



Received: 2025/08/08
Revised: 2025/08/26
Accepted: 2025/09/20
Published: 2025/09/30

***Corresponding Author:**

Sungkyun Lee

Maritime R&D Center, LIG Nex1
333 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si,
Gyeonggi-do, 13488, Republic of Korea
Tel: +82-31-5179-7761
Fax: +82-31-5179-7086
E-mail: sungkyun.lee2@lignex1.com

Abstract

본 논문에서는 충돌기동 분석을 위한 도구를 M&S(modeling & simulation) 기법을 활용하여 개발하였다. 이를 위해 함정의 제원 및 선회경(turning diameter)을 고려한 함정 기동모델을 구축하였다. 또한, 중분위도 알고리즘을 적용하여 함정의 경위도 좌표를 시간에 따라 정확하게 산출하였다. 충돌기동 모의를 위해 경위도 좌표상의 적함 위치를 고려하여 아함의 충돌침로를 산출하였다. 특히, 충돌 여부 판단에 있어 단순히 아군 및 적함의 질점 간 거리만을 기준으로 하지 않고, 각 함정의 실제 제원을 반영함으로써 보다 현실적이고 신뢰도 높은 충돌 판별이 가능하도록 하였다.

In this paper, an analysis tool for naval ship collision maneuvers is developed by using Modeling and Simulation (M&S) technique. To achieve this, a ship maneuvering model is constructed by reflecting ship particulars and turning diameter. The Middle-Latitude algorithm is applied to accurately calculate the latitude and longitude coordinates of ships. For simulation of collision maneuver, the collision course of the own ship is calculated based on the relative position of the target ship. In particular, to enhance the reliability of collision determination, the analysis incorporates the main dimensions of each ship.

Keywords

함정(Naval Ship),
충돌기동(Collision Maneuver),
선회경(Turning Diameter),
충돌 판별(Collision Determination),
모델링 & 시뮬레이션(Modeling & Simulation),

M & S 기법을 활용한 함정 충돌기동 분석도구 개발

Development of a Ship Collision Analysis Tool by Using M&S Technique

이성균^{1*}, 고진용¹, 이상욱¹, 김현승²

¹LIG넥스원 해양연구소 수석연구원

²LIG넥스원 해양연구소 선임연구원

Sungkyun Lee^{1*}, Jinyong Go¹, Sangwook Lee¹, Hyunseung Kim²

¹Chief research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

²Research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

1. 서론

해상 전투에서 함정의 기동은 전술 수행 능력과 직결되는 핵심 요소이며, 특히 충돌기동은 적 함정에 직접적인 타격을 가하기 위한 과감한 공격 전술로 활용되어 왔다. 충돌기동은 짧은 시간 안에 아군 함정과 적 함정 간 거리를 급격히 줄이며, 함정의 운동에너지를 활용하여 효과적으로 물리적 피해를 가할 수 있다는 장점이 있다[1,2]. 충돌기동을 위해서는 정밀한 충돌기동이 필수적이다. 이때 정밀한 충돌기동이란 단순한 침로 유지 또는 적함과의 거리 계산이 아닌, 적함을 정확히 타격하기 위한 경로 설정과 기동 수행을 의미하며, 아군과 적함 간 상대 위치, 속도, 선회경 등 다양한 요소를 고려한 정교한 분석이 동반되어야 한다.

충돌기동에 관한 기존 연구는 주로 개념적 전술 모의나 단순 거리 기반의 접근 분석에 집중되어 있어, 실제 함정의 제원과 선회 특성을 충분히 반영하지 못하는 경우가 많았다. 또한, 적함과의 조우 상황 및 충돌각을 반영하지 않았기에, 현실적인 전투 상황에 대한 분석이 제한적이었다. 따라서 전술상황에서 각 함정의 기동을 선회 특성을 반영하고, 현실적인 충돌 판단을 통해 충돌기동의 결과를 분석하는 도구의 필요성이 대두되었다[3].

