

선유도어뢰 체계운용성능분석 기법

김태규^{1†}

System Operational Performance Analysis for Wire-Guided Torpedo

Taekyoo Kim

ABSTRACT

System operational performance analysis for wire-guided torpedo is intended to provide technical analysis data for requirements analysis and development, which, as a consequence, supports the requirements definition activity for systems engineering. Technical approach and analysis example are presented including problem definition, formulation, modeling, simulation and analysis results that are applied to the on-going Next Generation Torpedo project.

Key words : Wire-Guided torpedo, System operational performance analysis, Requirement definition, M&S

요약

선유도어뢰 체계운용성능분석은 요구분석 및 개발을 위한 기술적 분석 자료를 제공하는 것을 목표로 하며, 결과적으로 선유도어뢰 체계공학에서 요구정의 활동을 지원한다. 본 논문에서는 문제정의, 정식화, 모델링, 시뮬레이션, 분석 결과 등 체계운용성능분석을 위한 기술적 접근 방법과 분석 사례를 소개한다.

주요어 : 선유도어뢰, 체계운용성능분석, 요구정의, M&S

1. 서론

체계운용성능분석은 요구분석 및 개발을 포함하는 체계요구정의 활동과 체계능력 및 효과도 예측 등 운용성 확인을 지원한다. 체계요구정의는 무기체계 개발 초기단계에서 최상위요구를 분석, 정제하고 체계요구를 개발하는 일련의 공학활동인데, 체계운용성능분석은 체계 및 부체계의 사양 결정을 지원한다. 운용성 확인은 무기체계 탐색개발에서 최종 결심을 뒷받침하는 매우 중요한 판단 근거가 되는데, 체계운용성능분석은 선유도어뢰의 운용성능 및 전투효과를 예측함으로써 체계 획득 및 기술 대안에 대한 비교 분석을 지원한다. 체계개발 초기단계에서 제한적 정보와 지식, 부분적 시제에 의한 실험 및 시험 결과 등을 기반으로 체계성능 파라미터들을 식별하고, 이로부터

운용 측면에서의 체계성능을 예측한다. 모델과 시뮬레이션을 이용한 모의실험 및 분석은 이를 위한 중요한 방법론이자 도구가 된다.

Mjelde는 발사후망각 방식의 어뢰의 운동과 탐지과정을 모델링하고 반복 시뮬레이션을 통한 탐지 효과도 분석을 수행하였다^[1]. 윤현규는 Mjelde의 어뢰 모델에 어뢰의 음향탐지 및 센서모델등의 오차를 추가적으로 고려하여 발사후망각방식의 어뢰의 탐지효과도를 분석했다^[3]. 신지환은 기존의 어뢰 모델을 정형화 하여 교전수준의 발사후망각방식 어뢰모델을 제시하였다^[5]. 박정민 등은 실제 전장환경의 특성을 반영하여 구성된 시뮬레이션 환경하에서 어뢰 효과도 분석을 수행하였다^[4]. 허술 등은 이산사건/이산시간 혼합형 시뮬레이션 모델 구조를 적용하여 어뢰의 탐지 효과도를 분석하였다^[8].

상기 연구 결과들의 대부분은 발사후망각 방식 어뢰의 분석에 주안을 두고 있다. 이것은 어뢰의 표적탐색 패턴과 음향탐지모델을 기반으로 표적정보의 확률적 불확실성에 따른 탐지성공율을 산출함으로써 운용효과를 평가하고자 하는 것이다. 이와 대비하여, 운용함에서 지령유도

접수일(2014년 2월 21일), 심사일(2014년 5월 13일),
게재 확정일(2014년 5월 27일)

¹⁾ 국방과학연구소 어뢰체계개발단

주 저 자 : 김태규

교신저자 : 김태규

E-mail; taekyoo.kim@add.re.kr

를 하는 선유도어뢰는 발사후망각 방식의 어뢰와 운용형태부터 전혀 다르다. 발사후망각 어뢰는 운용함에서 표적해를 해결하여 발사하고 나면 어뢰 자체의 센서와 유도능력에 의해 표적 공격을 시도한다. 선유도어뢰는 발사 이후 운용함으로부터 지속적으로 표적정보와 지령을 제공받게 되는데, 이것은, 인간 개입에 의한 불확실성을 차치하고라도, 운용의 시작과 종말에 이르기까지 발사후망각 방식의 어뢰와 전혀 다른 분석 문제를 부여한다.

