

포배열카메라 영상을 활용한 함포 사격통제시스템의 동적배열오차 분석 및 보정방법

Study on Analyzing and Correction of Dynamic Battery Alignment Error in Naval Gun Fire Control System by using Image of Boresight Telescope

김 의 진* 서 태 일*
Eui-Jin Kim Tae Il Suh

ABSTRACT

In naval gun firing, firing accuracy comes from the combination of each component's accuracy in CFCS (Command and Fire Control System) like tracking sensors and gun. Generally, battery alignment is done to correct the error between gun and tracking sensor by using boresight telescope on harbor and sea. But normally, the battery alignment can compensate only the static alignment error and ignore dynamic alignment error which is caused by own ship movement. There was no research on this dynamic alignment error until now. We propose a new way to analyze dynamic arrangement error by using image of boresight telescope. In case of the dynamic alignment error was due to time delay of own ship attitude information, we propose the way to compensate it.

Keywords : Naval Gun Fire Control System(함포 사격통제시스템), Boresight Telescope(포배열 카메라), Command and Fire Control System(전투체계), Barrel Alignment(포배열)

1. 서론

해군의 수상 전투함의 경우 다양한 종류의 추적센서와 무장이 탑재되고 전투체계를 통해 연동되어 교전을 수행한다. 서로 다른 위치에 추적센서/무장이 탑재되어 표적을 지향하기 때문에 지향하는 위치에 오차가 있을 경우 무장의 명중률에 영향을 주게 된다. 특히, 함포의

경우에는 유도무기와 달리 사격 후 오차를 보정하는 것이 불가능하기 때문에, 함정의 모든 추적센서/함포에 대해 배열을 수행하여 개별 장비의 오차와 장비간 오차를 보정하는 것이 매우 중요하다^{1,2)}.

이러한 오차를 보정하기 위해 일반적으로 포배열 카메라를 사용하여 항구에서의 정박배열과 바다에서의 항해배열을 수행한다^{1,3,4)}. 이러한 배열 과정을 통해 설치오차나 추적센서/함포 자체의 기계적 오차와 같은 정적배열오차는 보정이 수행된다. 그러나 함정이 주기적으로 롤/피치/요(Roll/Pitch/Yaw) 방향으로 흔들려서 발생하는 동적배열오차는 일반적으로 크기가 작기 때

† 2013년 7월 5일 접수~2013년 10월 18일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김의진(eui_jin.kim@add.re.kr)

문에 무시하며 함정의 배열단계에서 보정이 수행되지 않는다¹⁾.

함정의 경우 파도에 의해 배가 주기적으로 계속 흔들리게 되어 고정된 표적을 지향하더라도 지향하는 추적센서/무장은 함정의 흔들림을 역으로 보상하여야만 정확하게 표적을 지향하는 것이 가능하다. 이러한 오차를 완벽하게 보상하기는 현실적으로 불가능하기 때문에 동적배열오차가 발생하게 된다. 기존에 동적배열 오차를 보정하기 위한 노력은 개별 장비에 대해 연구가 수행되어져 왔을 뿐 함정의 자이로-추적센서-사격통제장치-함포로 구성되는 사격통제체계나 전투체계 차원의 연구는 수행된 바가 없었다^{5,6)}. 본 연구에서는 함정의 배열시 사용하는 포배열 카메라에서 획득한 영상을 활용하여 주기적으로 발생하는 동적오차를 정량적으로 측정하고 이를 보정하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 일반적인 함포 사격통제시스템의 구성과 발생 가능한 동적배열 오차요인에 대해 소개하고, 3절에서는 영상처리를 활용하여 동적배열오차를 분석하는 방법에 대해 기술하였다. 4절에서 동적배열오차 중 시간지연에 의한 오차 성분을 분석하고 보정하는 방법에 대한 방법 및 결과를 설명하였다.

