

# 개념설계 단계의 잠수함 작전효과도 시뮬레이션 모델 연구

A Study on the submarine operational effectiveness simulation model  
in the concept design phase

**박준규\***  
Park, Jun-Kyu

## ABSTRACT

This paper focuses on the technical information about the development of the submarine operational effectiveness simulation model for the feasibility study stage of the submarine design. The simulation model is classified into simulation control model and system model. Using user input and related performance parameters, it can simulate various scenarios by no change of the program because it includes tactic manager which makes decision about every situation. And the Monte-Carlo simulation mode which provides the stochastic results is available. Through the test simulation, the usefulness of the simulation model was verified. It should be helpful for the analysis of the submarine operational effectiveness by diversified scenarios in the concept design phase..

주요기술용어(주제어) : operational effectiveness(작전효과도), model(모델), simulation(시뮬레이션)

## 1. 머리말

잠수함의 개념설계는 운용 조건을 만족시키는 최적의 설계대안을 도출하는 과정이며, 이를 위해서는 각 설계 대안들이 실제 작전 성능에 어떤 영향을 미칠 것인가를 예측하는 작전효과도 분석이 필수적으로 요구된다. 잠수함의 작전효과도는 잠수함 및 부체계의 성능과 전술 상황 및 해양 환경 등의 복합적 영향을 받기 때문에 해석적인 방법으로 예측하기 어려우며, 막대한 비용이 소요되는 해상 시험은 체계가 완성된 이후에나 가능하다. 이에, 해석적 방법을 기반으로 하

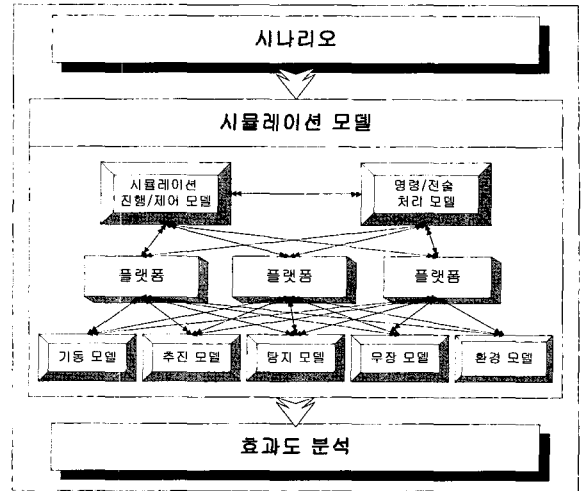
고 실제 상황과 유사한 가상 환경을 설정하여 잠수함의 운용을 모사하는 시뮬레이션 기법이 잠수함 효과도 분석을 위한 대안이 되고 있다<sup>[1]</sup>.

선진국에서는 설계를 포함한 함정 획득과 관련한 전 과정에 M&S 기법을 도입하여 함정 획득 시 수반되는 위험 및 예산을 줄이려 노력하고 있다. 국내에서도 잠수함 설계 및 운용 시 성능 예측/평가를 위한 모델 개발의 중요성을 인식하고 관련 연구를 통하여 자체 개발 노력<sup>[2]</sup>이 이루어져 왔으며, 관련 S/W를 국외로부터 도입 운용한 경험이 있다. 그러나, 국외 도입된 S/W<sup>[3]</sup>들은 실행 패키지만의 도입으로 모델의 확장/수정이 불가능하며, 운용 및 결과에 대한 이해 부족 등의 문제가 발생하여 그 활용도가 떨어지고 있고 도입 시 국내 개발 잠수함의 주요 성능/제원들을 외국으로 유출해야 하는 보안상의 위험

† 2004년 5월 20일 접수~2004년 8월 16일 심사완료  
\* 국방과학연구소(Agency for Defense Development)  
주저자 이메일 : junkyu@add.re.kr

성도 제기되었다. 이에 따라, 잠수함의 국내 독자 개발을 위한 개념설계 단계에서부터 각 설계 단계별로 작전효과도 분석, 체계성능예측 및 탑재장비 사양 검증 등을 위한 시뮬레이션 모델의 자체 개발이 필수적으로 요구되었다.

본 연구에서는 그 동안 이루어진 자체 개발 노력에 더하여 다양한 시나리오에서 요구되는 플랫폼 및 부체계들의 모델링을 추가, 보완하여 개념설계 단계에서 설계 대안별 작전운용성능 및 작전수행능력을 예측/평가할 수 있는 작전효과도 시뮬레이션 모델을 자체 개발 완성하였으며, 개발된 S/W를 통해 국외 도입 시의 각종 문제점들을 해결할 수 있는 동시에, 차후의 모델 확장 또한 가능하게 되었다.



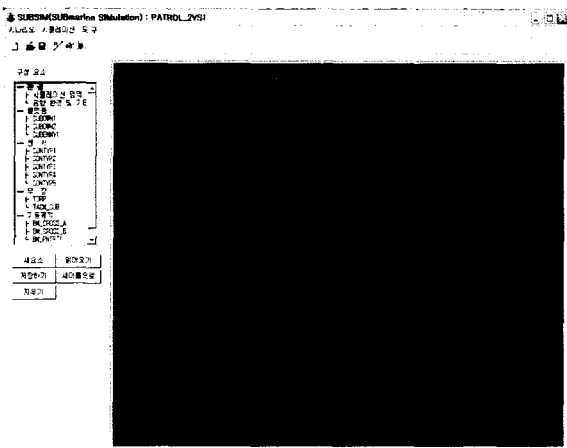
[그림 2] 시뮬레이션 모델 구성

## 2. 시뮬레이션 모델 개발<sup>(4)(5)</sup>

### 가. 개요

개념설계 단계의 잠수함 작전효과도 시뮬레이션 모델은 그림 1과 같은 시나리오 편집 창을 통해 대잠전/대함전 등 다양한 시나리오를 구성하여 잠수함의 교전 상황을 모사할 수 있으며, 이를 위해서 시나리오에 포함되는 개별 시스템들과 서로 간의 상호 작용 및 주변 환경 등을 설정해 줄 수 있는 결정 논리가 포함되어 있다.

모델의 전체적인 구성은 그림 2와 같이 시뮬레이션



[그림 1] 시나리오 편집 창

을 진행/제어하는 모델과 명령 및 전술 판단을 처리하는 명령/전술 처리 모델, 플랫폼(잠수함, 수상함, 어뢰, 기단기 등) 및 개별 부체계 모델들로 이루어진다.