이에 본 논문에서는 M&S(modeling & simulation) 기법을 활용하여 함정의 충돌기동을 신뢰도 높게 분석하고, 실전 전술상황에서 적용 가능한 분석도구를 개발하였다. 함정의 제원과 선회경

을 고려한 선회 운동 모델을 개발하였고, 이를 기반으로 중분위도 알고리즘을 적용하여 지구 곡률이 반영된 아함과 적함의 경위도 좌표를 산출하였다. 더불어 경위도 좌표계 상에서 적함의 위치와 속력을 반영하여 최적의 충돌침로를 산출하였다. 특히, 충돌 판별 과정에서 단순히 아함과 적함의 상대 거리만이 아닌 실제 함 제원과 충돌각을 고려함으로써, 보다 현실적인 충돌 가능성 평가가 가능하도록 하였다.

본 논문은 다양한 선회 특성 및 함 제원을 갖는 함정들의 충돌기동을 신뢰도 높게 재현하고 평가할 수 있는 기반을 제공하며, 해상 전투 시뮬레이션의 충돌기동 모델로 적용 가능할 것으로 기대된다.

2. 함정 기동모델 개발

함정의 기동 특성을 모사하기 위해 본 논문에서는 Nomoto(1957)가 제안한 K-T 모델을 기반으로 선회 운동 모델을 구축하였다. Nomoto의 K-T 모델은 함정의 선회 특성을 2차 미분방정식 형태로 단순화하여, 실제 함정 운동의 주요 동특성을 효과적으로 반영할 수 있는 대표적 기동모델이다[4]. K-T 모델의 기본 형태는 식 (1)과 같으며, 이를 통해 식 (2)와 같이 선회 각가속도를 산출할 수 있다.

$$T\ddot{\psi} + \dot{\psi} = K\delta \quad (1)$$

$$\ddot{\psi} = (K\delta - \dot{\psi})/T \quad (2)$$

여기서, T 는 관성력과 감쇠력의 비율을, K 는 회전 모멘트와 감쇠력의 비를 의미한다. T 는 조타에 대한 함정의 응답과 관련된 변수로, T 의 값이 작을수록 조타에 대한 함의 응답성이 좋아진다. 반대로 이 값이 클수록 선박의 침로 안정성은 좋아지게 된다. K 는 정상 상태에서의 선회 성능과 관련된 변수이다. K 의 값이 클수록 작은 타각으로도 원하는 선회경을 달성할 수 있게 된다. 결국 조종 성능이 좋은 선박일수록 T 의 값은 감소하고 K 의 값은 증가한다. 그리고, ψ 는 함정의 선회각을, δ 는 타각을 각각 의미한다.

Nomoto(1957)에 의해 제안된 경험식에 의하면, 대상 함정의 전진 속도(V)와 타각이 정해져 있을 때 선회경(TD), 함정 길이(L), 배수용적(∇), 타 면적(A_R) 정보를 통해 계수 K , T 를 각각 산출할 수 있다. 식 (3), 식 (4)는 제안된 K 와 T 의 산출식을 나타낸다. 배수용

적을 직접적으로 활용할 수 없는 경우에는 배수량(Δ)과 해수밀도(ρ)를 이용하여 근사할 수 있으며, 타 면적의 경우 함정 길이와 평균 흘수(T_m)를 이용하여 근사할 수 있다.

$$K = \frac{2V}{TD \cdot \delta} \quad (3)$$

$$T = \frac{LV}{4V^2 A_R} K \quad (4a)$$

$$\nabla = \Delta/\rho \quad (4b)$$

$$A_R = 0.025LT_m \quad (4c)$$

구축된 선회 운동 모델을 통해 조타에 의해 타각이 발생하면 그에 따른 선회각의 변화를 산출할 수 있다. 즉, 함의 선회를 발생시키기 위해서는 타각이 결정되어야 한다. 타각은 목표 침로와 현재 선회각의 차이를 활용하여 식 (5)와 같이 비례-미분 제어를 통해 산출하였다. 비례 제어를 통해 선회각 오차를 줄이는 방향으로 타각을 제어하고, 미분 제어를 통해 선회각 추종 시 발생할 수 있는 과도응답(overshoot)을 제어하였다[5,6].

$$e_\psi = \xi_{cmd} - \psi \quad (5a)$$

$$\delta = K_p e_\psi + K_D \frac{\Delta e_\psi}{\Delta t} \quad (5b)$$

여기서, ξ_{cmd} 는 목표 침로를, e_ψ 는 목표 침로와 선회각의 오차를, Δe_ψ 는 현재 선회각 오차와 이전 선회각 오차의 차이를, Δt 는 시간 간격을 각각 의미한다. 이 변수들과 비례 제어 계수(K_p), 그리고 미분 제어 계수(K_D)를 활용하여 목표 침로를 추종하기 위한 타각을 설정하게 된다.