본 논문에서는 한국형 선유도어뢰의 개발 과정에서 개발 및 적용한 체계운용성능분석 기법을 소개한다^{6, 9}. 앞서 기술한 바와 같이 이것은 기존의 발사후망각 방식의 어뢰분석 기법과 차이를 가지고 있다. 분석 기법의 핵심은 선유도어뢰의 운용 및 체계 특성에 대해 분석문제를 명확히 정의하는 것인데, 본 논문은 기술적 접근과 일부 분석사례를 소개함으로써 이에 대한 정보를 제공하고자 한다. 상용도구인 ODIN은 선유도 어뢰의 성능분석 기능을 제공하는데, 도구의 기술적 구현을 위한 학술적 자료를 찾기 어렵다¹⁰. 음향 탐지환경을 중심으로 수중/수상 무기의 시뮬레이션 환경을 제공하는 THOR 모델은 ODIN을 구현하기 위한 기반 모델로 알려져 있는데², 본 논문에서는 함소나 모델에 이를 참조하였다.

2. 기술적 접근

2.1 문제 정의

다른 유도무기체계와 마찬가지로 선유도어뢰의 체계운용성능의 기술적인 최상위 핵심성능지수는 명중률이다. 이를 최대화하기 위한 기술적 파라미터들 간의 조율, 나아가 비용을 포함하는 상쇄연구 지원이 체계운용성능분석의 궁극적 목표이다. 체계공학 측면에서 이것은 곧 핵심성능지수의 결정으로 귀결된다. 선유도어뢰의 체계요구정의를 위해 다음과 같은 것들이 분석문제가 될 수 있다.

- 운용능력 분석: 발사후망각 대비 선유도 방식의 기술적 효과 비교 분석, 즉 기존체계 대비 신규체계 획득의 타당성과 효용성 확인
- 핵심성능지수의 타당성 분석: 요구 최대속력, 주행거리 등의 핵심성능지수의 결정
- 체계대안 분석: 획득, 설계, 구현 등 기술적 대안들에 대한 비교분석

2.2 분석 방법

우선 최상위 핵심성능지수인 명중률에 영향을 끼치는

파라미터, 즉 교전상황, 환경 및 대응규칙 등과 관련한 전술변수, 그리고 어뢰 기동능력, 탐지성능, 유도성능 등의 기술변수를 선정한다. 분석의 목표는 전술변수의 변화를 고려하여 최선의 기술변수가 결정될 수 있도록 하는 것이다. 이것은 체계 제약조건 및 비용분석과 연결되어 상쇄분석으로 귀결된다. 기술적으로는 2.1에 정의된 분석 문제에 따라 고정변수와 실험변수, 그리고 실험공간을 선정하여 모의실험 수행하고 명중률과 같은 척도를 수집함으로써 실험변수 각각의 최적값을 도출한다. 하나의 실험은 실험공간에 대한 반복 시뮬레이션이 수행된다. 하나의 시뮬레이션은 교전상황 및 환경에 의한 교전 시작조건 부여 후 어뢰발사에서부터 표적명중 또는 주행종료에 이르기까지 수행되고 척도 산정을 위한 분석정보를 수집한다. 이 때 어뢰, 표적, 어뢰대항체계 등의 전투객체들은 설정된 논리에 따라 자율적으로 동작한다.

실험설계와 관련하여, 본 연구에서는, 주어진 개발기간과 전산시간의 부하를 고려하여 효율적 실험이 수행될 수 있도록, 세분화된 분석문제에 따라 단일요소분석법, 계승실험법, 부분계승실험법 등이 혼용되었다.

2.3 시뮬레이션 프로그램의 구현

시뮬레이션 프로그램은 MS-Windows 그래픽 기반의 사용자인터페이스(GUI)와 실험기(experimentor) 및 모의기(simulator), 그리고 전술객체들의 수학모델들이 객체기반으로 구현되었다.

GUI는 정지, 시작, 종료 등의 사용자의 통제명령을 입력받아 시뮬레이션 및 전술객체들의 활동을 통제하고, 전술객체들의 궤적과 상태, 주요 이벤트 등 교전정보를 도출한다.

Fig. 1은 실험기와 모의기를 포함하여 모의실험을 통제하는 시뮬레이션 환경 및 통제모듈과 전술객체 모델들의 개략적 구성을 보여준다. 어뢰 유도, 탐색, 및 추적, 그리고 센서동작 및 신호처리 등 물리적 과정에 대한 수학 모델의 시뮬레이션과 소요 정보들의 수집이 용이하도록

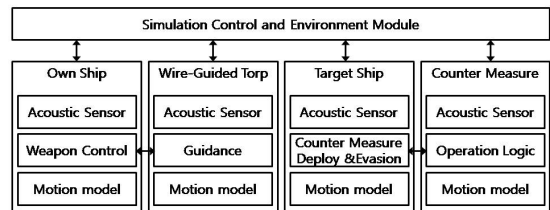


Fig. 1. Structure of the simulation program

일정 주기로 정보를 갱신하는 이산시간 기반의 시물레이션이 구현되었다.