### 나. 시뮬레이션 진행/제어 모델

#### 1) 시뮬레이션 진행 방식

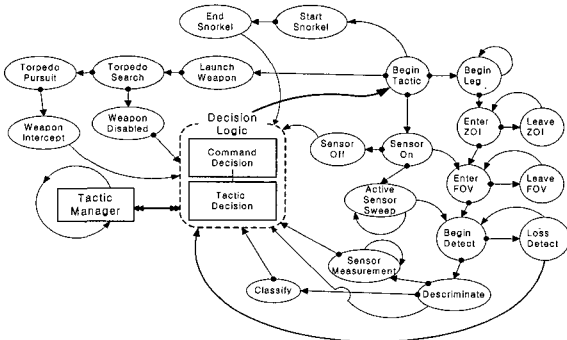
시뮬레이션의 진행은 특정 이벤트 발생 시점에서의 관찰과 특별한 이벤트가 발생하지 않는 상황에서의 고정된 시간 간격 진행을 모두 가능케 하기 위해서 고정 시간 증가 방식에 이벤트 방식을 혼합한 진행 방식을 적용하였다. 이를 통해 시뮬레이션 시간 낭비를 줄여 반복 수행으로 통계 결과를 도출하는 몬테칼로 시뮬레이션을 가능하게 하고, 고정 시간 증가 간격을 사용자가 직접 설정할 수 있도록 하여 비주일 시뮬레이션 모드에서 실제 상황을 정확하게 확인할 수 있도록 하였다.

#### 2) 이벤트(Event)

시뮬레이션을 이벤트 방식으로 진행하기 위해서는 먼저 운용 상황을 현실과 유사하게 진행시키기에 충분한 이벤트 종류 및 수를 정의하고 각 이벤트들의 발생 조건을 결정하여야 한다. 또한, 그림 3에서 원으로 표시된 각각의 이벤트는 연관된 다음 이벤트와 그 발생 시점, 그리고 변경되는 파라미터와 관련 함수가 포함되어야 한다. 한 가지 이벤트에는 연이어 발생할

수 있는 이벤트들이 필연적으로 설정되어야 하며, 그림 3에서는 화살표는 이벤트 간 연관 관계 및 진행 방향을 나타낸다.

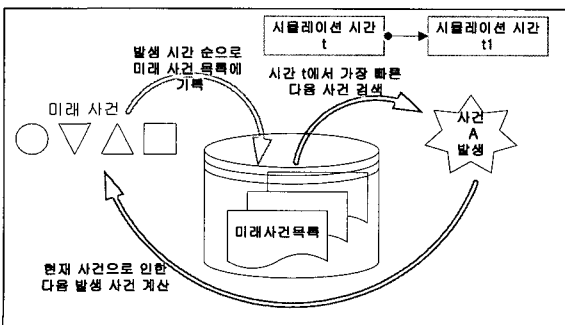
다음 이벤트가 없는 종료 이벤트가 발생하면 그림 3에서와 같이 명령/전술 처리 모델에서 다음 이벤트를 결정하게 된다.



[그림 3] 이벤트 연관관계

### 3) 시간관리기(Time Scheduler)

시뮬레이션의 진행을 위해서는 이벤트가 일어나는 시간과 이벤트를 기록하고 관리하는 모델이 필요하다. 이런 역할을 하는 모델을 시간관리기라고 하며, 시간관리기는 장래 발생할 이벤트의 명칭과 발생 시점이 기록되는 이벤트 목록을 관리한다. 모든 이벤트는 발생 시간이 계산되어 기록되며, 기록된 이벤트 중에서 발생 시점이 가장 빠른 이벤트를 찾아서 그 시간으로 시뮬레이션 시간을 증가시키고 그 이벤트를 수행하게 하는 것이 시간관리기의 주 역할이다(그림 4).



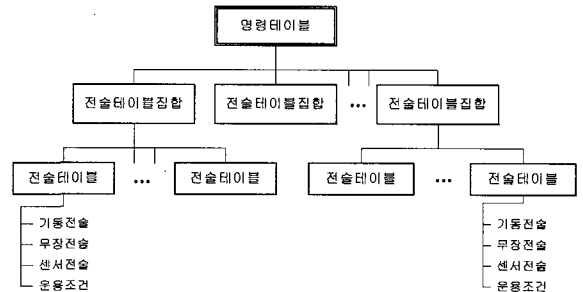
[그림 4] 시간 관리기의 역할

### 4) 전술처리기(Tactic Manager)

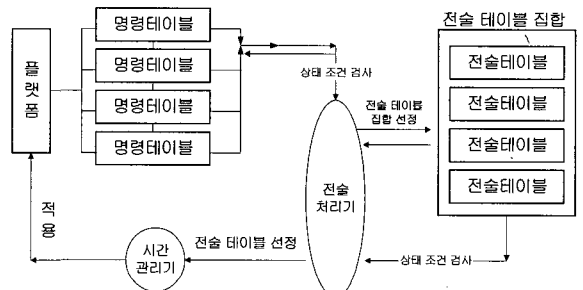
시뮬레이션 수행 시, 매순간 상황에 적절한 의사 결정을 하는 결정권자의 역할을 대신하기 위해서는 사용자가 입력한 명령과 전술 데이터를 분석하여 상황에 맞는 적절한 명령과 전술을 결정하는 모델이 필요하며, 이러한 명령/전술 처리 모델을 전술처리기라고 한다.

예를 들어, 방책 임무(Barrier Mission)를 수행하는 잠수함의 경우, 플랫폼의 임무에 따른 운용 단계를 초계, 탐지, 식별, 분류, 추적, 공격, 회피 등의 일련의 명령으로 분류하고, 그 아래에 그림 5와 같이 각 단계별 잠수함의 속도, 침로, 추진방식, 센서 운용 등에 대한 세부적인 전술을 포함시킴으로써, 시나리오 작성 시 시뮬레이션 진행 순서를 고려한 데이터 입력이 가능하고, 같은 명령 내에서 확률적으로 여러 가지 전술을 취할 수 있다.

명령 및 전술 데이터는 상황판단을 위한 상태 조건들과 플랫폼의 시스템 모델들에 적용될 파라미터 값들로 구성되며 이런 데이터들은 테이블 형태로 입력되어진다.