적함에 대한 아함의 충돌침로는 아함과 적함 간의 상대 위치를 활용한 기하학적 관계와 속도-거리 관계를 통한 운동학적 요소를 고려하여 산출된다. 아함과 적함이 임의의 위치에 배치되었을 때, 최근접 충돌 지점 및 기하학적 요소를 Fig. 1에 나타냈다. Fig. 1에서 알 수 있듯이, 아함의 충돌침로(ξ_c)는 아함을 기준으로 했을 때의 적함 상대 방위(α_{FT})를 활용하여 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\xi_c = \alpha_{FT} + \Phi_F \quad (6)$$

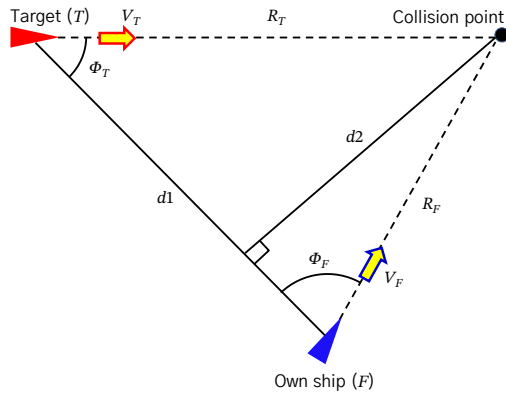


Fig. 1. Configuration of geometric relation

Φ_F 와 Φ_T 의 관계를 나타내기 위해 기하학적인 관계를 이용한다. 우선, Fig. 1의 'd2'는 식 (7a)와 같이 나타낼 수 있고, 아함과 적함의 충돌 지점까지 소요되는 시간(t)은 같다는 운동학적 요소를 함께 적용하면 식 (7)과 같이 Φ_F 와 Φ_T 의 관계를 정리할 수 있다.

$$d2 = R_F \sin \Phi_F = R_T \sin \Phi_T \quad (7a)$$

$$t = \frac{R_F}{V_F} = \frac{R_T}{V_T} \quad (7b)$$

$$V_F \sin \Phi_F = V_T \sin \Phi_T \quad (7c)$$

$$\Phi_F = \sin^{-1} \left(\frac{V_T}{V_F} \sin \Phi_T \right) \quad (7d)$$

Φ_T 역시, 기하학적 관계를 이용하여 적함 기준의 아함 상대 방위(α_{FT})를 활용하여 식 (8)과 같이 표현할 수 있다. 이에 충돌침로는 최종적으로 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_T = \alpha_{TF} - \xi_T \quad (8)$$

$$\xi_c = \alpha_{FT} + \sin^{-1} \left(\frac{V_T}{V_F} \sin(\alpha_{TF} - \xi_T) \right) \quad (9)$$

다음으로, 함정의 기동 위치를 지구 곡률이 반영된 경위도 좌표계에서 정확하게 표현하기 위하여, 본 논문에서는 중분위도 알고리즘(mid-latitude algorithm)을 적용하였다. 중분위도 알고리즘은 비교적 짧은 거리 이동에 대해 구면좌표계상의 경위도 변화를 근사적으로 산출하는 기법으로, 고(高)정밀의 구면 삼각법을 적용하는 방법에 비해 계산량이 적으면서도 실용적인 정확도를 확보할 수 있다는 장점이 있다. 중분위도 기준으로 위도 1도는 60해리(nautical mile, NM)이고, 1 NM은 1노트의 속력으로 1시간 동

안 전진하는 거리임을 이용하는 방법이다[7].