1회의 시물레이션을 수행하는 모의기 모듈의 주요 기능은 다음과 같다.

- 시나리오 설정: 시나리오에 따른 시물레이션 참여객체들을 정하고 환경 및 객체 초기치를 설정
- 전술객체 통제 및 정보 수집: 시물레이션 주기에 따라 환경 및 참여객체들의 상태 갱신과 소요 정보 수집

실험공간에 대한 반복시물레이션 수행을 통제하는 실험기의 주요기능은 다음과 같다.

- 모의실험 설정 및 수행: 운용자의 설정에 의한 고정/실험변수 설정 및 실험공간을 형성하고 반복 모의 및 통제 분석 수행
- 성능척도 산정: 실험공간에 대해 수집한 자료로부터 성능척도 산정

핵심성능척도인 어뢰공격성공률 $P_{SUCCESS}$ 은 다음과 같이 산정된다.

$$P_{SUCCESS} = N_{HIT} / N_{TRIAL}$$

여기서 N_{TRIAL} 은 통계분석공간의 크기이고, N_{HIT} 은 어뢰공격성공회수이다.

전술객체 모델들은 모의 주기에 따라 시물레이션 환경 및 통제모듈에서 상태정보를 수집할 수 있도록 자율 갱신한다. 각각의 객체 모델은 크게 탐지, 기동, 통제/제어에 해당하는 부분모델들로 구성되어 있으며, 해당 객체의 특성이 반영되어 구현되었다. 이어서 3절에는 이들의 모델링에 관한 보다 구체적인 사항들에 대해 기술한다.

3. 모 델

본 논문의 시물레이션에 사용된 모델은 크게 논리도로 표현이 가능한 논리모델과 수식에 따라 계산되는 수학모델로 구분된다. 논리모델은 발사함의 무장통제모델, 선유도어뢰의 유도통제모델, 표적함의 대항체계운용 및 회피논리 모델, 대항체계의 운용논리모델이 있다. 수학모델은 잠수함, 수상함, 어뢰의 기동 및 음향탐지모델이 있다. 각 모델들은 Fig. 7에서와 같이 논리모델과 수학모델의 조합

으로 구성된다. 실제 프로그램에서는 각각의 모델들이 클래스(class)로 구현되며 시물레이션 환경 및 통제모듈이 고정된 정보 갱신 주기에 따라 클래스의 함수들을 실행하는 방식으로 동작한다. 임의의 시물레이션 정보 갱신 시각 모델은 Fig. 7에 기술된 순서와 같이 음향탐지 또는 음향효과, 논리모델, 기동모델 순으로 실행된다. 개발된 모델의 구체적 내용은 다음과 같다.

3.1 어뢰기동모델

어뢰 기동모델은 속력, 침로, 심도 등 유도 명령에 따른 어뢰의 운동상태를 계산한다. 어뢰의 가감속기동, 선회기동, 횡경사, 심도이동 등 조종운동특성과 조종루프를 결합한 시스템 동특성 모델이라 할 수 있다.

어뢰기동모델은 어뢰의 지역 좌표계(local frame)를 기준으로 전후(surge), 수평(horizontal), 수직(vertical) 세 가지 부분 모델로 구성된다.

전후 방향 운동 모델(surge motion model)은 아래 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\nu_n = \nu_{n-1} + f_U \Delta t (\nu_c^2 - \nu_{n-1}^2) \quad (1)$$

이 때 모델 파라미터는 다음과 같다(Table 1).

수평 방향 운동 모델(horizontal motion model)은 아래와 같이 표현된다.

Table 1. Parameters of surge motion model

V_n	speed at current step
V_{n-1}	speed at previous step
f_U	surge motion coefficient
ν_c	command speed
Δt	time interval

Table 2. Parameters of horizontal motion model

ψ_n	course at current step
ψ_{n-1}	course at previous tep
ψ_c	command course
K_ψ	proportional gain in course control
r_n	course rate at current step
r_{n-1}	course rate at previous step
r_c	command course rate
τ_ψ	time constant in course rate equation
Δt	time interval

$$r_c = K_\psi(\psi_c - \psi_{n-1}) \quad (2)$$

$$r_n = r_{n-1} + (1 - e^{-\Delta t/\tau_\psi})(r_c - r_{n-1}) \quad (3)$$

$$\psi_n = \psi_{n-1} + r_{n-1} \cdot \Delta t \quad (4)$$

여기서 모델 파라미터는 다음과 같다(Table 2).

