서  $\vec{H}_0$ 는 함정외부에서 인가되는 지자계(earth field)를 의미하며,  $\vec{H}_p$ 는 선체 재질의 유도자화에 의해 2차적으로 발생하는 자기장을 의미한다. 한편, 정자장의 구성방정식에 의해 자속밀도  $\vec{B}$ 는 식 (5)와 같다.

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (5)$$

여기서  $\mu$ 는 선체재질의 투자율로서 지자계 조건하에서 상수로 취급할 수 있다. 식 (5)는 잔류자화(remanent magnetization)가 존재하지 않는 재질의 특성을 나타내는 방정식이므로 식 (6)과 같이 영구자화에 의한 잔류자속  $\vec{B}_r$ 을 포함한 식으로 다시 쓰면

$$\vec{B} = \mu \vec{H} + \vec{B}_r \quad (6)$$

이다. 식 (4)을 식 (6)에 대입하고 투자율을 비투자율  $\mu_r$ 과 공기 중의 투자율  $\mu_0$ 로 분리하면 식 (7)을 얻을 수 있다. 비투자율  $\mu_r$ 을 자화율  $\chi_m$ (magnetic susceptibility)과  $\vec{M}_r$ 을 도입하여  $\mu_r = \chi_m + 1$ ,  $\vec{B}_r = \mu_0 \vec{M}_r$ 로 두고 정리하면 식 (7)과 식 (8)이 유도된다.

$$\vec{B} = \mu \mu_r (\vec{H}_0 + \vec{H}_p) + \vec{B}_r \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \vec{B} &= \mu_0 [\vec{H} + \chi_m (\vec{H}_0 + \vec{H}_p)] + \vec{B}_r \\ &= \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}_i + \vec{M}_r) \\ &= \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 자화  $\vec{M}$ 은 팔호안의 두 번째 항에 해당하는 유도자화  $\vec{M}_i$ 와 세 번째 항인 영구자화  $\vec{M}_r$ 의 합으로 나타난다. 따라서 식 (6)은 합정이 지자계에 노출되어있을 때 합정의 선체 주위에서 발생하는 자속밀도를 표현한 식이라 할 수 있다. 선체에 분포하는 자화는 식 (8)과 같이 영구자화와 유도자화의 합으로 나타나며 영구자화는 외부에서 인가되는 지자계의 방향이 바뀌어도 그 크기 및 방향 변화가 거의 없다. 반면 유도자화는 합정에 인가되는 외부 지자계와 동일한 방향으로 나타나므로 PM을 측정하기 위해서는 외부에서 인가되는 지자계를 차폐하여야만 한다. 그러나 합정을 차폐하기 위한 구조물 제작은 현실적으로 불가능하므로 유도자화에 의한 성분을 예측하여 PM을 측정치로부터 분리해 낼 수밖에 없다.

### 2.2 모델합정 실험에 의한 지자계 외란신호분석

모델합정 주위의 합정에서 수중 자기장신호 특성을 측정하기 위해서는 정지된 합정 주위에 측정하고자 하는 지점을 따라 다수의 자기센서(magnetic sensor)를 설치하는 방법을 고려할 수 있다. 그러나 이는 비용적인 측면에서 비효율적이므로 본 논문에서는 측정하고자 하는 수중의 위치에 자기센서를 고정시키고 대신 합정을 이동시켜 데이터를 수집하는 방법을 이용하였다.

합정에 의한 지자계 외란신호 측정 실험을 위해 제작된 모델합정의 제원을 표 1에서 제시하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 모델합정의 외관은 주갑판과 주갑판 아래 선체 및 상부구조물로 구성되며 선체 재질은 주석도금강판을 사용하였다[9][10].

표 1 모델합정 제원

Table 1 Specification of a ship model

전장 / 폭	2390 mm / 490 mm
철판재질/비투자율	주석도금강판 / 160
철판두께	주갑판을 포함한 상부 0.3 mm
	주갑판을 제외한 하부 0.6 mm