중분위도 알고리즘을 통해서 이동한 거리에 해당하는 경위도 변화를 산출하는 방법은 식 (10)과 같다. 함정의 속력을 활용하여 시간 간격 동안 이동한 거리(D)를 계산하고, 함정의 이동 거리와 침로(ξ)를 활용하여 위도 변화량($\Delta\theta$)을 계산한다. 경도는 위도에 따라 거리가 상이하므로, 경도 계수(C_λ)를 적용하여 경도 변화량($\Delta\lambda$)을 계산한다. 경도 변화량과 위도 변화량을 활용하여 현재 위치의 경위도 좌표를 산출한다.

$$D = V \cdot \Delta t \quad (10a)$$

$$\Delta\theta = (D \cdot \cos \xi) / 21600 \quad (10b)$$

$$\Delta\lambda = (D \cdot \sin \xi) / 21600 \quad (10c)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda \quad (10d)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \Delta\theta \quad (10e)$$

여기서, λ_1 은 이전 위치에서의 경도, λ_2 는 현재 위치에서의 경도, θ_1 은 이전 위치에서의 위도, θ_2 는 현재 위치에서의 위도를 의미한다.

구축된 선회 운동 모델의 타당성을 검증하기 위해 정상 선회(steady turning) 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 대상 함정의 제원과 타각, 전진속도를 입력하여 정상 선회 상태에 도달할 때의 선회경을 계산하는 방식으로 진행하였다. 이때 정상 선회란 일정한 타각과 속도 조건에서 선회 각속도가 일정하게 유지되며, 침로 변화가 일정한 곡률을 가지는 상태를 의미한다. 시뮬레이션을 위한 입력 조건들은 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Simulation condition for steady turning

Parameters	Description	Value
L (m)	Length	150
T_m (m)	Mean draft	4.5
Δ (ton)	Displacement	4,000
ρ (ton/m ³)	Seawater density	1.025
V (m/s)	Velocity	15.43
δ (deg)	Rudder angle	35
TD (m)	Turning diameter	2,500

Fig. 2는 정상 선회 시뮬레이션 결과를 도시한 것으로, 타각과 속력의 변화가 없을 때 일정한 선회각과 선회경이 유지되는 것을 보여준다. 또한, 정상 선회의 궤적을 통해 재산출한 선회경은 2,498 m로 입력 선회경 값인 2,500 m와 오차율 0.1% 이내의 값을 확인하였다. 이를 통해 본 논문에서 구축된 선회 운동 모델이 충돌기동과 같은 전술 기동 상황에서 신뢰성 있는 모의 결과를 제공할 수 있음을 검증하였다.

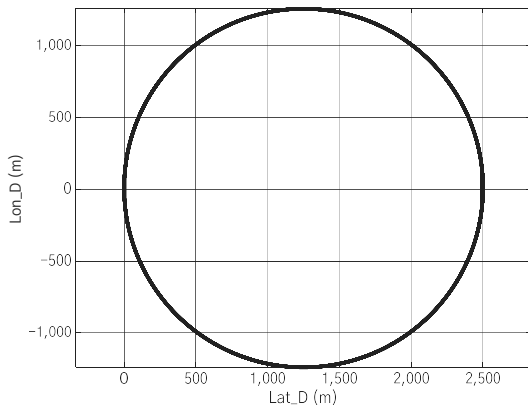


Fig. 2. Simulation result of steady turning

3. 충돌 판별 모델 개발

기동 모델을 정밀도 높게 구축하였다 하더라도, 충돌기동의 분석을 위해서는 충돌 여부에 대한 현실적인 판별 과정이 필수적이다. 기존의 많은 연구에서는 함정 간 거리를 일정 임계값과 비교하는 단순한 방식으로 충돌 여부를 판단하였으나, 이러한 접근은 함정의 실제 제원, 충돌각, 충돌 지점과 같은 중요한 요인을 간과하는 한계가 있다.

