

---

# Magnetic Field 기반 수중무기체계 발화확률에 관한 연구

임병선\* · 홍성표\*\* · 김영길\*\*\*

## A Study on Actuation Probability of Underwater Weapon Based on Magnetic Field

Byeong-Seon Lim\* · Sung-Pyo Hong\*\* · Young-kil Kim\*\*\*

### 요 약

2010년 천안함 침몰로 인해 수중 폭발체의 위험성이 전시 뿐만 아니라 평시에도 대단히 중요하게 다뤄져야 하며, 그에 따른 방어대책이 필수적으로 필요함을 인지하게 되었다. 다양한 수중무기폭발 체계 중 대표적인 비닉(庇匿) 무기체계인 기뢰를 중심으로 탐지수단, 탐지방법, 위협 제거 방안 등에 대해 연구하며, 특히 탐지를 위한 대표적인 센서인 자력계 등의 데이터를 참조하여 발화확률 모사 시스템을 모델링하고, 아 해군 보유 함형에 따른 수심별 해석을 통해 발화확률 등을 시뮬레이션 하여 효과적인 탐지, 위협제거 및 궁극적인 대기뢰전 전술 등을 연구/제안 한다.

### ABSTRACT

This Paper deals with detection and defense methods for underwater weapons because there are so many dangers of underwater weapons not only in the war period but also in the peace time. Underwater mines are the representative strategic arms. The sensors and target detection methods, threat elimination method of mines included in this paper. Among the various sensors of mine, we use the magnetometer for target detection method in the simulation and execute the analysis of magnetic field of detected target ships. It will be also provided that effectiveness of target detection, sweeping method of mine, tactics of mine planning and mine sweeping and so on.

### 키워드

함정 자기장, 발화확률, 음향/자기 탐지.

### Key word

Magnetic Field of Ship, Probability of Actuation, Acoustic detection, Magnetic detection.

---

\* 정회원 : 아주대학교 NCW학과 박사 과정

접수일자 : 2013. 01. 09

\*\* 정회원 : 한남대학교 산업공학과 박사 과정

심사완료일자 : 2013. 01. 23

\*\*\* 종신회원 : 아주대학교 전자공학과교수(교신저자, ykkim@ajou.ac.kr)

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.5.1253>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

2010년 천안함 침몰로 인해 수중 폭발체의 위험성이 전시 뿐 만 아니라 평시에도 대단히 중요하게 다뤄져야 하며, 그에 따른 방어대책이 필수적으로 필요함을 인지하게 되었다.

다양한 수중무기폭발 체계 중 대표적인 비닉(庇匿) 무기체계인 기뢰를 중심으로 탐지수단, 탐지방법, 위협 제거 방안 등에 대해 연구한다.

특히 탐지를 위한 대표적인 센서인 자력계 등의 데이터를 참조하여 발화확률 모사 시스템을 모델링하고, 아해군 보유 함형에 따른 수심별 해석등을 통해 발화확률등을 시뮬레이션 하여 효과적인 탐지, 위협 제거 및 궁극적인 대기뢰전 전술 등을 연구/제안 하는 것을 목표로 연구의 폭을 넓혀 가기로 한다.

## II. 기뢰의 유형과 분류

기뢰는 폭약을 용기에 넣어 함정(선박)에 접촉이나 접근 했을 때 폭발시켜 파괴하는 수중무기로 정의되며 바다에 설치하는 지뢰(Mine)로 일컫는다. 기뢰의 어원으로는 기계식수뢰를 줄여 기뢰로 부른다고 알려져 있다.

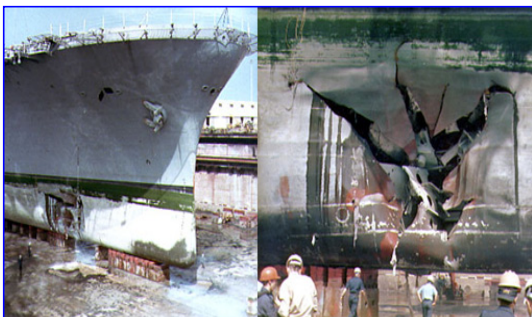


그림 1. 기뢰에 의한 피해(USS Tripoli, LPH-10)  
Fig. 1 Damaged by Sea-Mine(USS Tripoli, LPH-10)

기뢰의 전략적 가치는 잠수함, 생화학무기와 더불어 대표적인 비대칭전력으로써 간단한 기술과 저렴한 제작 비용을 들 수 있으며, 그림 1은 1991년 걸프전 '사막의 폭풍' 작전 시 3천달러 정도의 저가 이라크 기뢰에

의해 파괴된 미국의 고가 강습 상륙함의 처참한 피해 모습이다.