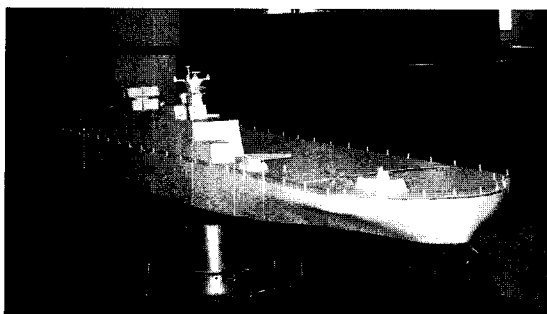


그림 2 실험에 사용된 모델합정  
Fig. 2 Mock-up of a ship used for experimentation

합정의 위치와 센서에서 측정되는 자속밀도 값을 수집하기 위하여 그림 3과 같이 실험 장치를 구성하였다. 합정의 선저로부터 1 m 아래 위치에서 자기센서를 설치하고 합정의 중심을 지나는 자남(magnetic south)과 자북(magnetic north)을 통과하는 레일의 중앙에 일치시켰다. 또 모델합정의 원활한 이동을 위해 합정을 비자성재료의 이동대차에 올려놓고 레일 위를 움직이면서 레이저 거리측정기로 합정의 위치를 정확히 측정하였다. 자기센서의 신호는 신호처리기와 이를 아날로그-디지털 변환기(analog to digital converter)를 통해 전산기(computer)에 입력된다. 이 때, 레이저 거리측정기에서 측정된 위치 측정치도 동시에 전산기로 입력되어 각 위치별로 측정되는 자기장 외란신호를 저장한다.

실험은 모델합정의 침로(heading)를 북쪽으로 향하게 한 후 이동대차를 이동하면서 자기 신호를 측정하였다. 또한 합정의 침로를 남쪽으로 설정하여 위의 실험을 반복수행하였다. 그림 3에서 자북방향을 X축, 합정에서 수중으로 향하는 방향을 Z축으로 설정하였을 때, 상기 실험에서 실제 측정된 지자계는 X축 방향(수평방향 지자계)으로 30.7  $\mu$ T, Z축 방향(수직방향 지자계)으로 37.7  $\mu$ T였다.

식(4)와 같이 합정 주위에서 측정되는  $\vec{H}$ 값은 외부에서 인가되는 지자계가 포함되어있다. 따라서 측정위치에서 이 외부 지자계를 제외한 값, 즉 선체에 의해 발생하는 순수한 PM과 IM 성분의 합을 각각  $\vec{B}_N$ ,  $\vec{B}_S$ 로 정의하였다. 이 값은 선체 재질이 자화에 의한 지자계 외란신호에 해당하는 수치이고 침자는 모델합정의 침로방향을 의미한다.

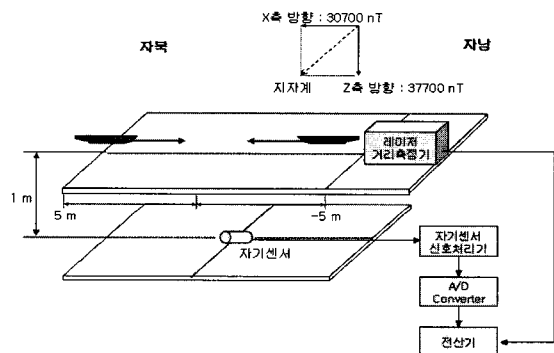
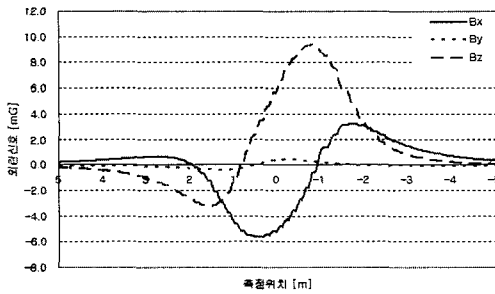


