

함정거동을 고려한 대공방어용 함정 탑재 요격탄 조준점 보정 기법

Aiming Point Correction Technique for Ship-launched Anti-air Missiles Considering Ship Weaving Motion

홍주현, 박상혁, 박상섭, 유창경*

(Ju-Hyeon Hong¹, Sanghyuk Park¹, Sang-Sup Park¹, and Chang-Kyung Ryoo^{1,*})

¹Department of Aerospace Engineering, Inha University

Abstract: In order to intercept anti-ship missiles, it is important to accurately predict the aiming point. The major factor for degrading the accuracy of the aiming point is the motions of the warships due to waves. Therefore, a stage of correcting the aiming point is required to compensate for such motions of warships. The proposed aiming point correction technique treats the changes in positions and velocity of naval guns by considering changes in the positions and velocities of the anti-ship missiles. In this paper, a ship motion estimation filter was also constructed to predict the motions of warships at the firing time of naval guns. In the simulation part, finally, the distance errors before and after aiming point corrections were compared through 6-DOF simulations.

Keywords: aiming point, ship weaving motion, anti-air missile, anti-ship missile, sea state

I. 서론

함정을 위협하는 위협체로부터 함정을 방어하기 위한 방법은 여러 가지가 있다. 본 논문에서 다룰 함정 방어 기법은 위협체를 요격하는 방법이다. 이 방법을 사용할 때에는 요격탄의 조준점을 구하여야 한다. 조준점은 보통 함상에 설치된 발사기의 제조사에서 제공하는 사표를 이용하여 구하는데, 보통의 사표는 표준조건의 사표로 고정된 위치에서 고정된 표적을 맞추기 위한 목적으로 작성된다. 따라서 고정된 위치에서 움직이는 표적을 맞추기 위해서는 함정과 표적의 상대운동, 바람의 영향, 초기속도 등을 고려하여 작성된 비표준조건에서의 사표를 사용하거나, 수치적분을 이용한 기율기법을 사용한다. 수치적분방법에 비해 사표를 사용하는 방식은 사거리가 제한되어 있고 내삽법을 통하여 구한 근사치를 이용하기 때문에 정확도에 한계가 있다[1].

따라서 표준조건의 사표를 사용하여 함상에 설치된 발사대에서 대공미사일을 발사하여 움직이는 표적인 대함유도탄을 맞출 때에는 함정의 움직임으로 인해 발생하는 발사대위치에서의 위치변화량과 선속도 변화량을 고려한 조준점 보정이 필요하다. 함정의 움직임을 고려하여 조준점을 계산 할 때에는 표적을 조준하기 위한 발사기 구동시간도 고려되어야 하기 때문에 함정거동 추정필터를 사용하여 미래 시점에서의 함정의 자세정보를 예측하는 과정을 수행하

였다.

함정의 자세정보를 예측하기 위한 기존 연구로는 함정의 자세각 변화를 정현파의 함수로 가정하여 함 운동의 주파수는 강인추정 이론을 통하여 구하고 이를 이용하여 함 운동을 추정하기 위한 필터를 구성한 연구[2], 함 운동 예측 알고리즘으로 MCA (Minor Component Analysis)를 사용한 연구[3], 유체역학적 이론으로 얻어진 함의 운동방정식을 칼만필터를 사용하여 추정한 연구[4], 최적 이동평균필터와 Widrow's LMS 알고리즘을 사용하여 함의 자세와 자세각속도를 측정한 연구[5] 등이 대표적이다. 이러한 기존 함 자세 추정 방식들은 복잡한 수식을 동반하여 연산량이 많다는 단점이 있지만 본 논문에서 제안하는 함 자세 추정 방식은 함정의 자세각 변화를 1차의 기율기와 바이어스 항을 갖는 정현파로 단순화하여 연산시간을 최소화하면서 자세각에 바이어스 성분이 포함되어 있을 경우 정밀한 자세 추정 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

함정의 자세각 중 요 자세각은 기수가 회전할 경우 바이어스가 빈번히 발생하는 한편, 롤각과 피치각은 함정의 질량 분포의 비대칭으로 인하여 바이어스가 발생할 수 있다[2].

또한 해양환경에 따른 함정의 움직임을 모사하기 위하여 12개의 등급으로 나누어져 있는 파도의 평균주기와 파고 정보를 파도 스펙트럼 식에 적용하여 조파력을 구하였고, 조파력과 기타 외력들을 합한 후 6자유도 선체운동 방정식에 입력하여 해양 환경에 따른 함정거동 시뮬레이션을 구성하였다.

II. 조파력 모델링

해양환경에 대한 상태는 보통 Sea state로 구분한다. Beaufort는 해수면으로부터 19.5m 상공에서의 풍속을 측정

* Corresponding Author

Manuscript received January 11, 2013 / revised August 5, 2013 / accepted October 11, 2013

홍주현, 박상혁, 박상섭, 유창경: 인하대학교 항공우주공학과
(hong.ju.hyeon11@gmail.com/newhuyki@hanmail.net/radoba@naver.com/
ckryoo@inha.ac.kr)

※ 본 연구는 현대로템주식회사와 인하대학교의 지원을 받아 수행되었음.