2. 함포사격통제시스템 구성 및 동적배열 오차

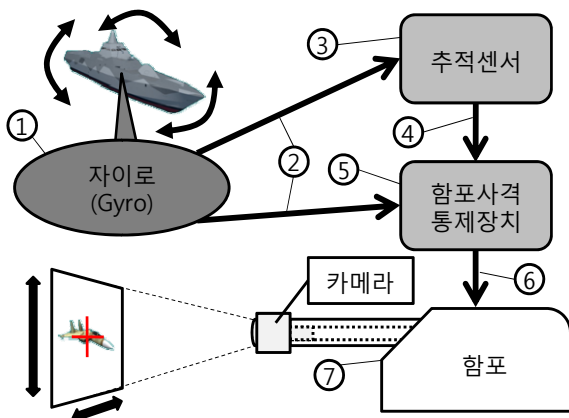


Fig. 1. Configuration of Gun Fire Control System

Fig. 1은 일반적인 함포 사격통제시스템의 구성을 보여준다. 함정에는 자이로가 장착되어 함정의 현재 자

세를 롤/피치/요에 해당하는 값으로 측정하여 추적센서/무장등에 전달한다. 추적센서의 경우 함정의 자세 변화를 보상하여 안정적인 표적추적결과를 산출하기 위해 자이로 정보를 사용한다. 함포사격통제장치의 경우 외부로부터 수신한 표적에 대해 지향 또는 사격이 가능하도록 포명령을 계산하며, 자이로 정보를 통해 자함의 자세를 보정하여 함포를 제어한다. 포배열시에는 추가적으로 함포의 포신 앞부분에 포배열카메라를 장착하여 사용하게 된다.

함포의 구동은 그 목적에 따라 ‘1. 자이로-사격통제장치-함포’ 또는 ‘2. 자이로-추적센서-사격통제장치-함포’로 구성되어 이루어진다. 추적센서를 사용하지 않고 고정된 위치에 사격을 수행하거나 단순히 포의 정렬 상태를 확인할 경우에는 사격통제장치가 자이로 정보를 보상하여 함포에 인가하여 ‘1. 자이로-사격통제장치-함포’ 형태로 포 구동이 수행된다. 추적센서를 이용하여 기동하는 표적에 사격을 수행하거나 추적센서와 함포가 정렬이 올바르게 되었는가를 확인하는 경우에는, 자이로 정보가 보상된 추적센서 결과를 사격통제장치가 수신하고 다시 자이로 정보를 한번 더 보상하여 함포에 인가함으로써 ‘2. 자이로-추적센서-사격통제장치-함포’ 형태로 포 구동이 수행된다. 이때 발생할 수 있는 오차 요인을 상세하게 살펴보면, 우선 자이로가 함정의 자세 정보를 측정할 때 측정오차(Fig. 1-①)가 발생할 수 있다. 자이로 정보의 경우 정보가 측정되어 추적센서/사격통제장치로 정보가 전송되어 송수신될 때까지 시간지연 오차(Fig. 1-②)가 발생한다. 추적센서의 경우 자체적인 서비스를 가지며 표적정보처리를 수행하기 때문에 이때 추적센서의 서비스구동 오차 및 표적정보처리오차(Fig. 1-③)가 발생한다. 추적센서 정보를 사격통제장치에 전송할 때 전송에 따른 시간오차(Fig. 1-④)가 발생하며, 사격통제장치에서 탄도계산을 수행하여 포명령 계산시 계산오차(Fig. 1-⑤)가 발생한다. 사격통제장치에서 계산된 포명령을 포에 전달할 때도 시간오차(Fig. 1-⑥)가 발생하며, 포가 포명령을 수신하여 포를 구동할 때 포 구동오차(Fig. 1-⑦)가 발생한다. 이렇게 Fig. 1-①~⑦의 오차가 포를 구동할 때 각기 발생하여 최종적인 함포 구동에 오차로써 작용하게 된다.

포배열을 수행하기 위해 Fig. 1에 도시된 포배열카메라를 포신에 장착하여 획득한 동영상에는 시간의 변화에 따른 함자세의 변화에도 변치 않는 정적배열오차와 변화하는 동적배열오차가 모두 나타나게 된다. 정적배

열오차는 추적센서/무장의 설치 및 정렬 오차에 의해 발생하게 되고, 동적배열오차는 Fig. 1-①~⑦의 오차에 의해 발생하게 된다. 정적배열오차는 기존의 포배열 절차로 측정 및 보상이 가능하기 때문에 본 논문에서는 ‘3. 영상처리를 통한 동적배열오차의 정량적 분석’의 방법을 사용하여 시간의 흐름에 따라 주기적으로 움직이는 동적배열오차에 대한 연구만을 수행하였다¹⁾.