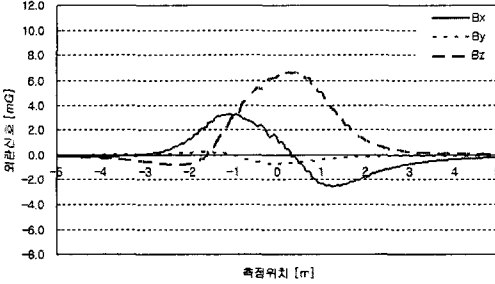
그림 3 모델합정 실험구성

Fig. 3 Experimental setup of the model

그림 4는 모델합정의 왕복실험에서 얻어진 데이터의 X축, Y축, Z축 성분을 나타내는 그림으로 PM과 IM 모두를 포함한 측정 결과이다. 왕복실험에서 센서를 기준으로 모델합정의 침로방향이 반대이고 센서를 기준으로 자속의 입출이 반대이므로 모델합정의 길이 방향인 X축 성분은 상하·좌우가 모두 바뀐 형태가 된다. 합정 수직 방향인 Z축 성분은 침로에 관계없이 같은 방향이므로 좌우만 바뀐 형태를 보여준다. 식 (8)에서 영구자화 성분은 침로에 관계없이 같은 크기와 방향을 가지므로 각 축성분의 크기는 서로 상이한 결과를 나타내고 있다. 또한 합정의 현측방향, Y축 방향 외란신호는 이론상 0이 되어야 하나 합정이 완전한 좌우대칭의 구조를 갖지 않으므로 Y축에 미소한 외란신호가 존재하는 것을 확인할 수 있다.



(가) 침로가 남쪽일 때 외란신호 특성



(나) 침로가 북쪽일 때 외란신호 특성

그림 4 모델함정에 의한 전체 지자계 외란신호 실험치

Fig. 4 Total anomaly of magnetic fields generated by the model ship

ILM과 IVM등의 자기장 성분 약자에서 X, Y, Z의 첨자는 각 자기장의 축 방향 성분을 의미한다고 했을 때, 식 (2)와 식 (3)으로부터 PM의 각 방향 성분과 IVM는 침로에 관계없이 고정이다. 반면 ILM<sub>z</sub>는 침로와 관계없이 방향과 크기는 서로 같지만, IVM<sub>x</sub>은 크기는 같으나 모델함정의 침로에 따라 선체 재질의 자화 방향이 바뀐다. 실험방법이 자기 센서는 고정되어 있고 모델함정이 이동하므로 이를 고려해야 한다. 따라서 침로를 자남방향 기준으로 두 실험 측정값이 함정과 자기센서가 고정되어 있는 경우에 식 (9)과 같이 IVM<sub>x</sub>를 계산할 수 있다. 또한 수집한 측정값의 평균값에서 ILM<sub>z</sub>를 계산할 수 있으며 이 때 크기와 방향이 고정되어 있는 PM과 IVM의 Z축 성분은 0이 되어 식 (10)과 같이 된다. 실험으로부터 얻은 데이터를 Y축 성분을 무시하고 식 (9)과 식 (10)에 의해 ILM 성분을 계산하여 나타내면 그림 5와 같다.

$$ILM_x = \frac{\overrightarrow{B_{Sx}} + \overrightarrow{B_{Nx}}}{2} \quad (9)$$

$$ILM_z = \frac{\overrightarrow{B_{Sz}} - \overrightarrow{B_{Nz}}}{2} \quad (10)$$

또, 자남방향을 기준으로 할 때 전체 측정자기장  $\overrightarrow{B_s}$ 와 식 (9) 및 식 (10)의 차를 각각 구하여 정리하면 식 (11)과 식 (12)와 같이 각 축 방향성분의 PM과 IVM의 합을 구할 수 있다.

$$(PM + IVM)_x = \frac{\overrightarrow{B_{Sx}} - \overrightarrow{B_{Nx}}}{2} \quad (11)$$

$$(PM + IVM)_z = \frac{\overrightarrow{B_{Sz}} + \overrightarrow{B_{Nz}}}{2} \quad (12)$$

식 (9)~식 (12)로부터 단순한 함정의 왕복실험에서 분리되는 자기장 성분은 ILM성분만 분리해 낼 수 있음을 알 수 있다. 이는 함정의 주위에서 측정된 자기장을 단순한 산술 계산에 의해서 IVM과 PM을 분리할 수 없음을 말해준다. 따라서 PM성분과 IVM성분은 분리하기 위해서는 예측이 용이한 IVM성분을 정밀 전자장수치해석에 의존하여 예측할 수밖에 없다.