하여 풍속에 따라 12등급으로 나누었고, 이를 기준으로 Sea state를 정의하였다.

파도는 비 규칙 파동의 성질을 갖는데 비 규칙 파동은 중첩이론을 통해 규칙 파동의 합으로 표현 된다. 따라서 푸리에 급수 해석으로 비규칙 파동인 파도의 주파수 특성을 분석하면 파고 특성을 정현파의 합 형태로 나타낼 수 있다. N개의 정현파의 합 형태로 표현된 파고 $\zeta(t)$ 식은 (1)과 같다. n번째 정현파의 성분요소들을 나열하면 다음과 같다. ζ_{a_n} 은 단위파고 성분이고, w_n 은 주파수 성분, k_n 은 파수 성분, ϵ_n 은 위상각 성분을 말한다[6].

$$\zeta(t) = \sum_{n=1}^N \zeta_{a_n} \cos(k_n x - w_n t + \epsilon_n) \quad (1)$$

매번 실제 바다에서 측정된 시간 도메인 상의 파고데이터를 수집하여 처리하는 과정은 어려움이 있기 때문에 사전에 측정된 데이터를 가지고 파도의 일반적인 모델을 만들어 사용하는 방식이 보편적이다. 통계적으로 수집한 파고의 정보를 통해 얻은 파도 에너지 스펙트럼을 일반적인 형식으로 표현한 식 중 대표적인 식은 Bretschneider wave spectra식이고, 식 (2)와 같다. $H_{1/3}$ 는 파고의 상위 1/3의 평균값이고, T_1 은 평균 파주기이다[6].

$$S_{\zeta}(w) = \frac{173 H_{1/3}^2}{T_1^4} w^{-5} \exp\left\{\frac{-692}{T_1^4} w^{-4}\right\} \quad (2)$$

식 (2)에 파도의 평균진폭 및 주기를 대입하여 그린 Sea state에 따른 Bretschneider의 파도 스펙트럼 그래프는 그림 1과 같다. 또한 파도의 확산모델에 대한 모델링은 코사인 제곱 모델을 사용하는데 그 식은 식 (3)과 같고 확산모델의 그래프는 그림 3과 같다. 식 (3)에서 μ 는 파도의 입사각이고, $\bar{\mu}$ 는 파도의 입사각 중 비중이 가장 큰 방향을 뜻한다[6].

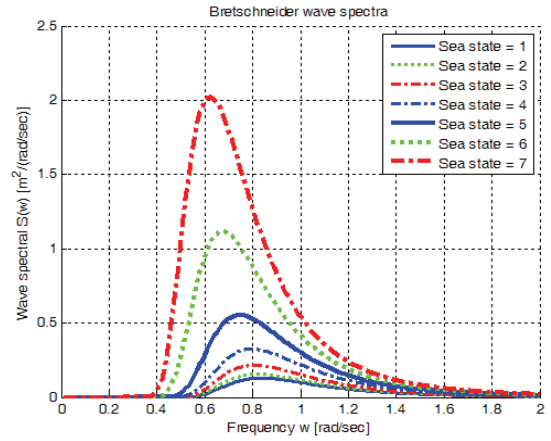


그림 2. Bretschneider 파도 스펙트럼.

Fig. 2. Bretschneider wave spectra.

$$S_{\zeta}(w, \mu) = \left\{ \frac{2}{\pi} \cos^2(\mu - \bar{\mu}) \right\} S_{\zeta}(w) \quad (3)$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \mu - \bar{\mu} \leq +\frac{\pi}{2}$$

III. 함정 모델링

함정의 움직임을 표현하기 위한 중심점으로 외력중심인 CO점과 함정의 무게중심인 CG점을 설정하여 함정 운동방정식을 기술하였다. 지구자전 각속도에 의한 효과는 유체력 같은 다른 외력에 비해 작은 값이기 때문에 NED 좌표계를 관성좌표계로 설정하였고, CO점을 중심으로 하고 함정 몸체에 고정되어 있는 좌표계를 Body좌표계로 설정하였다.

함정의 위치와 자세를 시뮬레이션 하기 위한 6자유도 모델은 그림 2와 같다. 6자유도모델에는 크게 5가지의 외력이 입력된다. 그 중 조파력과 유체력이 가장 영향력 있는 외력이다. 조파력은 함정이 파도에 의해 받는 힘을 말하고, 유

