



Received: 2026/02/20
Revised: 2026/03/03
Accepted: 2026/03/19
Published: 2026/03/31

***Corresponding Author:**

Miae Jeong
Room 204, Building A, 31, Dosin-ro 60-gil,
Yeongdeungpo-gu, Seoul, Republic of Korea
Tel: +82-2-748-3601
E-mail: jma0305jh@gmail.com

효과적 기뢰대항작전 수행을 위한 임무계획 수립 발전방안 연구

Development of Mission Planning for Effective Mine Countermeasures Operations

정미애^{1*}, 이택선²

¹해군 소령/합참 전략기획본부 정책관리담당
²예.해군 대령/전 제52기뢰전대장, KRISO 자문위원

Miae Jeong^{1*}, Taegseon Lee²

¹Strategic Planning Directorate, Joint Chiefs of Staff / Aide
²Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering / Principal Researcher

Abstract

효과적인 기뢰대항작전 수행을 위해 목표 기뢰제거율을 달성할 수 있는 임무계획 수립은 매우 중요한 분야이다. 본 연구는 임무계획 수립의 발전방안을 목표 기뢰제거율 산출 가능 적용, 탐색폭/탐지율 신뢰성 향상, 실시간 해양정보를 반영할 수 있는 방안 강구, 다양한 기뢰대항전력 간 공통의 임무계획 수립 알고리즘 적용의 네 가지로 제시하였다.

Mission planning capable of achieving the objective percentage clearance is critical for successful mine countermeasure operations. This paper presents four approaches for advancing mission planning: the application of a percentage clearance calculation function, enhancement of the reliability of characteristic mine detection width and characteristic mine detection probability, development of methods to incorporate real-time oceanographic information, and the application of a common mission planning algorithm across diverse mine countermeasure forces.

Keywords

기뢰대항작전 임무계획 수립(MCM Mission Planning), 기뢰전 해양환경 모델(K-MEDAL), 기뢰제거율(Percentage Clearance), 해저등급(Bottom Type) 탐지율(Characteristic Mine Detection Probability)

1. 서론

기뢰대항작전은 제 1·2차 세계대전부터 최근의 러·우전쟁까지 다양한 해전에서 전략·작전·전술적 중요성을 입증해왔다. 기뢰대항작전 수행을 위해서는 막대한 노력과 시간의 투입이 요구되기 때문에, 적절한 수준의 기뢰제거율(percentage clearance)을 선정하고 해당 기뢰제거율을 달성할 수 있는 임무계획을 수립하여 수행하는 것은 매우 중요하다. 한국 해군 52기뢰전대 및 소해함은 기뢰대항작전 임무계획 수립의 도구로서 K-MEDAL(Korea-mine warfare & environmental decision aid library: 기뢰전 해양환경 모델)을 장기간 운용해 왔으나, 미래 다수의 기뢰작전 유·무인체계의 임무계획 수립 불가 등의 제한사항이 있다[1]. 이를 극복하기 위해 현재 K-MEDAL을 보완하는 후속체계를 개발하고 있으며[2], 차기 소해함 MSH-II의 기뢰전 전투체계에도 임무계획 수립을 위한 알고리즘이 적용될 예정이다. 따라서 본 연구는 향후 십수년에서 길게는 수십 년 간 적용될 기뢰대항작전 임무계획 수립 도구의 적절성은 효과적인 작전에 있어 필수적이라는 인식 하에, 임무계획 수립의 발전방안에 대해 논하고자 하며 기뢰탐색(mine hunting)을 중점적으로 설명하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 제2장에서는 기뢰대항작전 임무계획 수립을 위한 주요 영향요소에 대해 확인한다. 제3장에서는 한국, NATO, 미국의 기뢰대항작전 임무계획 수립 절차

및 문제점을 살펴본다. 제4장에서는 효과적인 기뢰 대항작전 수행을 위한 임무계획 수립 발전방안을 네 가지로 제시한다.

2. 이론적 논의

2.1 기뢰대항작전 임무계획

지휘관이 가용시간, 위험요소 등을 종합적으로 고려하여 설정한 적정 수준의 기뢰대항작전 수행 목표는 기뢰제거율이라는 정량적 수치로 변환된다. 기뢰대항작전 임무계획이란 해당 기뢰제거율을 달성하기 위해 실제 손해함이 음탐기를 운용하며 기동하여야 하는 계획을 의미한다. 통상 음탐기 운용 속력은 고정된 값으로 지정되며, 기뢰대항작전을 수행하여야 하는 구역에서의 소항로 개수, 소항폭, 항주횟수 값이 임무계획 수립의 결과이다. 임무계획 수립에 크게 영향을 주는 요소는 해저등급(bottom type), 탐색폭(characteristic mine detection width)/탐지율(characteristic mine detection probability) 및 미탐지율(fraction of undetectable mines), 기뢰제거율 등이 있으며, 이어지는 절에서 해당요소들을 살펴본다.