본 논문에서는 보다 신뢰성 높은 충돌 판정을 위해, 각 함정의 제원과 운동 상태를 종합적으로 고려하는 판별 모델을 제안하였다. 충돌 판단 시 아함과 적함의 중심 좌표만을 비교하는 것이 아니라, 각 함정의 외형을 경위도 좌표계 상에서 Fig. 3와 같이 직육면체로 모델링하고, 시간에 따른 상대 위치 변화를 추적하여 실제 형상이 겹치는 시점을 충돌로 정의하였다.



Fig. 3. Rectangular prism enclosing the ship

충돌 판별의 과정은 Fig. 4에 나타났다. 충돌 가능성에 대한 1차·2차 판단을 우선적으로 거치고, 충돌 가능성이 있다고 확인된 경우에는 교차점을 산출한다. 최종적으로 산출된 교차점이 함정 직육면체의 면에 포함되는지를 판별하여 충돌 여부를 확정한다.

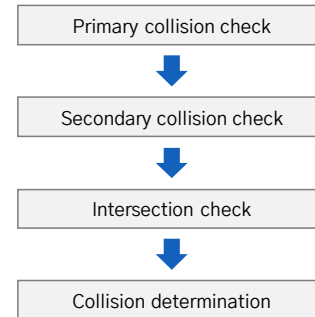


Fig. 4. Flow diagram for collision determination

1차 충돌 가능성 판단은 아함과 적함의 질점 사이의 거리를 산출하여, 아함과 적함 길이의 합보다 작은 경우에만 이후의 충돌 판별 과정을 진행시키는 단계이다. 이 단계를 통해 충돌 판별 계산량을 최소화하고 분석 도구의 효율성을 제고하였다.

2차 충돌 가능성 판단 단계에서는 각 함정의 제원을 반영하여 보다 정밀한 충돌 가능성을 평가한다. 이를 위해 시간에 따른 아함과 적함의 형상을 직육면체로 모델링하고, 각 꼭지점의 궤적을 추적한다. 각 시점에서 아함 꼭지점 좌표의 궤적이 적함 직육면체의 각 면을 포함하는 무한평면과 교차하는지를 판정하고, 적함 꼭지점과 아함 직육면체에 대해서도 동일한 판정을 수행한다. Fig. 5는 시간에 따른 꼭지점의 위치와 대응되는 함정 직육면체를 보여준다.

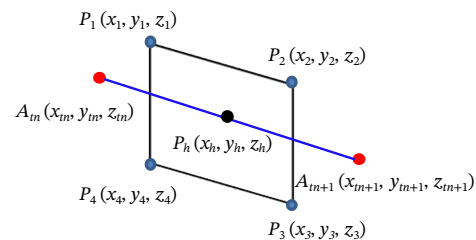


Fig. 5. Conceptual view of vertex trajectory and plane

Fig. 5에서 A_{tn} 은 함정의 직육면체를 구성하는 한 꼭지점, A_{tn+1} 은 다음 시간 단계에서의 꼭지점 위치를 의미한다. 그리고 꼭지점 $P_1 - P_4$ 는 대응되는 함정 직육면체의 한 면을 구성하는 꼭지점들이다. 꼭지

점 $P_1 - P_4$ 를 포함하는 무한평면의 평면식은 평면 법선 벡터, $n(n_i, n_j, n_k)$ 를 이용하여 식 (11d)와 같이 표현할 수 있다.

$$n_i = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1) \quad (11a)$$

$$n_j = (z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1) \quad (11b)$$

$$n_k = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1) \quad (11c)$$

$$n_i(x - x_1) + n_j(y - y_1) + n_k(z - z_1) = 0 \quad (11d)$$

꼭지점 궤적과 무한평면의 교차 여부는 평면식을 활용하여 식 (12c)와 같이 판별하며, 이 조건을 만족하는 경우 무한평면을 교차하는 것이므로 교차점 좌표를 산출하는 단계로 진행한다. 이러한 과정은 아함의 모든 꼭지점과 적합 직육면체의 모든 면에 대해 반복 수행되며, 반대로 적합의 꼭지점과 아함 직육면체 면에 대해서도 동일하게 적용된다.