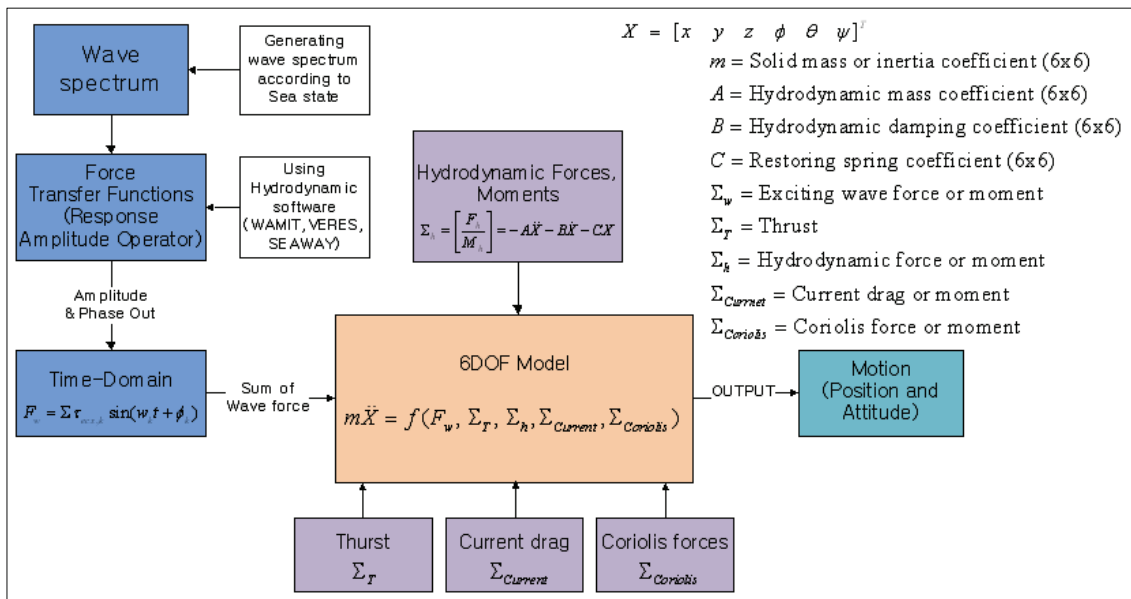


그림 2. 함정운동방정식.

Fig. 2. Outline of 6-DOF program.

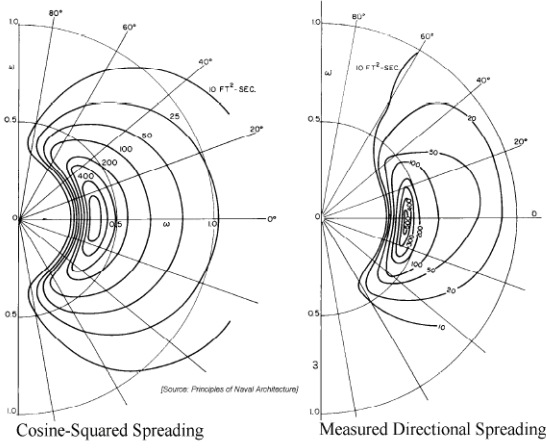


그림 3. 파도 스펙트럼 확산모델[6].
Fig. 3. Wave spectra with directional spreading.

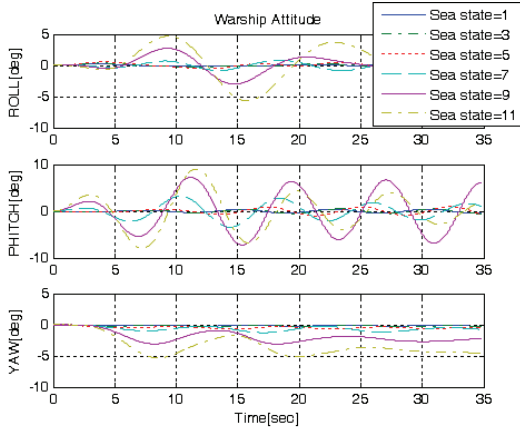


그림 4. 함정 자세 시뮬레이션 결과.
Fig. 4. Result of warship attitude simulation.

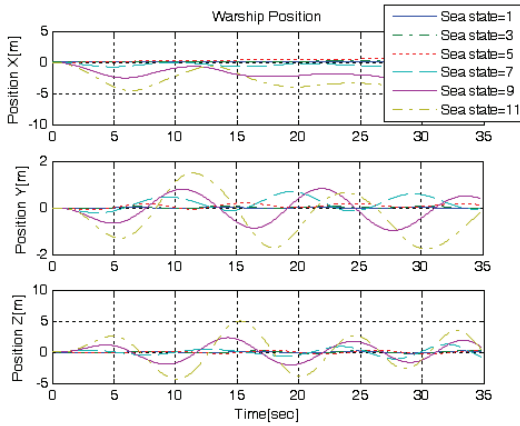


그림 5. 함정 위치 시뮬레이션 결과.
Fig. 5. Result of warship position simulation.

체력은 바닷물의 유체역학적 압력에 의해 함정이 받는 힘을 말한다. 그 밖에 외력은 함정이 바닷물에 잠긴 면적에 의해 받는 해류 저항력과 좌표계와 회전에 의해 발생하는 코리올리 힘과 추진기관에 의한 추력 등이 있다[7].

Sea state에 따른 조파력에 그 외의 외력들을 합하여 함정의 6자유도 프로그램에 입력한 결과는 그림 4, 5와 같다. Sea state가 클수록 함정이 큰 움직임을 보임을 알 수 있다.