2.2 기뢰대항작전에서의 해저등급

기뢰대항작전 환경요소는 지리적 요소, 수중환경 요소, 해저등급, 음향 요소, 자기 요소, 압력 요소, 기상 요소로 구분할 수 있다[4]. 그 중에서도 해저등급은 작전의 성패를 좌우하여, 정확하고 세밀한 정보 수집이 필요한 분야이다.

해저등급은 해저지형(bottom profile), 해저저질(bottom composition), 매몰률(burial), 접촉물 밀도(clutter density) 등 여러 가지 환경적 매개변수의

조합으로 설정된다[3]. 해저지형은 해저 거칠기에 따라 부드러운 해저, 보통 해저, 거친 해저의 3가지로 구분한다. 해저 저질은 펄, 모래, 암반으로 구분하며, 접촉물 밀도는 기뢰와 유사한 접촉물의 개수에 따라 1, 2, 3으로 나뉘어진다. 매몰률은 기뢰가 해저에 충돌하거나 무계에 의한 영향으로 퇴적물에 파묻히는 것이다. 위의 네 가지 요소에 의해 해저등급은 Table 1과 같이 A1~D3의 12가지 등급으로 구분된다[4]. 기뢰대항작전을 수행하여야 하는 구역의 해저등급을 12가지 중 하나로 분류하는 것은 기뢰대항작전 임무계획 수립을 위한 변수인 탐지율과 미탐지율을 선정하는데 매우 중요한 절차이다.

2.3 탐색폭/탐지율/미탐지율

탐색폭 A는 기뢰대항전력이 기뢰를 탐지시킬 수 있는 범위 내에서의 항해폭이며, 탐지율 B는 탐색폭의 범위 내에서 기뢰대항전력이 기뢰를 탐지할 수 있는 평균 확률을 의미한다. 탐색폭과 탐지율은 해저등급과 음탐기의 종류에 따라 다르게 적용된다[4].

미탐지율은 해저식물 등과 같은 해저환경에 의해 탐지할 수 없는 기뢰의 존재를 고려하여 설정한 값이며, 기뢰대항작전에서는 통상 μ 로 표기한다[5]. 미탐지율은 해저등급에 의해 결정된다. 결정된 탐색폭, 탐지율, 미탐지율의 수치는 기뢰대항작전을 수행하여야 하는 구역의 임무계획 수립을 위한 필수요소이다.

2.4 기뢰제거율

기뢰제거율은 함정 계수가 k로 설정된 단일 기뢰를 적어도 k번 작동시킬 확률 또는 하나의 기뢰를 탐지하고 무력화시킬 확률로 정의된다. 이는 또한 특정 특성의 기뢰가 어떠한 구역에서 제거된 것으로 추정되는 비율을 의미한다[4]. 기뢰제거율은 해당 구역의

Table 1. Bottom type

Bottom Composition	Mud, Sand												Rock					
	0~10%			10~20%			20~75%			75~100%			0~10%					
Burial																		
Clutter Density	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Smooth	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	D1	D2	D3	B1	B2	B3			
Bottom Profile	Moderately Rough			B1	B2	B3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	C1	C2	C3
Rough	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	C1	C2	C3			

기뢰대항작전에 얼마나 많은 노력을 투입해야 하는지에 대한 기준이 되는 수치값이며, 기뢰대항작전 종료 후 항로 내 존재할 수 있는 기뢰의 최대 수량(t)과 신뢰도(CL: confidence level)에 의해 아래 식 (1)과 같은 공식으로 결정된다.

$$P = 1 - (1 - CL)^{\frac{1}{1+t}} \quad (1)$$

이 공식은 통상 기뢰원에서 기뢰를 처음 찾을 때 적용하는 목표인 탐색목표(exploratory objective) 기뢰대항작전에 적용되며, 유도되는 과정은 아래와 같다.