[그림 5] 명령/전술 모델 계층구조



[그림 6] 명령/전술 선택 과정

전술 처리기는 그림 6과 같이 플랫폼별로 할당된 명령테이블들과 각각의 명령테이블에 연결된 전술 테이블 집합 사이를 오가면서 상태 조건과 시뮬레이션 상황을 비교 검사하여 플랫폼에 적용해야 할 적절한 전술을 선택한다. 전술테이블에는 상태 조건, 기동 형태, 센서 운용, 무장 발사, 플랫폼 운용에 관련된 파라미터의 변화 등이 기록되어 있다.

시뮬레이션이 진행되면서 특정한 이벤트가 발생하여 플랫폼의 전술을 바꿀 필요가 있거나 플랫폼의 상태가 바뀌면 전술처리가 호출되어, 현재 플랫폼에 적용되고 있는 전술 테이블 집합 내에서 상태 조건의 검사를 수행하고 기동, 센서, 무장 및 환경 조건들에 대한 새로운 파라미터를 플랫폼에 적용한다.

또한, 잠수함 운용에 있어서 함내 지휘관의 판단을 반영하기 위하여 하나의 명령에 따라 선택할 수 있는 여러 가지 전술들 중에서 자함의 생존을 우선시 한 전술을 선택할 수 있도록 가중치를 적용하여, 자함의 상태가 안정적일 때 수행할 수 있는 조건과 위급한 상황에 선택할 수 있는 조건으로 각각 가중치를 부여함으로써 상황에 따라 지능적인 전술 판단을 가능하게 하였다.

다. 시스템 모델

1) 플랫폼

플랫폼은 시뮬레이션 시 입력한 전술에 따라 움직일 수 있는 개체를 의미하며, 기동, 추진, 탐지/피탐지, 무장 등 부체계 모델들의 집합체이다. 플랫폼 모델은 표 1과 같은 일반정보 및 특성을 가지며, 탑재무장, 탑재센서 등 탑재 부체계들의 이름과 기동 특성 등을 저장하고 있다가 프로그램의 구동 시에 각 데이터베이스를 연결하여 동작한다.

가) 잠수함

잠수함 모델은 개념설계의 설계 대안별 체계구성과 탑재장비 자료를 통하여 구성된다.

잠수함은 추진 체계의 특성에 따라 재래식 디젤 잠수함 및 AIP 잠수함 등으로 구분된다.

은밀성이 가장 큰 특징인 잠수함에서는 탐지 및 피탐 특성이 가장 중요한 요소이며, 상대 플랫폼의 탑재 소나에 의해 탐지되는 경우에 사용되는 피탐

[표 1] 플랫폼 특성

항 목	내 용
일반 정보	이름, 클래스, 종류 탐지 계산 범위(ZOI) 제원 : 배수량, 길이, 폭 추진 모드 : 배터리, 연료, 작동시간, 배터리+AIP 분류 : 아함, 우군, 중립, 적군, 적함
피탐특성	방사소음 I : 속도 대 Aspect Angle 방사소음 II : 속도 대 주파수 반사도 : Aspect Angle 대 주파수
기동특성	2차원, 3차원
탐재센서	능동/수동 소나
탐재무장	어뢰, TACM
추진	축전지, AIP, 스노클

특성으로 방사소음과 반사도에 대한 데이터를 가지고 있다.

잠수함 모델은 적함을 탐지하고 공격하기 위한 탑재 센서 및 무장의 종류와 수량에 대한 데이터만 가지고 있으며, 특정 상황에서 입력된 전술에 따라 탑재 센서의 on/off를 지시하고, 운용 주파수 등을 설정하는 한편, 탑재 무장의 발사 조건에 따라 발사 명령을 내리게 되고, 이 때 각각의 센서와 무장 모델이 이 명령에 따라 작동하게 된다.

나) 수상함

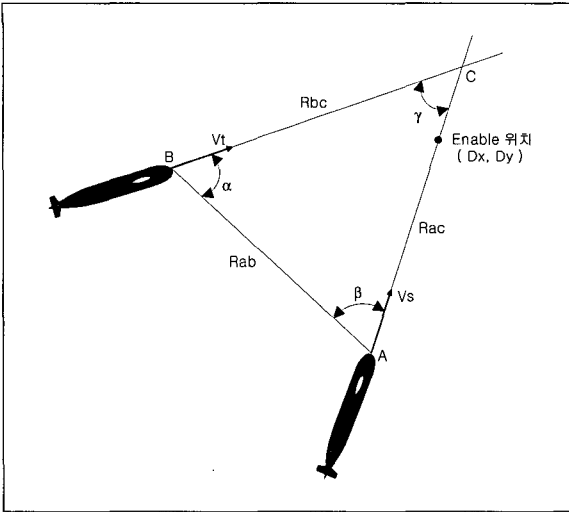
수상함 모델은 잠함 및 부상 기동이 없으므로 수평 기동만을 하며, 마찬가지로 일반 정보와 각종 센서 및 무장 탑재 정보를 가진다.

다) 어뢰<sup>[6]</sup>

잠수함의 발사 명령에 따라 발사된 어뢰는 발사 이후에 하나의 독립된 플랫폼으로 간주되며, 일반 정보, 기동 특성, 피탐 특성, 탑재 소나 및 추진 등의 부체계 특성들로 구성된다.

◦ 초기화

초기화는 플랫폼이 어뢰를 발사하는 순간 표적의



[그림 7] 어뢰의 Enable 위치 계산

위치를 기준으로 어뢰의 Enable 위치를 계산하여 어뢰의 초기 기동 데이터로 입력하는 과정이다(그림 7). 속도  $V_s$ 의 플랫폼 A가 속도  $V_t$ , 침로  $h$ 로 기동하고 있는 플랫폼 B를 향해 어뢰를 발사할 때, Enable 위치( $E_x, E_y$ )의 계산은 식 (1)과 같이 이루어진다.

$$\begin{aligned} E_x &= X_A + (R_{ac} - D_e) \times \cos(h - \gamma) \\ E_y &= Y_A + (R_{ac} - D_e) \times \sin(h - \gamma) \end{aligned} \quad (1)$$

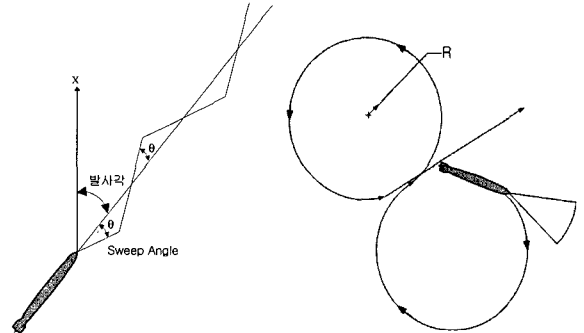
여기서,  $X_A, Y_A$ 는 플랫폼 A의 현재 위치,  $D_e$ 는 어뢰의 Enable 거리,  $h$ 는 표적함의 침로이다.