기뢰의 구분은 대표적으로 발화방식과 부설위치 그리고 부설수단에 따른 분류에 의해 구분된다. 발화방식에 의한 구분으로는 (1)계류기뢰: 기뢰와 유선으로 연결하여, 함정이나 육지에서 기폭 (2)부유(접촉)기뢰: 표적 함정과 직접 부딪히면 폭발 (3)감응기뢰: 함정주변에서 발생하는 자기, 음향, 압력 등을 감지하여 폭발한다. 감응기뢰 중 자기 감응기뢰는 함정에서 발생하는 자장을 감지하여 폭발하고, 음향기뢰는 함정에서 발생하는 소음을 감지하여 폭발하며, 압력감응기뢰는 함정의 움직임에 의해 발생하는 수압의 변화를 감지하여 폭발하는 구조이다. (4) 지능형기뢰: 원하는 시기에 폭발하거나, 일정시간 경과 시 기폭 중단 가능하며, 회수/계산기뢰 등이 여기에 해당한다. 부설수단에 의한 구분으로는 (1) 수상함 부설기뢰: 대량의 기뢰를 방어용으로 부설 시 사용, (2) 잠수함 부설기뢰: 공격용 기뢰를 부설 시 사용, (3) 항공기 부설기뢰: 신속 다량의 기뢰 부설 요구 시 사용(공격 또는 방어용) 등이 있다.

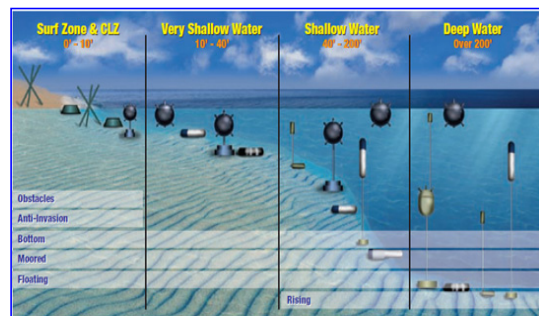


그림 2. 기뢰의 유형과 분류  
Fig. 2 Classification of Sea-Mine

부설위치에 따른 구분으로는 (1)부유기뢰: 해류/조류를 따라 물 위에 떠다니면서 공격대상 함정과 직접 접촉하여 폭발 (2)계류기뢰: 기뢰 자체의 부력을 이용, 한쪽에 닿을 단 강성 케이블로 기뢰를 마치 해저에 있는 기구처럼 띄워놓은 기뢰를 말하며, (3)해저기뢰: 해저면(바닥)에 부설된 기뢰를 일컫는다. 또한 (4)어뢰식기뢰(Captor Mine): 해저에 설치하여, 수상함 또는 잠수함이 지나가면 감응하여 솟아올라 추적 및 공격하는 기뢰가 있으며, (5)자항기뢰: 잠수함에서 발사되어 스스로

부설위치로 이동하는 기뢰이다. 잠수함이 적 항만까지 들어갈 수 없을 때도 부설 가능한 기뢰이며, 미국의 경우 SLMM(Submarine Launched Mobile Mine, ‘슬림’이라고 읽음)이 있으며, 러시아는 SMDM시리즈로 Self Propelled Mine이라 명칭된 자항기뢰가 있고, 중국도 Self Propelled Mine을 전력화 한바 있다.

### III. 기뢰의 탐지체계 및 자력계

아래 그림 3과 같이 지구의 지표상 어느 곳에서는 지구 자기장은 크기와 방향을 가진 벡터로 표현이 된다. 그리고 그림 3의 우측에서 보는 바와 같이 대륙 또는 지역 별로 일정한 자기장 분포값을 가짐을 알 수 있다.