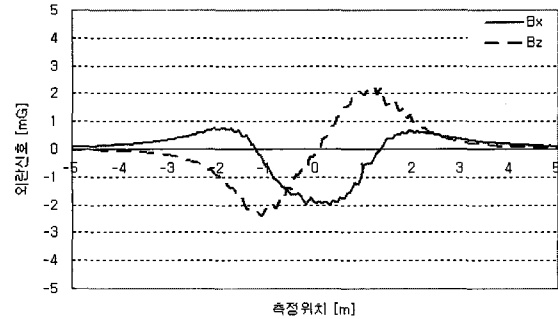


그림 5. 실험치로부터 추출된 수평방향 지자계 외란신호

Fig. 5 Longitudinal component of magnetic anomaly from experimental result

### 2.3 수치해석 결과 및 신뢰성 검증

모델함정의 유도자화에 의한 전체 IM을 구하기 위해 실험을 통하여 분리되지 않은 IVM을 예측할 수 있어야 한다. 우선 IVM 예측을 위한 정밀 전자장수치해석 기법의 정밀도와 신뢰성을 입증하기 위하여 분리된 ILM 성분과 비교 검증을 수행하였다. 이를 위해 모델함정의 3차원 솔리드 (solid) 형상을 설계프로그램인 Pro-Engineer (Wildfire Version 2.0)에 의해 정밀하게 구현하고 이를 전자장 수치해석 도구인 MagNet (Version 6.22)을 이용하여 형상화하였다.

함정을 구성하고 있는 선체 재질의 자화곡선 (magnetization curve)은 비선형 특성을 지니고 있으나 인가되는 자계 세기가 작은 지자계 조건하에서는 선형으로 취급할 수 있다. 또한 유한요소 해석 시 요소의 보간함수 차수를 2차로 지정하여 수치해의 정밀도를 높였다. 해석시간은 요소분할 시간을 포함하여 Xeon 3.4 GHz Dual CPU, 2 Giga Byte RAM 사양의 고속연산기 (work station)에서 약 20분 소요되었으며 해석에 관련된 제반조건을 표 2로 나타내었다.

표 2 유한요소해석 조건

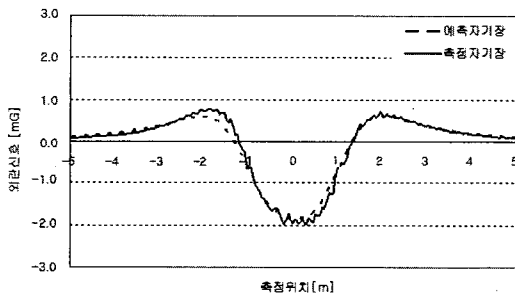
Table 2 Numerical conditions for the finite elements analysis

유한요소/요소개수	사면체 요소/844,832개
보간함수 차수	2차
재질특성	선형
고속연산기 (work station) 사양	Xeon 3.4 GHz Dual CPU 2 Giga Byte RAM
해석 소요시간	약 20분

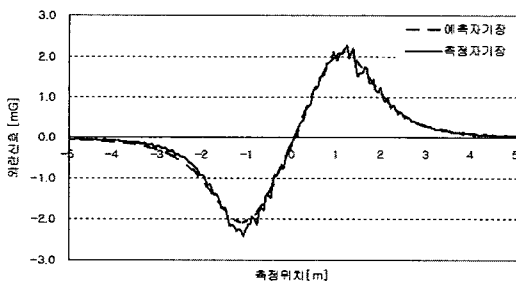
실험조건과 동일한 지자계는 모델함정 상하에 평행 전극판을 사용하여 구현하였다. 위쪽에 위치한 평행 전극판에 -Y축 방향, 아래쪽 평판에 Y축 방향으로 전류를 인가하여 함정에 인가되는 지자계를 선미에서 선수로 가는 방향으로

설정하였다. 평행판 전극에 인가되는 전류의 크기는 실험에서 측정된 수평방향 지자계 크기 30.7  $\mu\text{T}$ 에 해당하는 값으로 간격이 16 m인 전극판에 488.61 A를 인가하였다. 이때 평행 전극판에 의해 모델함정 주위와 외란신호 측정지점 주위에서 측정된 자속밀도는 실제 실험조건의 지자계 크기와 0.0028 %의 높은 균일도를 가진다.

지자계 조건하에서 모델함정에 의한 자속밀도분포를 등고선을 이용하여 그림 6에서 나타내었다. 이 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 수평방향 지자계 성분과 평행한 선수와 선미 및 상부구조물의 양 끝단에서 자속밀도가 가장 높음을 확인하였다. 또한 해석에 의해 얻어진 ILM 성분의 예측결과와 실험결과를 그림 7에서 비교하였다. 이 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 그래프의 형태가 거의 유사하며 최대치와 최소치 비교에서도 매우 근접한 값을 가진다. 그림 7에서 그래프의 면적계산을 통해 구한 평균오차는 X축 성분에서 4.79 %, Z축 성분에서 2.64 %로 계산되었다. 실험과 유한요소해석에 의한 데이터가 거의 동일하므로 유한요소해석에 의한 지자계 외란신호 예측값의 정밀도를 확인할 수 있었다. 그림 7의 측정자기장 분포에 나타나는 잡음신호는 실험 시 이동대차가 이동 중에 발생하는 진동에 의해 기인되는 것으로 판단된다.