수평방향 운동 모델은 명령 침로를 추종하는 침로제어 모드와 명령 침로변화율을 추종하는 침로변화율제어모드, 두 가지 모드 중 선택된 모드로 운용된다.

침로제어모드에서는 명령된 침로를 추종하기 위해 식 (2), (3), (4) 가 이용되고, 침로변화율 제어모드에서는 명령된 침로변화율을 추종하기 위해 식 (3), (4)가 이용된다.

수직 방향 운동 모델(vertical motion model)은 아래와 같이 표현된다.

$$\theta_c = -K_z(z_c - z_{n-1}) \quad (5)$$

$$q_c = K_\theta(\theta_c - \theta_{n-1}) \quad (6)$$

$$q_n = q_{n-1} + (1 - e^{-\Delta t/\tau_\theta})(q_c - q_{n-1}) \quad (7)$$

$$\theta_n = \theta_{n-1} + q_{n-1} \cdot \Delta t$$

여기서 모델 파라미터는 다음과 같다(Table 3).

수직방향 운동 모델은 명령 심도를 추종하는 심도제어 모드, 명령 종경사를 추종하는 종경사제어모드, 명령 종경사변화율을 추종하는 종경사변화율제어모드, 세 가지 모

Table 3. Parameters of vertical motion model

z_n	time interval
z_{n-1}	depth at previous step
z_c	command depth
θ_n	pitch at current step
θ_{n-1}	pitch at previous step
θ_c	command pitch
q_n	pitch rate at current step
q_{n-1}	pitch rate at previous step
τ_θ	time constant in pitch rate equation
K_z	proportional gain in depth control
K_θ	proportional gain in pitch control
Δt	time interval

드 중 선택된 모드로 운용된다.

심도제어모드에서는 명령된 심도를 추종하기 위해 식 (5), (6), (7), (8) 가 이용되고, 종경사제어모드에서는 명령된 종경사를 추종하기 위해 식 (6), (7), (8) 이 이용되며, 종경사변화율제어모드에서는 명령된 종경사변화율을 추종하기 위해 식 (7), (8)이 이용된다.

위치 계산 모델(position update model)은 아래와 같이 표현된다.

$$x_n = x_{n-1} + v_{n-1} \cdot \Delta t \cdot \cos(\theta_{n-1}) \cdot \sin(\psi_{n-1})$$

$$y_n = y_{n-1} + v_{n-1} \cdot \Delta t \cdot \cos(\theta_{n-1}) \cdot \cos(\psi_{n-1})$$

$$z_n = z_{n-1} - v_{n-1} \cdot \Delta t \cdot \sin(\theta_{n-1})$$

이 때 모델 파라미터는 다음과 같다(Table 4).

모델의 파라미터들의 값은 기존의 어뢰의 동특성을 반영하여 결정된다.

3.2 잠수함 및 수상함 기동모델

발사함(own boat) 또는 표적(target)을 표현하기 위한 잠수함 및 수상함 기동모델은 4.1에서의 어뢰모델과 동일한 모델이 적용 가능하다. 본 연구에서는 실적선 자료들 기반으로 모델 파라미터들을 결정하였다.

Table 4. Parameters of position update model

x_n, y_n, z_n	position at current step
$x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1}$	position at previous step
ψ_{n-1}	course at previous step
θ_{n-1}	pitch at previous step
Δt	time interval

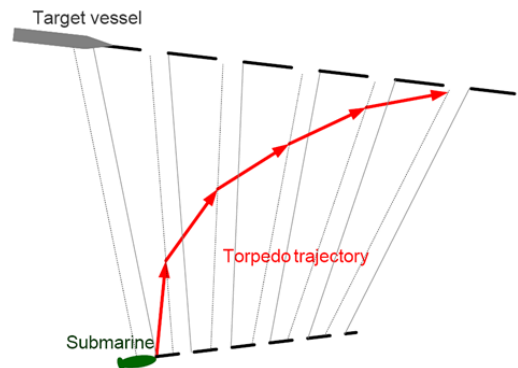


Fig. 2. Bearing rider method

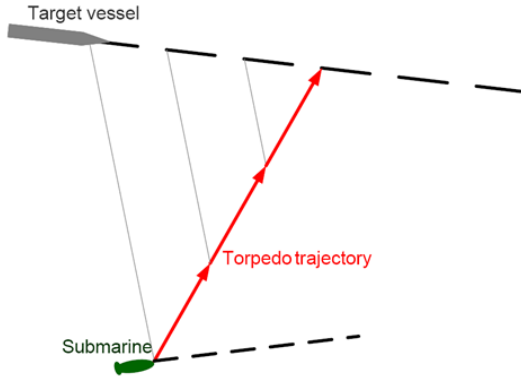


Fig. 3. Collision course method

3.3 선유도어뢰 유도 모델

선유도어뢰에 주로 적용되는 방위편승법과 충돌침로법에 따른 유도 및 조종법칙을 적용하였다.