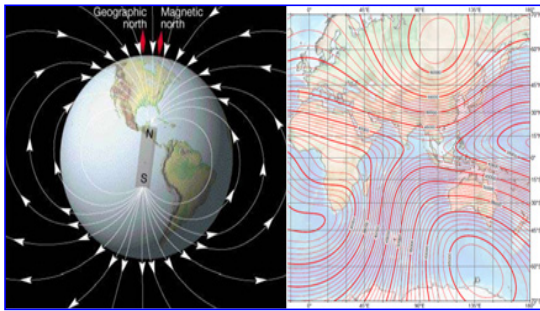


그림 3. 지구자기장 분포  
Fig. 3 Magnetic Field Total Intensity of the Earth

함정이 발생하는 특성신호에는 기계류등에 의한 음향신호와 자기장 신호가 있다. 이중 함정의 정자기장 신호는 해양 환경조건의 변화에 무관하고, 근거리 영역에서의 비교적 정확한 표적 탐지 및 식별이 가능하다는 장점이 있다.

다음 그림 4와 같이 수상함이 항행을 하게 되면, 함정 움직임에 해당하는 정자기장의 왜곡이 발생하며, 기뢰는 자력계 등의 센서들을 이용해 이를 탐지하고 목표 대상 함정을 식별하게 된다.

대부분의 기뢰는 목표 함정을 식별하면 주장약을 기폭시켜 목표함정에 대해 완과/임무불능/통신 불능 등의 피해를 발생시키게 되며, 대상 함정 중 특정 번째 함정만을 피격 목표로 하기 위한 함정계수(count) 기능을 보유하기도 한다.

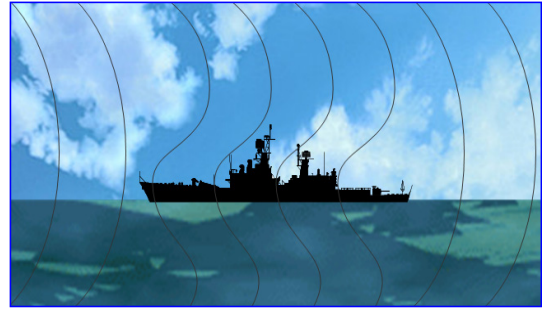


그림 4. 함정에 의한 지구자기장 변화  
Fig. 4 Distortion of Earth Magnetic Field by Ship

발화방식에 따른 기뢰의 분류에서 보았듯이 기뢰가 수중에서 잠수함이나 수상함 등의 타겟을 탐지하는 수단으로는 음향센서, 자력계 및 압력센서등을 사용하게 된다. 그 중 본 연구에서 주목하는 부분은 대부분의 현존 기뢰들은 음향과 자기로 복합 센싱을 하지만 특히, 자기값에 의한 탐지를 주력으로 한다는 점이다. 또한, 우리나라도 비슷하거나 기존 기뢰는 전력화 되지 오래되었기 때문에 2축 자력계를 주로 사용하였지만, 앞서 언급했던 자항기뢰 등을 신규 무기체계로 가지려면 자기장 탐지용 자력계는 3축으로 개선하는 방안을 목표로 하는 것이 적합하다고 판단한다.

### IV. 자력계 모델링 및 시뮬레이션

강철로 건조된 해군 함정들은 지구자기장에 의해 정수직하방(Positive Down, z축), 정 이물방향(Positive toward the bow, x축), 정 우현방향(Positive toward the starboard side, y축) 영향을 받는 3축 직교(orthogonal) 유도자기장(Induced Magnetic Field)과, 강철 선체에 기인한 3축 직교 영구자장(Permanent Magnetic Field)의 영향 하에 있게 된다. 이들 3축 유도자기장을 각각 IVM(Induced Vertical Magnetization), ILM(Induced Longitudinal Magnetization), IAM(Induced Athwartship Magnetization)이라 하며, 다음 그림 5를 통해 왼쪽으로부터 각각의 방향으로 해당 함정이 받는 유도자기장의 방향을 살펴볼 수 있다.