현재까지 발견된 기뢰의 수를 n , 항로 내 존재할 수 있는 잔여기뢰 수를 m , 기뢰를 찾을 확률을 p 라고 할 때, $n + 1$ 번째 기뢰를 발견할 확률은 식 (2)로 표현 가능하다. 또한, 이때 현재까지 발견된 기뢰가 없다고 하면, 식 (2)는 식 (3)으로 정리될 수 있다.

$$P(m) = \left(\frac{m+n}{n}\right) p^{n+1} (1-p)^m \quad (2)$$

$$P(m) = p(1-p)^m \quad (3)$$

만약 기뢰를 찾을 확률 64%로 기뢰대항작전을 실시하였다면, 식 (3)에서 $P(0) = 0.64$, $P(1) = 0.23$, $P(2) = 0.08$ 이므로, $P(0) + P(1) + P(2) = 0.95$ 이다. 이는 기뢰제거율 64%로 기뢰대항작전을 실시하였을 경우, 기뢰가 0~2발 남아있을 확률이 95%임을 의미하고, 여기에서의 95%는 곧 신뢰도 CL이 된다[6]. 이 식을 보다 일반화하여, 기뢰가 t 발 이하 남아있을 신뢰도는 아래 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$CL = p(1-p)^0 + p(1-p)^1 + \dots + p(1-p)^t \\ = \sum_{m=0}^t p(1-p)^m = p \times \sum_{m=0}^t (1-p)^m \quad (4)$$

식(4)는 공비가 $1-p$ 인 등비수열의 합 공식에 의해 식(5)와 같고, 결과적으로 이를 기뢰제거율에 대한 식으로 전환하면 식(1)과 같다.

$$CL = p \times \frac{1 - (1-p)^{t+1}}{1 - (1-p)} \quad (5)$$

식 (1)에 의해 기뢰대항작전에서 널리 사용되는 기뢰제거율인 기뢰가 1발 이하 남아있을 확률 95%, 기뢰가 2발 이하 남아있을 확률 64%가 계산된다. 이 개념은 반드시 신뢰도 값을 포함해야 하며, 발견된 기뢰가 없는 경우에만 적용할 수 있다. 또한 식 (1)에 의해 95% 및 64% 기뢰제거율 외에도 지휘관이 가용시간과 위험을 고려하여 기뢰가 3발 이하 남아있을 확률로 기뢰대항작전을 수행하라는 등의 다양한 지시를 하면 목표 기뢰제거율을 산출할 수 있다.

3. 기뢰대항작전 임무계획 수립 절차 및 제한사항

3.1 한국 해군 기뢰대항작전 임무계획 수립

한국 해군은 서론에서 언급한 것과 같이 기뢰대항작전 임무계획 수립을 위해 장기간 K-MEDAL을 운용해 왔다. K-MEDAL에서 개략적인 임무계획 수립은 Table 2와 같은 절차를 거친다[4].

우선 작전구역 및 참가전력 등의 일반사항을 입력하고, 함정계수, 수량 등의 부설 기뢰의 예상 정보를 입력한다. 다음으로 수심, 매몰물, 해저 거친정도, 저질, 미탐지율 등의 해양환경 정보를 입력한다. 작전 목표 및 전력운용 단계에서는 기뢰대항작전의 목표

Table 2. K-MEDAL mission planning procedure

General Operation	Operational Area, Mine Hunting/Sweeping Forces, etc
↓	
Mine Threat Analysis	Estimated number of emplaced mines, Ship counter, Mine diameter, etc
↓	
Maritime Environment Analysis	Depth, Burial, Bottom Type, Undetectable mine, etc
↓	
Operational Objectives and Force Employment	Operational Objectives (Exploratory/Reconnaissance Breakthrough/Clearing/Attrition), Percentage Clearance, Mine Hunting/Sweeping Speed, Characteristic mine detection width A, etc
↓	
Derivation of measures	Select the optimal plan from multiple plans based on verified simulation results.

(탐색/정찰/돌파/완전제거/소모) 중 하나를 선택하고, 목표 기뢰제거율, 탐색속력, 탐색폭, 탐지율 등을 입력한다. 방안도출 단계는 모의분석 결과 확인할 수 있는 다수의 계획 중 최적방안을 선정하는 것이다. 다음은 기뢰제거율을 선정하는 것인데, K-MEDAL은 제2장에서 살펴본 것과 같은 기뢰제거율 산출 기능은 제공하지 않는다. 다만, 기뢰대항작전에서 기뢰가 1발 이하 남아있을 확률 95%, 기뢰가 2발 이하 남아있을 확률 64%라는 널리 알려진 개념에 의해 95%, 혹은 64%를 선택하여 입력한다.

K-MEDAL의 임무계획 수립을 위한 알고리즘은 미국이 과거 사용하던 기뢰대항작전 임무계획 수립 알고리즘을 모방하여 개발되었는데[2], 각 탐색 시도를 독립적인 확률 사건으로 가정한 베르누이 시행¹⁾에 기반한 누적 성공 확률을 적용하고 있다. 제2장에서 설명한 탐지율과 미탐지율, 항주 횟수, 기뢰부설 수량 등을 변수로 포함하고 있으며, 보안을 고려하여 본고에서 상세한 기술은 하지 않았다.