IV. 함정 자세 추정필터

함정의 자세를 추정하기 위한 모델은 함정의 자세각 ϕ 와 각속도 $\dot{\phi}$ 를 정현파와 1차의 기울기를 갖는 바이어스 항의 합으로 표현하였고, 그 식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \phi &= A\sin(\bar{w}t) + B\cos(\bar{w}t) + Ct + D \\ \dot{\phi} &= A\bar{w}\cos(\bar{w}t) - B\bar{w}\sin(\bar{w}t) + C \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서 정현파의 진폭 A, B , 진동수 \bar{w} , 1차 기울기 C 등은 확장 칼만 필터를 통해 추정하였고 상수 바이어스 D 는 이동평균필터를 통해 추정하였다. 상태변수벡터 X 는 식 (5)와 같고 모델링한 정현파 식을 미분방정식으로 표현하면 식 (6)과 같다.

$$X = [\phi, \dot{\phi}, A, B, \bar{w}, C]^T \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_5(x_3\cos(x_5t) - x_4\sin(x_5t)) + x_6 \\ \dot{x}_2 &= -x_5^2(x_3\sin(x_5t) + x_4\cos(x_5t)) \\ \dot{x}_3 &= 0 \\ \dot{x}_4 &= 0 \\ \dot{x}_5 &= 0 \\ \dot{x}_6 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

함정자세 추정필터의 시스템모델은 식 (7)과 같다.

$$\dot{X} = FX + w, \quad w \sim N(0, Q) \quad (7)$$

식 (6)의 미분방정식의 좌항을 f_n 로 나타내면 식 (8)과 같고, 이를 이용하여 확장 칼만 필터에 적용하기 위한 자코비언 행렬을 구하면 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} f_1 &= x_5(x_3\cos(x_5t) - x_4\sin(x_5t)) + x_6 \\ f_2 &= -x_5^2(x_3\sin(x_5t) + x_4\cos(x_5t)) \\ f_3 &= 0, f_4 = 0, f_5 = 0, f_6 = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} &= 0, \frac{\partial f_1}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_3} &= x_5\cos(x_5t), \frac{\partial f_1}{\partial x_4} = -x_5\sin(x_5t) \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_5} &= -x_5t(x_3\sin(x_5t) + x_4\cos(x_5t)) + x_3\cos(x_5t) \\ &\quad - x_4\sin(x_5t) \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_6} &= 1 \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} &= 0, \frac{\partial f_2}{\partial x_2} = 0 \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_3} &= -x_5^2\sin(x_5t), \frac{\partial f_2}{\partial x_4} = -x_5^2\cos(x_5t) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_5} &= -x_5^2t(x_3\cos(x_5t) - x_4\sin(x_5t)) \\ &\quad - 2x_5(x_3\sin(x_5t) + x_4\cos(x_5t)) \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_6} &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

함정자세 추정필터의 관측모델은 식 (10)과 같다.

$$z = Hx + v, v \sim N(0, R)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

칼만 필터를 사용할 경우 미분식을 사용해야 하기 때문에 0차 항인 바이어스 항은 미분이 되어 식에서 사라져 추정할 수 없다. 따라서 이를 보완하기 위하여 칼만 필터로 구한 추정치에 이동평균필터를 사용하여 구한 바이어스 항을 적용하는 과정을 추가하였다.

바이어스 추정을 위한 이동평균필터의 식은 (11)과 같다. 이 식에서 k 는 현재까지의 데이터 수이고, n 은 이동평균필터에서 사용하는 데이터 버퍼의 크기이다. \bar{x}_k 는 $k-n+1$ 번째 데이터부터 k 번째 데이터까지의 총 n 개 데이터의 평균이다 [8].

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=k-n+1}^k x_i \quad (11)$$

본 논문에서 제안한 함정거동모델을 통하여 추정한 결과의 추정오차와 기존연구에서 제안한 함정 모델인 식 (12)를 적용하여 추정한 결과의 추정오차를 비교한 결과는 다음 그림 6-8과 같다.

$$\phi = A \sin(\omega t + \theta) \quad (12)$$

그림 6-8에서 직선은 실제 함정의 자세 정보와 본 논문에서 제시한 함정 모델을 통해 추정한 자세 정보 사이의 오차를 나타낸 그래프이고, 점선은 실제 함정의 자세 정보와 기존 함정 모델을 통해 추정한 자세 정보 사이의 오차를 나타낸 그래프이다. 3축에 대한 추정 결과를 비교해 본 결과 함정의 자세각 변화가 정현파의 특성을 벗어나 바이어스 항을 포함하면, 기존의 함정 모델의 추정결과에 비해 자세각의 오차가 큼을 알 수 있었다.

특히 바이어스 성분이 강하게 포함된 요축 자세각 추정의 경우 바이어스에 의한 오차가 두드러지게 발생하였음을 알 수 있다. 본 논문에서 사용한 함정모델은 질량 분포가 대칭이기 때문에 롤각과 피치각에 바이어스 성분이 포함되지 않았다. 반면 요각의 경우 파도에 의한 영향으로 인하여 기수가 틀어진 만큼의 바이어스가 포함되었다.