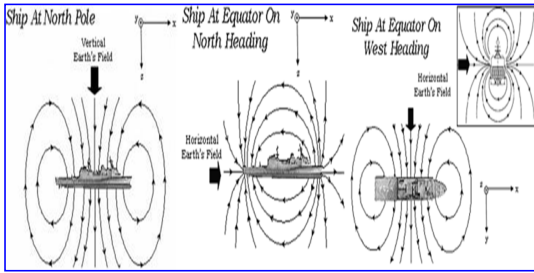


그림 5. 해군 함정의 3축 유도자기장  
Fig. 5 Triaxial Induced Magnetic Field of ship

함정의 3축 영구자기장은 각각 PVM, PLM, PAM에 해당하며, 아래 그림 6의 특성을 보인다.

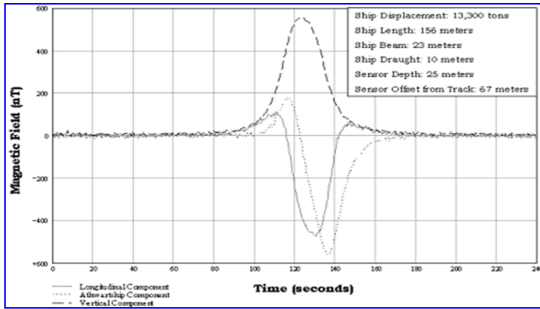


그림 6. 해군 함정의 3축 영구자기장 특성  
Fig. 6 Triaxial Permanent Magnetic Field of ship

아래 그림 7은 지구 자기장을 수식으로 표현하기 위한 참조 모델을 보여주고 있다.

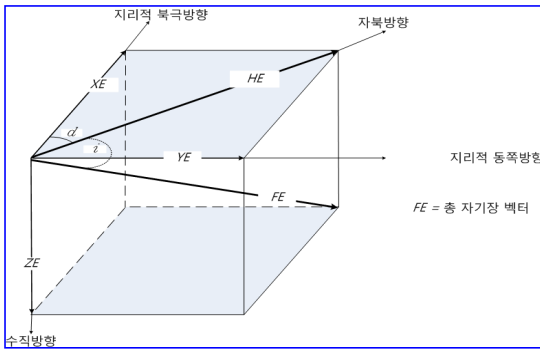


그림 7. 자기장 벡터  
Fig. 7 Magnetic Field Vector

함정의 자기 특성 값은 위에서 살펴본 3축 자기장 값의 합성자기장으로 특징화 되며, 위 그림 7을 참조로 하여 각 축 벡터 값을 합성 값으로 하는 자기장 총합( $F_E$ ) 수식으로 표현될 수 있다.

$$F_E = \sqrt{H_E^2 + Z_E^2} = \sqrt{X_E^2 + Y_E^2 + Z_E^2} \quad (1)$$

앞서 언급했던 대로 2축 자력계 대비 3축 자력계의 성능 증대에 대한 시뮬레이션은 MATLAB 프로그램을 이용하여 진행하였다. 2축 자력계는 탐지하고자 하는 대상 함정을 두 축 중 하나가 지향을 하도록 놓여 지지 않는다면 탐지 성능이 분명 떨어질 것임이 분명하다. 만약 이를 3축 자력계로 성능개량 했을 때에는 기뢰에 장착된 자력계가 어떤 방향으로 착저 되더라도 표적 함정이 존재하는 수직 상 방향 지향이 가능하므로 탐지효율이 개선된다는 판단 하에 3축 자력계 제작 전에 컴퓨터 기반 모델링 및 실험으로 사전 검증 했다.

자력계가 탐지하는 대상함정은 수상함 전단 중 지휘 함정에 해당하는 호위함급 이상의 크기를 갖는 대형함정으로 가정하고, 그 입력값은 실측된 IVM, ILM, IAM, PVM, PLM, PAM 각 채널값을 사용했으며, 수중 매설된 기뢰의 자력계를 on-top으로 함정이 지나가는 것으로 시뮬레이션 하였다.

