

합정에 의해 발생하는 수중 지자계 외란신호 해석

이강진*, 양창섭**, 정현주**, 김동훈*
*경북대학교, **국방과학연구소

Analysis of Underwater Earth Field Anomaly Generated by a Ship

Kang-Jin Lee*, Chang-Seop Yang**, Hyun-Ju Jung**, Dong-Hun Kim*
*Kyungpook National University, **Agency for Defence Development(ADD)

Abstract - 본 논문에서는 지자계에 노출된 합정의 유도자화에 의한 자기장 성분을 분석하는 방법을 제시하였다. 우선 모델합정을 제작하여 지자계에 노출시킨 상태에서 왕복실험을 수행하고 이때 측정되는 데이터를 수집하여 합정의 수평방향으로 유도되는 자기장성분을 분리하였다. 또한 정밀 수치해석기법을 통해 측정치와 비교함으로써 정밀 수치해석 기법에 의한 예측값의 신뢰성을 확인하였다. 따라서 본 연구결과는 합정 제작 상에 분포하는 유도자화 및 영구자화에 의한 자기장의 거동을 예측함으로써 합정의 자기정숙화(magnetic silent)연구에 중요한 기초 자료로 활용될 것으로 사료된다.

1. 서 론

근래 과학기술 및 산업발전에 기인하여 기뢰의 탐지 수단이 고성능화, 고지능화 됨으로써 합정의 접근을 효과적으로 차단하고 합정의 기능을 무력화하기 위해 개발된 수중 기뢰(mine)는 합정 운항과 그 기능 수행에 큰 위협 요소가 되고 있다. 특히 지자계(earth field)의 수천에서 수만분의 일의 정밀도를 갖는 고감도 자기 센서의 개발로 인해 강자성체(ferromagnetic material)로 구성된 합정의 선체에 기인한 전자기장 외란신호는 현대식 기뢰에 가장 취약한 부분으로 대두되고 있다.

선체재료의 영구자화에 의한 자기장신호는 합정의 제작과정의 작업공정, 재료의 피로(stress), 또는 장시간 합정이 같은 방향의 지자계 환경에 노출될 경우 발생한다. 따라서 선체 영구자화에 의한 영구자기장(permanent magnetic field: 이하 PM) 성분은 그 발생 원인에서 알 수 있듯이 이론적인 예측이나 측정이 어려울 수밖에 없다[1][2]. 반면 선체재료의 유도자화에 의해 발생하는 유도자기장(induced magnetic field: 이하 IM) 성분은 합정 외부에 인가되는 지자계에 의해 일시적으로 선체의 자성재질이 자화되어 발생하게 된다. 따라서 유도자기장 성분은 유한요소법 등의 정밀 전자장 수치해석 기법을 사용하여 이에 대한 예측이 비교적 용이하다.

본 논문에서는 전체 측정 자기장에서 IM 성분을 분리하고 이를 유한요소해석을 통해 정밀도를 검증하기 위해 모델합정을 제작하였다[3]. 합정에 의한 전체 외란 신호는 IM과 PM 성분의 합으로 나타나므로 합정의 왕복 실험에 의해 IM을 계산하는 방법을 제시하였다. 또한 실험을 통한 IM 측정치의 정밀도를 검증하기 위해 정밀 수치해석기법을 이용하여 예측치의 신뢰성도 확인하였다.

2. 본 론

2.1 모델합정 실험에 의한 지자계 외란신호분석

모델합정 주위의 자기장신호를 측정하기 위해서는 정지된 합정 주위에 측정하고자 하는 지점을 따라 다수의 자기센서를 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 1에서 보는 바와 같이 모델합정의 외관은 주갑판과 주갑판 아래 선체 및 상부구조물로 구성되며 선체 재료는 주석도금강판을 사용하였다.