K-MEDAL은 다음과 같은 제한사항이 있다. 우선 K-MEDAL의 기뢰제거율 입력 방식이다. K-MEDAL은 앞서 설명한 것과 같이 기뢰제거율 산출 기능을 제공하지 않는다. 하지만, 기뢰제거율을 입력하는 절차에서 2발 이하가 남아있을 확률인 64%, 1발 이하가 남아있을 확률인 95%라는 개념은 신뢰도 값에 따라 달라질 수 있고, 발견된 기뢰가 없는 경우에 한해 적용할 수 있기 때문에 무조건적으로 95%, 64%를 입력하는 방법은 바람직하지 못하다.

둘째, 소해함에서 K-MEDAL 산출 시 입력하는 탐색폭/탐지율 값의 신뢰도 문제가 있다. 일례로 MSH의 경우 양양급 1차선과 남해급 2차선의 음탐기 성능이 다름에도 불구하고, 탐색폭/탐지율 값은 동일한 수치를 사용하고 있다. 또한 해양환경에 따라 탐색폭/탐지율은 달라질 수밖에 없지만 이를 고려하지 않는다. 이에 대한 신뢰도 향상 방안으로 MSH 음탐기에서 제공하는 RTPM(real time performance monitor)을 활용하는 방안이 논의되었다. RTPM은 VOS(velocity of sound)를 활용하여 실시간 해양의 수심별 수온, 음속 등을 측정 후 입력된 저질, 기후, 예상 표적의 형태 및 반향강도 등에 따라 예상 탐색폭 및 탐지율을 제공해주는 기능이다. 하지만, RTPM 산출과정에서

저질 외에는 해저등급 정보를 반영하지 않고 있어, 해저에 있는 기뢰 탐지에 적용하기에 적절한 데이터인지 여부에 대한 논란이 있다.

셋째, MHC/MSH에서 운용하는 HMS/VDS 외의 센서는 탐색폭/탐지율과 미탐지율 값에 대한 정보가 부족하기 때문에 임무계획 수립을 할 수 없다[1]. 현재 소해함에서 운용 중인 측면주사소나(SSS: side scan sonar) 외에도 미래 기뢰대항작전의 주축이 될 기뢰전 USV나 AUV에 대해 소해함과 동일한 방식으로 임무계획 수립을 하는 것은 제한된다. 물론 각 센서별로 실제 탐색폭/탐지율과 미탐지율을 측정하여 D/B화한다면 소해함과 동일한 방식으로 K-MEDAL을 활용한 임무계획 수립이 가능할 수 있다. 하지만, 이 값을 D/B화하는 것은 무수히 많은 기뢰에 대해 해저등급별로 반복적인 탐색시도가 필요하기 때문에, 현재 제52기뢰전대의 제한된 전력으로 수행하기에는 어려움이 있다.

넷째, 알고리즘 자체의 신뢰도 문제이다. 기뢰가 각 항로에 균일하게 있다는 가정사항은 불가피하다 하더라도, K-MEDAL 알고리즘은 앞서 설명한 것과 같이 기뢰부설 수량을 변수로 적용하고 있다. 기뢰부설 수량 정보가 없는 상황에서도 기뢰부설 수량을 임의로 지정해야 한다. 또한 기뢰탐색을 위한 소해함이 음탐기의 탐색폭 대비 좁을 경우 인접한 항로에 위치한 기뢰를 탐색할 수 있는 가능성은 고려되지 않는다.

그 외에도 기뢰대항작전 수행 후 평가기능 부재 등 K-MEDAL의 다양한 제한사항을 극복하기 위해 한국 해군은 후속체계를 확보하는 것이 시급하다.

3.2 NATO 해군 기뢰대항작전 임무계획 수립

NATO 해군은 기뢰대항작전 임무계획 수립을 위해 MCM EXPERT(mine counter measure exclusive planning, evaluation, risk, assessment tool)를 사용한다. MCM EXPERT는 미군이 동맹군과 표준화된 기뢰대항작전 계획 및 평가를 위해 사용되며[5], 미군이 사용하는 기뢰대항작전 임무계획 수립 도구인 MNT(minenet tactical)와 연동되거나 데이터 전송을 할 수는 없다.

MCM EXPERT도 작전구역 및 환경설정은 K-MEDAL과 크게 다르지 않다. 이후 MCM EXPERT는 목표 기뢰제거율을 산출하게 되는데, 이때 기뢰를

¹⁾ 베르누이 시행이란 동전 던지기과 같이 임의의 시행 결과가 성공 또는 실패의 두 가지 중 하나인 경우를 의미한다.

최초 탐색하는 탐색목표 기뢰대항작전일 경우 제2장에서 설명한 잔존 기뢰수와 신뢰도에 의한 기뢰제거율 산출공식을 적용한다. 하지만 탐색목표 기뢰대항작전이 아닌 경우에는 잔존 위험률과 현재까지 발견된 기뢰의 수에 의한 목표 기뢰제거율을 산출한다.