$$e_1 = n_i(x_{tn} - x_1) + n_j(y_{tn} - y_1) + n_k(z_{tn} - z_1) \quad (12a)$$

$$e_2 = n_i(x_{tn+1} - x_1) + n_j(y_{tn+1} - y_1) + n_k(z_{tn+1} - z_1) \quad (12b)$$

$$e_1 \times e_2 \leq 0 \quad (12c)$$

두 점 A_{tn}, A_{tn+1} 을 지나는 직선과 점 $P_1 - P_4$ 를 포함하는 평면의 교차점 P_h 는 다음과 같이 계산한다. 우선 두 점 A_{tn}, A_{tn+1} 을 지나는 직선의 식은 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.

$$\vec{P} = \vec{A}_{tn} + g(\vec{A}_{tn+1} - \vec{A}_{tn}) \quad (13)$$

여기서, P 는 두 점 A_{tn}, A_{tn+1} 을 지나는 직선 위 임의의 점을 의미하며 g 는 임의의 실수를 의미한다.

교차점 P_h 는 점 $P_1 - P_4$ 를 포함하는 평면 위의 한 점이므로, 이를 평면식에 대입하면 식 (14)와 같이 임의의 실수 g 의 값을 구할 수 있으며, 이 값을 대입하여 교차점 P_h 의 좌표 (x_h, y_h, z_h) 를 식 (15)와 같이 계산할 수 있다.

$$g = \frac{\begin{cases} n_i(x_1 - x_{tn}) + n_j(y_1 - y_{tn}) \\ + n_k(z_1 - z_{tn}) \end{cases}}{\begin{cases} n_i(x_{tn+1} - x_{tn}) + n_j(y_{tn+1} - y_{tn}) \\ + n_k(z_{tn+1} - z_{tn}) \end{cases}} \quad (14)$$

$$x_h = (x_{tn+1} - x_{tn})g + x_{tn} \quad (15a)$$

$$y_h = (y_{tn+1} - y_{tn})g + y_{tn} \quad (15b)$$

$$z_h = (z_{tn+1} - z_{tn})g + z_{tn} \quad (15c)$$

앞의 단계에서 구한 교차점은 함정 꼭지점의 궤적과 상대 함정 직육면체의 한 면을 포함하는 무한평면과의 교차점이다. 따라서 최종적으로 충돌 여부를 판별하려면 산출된 교차점이 함정 직육면체 면에 위치하는지를 확인해야 한다. 이를 위해서는 Fig. 6의 예시와 같이 교차점에서 직육면체 면의 선분에 내린 수선을 활용한다. Q_{12} 는 교차점 P_h 에서 선분 $\overline{P_1P_2}$ 에 내린 수선의 발을 의미한다.

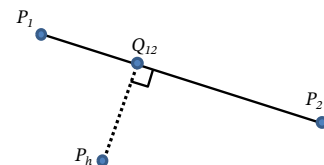


Fig. 6. Example of perpendicular from the intersection

교차점이 함정 직육면체 면에 위치하기 위해서는 식 (16)의 네 가지 조건을 모두 충족하여야 한다.

$$\overline{P_h Q_{12}} \leq \overline{B_2 Q_3} \quad (16a)$$

$$\overline{P_h Q_{23}} \leq \overline{B_1 Q_2} \quad (16b)$$

$$\overline{P_h Q_{34}} \leq \overline{B_2 Q_3} \quad (16c)$$

$$\overline{P_h Q_{41}} \leq \overline{B_1 Q_2} \quad (16d)$$

위의 충돌 판별 과정을 함정의 모든 꼭지점과 대응되는 상대 함정의 모든 직육면체 면에 대해 적용하여, 최종적인 충돌 여부를 판별한다.

4. 충돌기동 시뮬레이션 결과

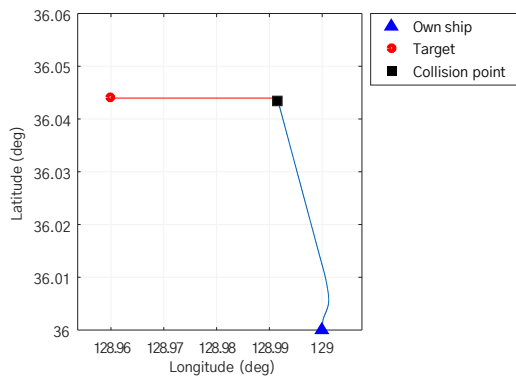
개발된 함정 기동 모델과 충돌 판별 모델을 적용하여, 실제 전술 상황을 모의한 충돌기동 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 아함이 적합에 대해 충돌기동을 수행하는 상황을 가정하여 진행되었다.