◦ 탐색 기동

잠수함으로부터 발사된 이후에 Enable 위치에 도달한 어뢰는 사형 탐색(그림 8(a))을 시작하고, 입력된 전술과 전술 가중치에 의해 스스로 적함을 추적한다. 만일 탐지를 소실한 경우에는 그림 8(b)와 같이 8자 형태의 원형 탐색을 수행한 뒤, 다시 사형 탐색을 번갈아 수행하도록 모델링 되었다.

◦ 탐지 및 분류

어뢰 탑재 소나는 플랫폼 탐지 모델과 동일한 탐지 모델을 사용한다. 어뢰에 탑재되는 능동 소나는 특정 각도의 탐지 범위를 가지며, 설정된 시간 간격의 소



(a) 사형 탐색 (b) 원형 탐색

[그림 8] 어뢰의 탐색 패턴

나 핑에 의해 탐지 계산을 수행한다. 어뢰는 탐지된 가장 가까운 표적을 추적하며, 일단 표적을 탐지하여 추적하기 시작한 어뢰는 표적에 대한 분류를 실시하고 분류 과정에서 기만기로 분류된 표적은 다시 추적하지 않는다.

라) 어뢰대항체계(TACM)<sup>[7][8]</sup>

TACM(Torpedo Acoustic Counter Measure)은 설정에 따라 디코이나 재머로 사용할 수 있다. TACM은 자함과 유사한 방사소음을 발생시키거나, 어뢰나 적합한 탐색 소나음을 반사하여 기만시키며, 수상함이나 잠수함으로부터 발사될 수 있다.

잠수함은 전술 처리기의 판단에 따라 설정된 발사 각도, 발사 간격, 발사 위치, 발사 거리 등의 값에 의해 TACM을 발사하며, 이러한 데이터들은 전술 테이블에 입력된다.

TACM도 자체 추진과 피탐 특성을 가지며 배터리 용량이 다 소모되면 비활성 상태가 된다.

2) 기동 모델

시나리오 상의 모든 기동 패턴은 전술 테이블로 입력되는 전술 기동에 의해 이루어지며, 시뮬레이션 실행 시 각각의 전술 기동은 단위 기동을 조합하여 수행된다.

가) 단위 기동

단위 기동은 회전, 부상, 잠항, 직진으로 구성되며, 각 단위 기동 마다 종료점이 계산되고, 그 점을 다음

단위 기동의 시작점으로 하는 단위 기동의 계산이 연속적으로 이루어진다.

· 회전

회전 중 플랫폼의 위치 X, Y는 아래와 같이 계산된다.

$$X_c = X_1 + R_T \cos(\theta_1 + D \frac{\pi}{2}) = X_1 - DR_T \sin \theta_1 \quad (2)$$

$$Y_c = Y_1 + R_T \sin(\theta_1 + D \frac{\pi}{2}) = Y_1 - DR_T \cos \theta_1$$

$$X = X_c + R_T \cos \theta_c \quad (3)$$

$$Y = Y_c + R_T \sin \theta_c$$

여기서,  $X_1, Y_1$ 은 시작점,  $X_c, Y_c$ 는 회전 중심이며, D는 회전 방향(우측 1, 좌측 -1)이다.

XY 평면상에서 플랫폼의 단위 기동은 회전부와 직진부로 구성되므로 전체 기동에 대한 계산을 위해서는 회전이 끝나는 회전 이탈점에서의 위치와 시간의 계산이 필요하다. 그림 9에서, 플랫폼의 기동종점  $E(X_2, Y_2)$ 로부터의 접선에 의해 만나는 점 D가 회전 이탈점이며, 이 점에서 회전이 끝나고 직진이 시작된다.

회전 이탈 시간  $T_D$ 의 계산은 식 (4)~식 (10)까지의 과정으로 이루어진다.

$$\phi_B = \tan^{-1} \left( \frac{Y_2 - Y_c}{X_2 - X_c} \right) \quad (4)$$

$$\theta_E = \sin^{-1} \left( \frac{R_T}{\sqrt{(X_2 - X_c)^2 + (Y_2 - Y_c)^2}} \right) \quad (5)$$

$$\phi_D = \phi_B - D \cdot \theta_c = \phi_B - D \left( \frac{\pi}{2} - \theta_E \right) \quad (6)$$

$$\theta_2 = \phi_D + D \frac{\pi}{2} = \phi_B + D \theta_E \quad (7)$$

$$\Delta \theta = \theta_2 - \theta_1$$

if  $(\Delta \theta \times \dot{\theta}) < 0$  then  $\Delta \theta = \Delta \theta + D2\pi$  (8)

$$\dot{\theta} = D \frac{V_T}{R_T} \text{ (rad/sec)} \quad (9)$$

$$T_D = T_1 + \frac{\Delta \theta}{\dot{\theta}} \quad (10)$$

여기서,  $\theta_2$ 는 회전 이탈점에서의 침로이다.

· 잠항/부상

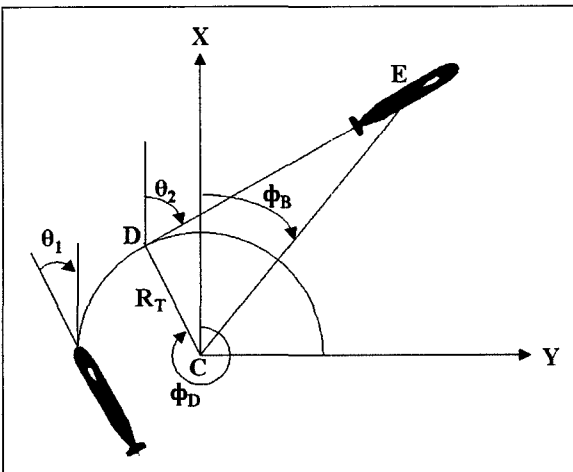
잠항/부상은 회전 또는 직진의 종료점에서 수심 변화 요구에 의해 시작되며, 설정된 기동 종료점으로 부상할 수 있는 최단 거리를 찾기 위해 최적의 부상 각도를 계산하는 과정을 거치게 된다.