(a) X축 방향성분



(b) Z축 방향성분

그림 6 유한요소해석 결과와 실험 측정치 비교

Fig. 6 Comparison between the finite element analysis and the experimental results

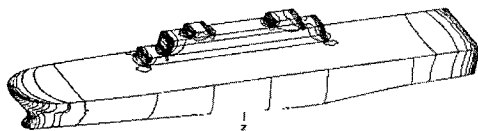


그림 7 모델함정의 자속밀도 분포

Fig. 7 Magnetic density distribution of the ship model

## 2.4 유도자기장 및 영구자기장 분리

모델함정에 대한 실험치와 유한요소해석을 통한 예측치의 오차가 매우 근소하므로 모델함정의 IVM성분을 유한요소해

석에 근거하여 예측하는 것이 타당함을 유추할 수 있다. 따라서 IVM성분에 대한 유한요소해석을 수행하기 위하여 2.2 절에서 사용한 해석모델에서 평행 전극판만을 Y축을 중심으로 90°회전시켰다. 실험 시 Z축 방향의 지자계 실측치는 37.7  $\mu\text{T}$ 이므로 이에 해당하는 600.02 A의 전류를 인가하여 유한요소해석 수행하였고, 실험과 동일 측정위치인 선저로부터 1m 떨어진 지점에서 측정된 IVM에 대한 해석 결과는 그림 8과 같다.

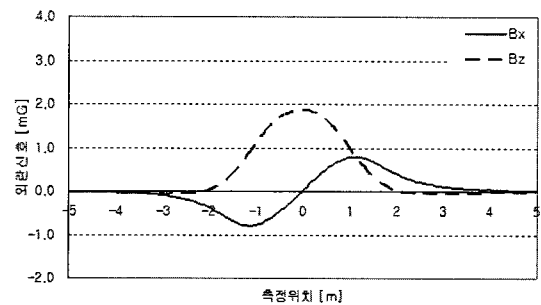
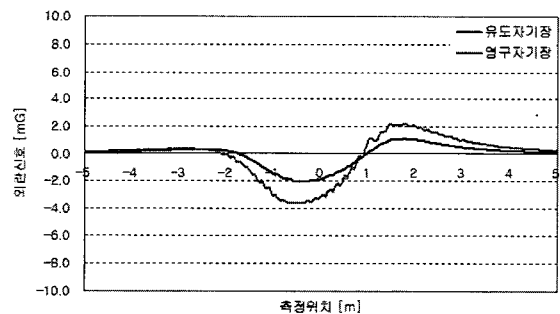


그림 8 유한요소해석에 의한 IVM 성분

Fig. 8 IVM component by the finite element analysis

식 (1)에서 전체 측정자기장은 PM과 IM의 합이므로 이상에서 예측한 ILM, IVM성분을 전체 측정자기장에서 감하면 PM 성분을 얻을 수 있다. 이를 각 축 방향 성분으로 나누어 PM 및 IM을 나타내면 그림 9와 같다. 실험한 모델함정의 PM과 IM은 최대치에서 PM이 IM의 약 2배 정도의 크기를 가지고 있다. 이는 향후 함정 주위의 임의의 위치에서 지자계 외란신호를 정확하게 예측하기 위해서는 선체에 분포하는 영구자화를 탐색할 수 있는 역문제(inverse problem) 해석에 대한 추가 연구가 필요함을 시사하고 있다.