목표 기뢰제거율이 산출되고 난 이후 과정은 아래와 같다[5]. 기뢰제거율 값은 기뢰대항작전 수준(M)과 기뢰대항작전효과(Y), 미탐지율(μ), 기뢰 분류 가능성(B_c), 기뢰 처리 가능성(B_n)에 의한 식 (6)으로 표현된다. 여기서 기뢰 분류 가능성은 유사기뢰반향(MILEC)에서 유사기뢰(MILCO)를 정확히 분류할 가능성을 의미하며, 기뢰 처리 가능성은 기뢰를 정확히 무력화·파괴할 가능성을 의미한다. 이 두 값은 D/B화되어 결정된 상수이다.

$$P = 100(1 - \mu) B_c B_n (1 - e^{-MY}) \quad (6)$$

기뢰대항작전 수준(M)은 항주횟수, 탐색폭, 탐지율과 소항폭(D)의 식 (7)을 의미하며, 기뢰대항작전효과(Y)는 기뢰대항작전의 누적효과를 나타내는 식 (8)을 의미한다.

$$M = \frac{JAB}{D} \quad (7)$$

$$Y = -\frac{2\sigma}{AB} \int_0^\infty \ln\left(1 - \frac{B}{\sqrt{2\pi}} \int_{Z-\frac{A}{2\sigma}}^{Z+\frac{A}{2\sigma}} e^{-\frac{u^2}{2}} du\right) dz \quad (8)$$

σ 은 항해오차의 표준편차, A는 탐색폭, B는 탐지율을 의미하며, A/ σ 가 상당히 클 때 식 (8)은 식 (9)로 근사화된다.

$$Y = -\frac{1}{B} \ln(1 - B) \quad (9)$$

J값을 계산하고 나면 M값은 식 (10)으로 구할 수 있다.

$$M = -\frac{1}{Y} \ln\left(1 - \frac{P}{100}\right) \quad (10)$$

식 (10)에 의해 M값을 얻게되면 식 (7)의 D는 2σ 로 설정되는데, 이는 하나의 소항로를 탐색할 때 인근의 소항로까지도 탐색할 수 있도록 소항로 간의 간격이 가깝다고 가정하기 때문이다. 이 과정을 통해 항주횟수 J값을 구할 수 있고, 이때 항주횟수는 계산된 값과 가까운 정수로 선택한다. 소항폭 또한 식 (7)에 의해 구할 수 있으며, 소항로 수는 전체 항로폭에서 소항폭을 나누어 정수로 결정한다.

MCM EXPERT의 절차 중 식 (1), 식 (10) 등 상당부분은 경험에 의해 얻어진 것으로 여겨진다. 이것은 기뢰부설수량이라는 정보를 알지 못하는 상황에서 임무계획을 수립하기 위한 방법으로, 수십년 간 축적된 D/B를 수식화한 것으로 추정된다.

MCM EXPERT 절차는 NATO 해군이 최근까지도 활용하고 있는 방식이지만, 한국 해군에서 그대로 적용하기에는 일부 제한사항이 있어 보인다. 먼저 MCM EXPERT는 K-MEDAL에 비해 기뢰 분류 가능성, 기뢰 처리 가능성 등 훨씬 많은 변수를 사용하고 있으나, 한국 해군은 그와 관련된 D/B를 가지고 있지 못하다. 또한 한국 해군이 MCM EXPERT 절차의 일부는 습득하고 있으나, 해당 절차가 만들어지기까지의 배경을 알지 못하기 때문에 한국 해군에 맞게 수정이 필요한지 여부를 알지 못한다. 뿐만 아니라 MCM EXPERT 절차는 로그함수를 활용하기 때문에 해저환경이 나빠 미탐지율이 높은 경우, 기뢰대항작전 수준(M)을 산출할 수 없어 임무계획 수립이 불가하다.²⁾

3.3 미 해군 기뢰대항작전 임무계획 수립

미 해군은 기뢰대항작전을 위한 도구로 MNT(minenet tactical)를 운용한다. MNT는 임무계획 수립, 작전결과 및 위험평가, 상황인식 및 정보 시각화 등의 기능 구현이 가능하다. MNT의 세부 알고리즘은 한국 해군에 완전히 공개되지는 않았다. 공개된 자료에 의하면, MNT에서는 임무계획 수립을 위한 알고리즘으로 UCPLAN(uniform coverage planning)과 OPTPLN(optimization planning)을 사용한다. 두 알고리즘의 가장 큰 차이는 획일된 탐색폭과 탐지율 값을 사용하는지 여부이다. UCPLAN은 기뢰대항작

²⁾ 이는 MCM EXPERT 절차의 오류라기보다는 해저등급에 따른 미탐지율이 높아서이므로, 이 경우 목표 기뢰제거율을 낮추거나 기뢰소해(Mine Sweeping)를 실시하여야 한다.