나) 전술 기동

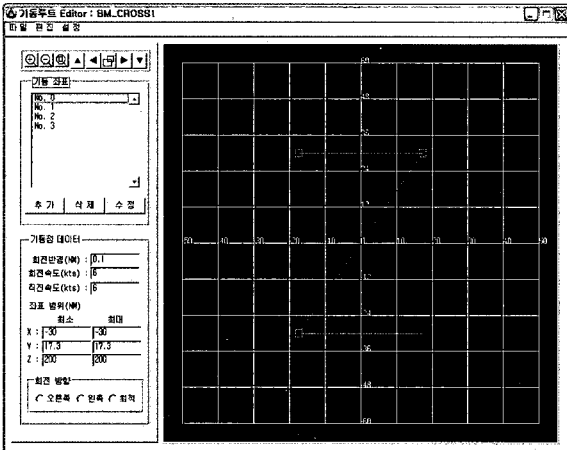
시뮬레이션 시 전술 입력에 의해 이루어지는 전술 기동은 기본 기동과 상대 기동으로 구분된다.

· 기본 기동

기본 기동은 시나리오 구성 시, 침입 또는 초계 등의 주어진 임무에 따라 그림 10과 같은 기동 궤적 편집기를 통해 입력된 일련의 연속된 기동 종점 데이터 들로서, 시뮬레이션 초기 또는 상태 변화가 없는 동안에 플랫폼이 움직여야 할 궤적을 나타내며, 기본적으로 회전 반경, 회전 방향, 회전 속도, 각 기동점의 X, Y, Z 좌표가 입력된다.



[그림 9] 회전 이탈점



[그림 10] 기동 추적 편집기

◦ 상대 기동

상대 기동은 다른 플랫폼과의 조우가 이루어진 후, 각각 주어진 전술과 서로 간의 상호 작용에 따라 계속해서 계산되며, 추적 기동과 회피 기동으로 구성된다. 추적은 대상 플랫폼과 일정거리와 상대방위 만큼 떨어진 위치에 도달하는 것이며, 추적할 플랫폼을 기준으로 추적점의 위치, 거리 및 침로가 계산된다.

회피는 추적과 반대의 경우이며, 추적 플랫폼과 일정한 방위, 일정 거리 이상 떨어진 위치를 목표점으로 삼는다.

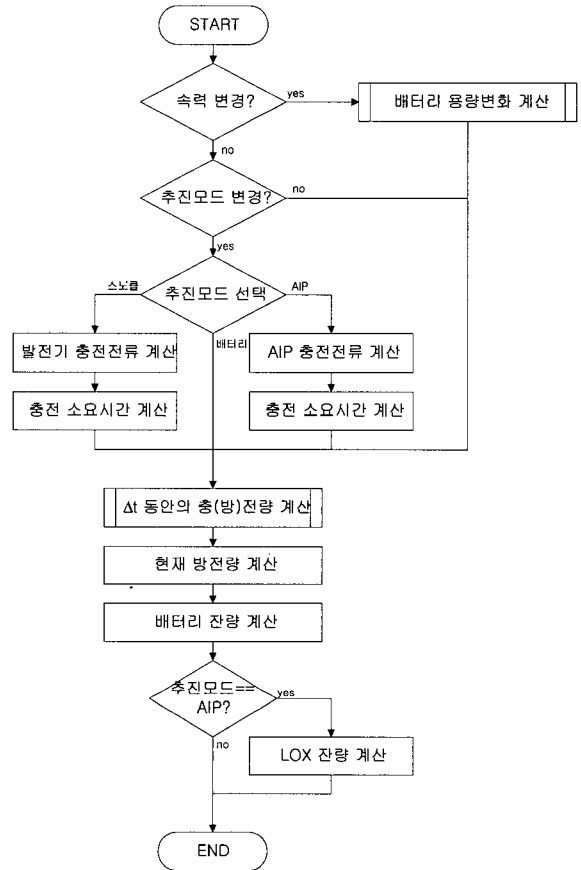
3) 추진 모델

추진 모델은 Diesel-Electric 추진과 근래의 AIP 방식에 의한 추진을 포함하고 있다. 재래식 잠수함에서 수중 추진의 주 동력원인 배터리 방전량과 AIP 추진 기관에서의 LOX 소모량은 그림 11과 같은 절차에 따라 계산된다.

AIP 추진 시스템의 경우, 배터리 총방전량은 재래식 배터리 추진의 경우와 동일한 방식으로 계산되어지며, 추가로 식 (11)과 같은 주 연료 Lox의 사용량 계산이 필요하다.

LOX 잔량 =

$$\frac{LOX \text{ 소모율} \times AIP \text{ 최대전력} \times AIP \text{ 탑재수}}{AIP \text{ 효율} \times 1000.0} \quad (11)$$



[그림 11] 추진 모델 계산 절차

4) 탐지 모델

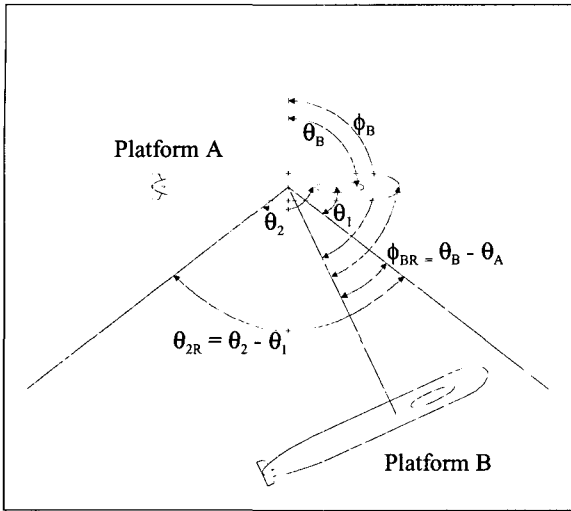
플랫폼에 탑재되는 소나의 특성 모델링은 일반적으로 소나방정식을 이용하며, 전체 탐지 절차는 ZOI 검사, FOV 검사, 탐지 계산, 식별 및 분류로 이어지는 일련의 단계로 분리하여 모델링 되어 각 과정이 다음 과정으로 진입하기 위한 제한조건이 된다.

◦ ZOI(Zone Of Interest)

ZOI는 시뮬레이션 시 플랫폼 간의 탐지계산 횟수를 줄이기 위한 가상의 영역이며, ZOI 밖에서는 탐지계산을 하지 않으므로써 계산 회수를 줄일 수 있다.