함정의 현재 시점에서의 추정치를 통해 미래시점의 자세각을 예측하기 위한 방법은 다음과 같다. 현재 시점 t_k 에서 함정의 자세를 나타내는 함정자세추정필터의 상태변수들과 요격이 예측되는 시간 t_i 를 식 (4)에 대입하여 요격 예측 시점에서의 함정의 자세각과 각속도를 예측한다. 이 방식은 추정된 자세각 모델의 파라미터로 구성된 식을 요격예측 시점까지 시간전파를 시켜 요격 예측 시점에서의 함정의 자세를 예측하는 방식이다. 이를 식으로 나타내면 다음 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} \phi_{t_i} &= A_{t_k} \sin(\overline{w_{t_k} t_i}) + B_{t_k} \cos(\overline{w_{t_k} t_i}) + C_{t_k} t_i + D_{t_k} \\ \dot{\phi}_{t_i} &= A_{t_k} \overline{w_{t_k}} \cos(\overline{w_{t_k} t_i}) - B_{t_k} \overline{w_{t_k}} \sin(\overline{w_{t_k} t_i}) + C_{t_k} \end{aligned} \quad (13)$$

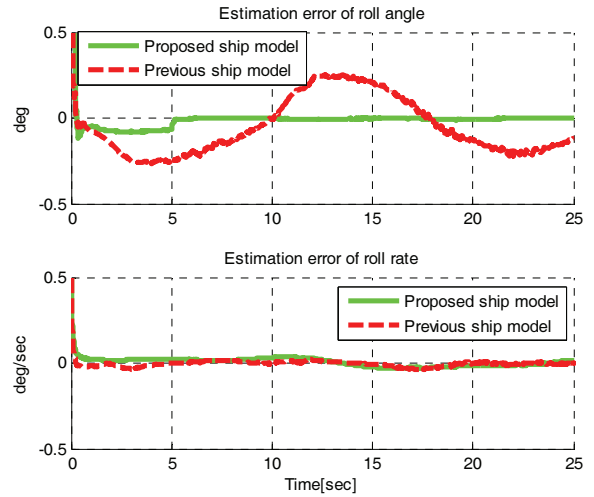


그림 6. 롤 축 추정 오차 결과 비교.

Fig. 6. Comparison of the roll axis estimation error.

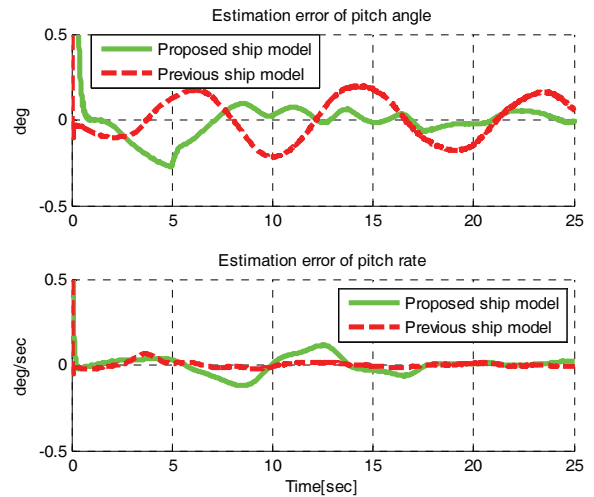


그림 7. 피치 축 추정 결과 비교.

그림 7. Comparison of the pitch axis estimation.

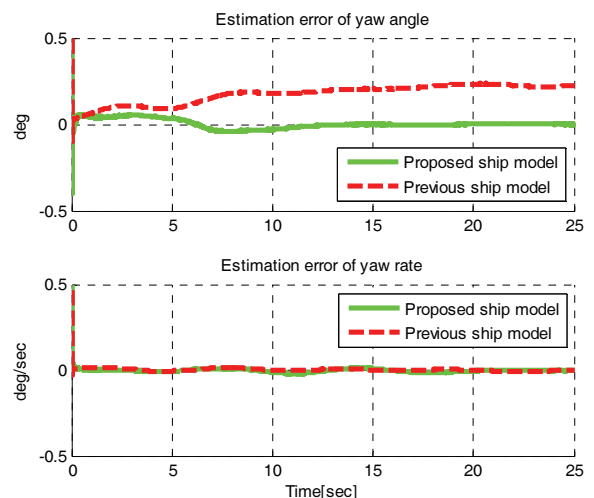


그림 8. 요 축 추정 결과 비교.

그림 8. Comparison of the yaw axis estimation.

V. 조준점 알고리즘

조준점 알고리즘은 표적을 조준하기 위한 고각과 방위각 및 비행시간(θ_F, ψ_F, t_f) 등을 계산하기 위한 알고리즘이다.

움직이는 표적을 맞추기 위한 조준점 알고리즘은 그림 9와 같다. 우선 표적과 발사기의 초기상태변수를 이용하여 요격탄의 고각, 방위각, 비행시간 등의 사격제원을 계산한다. 그 후 앞서 예측한 요격탄의 비행시간 동안의 표적의 기동을 예측하여 표적의 위치를 계산한 후 표적과 요격탄의 예상위치를 통해 상대거리를 구한다.

만약 이렇게 구한 상대거리가 요격범위를 벗어나면 갱신된 표적의 위치를 적용하여 다시 사격제원을 구한다. 요격범위를 만족한다면 그 때의 사격제원을 최종적인 사격제원으로 결정하게 된다.

사격제원을 구하기 위한 방법에는 사표를 이용하는 방법과 수치적분을 기반으로 하는 기율기법이 있다. 그 중 본 논문에서는 기율기법을 사용하여 사격제원을 산출하였다. 기율기법은 발사각도의 변화로 인해 발생하는 비행시간과 거리의 기율기로 사격제원의 변화량을 구하여 표적에 대한 요격탄의 위치오차를 보정하는 방식이다[1].