전 수행구역 내에서 음탐기 및 해저등급별로 탐색폭 A 및 탐지율 B값을 고정적으로 사용한다. 반면 OPTPLN은 P(y)라는 측면 범위 곡선(lateral range curve)을 활용한다.

P(y) 곡선은 소나가 한번 통과할 때 소나에서부터 측면으로 이격된 거리에서 기뢰를 탐지할 확률을 나타낸 그래프이다. 이 곡선의 가로축은 센서에서 타겟의 가장 가까운 거리(CPA)를 의미하고, 세로축은 탐지율을 의미한다. P(y) 곡선의 개발을 위해 특정 측면 거리를 bin으로 구분하며, 탐지율은 해당 bin에서의 탐지횟수를 기회수로 나누어 계산한다. 이러한 탐지 데이터가 각 bin에 대해 수집되어 P(y) 곡선을 형성한다.

P(y) 곡선이 거리대별 탐지율을 잘 반영할 수 있긴 하지만, 기뢰대항작전 이론이 처음 개발될 당시에는 컴퓨터 성능이 좋지 않았기 때문에 P(y) 곡선을 근사화한 탐색폭 A, 탐지율 B를 적용하였다. 탐색폭 A, 탐지율 B는 Fig. 1과 같이 P(y) 곡선 하단의 면적과 동일한 직사각형을 얻어냄으로써 근사화한다. 여기서 2/3법칙이 적용되는데, Fig. 2와 같이 P(y) 곡선 하단 면적의 2/3와 같은 면적을 갖는 구간의 가로축 증분이 탐색폭 A가 된다. 탐지율 B는 A×B를 계산하였을 때 P(y) 곡선 하단의 면적과 동일한 값을 얻을 수 있는 수치로 결정된다.

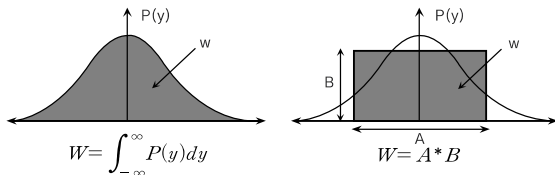


Fig. 1. Relationship between P(y), W, A, and B

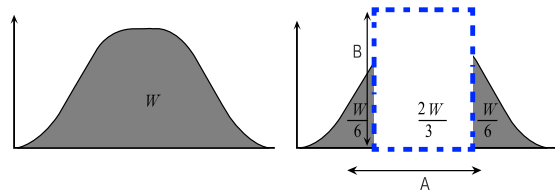


Fig. 2. Two-thirds rule for estimating A and B

UCPLAN은 일정한 탐색폭/탐지율을 사용하기 때문에 기뢰제거율 달성을 위해 균일한 간격의 소함폭을 제공한다. 반면, OPTPLN은 P(y) 곡선을 사용하여 구역 전반에 대해 비균일한 소함폭의 임무계획을 수립한다.

UCPLAN 및 OPTPLN의 알고리즘에 대해 앞서 설

명한 정보 외의 공개된 정보는 부족하다. 하지만, MNT에서도 MCM EXPERT와 유사하게 기뢰대항작전 수준(M)을 나타내는 식 (7)이나 기뢰대항작전 효과(Y)를 나타내는 식 (8), 기뢰 처리 가능성(B_n) 등이 활용됨을 확인할 수 있다. 또한, MNT 내에는 기뢰대항작전이 종료된 후 달성된 기뢰제거율을 평가하는 ABCE(analytic bayesian clearance evaluation), NUCEVL(nonuniform coverage evaluation)과 같은 알고리즘도 제공한다. MNT가 미국에서 사용하는 최신 임무계획 수립 도구인 점을 고려하면, MNT는 미군이 동맹군과의 표준화된 기뢰대항작전 계획 및 평가를 위해 사용하는 MCM EXPERT의 발전된 도구라고 판단할 수 있다.