3. 영상처리를 통한 동적배열오차의 정량적 분석

영상처리를 통한 동적배열오차의 전체 분석과정은 Fig. 2와 같다. 함정의 요동은 추적센서와 함포사격통제장치에 모두 영향을 주어 함포 구동에 동적배열오차를 유발시켜 포신에 흔들림오차가 발생하게 된다. 포신에 장착된 포배열 카메라의 영상처리를 통해 수치화하면, 동적배열오차를 정량적으로 분석하는 것이 가능해진다. 오차를 정확하게 분석하기 위해서는 함정의 요동에 의해 실제 포신이 받는 흔들림 성분을 분석하는 것이 중요하다. 이를 위해 함포 포신에 영향을 주는 자함의 자세 흔들림을 포신방향 흔들림으로 변환하였고 이를 영상분석 결과와 비교하여 분석을 수행하였다. 각각의 단계에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

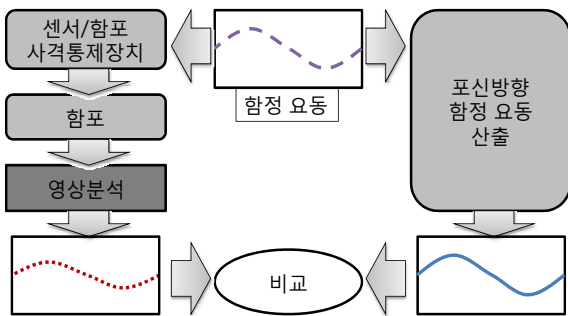


Fig. 2. Overview of Analyzing Dynamic Battery Alignment Error by Using Image

가. 포신방향 함요동 성분 산출

함포 포신의 흔들림을 분석하기 위해서는 함요동에 의한 포신의 요동을 계산하여 이를 기준으로 분석을 수행하여야 한다. 일반적으로 함포의 경우 함정의 흔들림에 무관하게 항상 표적에 사격가능한 각도로 함포

를 제어한다. 따라서, 고정 표적을 사격하는 경우 지구좌표계에서는 포신이 특정 각도를 지향한 상태를 유지하게 되고, 함정플랫폼좌표계에서는 포신이 함요동에 반대방향으로 주기적 형태로 지속적으로 움직이는 형상을 갖는다. 본 논문에서는 포신에 가해지는 함요동의 영향성 분석을 위해 함요동이 보상되지 않는 포신의 방향의 흔들림을 다음과 같이 산출하였다.

극좌표계(Polar Coordinate) 형태의 지구좌표계를 요(a)/피치(β)/롤(γ) 방향으로 회전변환하는 행렬을 각각 R_z, R_y, R_x 라 할 때, 롤/피치/요 순으로 회전변환하여 함정플랫폼좌표계로 변환하는 행렬(H^E_B)은 식 (1)과 같다⁷⁾. 식 (1)에서 s와 c는 각각 sin과 cos를 의미한다.

$$H^E_B = R_z(\alpha)R_y(\beta)R_x(\gamma) = \begin{bmatrix} c\alpha c\beta & c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma \\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

함포 명령의 경우 선회각과 고각형태로 출력되기 때문에 극좌표계가 아닌 구좌표계에서의 표현이 필요하다. 구좌표계(Spherical Coordinate)에서 극좌표계로 변환하는 행렬을 T^S_P , 역변환에 해당하는 극표계에서 구좌표계로 변환하는 행렬을 T^P_S 라 정의하였을 때, 극좌표계(거리/고각/방위각)에서 함포가 함요동의 영향으로 자세가 변하기 전(r, θ_E, ϕ_B)과 후(r, θ'_E, ϕ'_B)의 관계는 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} r \\ \theta'_E \\ \phi'_B \end{bmatrix} = T^P_S H^E_B T^S_P \begin{bmatrix} r \\ \theta_E \\ \phi_B \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (1)의 행렬은 회전변환이고 T^S_P 와 T^P_S 는 좌표계 변환만 수행하기 때문에 식 (2)에서 거리 r 의 변화는 없고 고각과 방위각만 변하게 되며, 포신의 방향만을 고려하기 때문에 거리값은 의미를 갖지 않는다.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ E_E \\ E_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \\ \theta'_E \\ \phi'_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r \\ \theta_E \\ \phi_B \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)에서와 같이 식 (2)에 의해 변환되기 전과 후

의 방위각/고각정보의 차이를 구하면, 함정 기준으로 고정된 포신이 함요동에 의해 지구좌표계에서 선회각 방향으로 흔들리는 성분(E_B)와 고각 방향으로 흔들리는 성분(E_E)를 산출할 수 있다.