기율기법에 따른 사격제원 보정 식은 (14-16)과 같고, 이 식은 차례로 고각 증가분, 비행시간 증가분, 편각 증가분 식이다[9].

$$\Delta ele = \frac{\Delta\theta}{\Delta R} \Delta R_s + \frac{\Delta\theta}{R \Delta\epsilon} \Delta R_p \tag{14}$$

$$\Delta tof = \frac{tof_{ref} - tof_1}{\Delta R} \Delta R_s + \frac{tof_2 - tof_{ref}}{R \Delta\epsilon} \Delta R_p \tag{15}$$

$$\Delta\Psi = \Psi_{target} - \Psi_{DM} \tag{16}$$

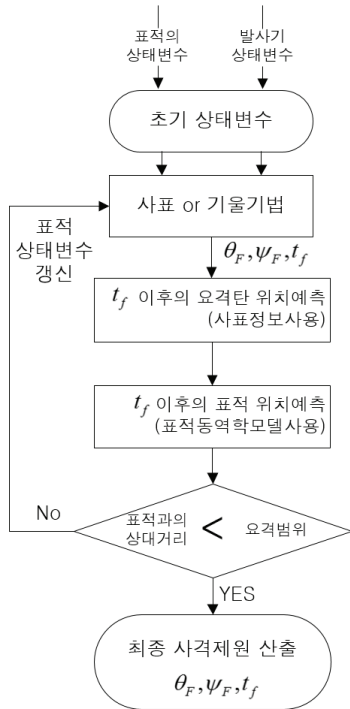


그림 9. 이동표적의 조준점 결정 기법.
Fig. 9. Aiming point decision method for moving target.

VI. 함정 자세 정보 반영

함상 발사기에서 위치나 속도 변화는 함정의 이동 성분 뿐만 아니라 파도와 같은 바다의 환경영향으로 인한 함정의 무게중심에서의 회전에 의해서도 발생한다. 이러한 위치와 속도 성분들을 표현하기 위한 좌표계의 설정은 그림 10과 같다.

함정의 자세각 변화에 따른 위치 벡터 변화는 발사기의 위치벡터를 동체 좌표계에서 기준좌표계인 NED 좌표계로 좌표변환 거친 결과와 동일하다. 따라서 함정의 3축의 자세각을 차례로 ϕ, θ, ψ 라고 하고 동체 좌표계에서 발사기의 위치 벡터성분을 \vec{R} 라고 할 때, 함정의 자세에 따른 위치벡터 증가분 $\Delta\vec{P}$ 는 식 (17)과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\vec{P} = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & c\psi s\theta s\phi & c\psi s\theta c\phi \\ & -s\psi c\phi & -s\psi s\phi \\ s\psi c\theta & s\psi s\theta s\phi & s\psi s\theta c\phi \\ & +c\psi c\phi & -c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix} \vec{R} \tag{17}$$

함정의 무게중심에서 발생하는 회전 성분에 의해 생성된 속도 성분은 발사기의 위치벡터와 함정의 각속도의 벡터 곱으로 구할 수 있다. 함정의 3축 각속도가 \vec{w} 일 때, 함정의 각속도 의해 발사기위치에서 발생한 속도 증가분 $\Delta\vec{V}$ 는 식 (18)과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\vec{V} = \vec{R} \times \vec{w} \tag{18}$$

VII. 함정 거동 전이

표준상태의 사표는 정지된 발사기 상태를 기준으로 작성되기 때문에 표준상태의 사표를 사용하여 움직이는 발사기에서 발사되는 발사체의 조준점을 계산하기에는 어려움이 따른다. 따라서 이러한 한계점을 극복하기 위해 본 논문에서는 발사기의 움직임을 표적의 움직임으로 간주하는 방법을 제안한다. 즉, 함정의 움직임으로 인하여 발생하는 위치 및 속도 성분을 표적의 오차 성분으로 고려하여 보상해주는 방식이다. 이 방법을 사용하면 발사기의 움직임을 표적의 움직임으로 고려할 수 있게 되므로, 조준점을 계산하는 과정에 있어 간단함과 편의성을 가질 수 있다. 이를 간단하게 나타낸 그림은 그림 11과 같다.

왼쪽 그림은 실제 표적과 함정의 위치관계 기하이다. 왼쪽 그림을 살펴보면 함정의 운동에 따라 조준점이 바뀌는 특성을 보임을 알 수 있다. 반면 오른쪽 그림은 함정의 움직임을 표적의 움직임에 보상하여 조준점 변화는 표적에

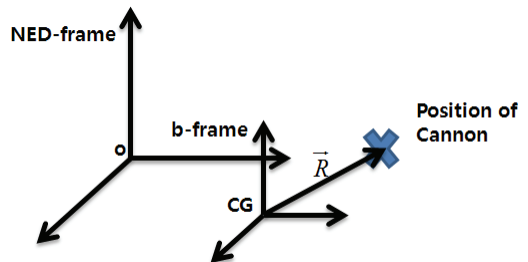


그림 10. 기준좌표계 및 함정좌표계 설정.
Fig. 10. Definitions of inertial frame and body frame.