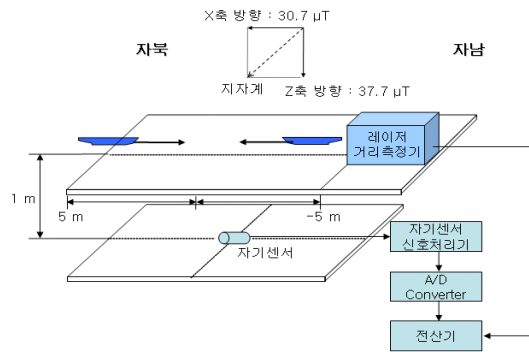
<표 1> 모델합정제원

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



<그림 1> 실험에 사용된 모델합정

합정의 위치와 센서에서 측정되는 자속밀도 값을 수집하기 위하여 그림 2와 같이 실험 장치를 구성하였다. 자기센서는 합정의 선체로부터 1 m 아래 위치에 설치하고 합정의 중심을 지나는 자남(magnetic south)과 자북(magnetic north)을 통과하는 레이저의 중앙에 일치시켰다. 또 모델합정의 원활한 이동을 위해 합정을 비자성재료의 이동대차에 올려놓고 레이저 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.



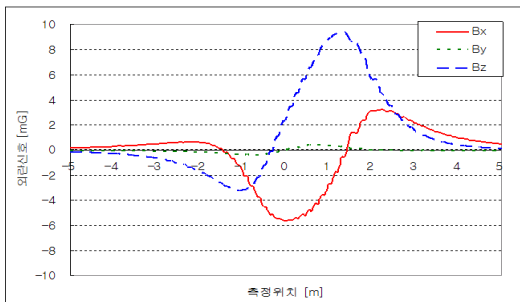
<그림 2> 모델합정 실험구성

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

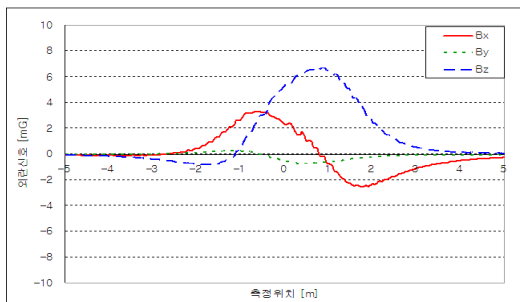
합정 주위에서 측정되는 H 값은 외부에서 인가되는 지자계가 포함되어 있다. 따라서 측정위치에서 이 외부 지자계를 제외한 값, 즉 선체에 의해 발생하는 순수한 PM과 IM 성분의 합을 각각 B_N , B_S 로 정의하였다. 이 값은 선체 재질이 자화에 의한 지자계 외란신호에 해당하는 수치이고 침자는 모델합정의 침로방향을 의미한다.

그림 3은 모델합정의 왕복실험에서 얻어진 데이터의 X, Y축, Z축 성분을 나타내는 그림으로 PM과 IM 모두를 포함한 측정 결과이다. 왕복 실험에서 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. 영구자화

성분은 침로에 관계없이 같은 크기와 방향을 가지므로 각 측정분의 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.



(a) 침로가 남쪽일 때 외란신호 특성



(b) 침로가 북쪽일 때 외란신호 특성

<그림 3> 모델합정에 의한 전체 지자체 외란신호

ILM은 지자체에 의해 발생하는 IM중에서 모델합정의 길이방향으로 발생하는 외란신호이고, IVM은 모델합정의 수직방향으로 발생하는 자기장 성분으로 정의하였다. 여기서 철자 X, Z가 각 ILM성분의 축방향 성분을 의미한다고 하면 ILM_x 는 침로와 관계없이 방향과 크기는 서로 같고, ILM_z 은 크기는 같으나 모델합정의 침로에 따라 선체 재질의 자화 방향이 바뀐다. 따라서 침로를 자남방향 기준으로 X축 측정값의 평균을 계산하면 식 (1)과 같이 ILM의 X축 성분을 구할 수 있다. 또한 수집한 Z축 측정값 차의 평균값에서 ILM_z 성분을 계산할 수 있으므로 식 (2)와 같이 된다. 이 경우 크기와 방향이 침로에 따라 고정인 PM과 IVM의 X, Z성분은 식 (1)과 식 (2)의 연산에 의해서 서로 소거된다.

$$ILM_x = \frac{\overrightarrow{B_{Sr}} + \overrightarrow{B_{Nr}}}{2} \quad (1)$$

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

2.2 수치해석 결과 및 신뢰성 검증

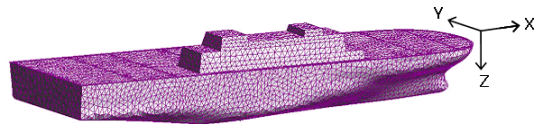
실험에 의해 구한 ILM성분의 정밀도와 신뢰성을 입증하기 위하여 분리된 ILM성분에 대한 비교검증을 수행하였다. 이를 위해 모델합정의 3차원 솔리드(solid) 형상을 설계프로그램인 Pro-Engineer (Wildfire Version 2.0)에 의해 정밀하게 구현하고 이를 전자장 수치해석 도구인 MagNet(Version 6.22)을 이용하여 형상화하였다.