Fig. 3은 제안된 방법의 적용예를 보여준다. Fig. 3의 (a), (b), (c)는 자함의 롤/피치/요 성분을 의미한다. Fig. 3의 (d)는 포신이 선회 약 -70도, 고각 약 0도로 지향할 때 산출된 포신 고각방향의 함요동 성분(E_E)을 의미한다. 전체적으로 롤의 역상에 가까우면서 변형된 형상을 갖는 것을 확인할 수 있다.

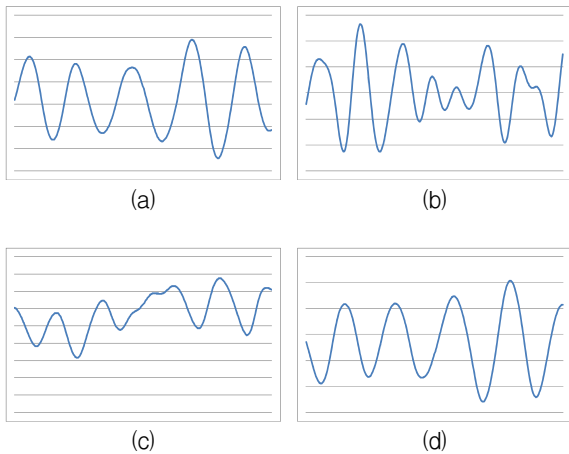


Fig. 3. Own ship Movement Calculation of Battery Direction

나. 포배열 카메라 영상분석

함정에는 정박배열 및 항해배열을 위한 포배열 카메라가 존재한다^[1]. 포배열 카메라는 포신에 설치되어 포가 지향하는 방향을 정확하게 촬영하여 동영상 형태로 포배열 장비로 전송한다. 이 동영상을 활용하여 본 연구의 분석을 수행하였다. 함포의 포신을 허공이 아닌 기준을 삼을 수 있는 해수면/지평선이나 특정 표적을 지향하도록 하면, 이론적으로는 표적이 흔들림 없이 동영상에서 동일한 위치에 존재하여야 하나 동적배열 오차로 인하여 특정 시간의 프레임(Frame)을 기준으로 볼 때 영상이 흔들리게 된다. 본 연구에서는 특정시점의 프레임을 기준 프레임으로 정하고, 기준 프레임에서 표적에 해당하는 부분영상(Sub-Image)을 기준 영상으로 하여 시간의 흐름에 따라 기준영상의 이동정도를 추적함으로써 영상의 흔들림을 분석하였다.

Fig. 4은 본 연구에서 사용된 포배열카메라 영상과

기준영상의 예를 보여준다. 포배열장비로부터 획득한 동영상에 기준 프레임에 배경대비 식별가능한 표적의 영상을 기준영상(Fig. 4-(b))으로 설정한다. 이후, 기준영상이 Fig. 4-(a)와 같은 동영상 프레임에서 시간의 변화에 따라 변화하는 위치를 영상처리 기법을 통해 추적하여 그 움직임을 분석하였다. 기준 영상의 추적 방법으로는 영상추적에서 많이 사용되는 템플릿 매칭(Template Matching) 방법을 사용하였다^[8].