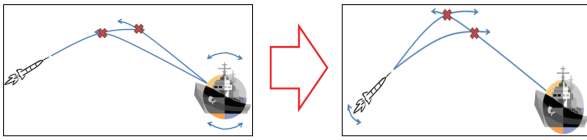


그림 11. 함정 거동 전이 원리 기하.

Fig. 11. Basic concept of the motion handed over.

의해 발생하는 것처럼 가정된다. 따라서 오른쪽 그림처럼 가정하게 되면, 정지된 발사기에서 이동하는 표적을 맞추는 상황이 되어 문제가 간단해 진다.

VIII. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위한 초기조건은 표 1과 같다. 해상환경은 Sea state 3 상황으로 가정하였고 함정상태는 기동 없이 단순히 물위에 떠있어 파도의 영향만을 받는 상태를 가정하였다. 초기 표적과 요격탄의 상대 거리는 2000m이고 요격탄 발사조건은 이 둘의 상대거리가 1500m가 되는 시점으로 설정하였다.

표 1의 초기조건을 적용하여 함정의 현재 상태변수를 이용하여 구한 조준점의 상대거리변화에 따른 변화그래프는 그림 12와 같다. 반면 함정의 미래 상태변수 즉 발사시점의 상태변수를 예측하여 구한 조준점의 상대거리변화에 따른 변화 그래프는 그림 13과 같다. 함정의 미래위치를 예측하

표 1. 시뮬레이션 초기조건.

Table 1. Simulation condition.

해상환경조건		표적 초기조건	
Sea state	3	초기속도	306m/s
함정속도	0m/s	초기위치	2000m
함정추력	0m/s ²	초기고도	10m
해류속도	0m/s		
함포 초기조건		발사조건	
초기속도	853m/s	상대거리	1100m
초기위치	0m		

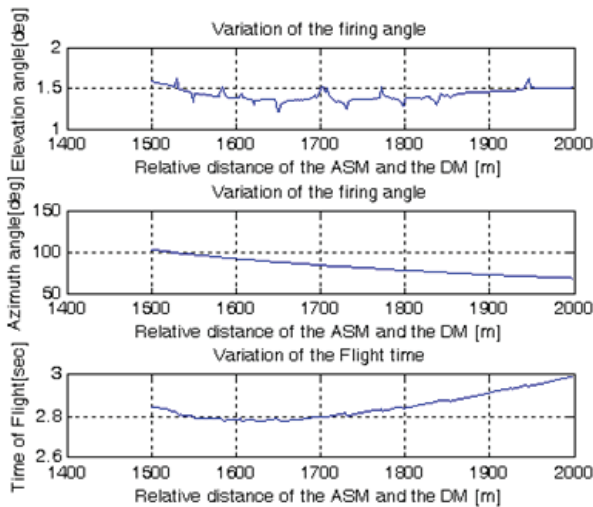


그림 12. 현재상태변수로 구한 조준점 변화.

Fig. 12. Variation of aiming point calculated by present states.

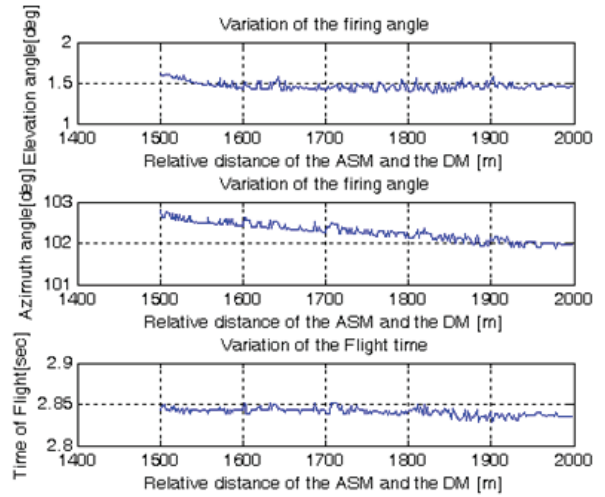


그림 13. 예측된 미래변수로 구한 조준점 변화.

Fig. 13. Variation of aiming point calculated by future states.

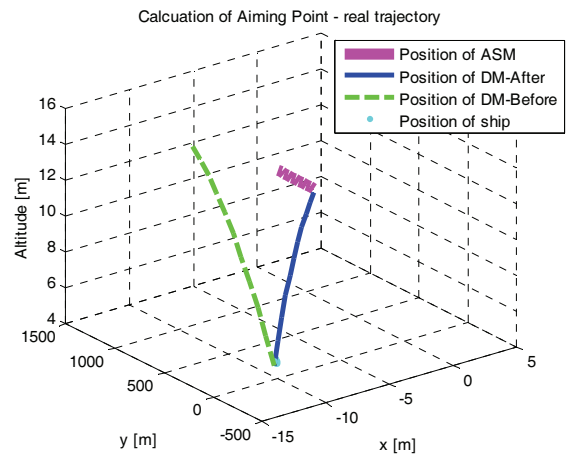


그림 14. 시뮬레이션결과.

Fig. 14. Result of simulation.

여 구한 조준점의 변화는 현재 위치를 이용하여 구한 조준점보다 상대거리가 가까워짐에 따라 변화폭이 작음을 알 수 있다. 적은 조준점 변화는 발사기 발사각 구동 량을 감소시키고 발사각 변화의 최소화는 표적 조준의 신속성을 꾀할 수 있다.