방위편승법(bearing rider method)은 표적의 방위만을 알고 있을 경우 발사함과 표적을 연결하는 표적방위선(line of sight) 상에 어뢰를 위치하도록 유도하는 방법이다.

충돌침로법(Collision course method)은 표적의 속력과 침로를 알 경우 앞지름각을 계산하여 표적충돌지점(target impact point)로 어뢰를 유도하는 방법이다.

3.4 어뢰 음향탐지모델

기존 어뢰 개발에서 검증 및 활용된 수동 및 능동소나 방정식 기반의 모델 적용하였다. 모델의 형태는^[5] 또는^[3]와 유사하다.

3.5 잠수함 음향탐지모델

잠수함 음향탐지모델은 음향환경 및 수상함, 잠수함, 어뢰, 대항체계 등 시물레이션 개체들의 음향특성, 상대적인 위치 및 자세 등을 입력받아 표적정보를 생성한다. 크게 수동소나방정식 기반의 탐지 모델과 경험 기반의 표적 분리 및 식별 모델이 포함된다.

N개의 소음원이 존재할 때, 소음원 j의 신호초과세기(signal excess level)는 아래와 같이 주어진다.

$$SE_j : \\ = \oplus_i [RN(\nu_i) - PL(r_i) + BL(\theta_i, \psi_i)] - DT - BN$$

이 때, 주변소음세기(background noise level)는 다음과 같다.

Table 5. Parameters of ownship acoustic sensor model

SE_j	signal excess of object j
r_j	range of object j
$PL(r)$	propagation loss level at range r
$RN_i(\nu)$	radiated noise level of object I moving with velocity v
θ_i, ψ_i	relative horizontal, vertical bearing of object j
$BL(\theta, \psi)$	beam loss level
DT	detection threshold level
BN	background noise level
AN	ambient noise level
$SN(\nu)$	self noise level
DJ	directivity index

$$BN = [AN - DJ] \oplus [SN(\nu_i) - DJ]$$

위의 계산에 사용된 기호 \oplus 는 intensity sum을 의미하는 것으로,

$$A \oplus B := 10 \log(10^{A/10} + 10^{B/10})$$

와 같이 정의된다. 사용된 모델 파라미터는 다음과 같다(Table 5).

소음원 j는 다음의 조건을 만족시킬 경우 탐지되었다고 가정한다.

- i) 소음원 j의 신호초과세기가 0보다 크고
- ii) $SE_j - SE_j^*$ 값이 특정 상수 c_1 보다 크다.

이 때 SE_j^* 는 소음원 j 방향에서 측정되는 신호초과세기에서 소음원 j의 영향을 뺀 값으로 다음과 같이 정의된다.

$$SE_j^* : \\ = \oplus_{i \neq j} [RN(\nu_i) - PL(r_i) + BL(\theta_i, \psi_i)] - DT - BN$$

인접한 두 소음원 L, R 간의 식별은 다음과 같은 절차로 모델링된다.

- i) 인접한 두 소음원 L과 R의 방위를 각각 B_L, B_R 신호초과세기를 각각 SE_L, SE_R 라 할 때, 가중방위 B^* 를 다음과 같이 구한다.

$$B^* := \frac{B_L \cdot SE_R + B_R \cdot SE_L}{SE_L + SE_R}$$

그리고 B^* 을 기준으로 계산된 신호초과세기 SE^* 를 계산한다.

ii) SE^* 값이 0보다 크거나, 또는 $\min\{SE_L, SE_R\} - SE^*$ 값이 특정 상수 C_2 보다 크면 두 소음원 L과 R은 분리 가능한 것으로 간주한다.

iii) 위의 과정을 모든 인접한 소음원들의 쌍에 대해서 실행하고 전체를 분리 가능한 소음원들의 집합으로 묶는다. 예를 들면 진북 방향 기준 a, b, c, d 네 개의 소음원이 순서대로 놓여있고 c와 만 분리가 가능할 경우, 총 2개의 분리 가능한 소음원들의 집합이 생성된다. a, b, c를 포함하는 집합과 d로 구성된 집합이 그것이다.