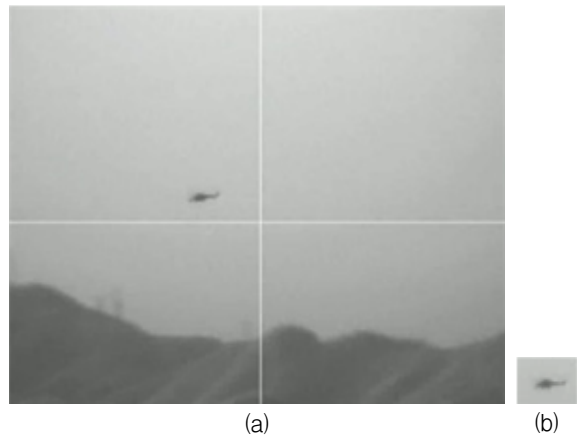


Fig. 4. Bore-sight Telescope Image and Basis Image

$$D_T(x, y) = \sqrt{\sum_{s=1}^{W_B} \sum_{t=1}^{H_B} \left(I_{F_i} \left(x - \frac{W_B}{2} + s, y - \frac{H_B}{2} + t \right) - I_B(s, t) \right)^2} \quad (4)$$

$$E_{min}(x_{min}, y_{min}) = \underset{\substack{x_0 - F_x \leq x \leq x_0 + F_x \\ y_0 - F_y \leq y \leq y_0 + F_y}}{\text{Min}} (D_T(x, y)) \quad (5)$$

우선, 기준영상과 동영상의 프레임의 차이를 구하기 위하여 식 (4)를 통해 특정 위치(x, y)에서 동영상의 i 번째 프레임(F_i)의 영상(I_{F_i})과 $H_B \times W_B$ 의 크기를 갖는 기준영상(I_B)의 차이($D_T(x, y)$)를 산출하였다. 기준영상을 설정할 시점 프레임에서의 기준영상의 중간 위치를 (x_0, y_0)라 하고 식 (4)의 과정을 (x_0, y_0)를 기준으로 식 (5)에 의해 $\pm F_x$ 와 $\pm F_y$ 영역에 대해 모두 수행하여 영상의 차이가 최소(E_{min})가 되는 (x_{min}, y_{min})를 계산한다. 식 (4), (5)의 과정을 전체 동영상에 대해 수행하면 시간에 흐름에 따른 x, y방향으로의 기준영상 흔들림을 산출할 수 있다.

위 과정을 통해 산출된 기준영상의 흔들림은 영상처리 결과이기 때문에 픽셀(Pixel) 단위로 산출된다. 포배

열 카메라의 경우 카메라의 화각이 제원으로 정해져있으며, 영상의 크기 또한 픽셀단위로 알 수 있다. 따라서, 식 (6)을 이용하여 기준영상대비 움직인 정도를 각도로써 수치화할 수 있다.

$$\text{흔들린각도(Deg)} = \text{영상흔들림(Pixel)} \times \frac{\text{카메라화각(Deg)}}{\text{영상의 크기(Pixel)}} \quad (6)$$

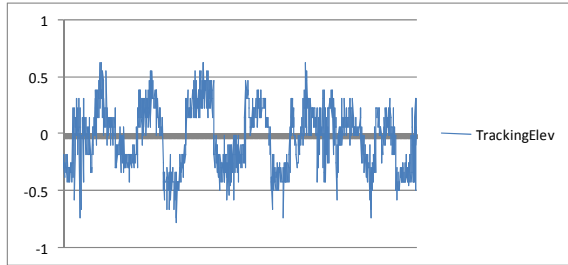


Fig. 5. Result of Battery Movement Analysis By Using Image Tracking

Fig. 5는 제안된 방법을 사용하여 포배열 카메라의 영상의 고각방향 흔들림을 분석한 결과의 예를 보여 준다. 분석 결과 오차에 주기적인 성분이 포함되어 있는 것을 확인할 수 있다.

다. 동적배열오차 성분 분석

‘가. 포신방향 함요동성분 산출’에서 산출한 포신방향 함요동과 ‘나. 포배열 카메라 영상분석’의 분석결과를 비교하면 동적배열오차의 성분을 Fig. 6과 같은 형태로 분석하는 것이 가능하다.

Fig. 6에서 실선은 ‘가. 포신방향 함요동성분 산출’을 통해 산출된 포신방향 함요동 성분을 의미하고, 점선은 ‘나. 포배열 카메라 영상분석’을 통해 각도로 표현된 영상분석 결과를 의미한다. Fig. 6에는 편의상 하나의 정보만을 표시 하였으나, 실제로는 선회각과 고각 방향으로 2가지 정보의 비교가 가능하다. Fig. 6에서 각각의 유형에 대한 세부 설명은 아래와 같다.