또한 표 1의 초기조건으로 사표보정 알고리즘을 통해 함정 운동을 고려하여 구한 조준점으로 발사한 요격탄의 궤적과 사표보정을 하지 않은 조준점으로 발사한 요격탄의 궤적을 비교한 그래프는 그림 14와 같다. 사표보정을 하지 않았을 경우 오차거리가 약 11m인 반면 함정의 운동을 고려하였을 경우에는 오차거리가 70cm로 오차 거리가 줄어들었음을 알 수 있다.

IX. 결론

본 논문에서는 해상환경을 고려하여 대공방어용 함정 탑재 요격탄의 조준점을 보정하기 위한 방안으로 함정 거동 전이 방식을 제안하고 6자유도 시뮬레이션을 통해 그 성능을 확인 하였다. 해상환경을 고려하기 위한 방안으로 에너

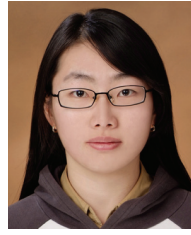
지 스펙트럼을 이용하여 조파력을 구한 후 함정의 6자유도 운동방정식에 입력하여 Sea state에 따른 해상환경을 모사하여 함정의 움직임을 모델링하였다.

한편 함정 위에 탑재된 대공방어용 요격탄의 경우 함정의 자세 변화에 영향을 받아 움직임을 가진 발사기에서 움직이는 표적을 조준해야 하기 때문에 발사기의 움직임을 고려하기 위해 거동 전이 방식을 사용하여 발사기 움직임을 표적 움직임으로 간주하여 문제의 복잡성을 낮추었다.

또한 발사기 구동각 변화를 최소화하기 위해서 발사시점에서의 함정의 자세와 표적의 위치를 예측하여 미래의 상태변수를 이용하여 조준점을 구하였다. 요격탄 조준점 보정 알고리즘을 시뮬레이션 한 결과 조준점 보정 전 보다 조준점 보정 후가 요격 오차가 줄어드는 경향을 보임을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] D. H. Han, D. G. Lee, T. L. Song, and Y. J. Lee, "Study on ballistics calculation technique using numerical method," *Proc. of the 5th seminar on Naval Weapon Systems Development, Agency for Defense Development, Jinhae*, pp. 300-305, 2004.
- [2] I. H. Hwang and W. S. Na, "Ship motion estimation and prediction for ship-borne weapon systems," *Proc. of Korean Institute of Electrical Engineers 2006 Summer Annual Conference, KIEE (Korean Institute of Electrical Engineers), Yongpyeong*, pp. 1797-1798, 2006.
- [3] X. Zhao, R. Xu, and C. Kwan, "Ship-motion prediction: algorithms and simulation results," *Proc. of 2004 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Montreal*, vol. 5, pp. V-125-8, 2004.
- [4] M. S. Triantafyllou, M. Bodson, and M. Athans, "Real time estimation of ship motion using Kalman filtering technique," *IEEE Journal on Oceanic Engineering*, vol. OE-8, pp. 9-20, 1983.
- [5] G. Prado, "Optimal estimation of ship's attitudes and attitude rates," *IEEE Journal on Oceanic Engineering*, vol. OE-4, no. 2, pp. 52-59, 1979.
- [6] J. M. J. Journée and W. W. Massie, *OFFSHORE HYDROMECHANICS*, Delft University of Technology, 2001.
- [7] T. I. Fossen and O. Fjellstad, "Nonlinear modelling of marine vehicles in 6 degrees of freedom," *Journal of Mathematical Modelling of Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 1-11, 1995.
- [8] S. P. Kim, *MATLAB Application - Principles of Kalman Filter*, AJIN, Seoul, 2012.
- [9] D. H. Kook, "Fire control system improvement with application to firing while transfer for a tracked anti-air gun," Master Thesis, Hanyang University, 2005.



홍주현

2011년 인하대학교 항공우주공학 공학사. 2013년 인하대학교 항공우주공학 공학석사. 2013년~현재 인하대학교 항공우주공학과 박사과정 재학중. 관심 분야는 유도탄 유도제어, 최적제어, 시뮬레이션 프로그램.



박상혁

2006년 인하대학교 항공우주공학 공학사. 2008년 인하대학교 항공우주공학 공학석사. 2013년 인하대학교 항공우주공학 공학박사. 2013년~현재 항공우주통합시스템 M&S센터 연구원. 관심 분야는 유도탄 유도제어, 최적제어, 무기 시스템.



박상섭

2011년 인하대학교 항공우주공학 공학사. 2013년 인하대학교 항공우주공학 공학석사. 2013년~현재 인하대학교 항공우주공학과 박사과정 재학중. 관심 분야는 유도무기 유도제어, 관성항법 시스템, 최적제어.



유창경

1989년 인하대학교 항공공학 공학사. 1991년 KAIST 항공우주공학 공학석사. 2006년 KAIST 항공우주공학 공학박사. 1991년~2006년 국방과학연구소 선임연구원. 2006년~현재 인하대학교 부교수. 관심분야는 유도무기/무인기 유도제어, 최적제어, 비선형 제어.