iv) 표적정보는 앞선 단계에서 계산된 분리 가능한 집합 1개당 1개의 정보가 계산되며 값은 집합을 구성하는 소음원들의 신호세기에 따라 가중되어 구해진다. 집합 S의 표적 방위는 다음과 같다.

$$B_T = \frac{\sum_{i \in S} B_i \cdot SE_i}{\sum_{i \in S} SE_i}$$

3.6 발사함 무장통제모델

실제로 발사함의 무장통제는 운용자에 의해 이루어진다. 운용자는 발사함의 음향탐지결과와 선유도어뢰가 발사함으로 전달하는 정보를 종합, 판단하여 선유도어뢰에 명령을 내린다. 본 논문에서는 일반적인 운용자의 무장통제방식을 모델링하여 발사함 무장통제모델을 아래와 같이 구현하였다.

- 발사함 음향탐지에 표적이 탐지되면 선유도어뢰를 탐지된 표적에 대해 발사한다.
- 발사된 어뢰를 분석 시나리오에 따라 BRM 또는 CCM 방식으로 유도한다.

어뢰가 표적을 탐지하면 어뢰내부유도를 명령한다. 이 후 어뢰는 어뢰의 유도통제모델에 따라 운용된다.

3.7 선유도어뢰 유도통제 모델

선유도어뢰 유도통제 모델은 어뢰의 음향탐지모델의 결과와 기동 데이터 등을 종합하여 발사함에 전달하고 발사함의 명령 및 음향탐지모델의 결과를 바탕으로 음향

탐지명령 및 기동명령을 생성한다. 외부유도모드에서는 발사함의 유도통제명령에 따라 선유도어뢰의 음향탐지명령 및 기동명령을 생성하고, 내부유도모드에서는 발사함의 무장통제명령에 의존하지 않고 자체 판단에 따라 음향탐지명령 및 기동명령을 생성한다.

3.8 대항체계운용 및 회피논리 모델

대항체계운용 및 회피논리 모델은 표적함 음향탐지모델에서 어뢰가 탐지되면 대항체계를 운용하고 무장을 회피하기위한 기동명령을 생성한다. 대항체계는 무장이 탐지된 방위, 무장의 종류 등을 고려하여 계산된 개수, 모드, 발사방위, 등에 따라 운용된다. 회피논리 모델은 ‘파이차트회피법’을 참고하였다^{14, 7)}.

3.9 대항체계 운용논리 모델

대항체계는 음향대항방식에 따라 높은 준위의 소음을 생성하는 재머(Jammer)모드와 능동 음향신호를 모사하는 리피터(Repeater)모드로 설정이 가능하고, 기동방식에 따라 자체 추진력이 없는 부유식(Static)모드와 자체적으로 초기 명령에 따라 기동하는 자항식(Mobile)모드로 설정이 가능하다. 작동시간은 시나리오의 입력에 따라 값이 결정된다. 대항체계 운용논리 모델은 대항체계 발사시 입력된 명령에 따라 음향효과모델과 기동모델에 명령을 생성한다.

4. 분석 사례

차기중어뢰 연구개발에서의 분석 사례를 소개한다.

4.1 선유도 운용능력 분석

본 사례에서는 소프트킬(softkill) 어뢰대항체계를 갖춘 표적함이 어뢰방어를 수행하는 경우에 대한 발사후망각 대비 선유도어뢰의 성능을 비교 분석하였다. 실험은 Table 6에 기술된 것과 같이 설계되었으며 시나리오는 다음과 같다.

- 발사함에서 표적을 탐지하고 선유도어뢰를 발사한다.
- 선유도어뢰는 유도방법에 따라 유도되며 표적을 탐지할 경우 내부유도로 전환하여 자체적으로 표적을 추적한다.
- 표적은 어뢰경보 시 대항체계를 운용하고 파이회피법에 따라 회피방위로 선회한다. 표적함의 대항체계 운용 시나리오는 다음과 같다⁷⁾.