- Fig. 6-(a) : 함의 요동에도 불구하고 영상 분석결과 흔들림 오차 성분이 없는 이상적인 상황이다.
- Fig. 6-(b) : 영상 분석결과 흔들림 오차 성분이 함요동성분과 유사한 위상을 갖는 경우이다. 자이로/센서/함포와 같은 개별 장비들에 측정 및 구동 오차가 있을 때 나타난다.

- Fig. 6-(c) : 영상 분석결과 흔들림 오차 성분이 함요동 성분의 미분값과 유사한 위상을 갖는 경우이다. 주기함수 형태인 함요동이 시간지연을 갖고 보상된 경우에 이러한 함요동 성분의 미분값에 해당하는 값이 나타난다.
- Fig. 6-(d) : 영상 분석결과 흔들림 오차 성분이 Fig. 6-(b)의 함요동 성분의 위상과 Fig. 6-(c)의 함요동 성분 미분값에 해당하는 위상이 복합된 형태를 갖는 경우이다.

Fig. 6에 표현된 동적배열오차 종류 중 Fig. 6-(a)에 해당하는 그래프는 오차가 없는 이상적인 상황이며 Fig. 6-(b)~(d)의 경우에는 오차를 수정하여 Fig. 6-(a) 형태로 보정되어야 한다. Fig. 6-(b)와 같은 경우는 개별장비별 특성에 맞게 보정이 이루어져야 하기 때문에 본 연구에서는 추가적인 연구를 진행하지 않았다. Fig. 6-(c)와 같이 시간지연에 의한 오류는 다음의 ‘4. 시간 지연에 의한 동적배열오차 분석 및 보상’을 통해 분석을 하여 함포 사격통제장치에서 보상하는 것이 가능하다. Fig. 6-(d)와 같은 오류의 경우에는 복합적인 오류 분석 및 보상이 필요하다.

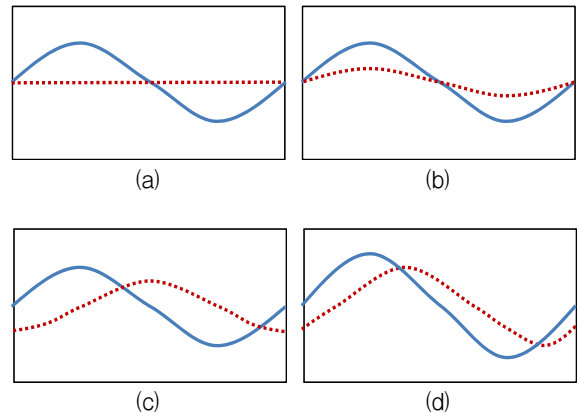


Fig. 6. Analysis Result Cases of Dynamic Battery Alignment Error

4. 시간 지연에 의한 동적배열오차 분석 및 보상

자이로 정보에 시간지연이 발생하여 생긴 오차는 임의로 시간을 지연시킨 자이로 정보와 지연전 자이로 정보와의 차이와 이론적으로 동일하다. 이것을 이용하

여 자이로 정보와 시간 지연된 자이로 정보의 차이를 영상분석결과와 비교하여 분석을 수행하였다. 함요동 정보를 잘못된 시간지연을 보상하면 다음과 같이 함요동에 미분값 형태를 갖게 된다.

함요동이 $A\sin\omega t$ 라 가정할 때, 실제 함요동과 Δt 만큼 시간이 지연된 함요동과의 차이는 식 (7)와 같이 표현할 수 있다.

$$A \sin \omega t - A \sin \omega(t + \Delta t) \tag{7}$$

삼각함수 공식 식 (8)을 사용하면, 식 (7)은 식 (9)와 같이 정리된다.

$$\sin A - \sin B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} & A \sin \omega t - A \sin \omega(t + \Delta t) \\ &= A \left(2 \cos \frac{\omega t + \omega t + \omega \Delta t}{2} \sin \frac{\omega t - \omega t - \omega \Delta t}{2} \right) \\ &= 2A \left(\cos \left(\omega t + \frac{\omega \Delta t}{2} \right) \sin \frac{-\omega \Delta t}{2} \right) \end{aligned} \tag{9}$$