시뮬레이션은 충돌기동 상황을 대표할 수 있는 두 가지의 시나리오를 선정하여 진행하였다. 첫 번째는 적합이 아함을 횡단하는 방향으로 접근하는 횡단 조

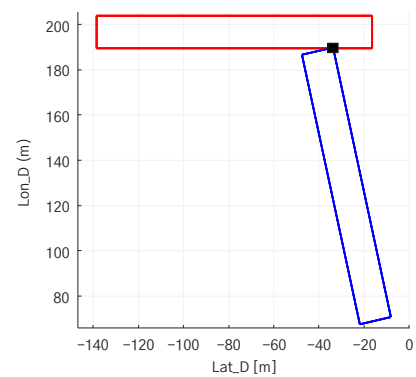
우 시나리오(S1)이고, 두 번째는 아함이 적함의 함미 방향에서 더 높은 속력으로 접근하는 추월 시나리오(S2)이다. 분석을 위한 주요 변수는 속도(V)와, 초기 침로(ξ_{ini}), 초기 경위도 위치(P)이며, 아함과 적함의 구분은 하첨자 F 와 T 로 나타냈다. 시나리오에 따른 분석 조건은 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Simulation condition for collision maneuver

Parameters	Scenario	Value
V_F (m/s)	-	10
V_T (m/s)	-	5
ξ_{mi_F} (deg)	-	0
ξ_{mi_T} (deg)	S1	90
ξ_{mi_T} (deg)	S2	45
P_F (deg, deg)	-	(129.00, 36.00)
P_T (deg, deg)	S1	(128.96, 36.04)
P_T (deg, deg)	S2	(129.00, 36.04)

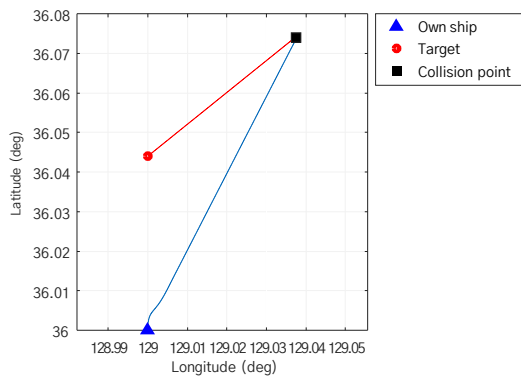


(a) Collision trajectory

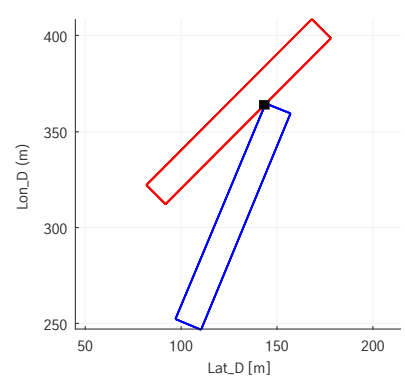


(b) Collision angle and location

Fig. 7. Collision results for Scenario 1(S1)



(a) Collision trajectory



(b) Collision angle and location

Fig. 8. Collision results for Scenario 2(S2)

각 시나리오에 따른 기동 궤적과 충돌 좌표, 함정의 세부적인 충돌 위치와 충돌각을 Fig. 7과 Fig. 8에 각각 나타냈다. 기동 궤적을 나타낸 그림에서는 적함의 시작 위치를 원으로, 아함의 시작 위치는 삼각형으로, 충돌 좌표는 사각형으로 도시하였다. 두 가지 시나리오에서 아함은 적함 대비 높은 기동 속력을 가지고 있기에 성공적으로 충돌 임무를 수행하였다.