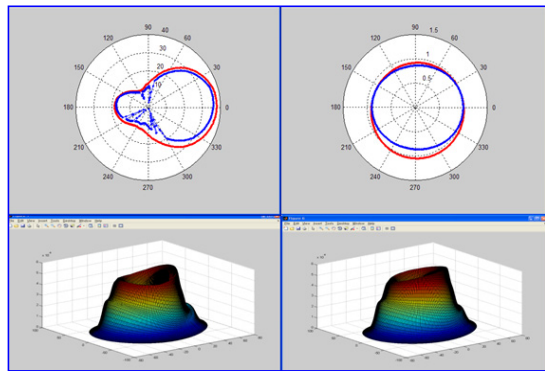


그림 8. 2축, 3축 탐지값 최소, 최대 비교  
Fig. 8 Min/Max Magnetic Value of 2 / 3 Axis

자력계가 위치한 기뢰의 heading 방향을 기준으로 탐지된 자기 값의 차이를 보기위해 탐지된 최대, 최소 값으로 비교해보면 앞 그림 8과 같다.

그림 8에서 볼 수 있듯이 2-D 그래프로 전방위별 탐지값을 비교했을 때 파란색의 2축 자력계의 탐지 자기값이 빨간색의 3축 탐지 자기값에 비해 최소값 기준 비교를 해보았을 때 특정 방위에서 상당한 탐지율의 차이를 보였다. 탐지분포에 대한비교를 위해 3-D space gram의 3축 그래프에서 2축 그래프를 제거해 보면, 다음 그림 9와 같이 세로축의 인덱스 편차를 고려하더라도 2축과 3축의 탐지결과에 대한 차이를 확연히 볼 수 있다.

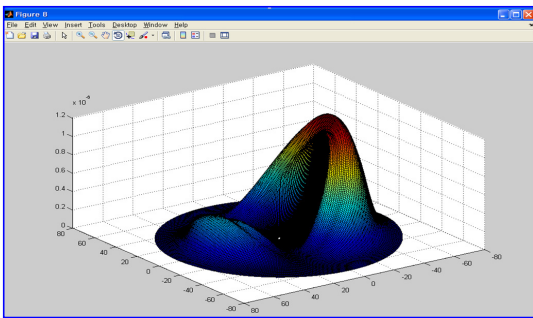


그림 9. 2축과 3축 자력계의 탐지값 차이  
Fig. 9 Magnetic Field Difference of 2&3 Axis

위 그림 9에서는 2축과 3축 자력계의 목표 함정에 대한 탐지값의 차이를 정성적으로 보여주었고 있지만, 정량적인 차이에 대한 해석이 불가능하다. 따라서, 2축 자력계를 3축 자력계로 성능 개선했을 때의 탐지확률에 대한 정량적 지표를 알아보기 위해 각각의 자력계가 장착된 동일 기뢰를 가정하고, 특히 해저의 평평한 지형이 아닌 경사진 지형에 기뢰가 매설되었을 때가 탐지축이 늘어난 것에 대한 차이를 가장 극명하게 보이겠다고 판단하여 추가 시뮬레이션을 해보았다.

위성체등을 비롯한 동특성을 갖는 많은 시스템은 자신에 맞는 적합한 좌표계를 설정하여 시간에 따라 시스템의 자세를 표현 할 수 있어야 한다.[5] 경사각이 있는 지형에 착저 한 기뢰의 자세를 표현하기 위하여 다음과 같이 오일러 좌표계를 이용하였다.

$$C_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

위 오일러 좌표계의 roll축 자세변환 식을 이용하여, 2축과 3축 자력계를 탑재한 동일 기뢰를 경사면 10도, 20도, 30도의 지형에 착저 시켰다고 가정 한 후, 동일 수심에서 목표함정을 탐지하는 합성자기장 결과 값은 그림 10, 표 1과 같음을 살펴볼 수 있었다.

경사각이 커질수록 2축과 3축 자력계 중 2축의 탐지값의 차이의 폭은 확연한 차이를 보임을 알 수 있다.