식 (9)에서 \sin 함수 내부의 $-\frac{\Delta t}{2}$ 가 작다고 가정하고, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 임을 이용하면 식 (10)을 얻을 수 있다.

$$A \sin \omega t - A \sin \omega(t + \Delta t) = \frac{-2\pi \Delta t}{T} A \left(\cos \omega \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \right) \tag{10}$$

식 (10)을 통해 실제 함요동과 Δt 만큼 시간이 지연된 함요동의 차이는 실제 함요동 대비 $\frac{\Delta t}{2}$ 만큼 위상이 틀어진 $A \sin \omega t$ 의 미분 형태를 갖고 진폭은 $-\frac{2\pi \Delta t}{T}$ 배가 됨을 알 수 있다. 예를 들어, 함요동의 주기 $T = 5$ 초이고, $\Delta t = 10$ ms인 경우 진폭은 약 $-0.01266A$ 가 되어 기존 진폭 A 의 약 1/100배가 됨을 확인할 수 있다. 진폭(A)이 2도 인 경우 거리 10km의 표적은 $-0.01266 \times 2 \text{Deg} \times (2\pi / 180) \times 10 \text{km} \approx 8.838 \text{m}$ 가 되어 포배열 카메라 장착시 영상에서 약 8.8m가 주기적으로 흔들리게 된다.

‘가. 포신방향 함요동성분 산출’의 식 (3)에서 산출한

포신의 선회각/고각 방향 함요동 흔들림(E_B, E_E)과 ‘나. 포배열 카메라 영상분석’에서 산출한 선회/고각방향 영상처리 결과를 이용하면 함요동의 시간지연값 Δt 의 역산이 가능하다. 계산을 위해, 식 (3)에서 k 시점에서 산출한 포신의 선회/고각 방향 함요동 흔들림(E_B, E_E)을 $W(k)$ 라고 정의하고, Δt 만큼 지연된 흔들림을 $W(k+\Delta t)$ 라 정의하였다. 영상처리결과($P(k)$)와의 차이를 전체시간의 데이터 [1~N]에 대해 계산하면 Δt 만큼 시간지연이 발생했을 때의 영상처리 결과와의 차이(D_d)가 식 (11)과 같이 계산된다.

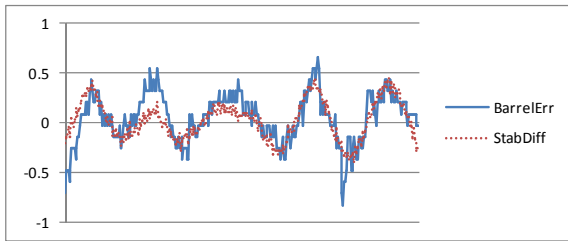
$$D_d(\Delta t) = \sum_{k=1}^N \left| (W(k) - W(k + \Delta t)) - P(k) \right| \tag{11}$$

식 (11)을 찾고자하는 시간지연의 범위 $[-t_{search} \sim t_{search}]$ 에서 반복하여 그 값이 최소(E_{min})가 되는 Δt_{min} 을 식 (12)와 같이 찾는다.

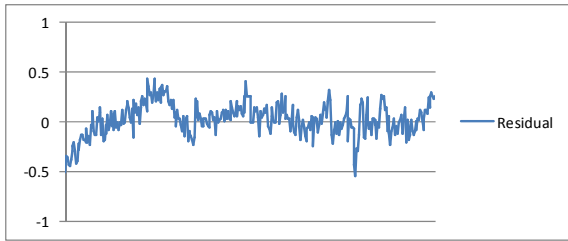
$$E_{min}(\Delta t_{min}) = \underset{-t_{search} \leq \Delta t \leq t_{search}}{\text{Min}} (D_d(\Delta t)) \tag{12}$$

식 (12)를 통해 산출된 Δt_{min} 가 실제 함요동 대비 함요동 정보가 지연된 시간을 의미한다. 일반적으로 추적센서 또는 사격통제장치의 신호처리부는 계산에 소요되는 시간이 있기 때문에 함요동 정보를 실시간으로 적용하는 것이 아니라, 최종 출력이 나가는 시간에 맞추어 함요동 정보를 예측하여 사용한다. 이러한 함요동 예측시 Δt_{min} 를 보상하게 되면 함요동 정보의 시간지연을 보상할 수 있다.