Table 6. Design of experiment for comparison analysis between fire and forget torpedo and wire guided torpedo

parameters		value
fixed parameters	target speed	00 kts
	evasion method	PI method
	performance of counter measures	alarm range, response time, operating time, speed,
	guidance method	fire&forget: CCM wire-guided: BRM
	performance of counter-counter measure	conditionally
experimental parameters	type of torpedo	fire&forget, wire-guided
	torpedo speed	low, middle, high
experimental space	attack range	uniform
	attack bearing	uniform

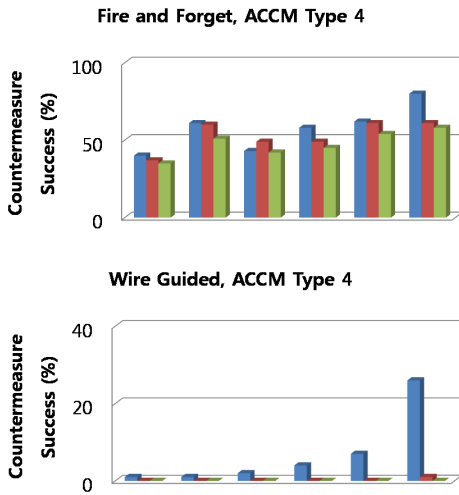


Fig. 4. Performance comparison between fire-and-forget and wire guided torpedoes

- 1) 부유식 2발 1회 발사
- 2) 부유식 2발 2회 발사
- 3) 자항식 1발 1회 발사
- 4) 자항식 2발 1회 발사
- 5) 자항식 1발 2회 발사
- 6) 자항식 2발 2회 발사

Fig. 4는 표적함의 대항체계 운용 시나리오 6가지에 대

Table 7. Design of experiment for parametric analysis of the operation speed of a wire guided torpedo

parameters		value
fixed parameters	evasion method	PI method
	alarm range	00 m
	guidance method	BRM
experimental parameters	torpedo speed	VC-25,...,VC
	target speed	speed up at alarm
	attack range	uniform
experimental space	attack bearing	uniform

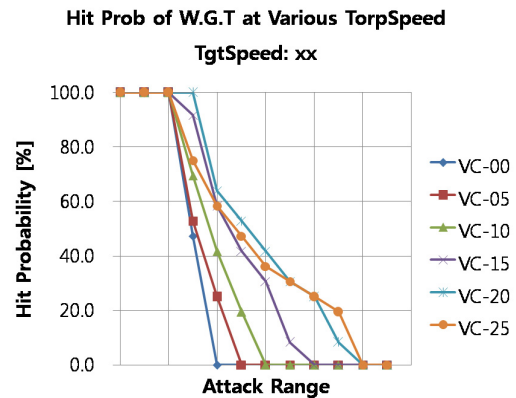


Fig. 5. Parametric study upon speeds

해 어뢰속력에 따른 발사후망각어뢰 및 선유도 어뢰의 방어 성공률을 보여준다. 선유도어뢰에 대한 방어율이 월등히 낮은 것을 알 수 있다.

4.2 어뢰운용속력에 대한 파라메트릭 연구

본 사례에서는 어뢰운용속력에 따른 명중률을 분석하였다. 실험은 Table 7에 기술된 것과 같이 설계되었으며 시나리오는 다음과 같다.

- 발사함에서 표적을 탐지하고 선유도어뢰를 발사한다.
- 선유도어뢰는 유도방법에 따라 유도되며 표적을 탐지할 경우 내부유도로 전환하여 자체적으로 표적을 추적한다.
- 표적은 어뢰 경보시 파이회피법에 따라 회피방위로 선회한다.

Fig. 5은 표적의 회피 속력에 따른 선유도어뢰의 공격 거리(attack range)대비 공격성공률(hit probability)을 보

Table 8. Design of experiment for comparison analysis among design alternatives of wire guided torpedo

parameters		value
fixed parameters	target speed	00
	evasion method	PI method
	alarm range	00 m
	guidance method	BRM
	torpedo speed	00
experimental parameters	alternatives	A-1, A-2, A-3
	attack range	uniform
experimental space	attack bearing	uniform

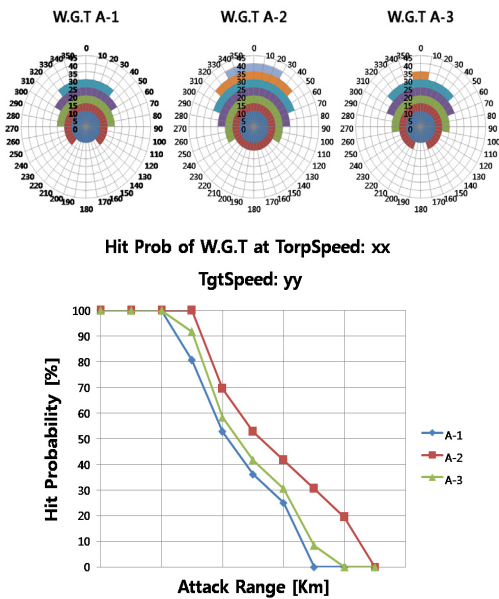


Fig. 6. Performance comparison among system design alternatives

여준다. 대체적으로 공격거리가 멀수록 표적 수상함의 회피 속력이 빠를수록 공격성공률이 낮은 것을 알 수 있다.