◦ FOV(Field of View)

FOV는 탑재센서의 탐지가능 방위각으로 플랫폼 양현의 두 방위각으로 정의된다. 센서의 FOV는 선수



[그림 12] FOV 계산

로부터 시계방향으로 측정되며, 그림 12에서 두 플랫폼 사이의 상대 방위를 식 (12)와 같이 계산하고 대상 플랫폼이 FOV 내에 있는지를 검사하게 된다.

$$\psi_{BR} = (\psi_B - \psi_A) - \theta_1 \tag{12}$$

$$\theta_{2R} = \theta_2 - \theta_1$$

여기서, 플랫폼 A로부터 플랫폼 B의 진방위  $\psi_{BR} \leq \theta_{2R}$  이면 플랫폼 B는 플랫폼 A의 FOV 내에 있다.

◦ 탐지<sup>[9][10]</sup>

탐지 모델은 대잠전에서 표적물의 탐지 거리를 결정짓는 가장 효과적인 방법인 소나 방정식을 사용하여 소나 탐지 특성 모델링을 하였다. 수동 소나의 탐지 거리 계산은 신호대 잡음비(SNR)를 계산하고, 사용자가 입력한 센서의 수신한계(DT)와 비교하는 것이 일반적이며, 본 모델에서는 탐지여부 판단과 탐지 거리 추정을 동시에 하기 위해 식 (13)과 같이 거리(R)의 함수로 표현되는 전달 손실(TL)과 SNR을 비교하여 탐지 거리를 계산한다.

$$SNR = SL - NL + DI - DT \geq TL \tag{13}$$

$$TL = 20 \log R + aR^{10} + A$$

여기서, a는 흡수함수, A는 임의의 상수이다.

SNR은 주어진 운용 주파수 범위 내에서 계산되며, 최대 SNR에서의 거리가 최대 탐지 거리 가 된다.

식 (13)에서 SL은 피탐체가 발생시키는 방사 소음이며 표적 속도 V와 표적각  $\psi$ (Aspect Angle) 및 주파수 f의 함수이다. NL은 주변 소음, DI(Directivity Index)는 수신 지향 지수이며 주파수 별 그래프 및 상수로 입력한다.

능동 소나 탐지 모델도 역시 소나 방정식을 사용하며, 능동 소나 방정식은 식 (14)와 같다.

$$SNR = SS + GT - NL + DI - TL \tag{14}$$

여기서, SS는 탐지 소나의 신호강도, GT는 표적 반사도이며 그래프 또는 상수로 입력된다.

◦ 식별/분류

탐지는 사용자가 입력한 센서 성능 특성과 기하학적인 요소에 기초하며, 식별과 분류는 잠수함의 승조원 즉, 사람의 판단에 의해 일어나는 일이다. 식별은 현재 탐지된 플랫폼이 이전에 탐지된 플랫폼인지 판단하는 과정이며, 이 과정은 판단에 걸리는 식별 지연 시간과 식별 확률을 적용하여 모델링 하였다. 분류는 탐지된 대상을 우군, 중립, 적군, 적함으로 나누는 과정이며, 분류 지연 시간과 분류 확률 테이블에 따라 이루어진다.

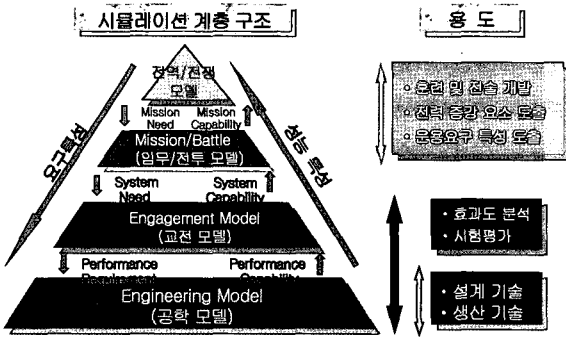
### 3. 시뮬레이션 및 결과 고찰

#### 가. 작전효과도 시뮬레이션

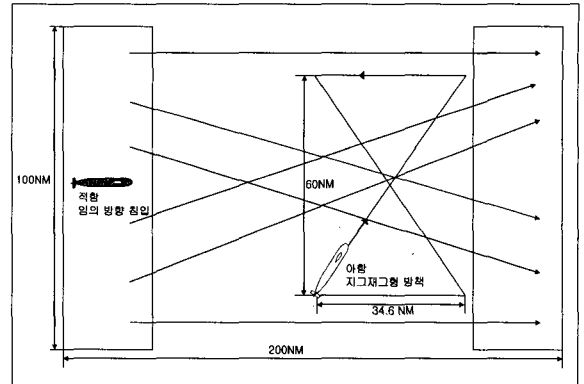
본 시뮬레이션 모델은 그림 13의 국방 M&S 계층 구조 상에서 교전 모델에 해당하며, 플랫폼 간의 1대 1 또는 2대1의 교전을 통한 작전효과도 분석에 초점을 두고 개발되었다.

잠수함의 작전효과도 시뮬레이션을 위해서는 먼저 잠수함의 운용 개념에 따라 은밀 침투 및 추적, 대함/대잠 방책 등과 같은 잠수함의 작전 임무가 정의되어야 하며, 개념설계 결과에 의해 도출된 설계 대안 잠수함들의 체계 및 부체계 정보들을 데이터베이스화하





[그림 13] 국방 M&S 계층 및 용도



[그림 14] 방책 임무 시나리오

고, 설계 대안별 각 잠수함 모델을 구성해야 한다.

잠수함 모델이 구성되고 나면, 구축된 데이터베이스를 기초로 위협 세력 및 교전 환경을 정의하고, 잠수함의 교전 상황 시뮬레이션에 필요한 전술 시나리오를 설정한다.

시뮬레이션 실행 단계에 있어서는, 시뮬레이션 수행 제어를 위해 효과도 분석 지수, 신뢰구간 및 신뢰도, 최소 및 최대 반복 회수 등의 조건을 설정해야 한다.

최종적으로 잠수함의 대안별 시뮬레이션 결과를 기초로 주어진 임무 수행을 위한 최적의 대안을 선정할 수 있고, 잠수함 구성 요소의 설계 사항을 제한 범위 내에서 변경시켜 가면서 특정 장비의 성능 향상에 따른 효과도를 분석하여 잠수함의 전투 능력 향상에 미치는 영향을 평가함으로써 잠수함의 설계 기준 및 새로운 대안 설정의 근거 자료를 제공할 수 있다.