(a) X축 방향성분

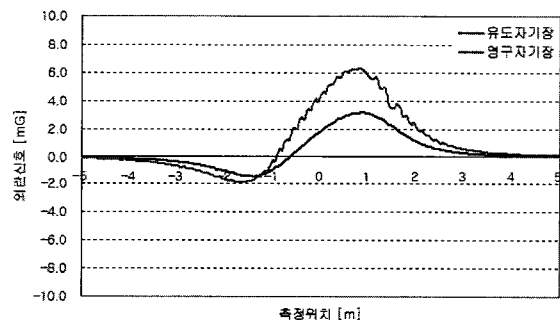


그림 9 M과 IM 성분 분리

Fig. 9 separation of induced magnetic field and permanent magnetic field

### 3. 결 론

본 논문에서는 모델함정 실험과 전자장 수치해석 기법을 이용하여 함정에서 발생하는 PM과 IM 성분을 효과적으로 분리하는 방법을 제시하였다. 수치해석기법을 통해 예측된 ILM의 경우 모델의 왕복실험에 의해 측정된 ILM 값과 비교하여 수치해석 결과에 대한 신뢰성을 검증했다. 이를 바탕으로 모델의 IVM을 유한요소해석을 통해 예측하여 실험치로부터 PM 성분을 쉽게 분리하여 선체 재질에 의한 지자계 외란신호의 거동을 효과적으로 분석할 수 있었다. 이러한 연구결과는 함정의 자기정숙화(magnetic silence)연구를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-067)주관으로 수행된 과제임.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. Vishnevski, I. Krasnov and A. Lapokov, "Calculation of static magnetization for thin-walled constructions by boundary element method", IEEE Trans. on Magn., vol. 29, no.2, pp. 2152-2155, Sept. 1993.
- [2] Peter Monk, Finite Element Methods for Maxwell's Equations, Clarndon press, 2003
- [3] Ernesto Santana-Diaz, Robert Tims, A Complete Underwater Electric and Magnetic Signature Scenario Using Computational Modeling, 2006
- [4] Xavier Brunotte, Gerard Meunier and Jean-Paul Bongiraud, "Ship magnetizations modelling by the finite element method", IEEE Trans. on Magn., vol. 29, no.2, pp. 1970-1975, March. 1993.
- [5] Olivier Chadebec, Jean-Louis Coulomb. Vincent Leconte, Jean-Poul Bongiraud and Gilles Cauffet, "Modeling of Static Magnetic Anomaly Created by Iron Plates", IEEE Trans. on Magn., July. 2000.
- [6] Olivier Chadebec, Jean-Louis Coulomb, Gilles Cauffet and Jean-Poul Bongiraud, "How to well pose a Magnetization Identification Problem", IEEE Trans. on Magn., vol. 39, no.3, pp. 1634-1637, May. 2003.
- [7] Olivier Chadebec, Jean-Louis Coulomb. Jean-Poul Bongiraud, Gilles Cauffet and Philippe Le Thiec, "Recent improvements for solving inverse magnetostatic problem applied to thin shells", IEEE Trans. on Magn., March. 2002
- [8] John David Jackson, Classical Electrodynamics, Third Edition, Wiley, 2001
- [9] Xavier Brunotte and Gerard Meunier, "Line element for efficient computation of the magnetic field created by thin iron plates", IEEE Trans. on Magn., vol. 26, no.5, pp. 2196-2198, September. 1990.
- [10] L. Krahenbuhl and D. Muller, "Thin layer in electrical engineering. Example of shell models in analyzing

eddy-currents by boundary and finite element method", IEEE Trans. on Magn., vol. 29, no.2, pp. 1450-1455, March. 1993.

## 저 자 소 개



#### 이 강 진 (李康珍)

1980년 8월 23일생. 2006년 부경대 전기공학과 졸업. 2006년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정  
Tel : 053-940-8503  
Fax : 053-940-8603  
E-mail : kjlee1008@knu.ac.kr



#### 양 창 섭 (梁昌燮)

1988년 경북대 전자공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전자학과 졸업(공학석사). 2004년~현재 동대학원 전기전자컴퓨터공학부 박사과정. 현재 국방과학연구소 선임연구원  
Tel : 055-540-6191  
Fax : 055-542-3737  
E-mail : csyang@add.re.kr



#### 정 현 주 (鄭賢株)

2000년 2월 부산대학교 전기공학과 (공학석사). 2004년 8월 동 대학원 전기공학과 (공학박사). 현재 국방과학연구소 선임연구원  
Tel : 055-540-6191  
Fax : 055-542-3737  
E-mail : hyunhu30@hanmail.net



#### 김 동 훈 (金東勳)

1968년 2월 26일생. 1992년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1998년 동 대학원 전기동학과 졸업(공학박사), 1998.3~2001.2 LG전자 디지털어플라이언스 연구소 선임연구원, 2001.3~2002.2 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 연구교수, 2002.3~2002.8 기초전력원 특별연구원, 2002.9~2004.2 영국 Southampton대학 ECS Research Fellow, 2004.3~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 조교수  
Tel : 053-950-5603  
Fax : 053-940-8503  
E-mail : dh29kim@ee.knu.ac.kr