합정을 구성하고 있는 실제 재질의 자화곡선(magnetization curve)은 비선형 특성을 지니고 있으나 지자체에 의해 자화되는 조건 하에서는 전체 자화곡선에서 원점에 가까우므로 선형적인 변화를 갖는다. 따라서 합정의 재질은 선형 재질로 선택되어 있으며, 해석옵션(solver option) 또한 'Linear solver'로 설정하였다. 또한 유한요소 해석 시 요소의 보간 함수의 차수를 2차로 지정하여 수치해의 정밀성을 높였다.

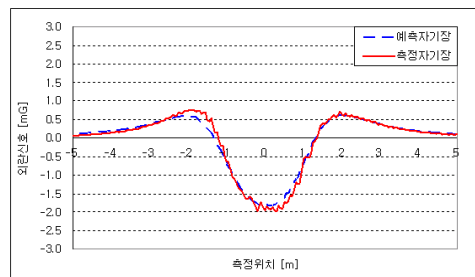
그림 4는 합정의 3차원 형상과 유한요소해석을 수행하기 위해 분할된 모델의 요소분할도를 보여준다. 여기서 실험조건과 동일한 지자체를 전자장 해석도구에서 구현하기 위하여 합정 형상의 상하에 평행 전극판을 설정하였다. 평행 전극판의 위쪽 평판에 -Y축 방향, 아래쪽 평판에 Y축 방향으로 전류를 인가하여 합정에 인가되는 지자체를 선미에서 선수로 가는 방향으로 설정하였다. 이때 전류의 크기는 실험에서 측정된 수평방향 지자체 크기 30.7 μ T에 해당하는 값으로 권선횟수 1000회의 0.4886057 A를 인가하였다.

해석에 의해 얻어진 ILM성분의 예측결과와 식 (1) 및 식 (2)에 의한

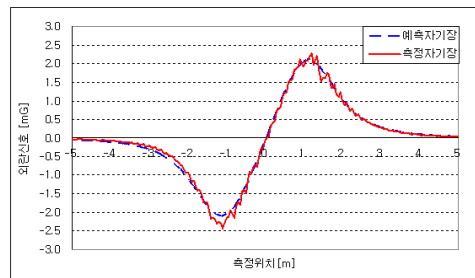
실험결과를 그림 5에서 비교하였다. 이 그림에서 확인할 수 있는 바와 같이 실험과 수치해석에 의한 각각의 그래프 형태는 거의 유사하며 최대치와 최소치 비교에서도 매우 근접한 값을 가진다. 그림 5에서 그래프의 면적계산을 통해 구한 평균오차는 X축 성분에서 4.79 %, Z축 성분에서 2.64 %로 계산되었다. 실험과 유한요소해석에 의한 데이터가 거의 동일하므로 유한요소해석에 의한 지자체 외란신호 예측값의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 그림 5의 측정자기장 분포에 나타나는 잡음신호는 실험 시 이동대차가 이동 중에 발생하는 진동에 의해 기인되는 것으로 판단된다.



<그림 4> 유한요소해석에 의한 검증



(a) X축 방향성분



(b) Z축 방향성분

<그림 5> 유한요소해석 측정치와 실험 측정치 비교

3. 결 론

본 논문에서는 모델합정의 왕복실험을 통한 합정의 수평방향 유도자기장 분리방법과 전자장 수치해석기법을 이용하여 측정치의 정밀도와 신뢰성을 분석하였다. 이를 바탕으로 합정의 수직방향 및 합정을 가로지르는 현측방향 유도자기장을 예측할 수 있으므로 합정에 의해 발생하는 수중 지자체 외란신호의 거시적인 거동을 분석할 수 있다. 이러한 연구 결과는 합정의 영구자기장 예측을 위한 기초 자료로서 합정의 자기정숙화(magnetic silent)연구에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 국방과학연구소의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[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] Ernesto Santana-Diaz, Robert Tims, A Complete Underwater Electric and Magnetic Signature Scenario Using Computational Modeling, 2006
- [3] 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.