시뮬레이션에서는 어떤 요소를 고정변수로 두고 어떤 요소를 랜덤 변수로 처리하는가에 따라 무수히 다른 결과가 나올 수 있으므로, 시뮬레이션을 수행하기 위한 실험 계획이 신중하게 수립되어야 하며, 첫 번째 실험 계획에 의한 시뮬레이션 결과를 통해 다음의 실험 계획들을 수정해 나가면서 효과도 도출을 위해 가장 적합한 조건들로 구성된 시뮬레이션을 수행할 수 있게 된다<sup>[11]</sup>.

나. 시나리오

본 논문에서는 그림 14와 같은 방책 임무 시나리오를 통한 시뮬레이션을 수행하였으며, 시나리오에 포함된 플랫폼은 표 2와 같다. 표에서 잠수함 A는 초

[표 2] 플랫폼 정보

플랫폼	A	B	C	D	E
종류	잠수함(SSK)				수상함
추진 종류	배터리+ AIP	D/E			연료 추진
탑재 센서	CAS PRS FAS TAS	PPS PRS FAS	PPS PRS FAS TAS	PPS PRS FAS TAS	HMS TAS VDS
탑재 무장	어뢰 20기 기만기 20기(잠수함B 제외)				MK32 20기
최대 속력	20kt	16.8kt	20kt	21.5kt	22kt
배수량 (수중)	3000t	1859t	2750t	1590t	1,500t

계함이며, 잠수함 B, C, D는 국외에서 개발, 운용된 순서대로 구분하였으며, E는 일반적인 수상함이다.

초계함과 침입함에 설정된 전술 변수를 간단하게 나타내면 표 3과 같으며, 플랫폼 정보 및 전술 변수에 관한 기타 자세한 설정은 여건상 생략하였다.

잠수함이 특정 해역을 초계하는 방책 임무를 가정해 볼 때, 침입 잠수함은 특정한 목적을 가지고 침입하므로 초계 잠수함을 탐지하더라도 교전을 피하고 목표 지점까지 침입하고자 할 것이며, 초계 잠수함은 침입 잠수함을 탐지하여 격침시키고자 할 것이다. 이

[표 3] 전술 변수

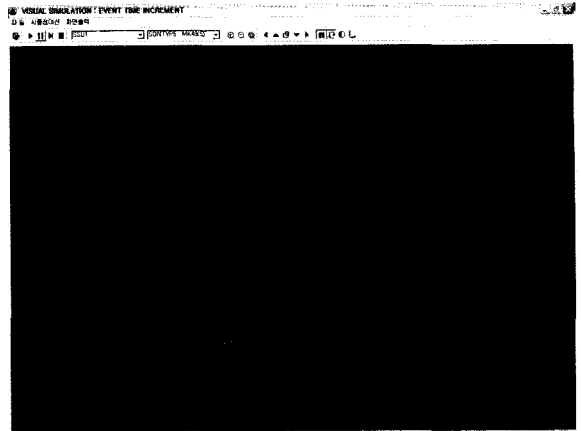
구분	초계함	침입함
기동	초계 속도: 6kts	침투 속도: 4kts
전술	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 탐지되면, 식별/분류 후 추적</li> <li>- 상대방위 90도, 추적점 0.5nm, 추적 속도 4kts</li> <li>· 거리가 5nm 이내 일 경우 어뢰 2발 발사</li> <li>- 어뢰 발사 후, 상대방위 45도, 6kts로 추적</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 탐지되면, 식별/분류 후 회피</li> <li>- 상대방위 90도, 회피점 0.5nm, 회피 속도 6kts</li> <li>· 거리가 15nm 이내 일 경우, 15kts로 회피</li> <li>· 어뢰가 2nm 이내로 접근할 경우, TACM 3발 발사 후 상대 방위 60도, 최대 속력으로 회피</li> </ul>

경우 전술변수는 각 잠수함의 속도, 침입패턴, 초계 범위, 초계 패턴, 교전 시 각 잠수함의 작전 전술, 작전 해석 및 기상 상태 등이 될 수 있으며, 성능변수로는 기동, 추진, 탐지/피탐지, 무장 성능 등이 있다. 이와 같은 전술변수와 성능변수들은 상황에 따라 적절히 조합되어지고 그 값들이 수치로 변하기 때문에 관심의 대상이 되는 성능 변수나 전술 변수를 제외한 부분은 고정 변수로 묶으므로써 목적에 맞는 시뮬레이션을 효과적으로 수행할 수 있다.

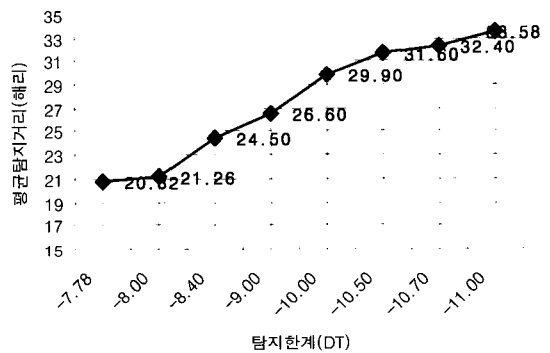
다. 시뮬레이션 모델의 검증(V&V)

Verification은 모델이 올바르게 전산 코드화 되었는지를 검사하는 것이다. 본 모델에서는 그림 15와 같은 비주얼 모드를 통해 코드가 제대로 작동하는지와 설정한 시나리오에 따라 추적, 어뢰 공격 및 회피 과정이 의도한대로 시뮬레이션 되고 있는지 확인하였다.

Validation은 시뮬레이션 모델이 모사하려는 현실 체계를 올바르게 나타내는지 검사하는 것이며, 실제 실험결과를 충분히 많은 상황에서 비교하는 것이 가장 확실한 방법일 것이나, 잠수함과 같은 대형 복합무기체계의 작전 임무수행을 Full-scale 실험을 통



[그림 15] 비주얼 시뮬레이션



[그림 16] 탐지한계별 탐지거리

해 동일한 테스트 데이터를 얻기는 거의 불가능한 일 이므로, 그것을 대체하는 방법으로서, 전문가와 상담하거나 민감도 분석(sensitivity analysis)을 수행하는 방법들이 제시되고 있다<sup>[12]</sup>. 본 연구에서도 민감도 분석을 통해 모델의 Validation을 수행하였으나, 향후 지속적인 모델 운용을 통한 데이터베이스 구축과 실제 잠수함 운용 데이터의 피드백을 통한 Validation 과정이 계속되어지면서 점차 모델의 신뢰도를 향상시켜 나갈 것이다.