Fig. 7의 횡단 조우 시나리오에서는 적함이 아함의 좌현 쪽에서 등장하고, 아함은 초기 진북 방향으로 향하던 도중 충돌 침로로 변침하여 적함과 충돌하였다. 세부적으로는 아함의 우현 함수부가 적함의 좌현 전방부에 큰 충돌각으로 충돌하였음을 확인할 수 있다.

Fig. 8의 추월 시나리오에서는 적함이 45도 침로로 동북 방향으로 향하고 있으며, 초기 진북 방향으로 향하던 아함이 빠른 속력을 활용하여 충돌 침로를 따라 변침하고 이내 적함과 충돌하였음을 알 수 있다. 세부적으로는 아함의 좌현 함수부가 적함의 우현 중앙부에 작은 충돌각으로 충돌하였음을 확인할 수 있다.

시뮬레이션 결과, 개발된 충돌기동 분석 도구는 단

순 질점 거리를 비교하는 방식과 달리, 함 제원 및 조우 상황을 반영함으로써 기동 궤적은 물론, 충돌 위치 및 충돌각과 같은 세부적인 충돌 결과를 제시하여 보다 정밀한 충돌 판단을 가능하게 하였다.

5. 결론

본 논문에서는 M&S 기법을 활용하여 함정 간 충돌기동을 정밀하게 분석할 수 있는 도구를 개발하였다. 이를 위해 함정의 제원과 선회경을 반영한 선회운동 모델과 지구 곡률을 고려한 경위도 좌표 산출 모델을 구축하였으며, 이들을 결합하여 기동 시 아함과 적함의 위치를 정밀하게 모의할 수 있도록 하였다.

또한, 단순 질점 거리 비교 방식의 한계를 극복하기 위해 함정 형상을 직육면체로 모델링하고, 시간에 따른 형상 간의 교차 여부를 판별하는 충돌 판별 모델을 제안하였다. 이를 통해 충돌 여부는 물론, 충돌 위치와 충돌각 등 실제 전술 상황에 필요한 구체적인 정보를 산출할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

횡단 조우 시나리오와 추월 시나리오에 대한 모의 결과, 제안된 분석 도구는 각 상황별 기동 궤적과 충돌 세부 정보를 정밀하게 예측할 수 있었으며, 이는 기존 단순 거리 기반 판별 기법에 비해 전술 의사결정 지원 측면에서 우수한 활용 가능성을 보여주었다.

결론적으로, 본 논문에서 제안한 함정 충돌기동 분석 도구는 전술 상황 재현 및 의사결정 지원에 있어

높은 활용성을 가지며, 향후 적함의 회피기동 및 함정 기동에 영향을 주는 환경 요인을 포함한 확장 연구를 통해 더욱 실전적인 분석 체계로 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] J. M. Park, "A Study on the Correlation between Naval Weapon Systems and Tactics," *Journal of Korea Society for Naval Science and Technology*, Vol. 7, No. 4, pp. 499-505, 2024.
- [2] W. P. Hughes and R. Girrier, "Fleet Tactics and Naval Operations," Third Edition, Naval Institute Press, 2018.
- [3] C. Jung, Y. You, H. Ryu, J. Lee, J. Kim and S. Chi, "Multi-Platform Warship M&S System Using the Hierarchical Multi-Agent System," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 18, No. 4, pp. 117-125, 2009.
- [4] K. Nomoto, T. Taguchi, K. Honda and S. Hirano, "On the Steering Qualities of Ships," *International Shipbuilding Progress*, Vol. 4, No. 35, pp. 354-370, 1957.
- [5] D. Lim, Y. Kim and K. Chong, "The Linear Model Analysis and Fuzzy Controller Design of the Ship Using the Nomoto Model," *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 12, No. 2, pp. 821-828, 2011.
- [6] T. I. Fossen, "Guidance and Control of Ocean Vehicles," John Wiley & Sons, 1994.
- [7] S. Hong, "Accuracy Analysis for Conversion of the Cadastral Coordinate System into the Global Coordinate System in Area between Cadastral Datum," *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 11, No. 11, pp. 4228-4233, 2010.