4. 기뢰대항작전 임무계획 수립 발전방안

4.1 목표 기뢰제거율 산출 기능 적용

한국 해군은 기뢰제거율 산출 공식이 유도되는 과정에 대한 이해 부족으로 인하여, 무조건적으로 기뢰대항작전 종료 후 기뢰가 1발 이하 존재할 확률 95%, 기뢰가 2발 이하 존재할 확률 64%를 적용해왔다. 하지만 이 개념은 앞서 설명한 바와 같이 발견된 기뢰가 없을 경우에만 적용할 수 있으며, 신뢰도를 포함하여야 하는 개념이다. 따라서 임무계획 수립의 목표 설정인 목표 기뢰제거율 선정은 단순히 64%/95% 중 선택하는 것이 아니라, 지휘관의 잔여 위협 설정 의도에 따라 알고리즘에 의해 계산되도록 하여야 한다. 또한 MCM EXPERT에서 탐색목표 기뢰대항작전이 아닌 경우 잔존 위협률과 현재까지 발견된 기뢰의 수에 의한 목표 기뢰제거율을 산출하는 방안을 적용하였듯이, 기뢰가 발견되고 나서 설정되는 기뢰위험구역(MDA: mine danger area)에 대해 적절한 목표 기뢰제거율을 산출하는 방안도 강구되어야 한다.

4.2 탐색폭/탐지율 신뢰성 향상

탐색폭/탐지율은 기뢰대항작전 임무계획 수립 중 가장 중요한 변수이다. 하지만 한국 해군에서 사용하는 탐색폭/탐지율 값의 신뢰성은 다소 부족한 실정이다. 신뢰성 있는 탐색폭/탐지율 값을 얻지 못한다면 기뢰대항작전이 종료되더라도 기뢰가 1발 혹은 2발

이하 남아있을 확률로 기뢰대항작전이 수행되었다는 잘못된 믿음으로 인해 아군의 피해가 확대될 가능성이 있다. 이를 근본적으로 해결할 수 있는 방법은 실질적인 탐지 데이터를 축적해나가는 것이다. 하지만 제한된 시간과 전력으로 센서/해저등급별 탐지 데이터를 축적하는 것은 단기간에 해결할 수 있는 문제가 아니다. 따라서 센서별 기본적인 탐지 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 할 수 있는 방안이 강구되어야 한다. 기뢰 부설 정보는 알지 못하기 때문에 기뢰 임의 부설상황을 부여한 기뢰원에 시뮬레이션을 통해 무수히 많은 탐지횟수를 제공함으로써 보다 신뢰성 있는 탐색폭/탐지율 값을 얻을 수 있을 것이다. 이때, 기뢰 측면 거리대별 탐지율을 다르게 적용한 $P(y)$ 곡선과 같이 거리대별 탐지율을 적용할 수 있는 모델 개발 또한 필요하다. 그 외에도 다양한 방식의 시뮬레이션 방법이 적용될 수 있을 것이며, 탐색폭/탐지율 값이 기뢰대항작전의 결과에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 반드시 발전되어야 할 분야이다.

4.3 실시간 해양정보를 반영할 수 있는 방안 강구

탐색폭/탐지율 값이 기뢰대항작전 임무계획 수립에서 중요한 만큼, 실시간 해양정보를 반영한 탐색폭/탐지율 값을 적용시킬 수 있는 방안 또한 발전이 필요하다. MSH의 경우 VOS 및 RTPM을 활용하여 탐색폭/탐지율 값을 얻을 수 있지만, 해저등급 정보 반영이 불충분하여 이 수치를 제대로 활용하지 못하고 있다. 튀르키예의 경우 VOS/RTPM과 유사한 시스템에서 분석한 탐색폭/탐지율 값을 해저등급 정보를 반영한 값으로 변환하는 프로그램을 활용하고 있다[7].

기뢰대항작전에서는 해저등급이 탐지에 미치는 영향이 매우 큰 중요한 정보이기 때문에, 해저등급별 탐지율/미탐지율 등을 고려한 수치로 변환할 수 있도록 개선하여야 한다.

4.4 다양한 기뢰대항전력 간 공통의 임무계획 수립 알고리즘 적용

현재 MSH-II, 소해헬기, AUV, 기뢰전 USV 등 다양한 기뢰대항전력의 확보가 추진되고 있으나, 임무계획 수립 알고리즘 적용에 대해서는 크게 논의되는 바가 없다. 앞서 한국 해군, NATO 및 미 해군의 임무계

획 수립 알고리즘에서 살펴본 바와 같이, 임무계획 수립 알고리즘은 상당 수준의 과학적·수학적인 연구가 기반이 되어야 하는 분야이다. 구역을 분할하여 기뢰 탐색 임무를 수행하는 전력들이 서로 다른 임무계획 수립 알고리즘을 개발하여 적용한다면, 목표 기뢰 제거율을 동일하게 설정한다고 하더라도 구역마다 그 정도의 차이가 발생할 수밖에 없다. 결국 구역마다 지휘관이 요구하는 적정 수준의 기뢰제거율 달성 수준이 동일하지에 대한 의구심이 생길 수 있는 것이다.