민감도 분석을 위한 시뮬레이션 결과는 그림 16과 같다. 그림 16은 잠수함B가 침입할 때, 초계 잠수함 A의 TAS의 DT값을 변화시켜 가면서 탐지거리의 변화를 조사한 결과이며, 소나의 성능 변수 중 하나

인 탐지 한계 값이 변함에 따라 적합을 탐지하는 거리가 증가하여, 결과적으로 잠수함 효과도에 영향을 미침을 알 수 있었다.

라. 몬테 칼로 시뮬레이션<sup>[13]</sup>

그림 17은 각각의 침입함에 대하여 신뢰도 수준 (Confidence Level) 95%, 오차한계(Error Limit)를 0.05로 설정하여, 각각 최대 400회씩의 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

시뮬레이션 결과, 초계함이 교차형(Cross) 방책을 할 때보다 사각형(Square) 방책을 할 때의 탐지 확률(P(d)) 및 격침 확률(P(k))이 높음을 알 수 있었다. 한편, 적합 종류 및 아함 초계 패턴별 탐지 거리(Rd)와 탐지 시간(Dt)은 그림 18과 같다.

자체 개발한 시뮬레이션 모델을 이용하여 다양한 종류의 시뮬레이션을 수행한 결과, 작전효과도는 플

랫폼의 방사 소음 특성, 탑재 센서 및 무장 성능뿐만 아니라, 시나리오에도 큰 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었다.

본 예제에서 설정된 가정의 세부 사항은 생략하였으며, 시뮬레이션 결과는 설정된 가정과 시나리오 하에서의 결과이므로, 절대적인 값으로서의 의미를 가지는 것은 아니며, 동일한 시나리오 하에서 각 설계 대안의 비교/분석이 가능하다는 것에 의미가 있다.

4. 맺음말

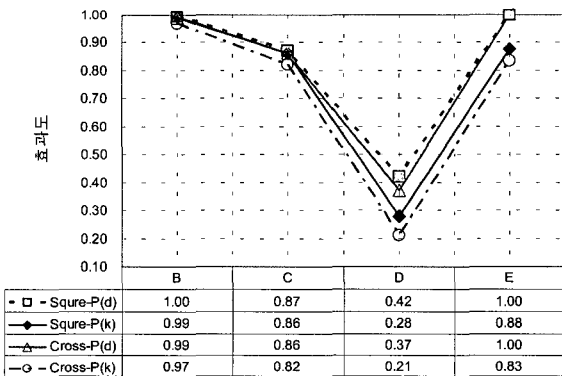
본 연구에서는 개념설계 단계의 설계 결과물들을 이용하여 잠수함의 작전효과도 시뮬레이션을 수행할 수 있는 시뮬레이션 모델에 대한 연구 결과를 소개하였다.

최근 M&S 기법들에 대한 관심이 높아지면서, 많은 고가의 국내외 시뮬레이션 툴들이 소개되고 있으나, 일괄적인 진행/제어 방식을 적용함에 따라 잠수함에 적합한 모델은 거의 찾기가 힘든 것이 사실이다. 이는 본 모델에서 가장 핵심이 되는 기술인 이벤트 모델에서 볼 수 있듯이, 대상 무기체계의 거동과 상호 관계를 모르고는 절대로 모델링 할 수가 없는 부분이 대부분이기 때문이며, 그러한 이벤트 모델링이 되지 않으면 결과의 정확한 통계적 분석 또한 힘들다.

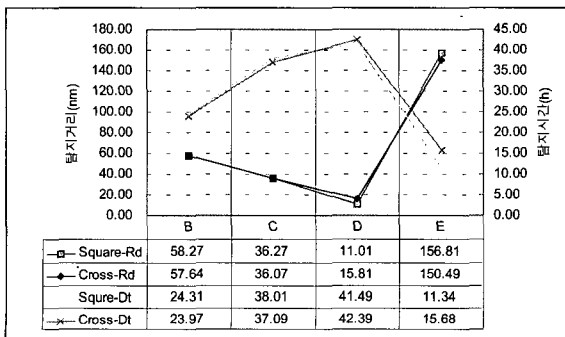
끝으로, 운용 부대 및 각 부체계 설계 팀과의 지속적인 협의를 통한 모델의 정밀화와 최신 M&S 기법 등의 적용을 통한 시뮬레이션 모델의 업그레이드가 계속될 것이며, 여기서 소개된 모델을 잠수함 개념설계 단계에 적용한 사례는 차후의 논문에서 소개할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 송준태, “잠수함 개념설계 방안 연구”, 국방과학연구소, NSDC-113-011525, 2001. 12.  
 [2] 이동희, “잠수함 효과도 분석용 시뮬레이션 S/W 개발에 관한 연구”, 국방과학연구소, NWS-



[그림 17] 몬테 칼로 시뮬레이션 결과



[그림 18] 탐지 거리 및 탐지 시간

- 513-961371, 1996. 12.
- [3] Computer Science Corporation, "Submarine effectiveness model(SUBEM) technical manual", USA, 1995.
- [4] 박준규, "잠수함 임무별 운용 시뮬레이션 소요 모델링 연구", 국방과학연구소, NSDC-513-020704, 2002.
- [5] 박준규 외, "잠수함 대잠전 임무 시뮬레이션 S/W 개발 결과 보고서", 국방과학연구소, NSDC-509-021117, 2003.
- [6] Anders Mjelda, "A Homing torpedo Parameters on the Torpedo Effectiveness", ADA047 265, Sep. 1977.
- [7] 성일 외, "어뢰방어체계의 현황 및 추세", 국방과학연구소, NWS-813-93516, 1993. 8.
- [8] Armo, Knut Rief, "The relationship between a submarine's maximum speed and its evasive capability", Naval Postgraduate School, 2000.
- [9] A. D. Waite, "SONAR for Practising Engineers", John Wiley & Sons, LTD, 2002.
- [10] Robert J. Urick, "Principles of Underwater Sound", McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1983.
- [11] 류기열 외, "시뮬레이션 결과의 통계적 분석 기법 연구", 국방과학연구소, NWS-512-980073, 1998.
- [12] JASA, "How to VV&A without really trying", JTCG/AS-97-M-OO 9, 1997.
- [13] 김재연, "컴퓨터 시뮬레이션", 博英社, 1995.