Fig. 7은 동적배열오차 보상의 예를 보여준다. Fig. 7-(a)의 실선은 포신방향의 흔들림을 나타내며, 기존에는 이러한 주기적 흔들림 성분을 분석하고 제거하는 방법이 존재하지 않았기 때문에 오차 성분이 모두 실제 함포의 지향오차에 반영되었다. Fig. 7-(a)의 점선은 식 (12)를 통해 산출된 Δt_{min} 의 시간지연을 갖는 포신방향 함요동 성분의 차이(D_d)를 나타낸다. Fig. 7-(a)의 두 그래프가 거의 일치하는 것은 포신방향 흔들림에 함요동의 미분성분이 포함되어 있음을 의미한다. 제안한 방법을 통해 지연된 시간인 Δt_{min} 을 산출하여 함요동 성분을 보상하면 Fig. 7-(b)와 같은 그래프를 얻을 수 있다. Fig. 7-(a)의 포신방향 흔들림 대비 진폭도 줄어들고 주기성도 제거되어 명령이 안정적으로 산출됨을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 7. Example of Dynamic Battery Alignment Error Correction

5. 결론

본 논문에서는 기존의 정적배열오차만 측정/보상하던 배열절차의 한계를 극복하여, 동적배열오차 또한 측정하고 보상할 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 기존에 개별 장비별로만 진행되던 함요동 보상에서 벗어나 전체 전투체계 차원에서의 함요동 보상을 할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 전체 장비 모두가 유기적으로 함께 동작할 때의 오차를 측정/보상하는 방법이기 때문에 역설적으로 오차의 요인이 어떤 장비에서 기인한 것인지를 식별하는 것에 한계를 가지며, 영상처리를 활용하기 때문에 영상처리 오류가 분석결과에 영향을 줄 수도 있다. 그러나, 사격통제와 관련된 모든 장비가 동작하는 상황에서 종합적으로 발생하는 동적배열오차를 측정하고 줄일 수 있는 새로운 방법을 제안하였다는데 의미가 있다.

본 연구에서는 자이로 시간지연에 의한 동적배열오차의 보정만을 제시하였으나, 제안된 방법을 ‘자이로-추적센서-사격통제장치-함포’, ‘자이로-사격통제장치-함포’ 등 다양한 조합으로 적용하여 분석시 오차를 상대적으로 크게 유발하는 장비를 추정하는 것도 가능하다. 이러한 본 연구의 오차 성분 분석 및 수정 방법은 함정의 해상시험시 적용되어 검증이 완료되었으며, 함포의 흔들림오차를 최소화하여 탄의 분산을 줄여줌으로써 사격명중률 향상에 기여하였다.

References

- [1] Fire Controlman Training and Reference Manual [Internet], <http://firecontrolman.tpub.com>, Vol. 4, Chapter 3, pp. 1~17, 1997.
- [2] 신용산, 장광일, “함정용 전자광학추적장비 정렬 및 배열”, 국방과학연구소, 2011. 11.
- [3] S. Hall, “Integration, Alignment, Testing and Field Support of a Multi-sensor System”, Acquisition, Tracking, and Pointing XVIII, Proceedings of SPIE, Vol. 5430, pp. 35~42, 2004.
- [4] 주정현, 정용환, 석성하, “울산-I급 전투체계 정박 배열(Static Alignment) 결과보고서”, 국방과학연구소, 2011. 12.
- [5] 이민준, 김승각, “함정용 탐색레이더 전자 빔 보상 연구”, 국방과학연구소, 2002. 11.
- [6] M. J. Lee and S. G. Kim, “Electronic Beam Stabilization Method for Ship-Borne Surveillance Radar”, Journal of The Institute of Electronics Engineering of Korea, No. 41, TC, pp. 71~75, 2004.
- [7] Steven M. LaValle, “Planning Algorithm”, 3.2.3. 3D Transformation, Cambridge University Press, 2006.
- [8] R. C. Gonzales and R. E. Woods, “Digital Image Processing”, 2nd Edition, Distance Measures, Chapter 2, p. 68, 2001.