이러한 문제가 발생하지 않기 위해 우선 K-MEDAL 후속체계와 MSH-II에서 운용할 기뢰전 전투체계에 공통의 임무계획 수립 알고리즘을 적용하여야 한다. K-MEDAL 후속체계의 경우 MHC/MSH 1.2차선 및 MSH-II에서 모두 운용할 예정이며, MSH-II의 경우 기뢰전 전투체계에서 임무계획 수립 알고리즘 일부를 구현할 예정이다. 만약 K-MEDAL 후속체계와 MSH-II에서 운용할 기뢰전 전투체계에 서로 다른 임무계획 수립 알고리즘이 적용된다면, MSH-II 내부적으로도 기뢰전 전투체계의 알고리즘과 K-MEDAL 후속체계의 알고리즘 중 어떤 알고리즘을 활용하여야 하는지에 대한 혼동이 있을 수 있다. 또한 타 소해함과 MSH-II가 동일한 구역 및 목표 기뢰제거율 부여 상황에서도 서로 다른 작전을 수행할 가능성이 있다. 이는 소해헬기, AUV, 기뢰전 USV의 경우에도 마찬가지이다. 따라서 과학적·수학적으로 우수한 성능의 임무계획 수립 알고리즘을 개발하여 K-MEDAL 후속체계에 적용하고, MSH-II 기뢰전 전투체계 및 차후 개발된 기뢰대항작전 수행전력에 동일한 기능을 구현할 수 있도록 하여야 한다.

5. 결론

기뢰대항작전은 우수한 성능의 센서를 활용해 기뢰를 탐지하는 것도 중요하지만, 제한된 시간 내 지휘관의 의도를 정확히 구현할 수 있는 임무계획 수립 또한 매우 중요한 분야이다. 예를 들어 실제로는 24시간이면 지휘관의 의도에 맞는 기뢰대항작전을 수행할 수 있는데, 임무계획 수립 알고리즘이 부정확하여 36시간이 소요되는 것으로 분석된다면 우군 함정의 작전구역 전개가 그만큼 지연되는 것이다. 또한 지휘관의 의도에 따라 구역 내 기뢰가 2발 이하 남아있을 확률(신뢰도 95%)의 기뢰제거율을 달성하였다 하더

라도, 임무계획 수립 알고리즘이 부정확하다면 해당 작전구역의 실제 기뢰 위협 수준은 계획 단계에서 평가된 수준보다 훨씬 높을 가능성도 존재하여 우군의 작전에 치명적인 영향을 미칠 것이다.

그럼에도 불구하고 현재까지 기뢰대항작전에서 임무계획 수립 발전방안에 대한 연구는 심도있게 진행되지 못하였다. 본고는 기뢰대항작전 임무계획 수립 발전방안을 다룬 국내 최초의 연구 중 하나라는 데 의의가 있다. 발전방안으로는 목표 기뢰제거율 산출 기능 적용, 탐색폭/탐지율 신뢰성 향상, 실시간 해양 정보를 반영할 수 있는 방안 강구, 다양한 기뢰대항전력 간 공통의 임무계획 수립 알고리즘 적용의 네 가지를 제시하였다.

이 외에도 임무계획 수립에는 NATO 및 미국과 같이 기뢰 분류 가능성, 기뢰 처리 가능성과 같은 다양한 변수의 적용, 기뢰대항작전 종료 후 평가기능 발전 등 추가적으로 발전시켜야 할 분야가 많이 있다. 그러나 군 내 기뢰대항작전을 수행하는 소수의 인력만으로는 상당한 과학적, 수학적 전문지식이 요구되는 임무계획 수립 분야를 지속적으로 발전시키기에 한계가

있다. 본 연구를 계기로 산·학·연의 다양한 기관에서 기뢰대항작전 임무계획 수립 연구의 필요성에 공감하고 보다 수준 높은 후속 연구가 이어지길 기대한다.

참고문헌

- [1] Mi-ae Jeong & Taeg-seon Lee, 'A Study on the Development Strategy of the ROK Navy's Mine Countermeasure Operations: Focusing on the Analysis of Major Nations' MCM Development Trends,' *Maritime Security*, VOL. 10, NO. 1, 2025, pp. 33-68.
- [2] Sang Yeon Ham & Taeg Seon Lee, 'Study on the Impact by Lack of Mine Warfare Theoretical Research on Mine Counter-Measure Operation and Mitigation Measures,' in *proceedings of the KNST 2025 Winter Conference*, 2025.
- [3] Navy Mine Countermeasures NTPP 3-15.2, 2021.
- [4] 해군본부, '기뢰대항작전교범,' 2024.
- [5] MTP-6(C) Volume II, *Naval Mine Countermeasures Operations Planning and Evaluation*, 2016.
- [6] Tony Leguia, 'The Relationship Between Confidence and Clearance'.
- [7] '25년 튀르키예 연합 기뢰전 훈련 참관자(김연원) 인터뷰 결과, 2025.