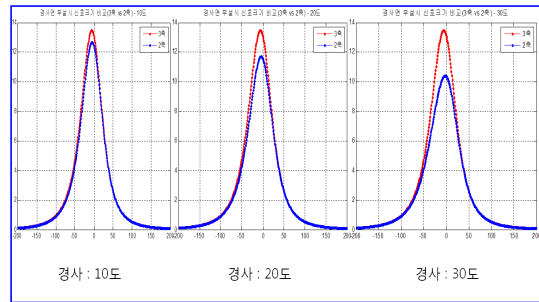


그림 10. 경사면 착저시 탐지확률  
Fig. 10 Detection Probability in decline Area

표 1. 경사별 탐지자기값 차이  
Table. 1 Detection Magnetic Field in Decline Area

구분	경사각	차이값(nT)	편차(%)
1	10	0.79	6.25
2	20	1.76	15.06
3	30	3.06	29.45

그림 10의 결과에서 빨간색은 3축 자력계의 탐지값이며 파란색은 2축 자력계의 탐지값을 보인다. 착저 경사값이 10도씩 증가될 때 3축 자력계의 값은 일정한 탐지값을 유지했으나 2축 자력계는 탐지성능이 6.25%에서 30도일 경우 최대 29.45%까지 큰 폭의 탐지성능 저하를 보임을 알 수 있었다.

## V. 결론 및 향후과제

전시 뿐 아니라 평시에도 수중무기체계의 위협이 상존하고 있는 현실에 살고 있는 우리나라로서는 자항기뢰 등의 신규 수중무기체계를 개발한다면 3축 자력계를 반드시 적용하는 것이 바람직하겠다. 또한, 탐지성능의

최대화를 위해서 음향센서 또는 수압센서 등을 복합 이용하는 하드웨어 체계와 데이터 융합 알고리즘을 개발 적용토록 하는 것이 군 전력화 뿐 아니라 평시 안보에도 더욱 크게 일조 하리라 본다. 향후 플럭스게이트 등의 발전된 탐지 소자들을 적용한 3축 자력계를 제작하여 실험해양환경에서의 시험을 거쳐 기존 전력화된 2축 자력계와의 성능차이를 실 검증 할 예정이다. 더불어 다양한 크기의 함정 자기값을 입력값으로 하여 탐지성능의 비교도 필요할 것이며, 운용수심별 시험도 병행 실시하여 탐지실효를 높이도록 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] John J. Homes, "Exploitation of a Ship's Magnetic Field Signature", Morgan & Claypool Publishers, pp. 10-13, 2006
- [2] Terrence M. Nawara, "Exploratory Analysis of Submarine Tactics for Mine Detection and Avoidance", Naval Postgraduate School, pp. 1-3, 2003
- [3] Alan R. Washburn, "Search and Detection, 4th ed.", Military Application society, pp 4.1-4.6, 2003
- [4] 양창섭. 정현주. 주혜선. 전재진., "강자성 함정 선체 및 내부 장비에 의한 수중 정자기장 신호 예측", 한국자기학회 제21권 5호, pp. 1, 2011
- [5] 이형근, "벡터, 좌표계, 좌표값 그리고 좌표변환행렬", 제어로봇시스템학회 제15권 4호, pp. 40-42, 2009

### 저자소개



**임병선(Byeong-Seon Lim)**

1993. 2. 아주대학교 전자공학과 공학사  
 2010. 8. 아주대학교 전자공학과 공학석사

2012. 12. 아주대학교 NCW학과 박사과정  
 1994~현재. LIG넥스원(주) 수석연구원  
 ※ 관심분야: 마이크로프로세서 응용설계, FPGA, Embedded System & Programming, NCW



**홍성표(Sung-Pyo Hong)**

1986. 3. 해군사관학교 조선공학과 공학사  
 1996.12. 국방대학교 무기체계학과 국방과학석사

2012. 12. 한남대학교 산업공학과 박사과정  
 2011~현재. 방위사업청 유도무기사업부  
 ※ 관심분야: Modeling and Simulation, 무기체계 연구 개발/획득, NCW



**김영길(Young-Kil Kim)**

1978. 고려대학교 전자공학과 공학사  
 1980. 한국과학기술원 산업전자공학과 공학석사

1984. ENST(France) 공학박사  
 1984. ~ 현재. 아주대학교 전자공학과 교수  
 ※ 관심분야: 마이크로과공학, 의료공학, Embedded System