4.3 체계대안별 비교분석

본 사례에서는 설계대안 별, 선유도어뢰의 운용능력을 비교 분석하였다. 실험은 Table 8에 기술된 것과 같이 설계되었으며, 시나리오는 4.2절과 동일하므로 생략한다.

Fig. 6은 선유도어뢰의 설계대안 A-1, A-2, A-3에 따른 공격성공률을 보여준다. 위의 그래프는 설계대안에 따라 표적기준 초기 공격지점 별 공격 성공여부를 보여준다. 표적기준 초기 공격지점에 따른 실험공간을 형성하고 각

실험공간에서 공격이 성공할 경우 표시하고 그 외의 경우에는 빈칸으로 남겨두었을 때 결과를 도시해 보았다. 아래의 그래프는 위의 세 설계대안에 대해 공격거리대비 공격성공률을 보여준다. 그래프에 따르면 설계대안 A-2가 가장 높은 공격성공률을 보여주는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 선유도어뢰 체계운용성능분석 기법에 대해 기술하였다. 문제 정의에서 분석 결과에 이르기까지 기술적 접근과 방법, 소요되는 모델링, 시뮬레이션 및 분석 결과들을 소개하였다. 이러한 체계운용분석 결과는 임무소요에 대해 기존의 발사후망각 어뢰 대신 선유도어뢰를 획득하여야 하는 이유, 운용성능에 영향을 미치는 핵심변수의 식별, 제한된 설계 및 획득 대안들의 장단점 등에 대한 의사판단 결과를 제공함으로써 현재 개발 중인 한국형 선유도어뢰 개발의 적용되었다.

이러한 방법론은 유사 무기체계와 상용체계의 연구개발에 확장 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 만일 체계 및 기술적 성능분석을 위한 분석으로 확장하고자 한다면 모델의 정밀도와 정확도를 높여야 할 것이다. 무기체계 운용지원을 위한 작전술 개발에도 동일한 방법론이 적용될 수 있을 것이다. 이를 위해서는 전술객체들의 자율동작과 인간개입에 대한 지능모델이 고려되어야 할 것이다.

References

1. A. Mjedle, "A Homing Torpedo: The Effect of the Tactical Situation and the Torpedo Parameters on the Torpedo Effectiveness", Master Thesis, Naval Postgraduate School (USA), 1977.
2. EDS Defences Limited, "THOR - Torpedo Engagement Simulation Model Commercial Version E2: Functional Specification", 1C0765/CE2/D1, EDS Defence Limited, 1993.
3. H. Yoon, "A Study on the Detection Effectiveness of Torpedo", Report of Agency for Defence Development, NWS-519-960331, 1996.
4. J. Pak, B. Ku, Y. Lee, D. Ryu, W. Hong, H. Ko, M. Lim, "Effectiveness Analysis for a Lightweight Torpedo Considering Evasive Maneuvering and TACM of a Target", Journal for the Korea Society for Simulation, Vol. 20, No. 4, pp. 1-11, 2011.
5. J. Shin, "On the Development of Authoritative Representations of Torpedo Systems for Engagement Level Simulation",

- Journal fo the Korea Society for Simulation, Vol. 16, No. 3, pp. 19-28, 2007.
6. S. Lee, T. Kim, "System Operational Performance Analysis for Wire Guided Torpedoes", Report of Agency for Defence Development, ADDR-515-111508, 2011.
 7. S. Choi, K. Song, S. Hur, Y. Lee, Y. Kim, H. Lee, "The Study of Optimization Modelling for Evasion Probability Distributions of Naval Ship," Report of Agency for Defence Development, NWSD-417-950227.
 8. S. Ha, J. Cha, K. Lee, "Analysis of Detecting Effectiveness of a Homing Torpedo using Combined Discrete Event & Discrete Time Simulation Model Architecture", Journal fo the Korea Society for Simulation, Vol. 19, No. 2, pp.17-28, 2010.
 9. T. Kim, S. Lee, "System Operational Performance Analysis Method for the Next Generation Torpedo", Report of Agency for Defence Development, ADDR-416-121000, 2012.
 10. T. Robinson, "ODIN - an underwater warfare simulation environment," Proceedings of the Winter Simulation Conference, Vol. 1, pp. 672-679, 2001.



김 태 규 (taekyoo.kim@add.re.kr)

2009 서울대학교 공과대학원 석사
2009~현재 국방과학연구소

관심분야 : Simulation, Underwater Weapon