

롤 회전을 이용한 장입유도탄 비정렬각 산출기법

A Calculation Method for the Tilt Angle of Missile Round using Roll Rotation

박 동 현

국방과학연구소

Dong-Hyun Park

Agency for Defense Development, Daejeon, 34186, Korea

[요 약]

본 논문에서는 유도탄의 정확한 자세를 알기 위해 주 관성항법장치와 유도탄 내부 관성항법장치를 이용하는 one-shot 정렬에 대해 고려하였다. One-shot 정렬을 수행하기 위해서는 주 관성항법장치와 부 관성항법장치 사이의 비정렬각을 구해야 되는데, 장입유도탄과 부 관성항법장치 사이의 비정렬각을 구하여 보상하면 된다. 비정렬각은 장입유도탄의 롤 회전을 이용하여 산출되며, 장입유도탄을 회전하기 위한 정렬용 치구, 장입유도탄의 수평 상태를 측정하기 위한 수평 각도계와 인터페이스 구조물이 제작되었다. TAS(tilt angle save) 점검 결과, 비정렬각 α, β, γ 값이 정상 범위이며 이 값을 보상하여 one-shot 정렬을 수행할 수 있다.

[Abstract]

In this paper, we considered the one-shot alignment using master inertial navigation system (MINS) and slave inertial navigation system (SINS) in the missile to find the exact posture of a missile. In order to perform one-shot alignment, the tilt angle between MINS and SINS must be obtained, which can be compensated by obtaining the tilt angle between missile round and SINS. The tilt angle was calculated by using the roll rotation of missile round, jig for rotating the missile round and interface structure to measure the horizontal state by using a horizontal angle meter were constructed. As a result of the tilt angle save (TAS) inspection, the tilt angle α, β, γ is normal range and it is possible to perform one-shot alignment by compensating this value.

Key word : Inertial navigation system, Tilt angle save, Inertial measurement unit, One-shot alignment, Missile round.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.6.500>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 17 October 2018; Revised 27 November 2018
Accepted (Publication) 17 December 2018 (30 December 2018)

*Corresponding Author : Dong-Hyun Park

Tel: +82-42-821-4255

E-mail: alienpark@add.re.kr

I. 서론

유도탄은 구성 장치 중 하나인 관성항법장치(INS; inertial navigation system)의 항법정보를 이용하여 정밀한 유도조종을 수행한다. 유도탄이 발사되기 전, 지상에서 수행하는 초기정렬(initial alignment)의 목적은 유도탄의 정확한 위치, 속도, 자세를 구하기 위함인데, 크게 자체정렬(self alignment)과 주 관성항법장치(MINS; master inertial navigation system)와 부 관성항법장치(SINS; slave inertial navigation system)를 이용한 정렬 방법이 있다 [1]. 고가의 정밀한 관성항법장치를 이용하는 유도탄은 자체정렬 수행이 가능하지만 자체정렬을 수행하기에 부적절한 저급의 관성항법장치를 이용해야 할 경우에는 유도탄 외부에 있는 정밀한 관성항법장치의 항법 정보를 이용하는데, 그 방법 중 하나가 one-shot 정렬이다. One-shot 정렬은 유도탄 발사 직전에 주 관성항법장치의 항법 정보를 이용하여 항법오차를 최소화 하는 방법이다 [2].

대공 유도탄의 경우, 기동성이 중요한 성능이기 때문에 큰 제원의 정밀한 관성항법장치를 사용할 수 없다. 따라서 사용되는 관성항법장치는 그림 1과 같이 유도 조종을 수행하는 장치에 전원이 인가되면, 관성측정기(IMU; inertial measurement unit)에도 구동전원이 인가되고, 관성측정기에서 주기적으로 출력되는 가속도와 각속도에 대한 데이터를 입력 받아 항법 알고리즘을 수행하도록 구성하였다 [3].

One-shot 정렬은 유도탄의 발사 직전까지 정밀한 관성항법장치의 항법 정보를 이용하다가 발사 후에는 유도탄 내 관성항법장치의 정보를 이용하기 때문에, 주 관성항법장치와 부 관성항법장치 사이의 비정렬각을 산출하여 보상하는 절차가 반드시 필요하다. 기존의 one-shot 정렬에서 비정렬각은 유도탄의 수평, 수직 상태에서 주 관성항법장치의 정보와 부 관성항법장치의 가속도계 출력을 이용하여 산출되었다 [4].

본 논문에서는 유도탄의 수평 자세에서 유도탄의 롤 회전을 이용한 비정렬각 산출기법에 대해 제안하고자 한다. 이 방법을 이용하면 유도탄을 수직 자세로 만들어주지 않아도 비정렬각 산출이 가능하다. 관성항법장치는 유도탄 전방부에 조립되며, 점검은 유도탄 조립 전 구성품 단계, 유도탄 전방부 단계, 유도탄 단계, 발사관에 장입된 장입유도탄 단계에서 수행된다.

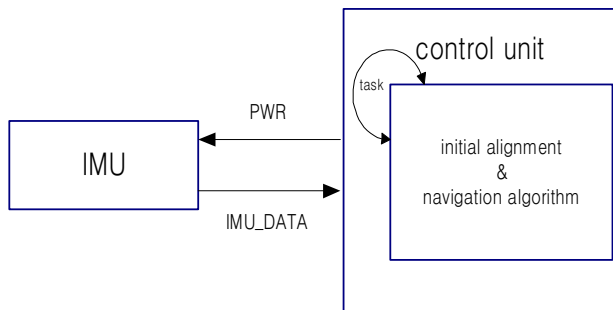


그림 1. 관성항법장치의 구성
Fig. 1. Configuration of INS.

비정렬각 α, β, γ 는 유도탄 조립 단계간의 정렬오차의 누적을 최소화하기 위해 유도탄 최종 조립단계인 장입유도탄 단계에서 산출된다. 2장에서는 유도탄 내 관성항법장치와 장입유도탄인 발사관 사이의 비정렬각을 산출해야 되는 이유와 절차를 수행하기 위해 필요한 장치들이 무엇인지 식별하고 비정렬각 산출 방법에 대해서 기술하였다. 3장에서는 실제 장입유도탄 상태에서 점검을 수행하면서 측정된 데이터를 가지고 비정렬각을 산출하였음을 나타내었다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론에 대해 정리하였다.

II. 비정렬각 산출 기법

대공 유도탄에 적용되는 관성측정기는 서로 직교하는 3축의 가속도계(accelerometer)와 각속도계(gyroscope)로 구성된다. 유도 조종을 수행하는 장치에 탑재되는 관성항법 알고리즘은 관성측정기의 출력 값을 이용하여 초기정렬과 중기유도까지의 순수항법을 수행한다.

대공 유도탄의 경우, 미사일 발사 전에 신속하게 관성항법 시스템을 정렬하는 것이 요구된다. 따라서 발사 직전에 정밀한 주 관성항법장치의 정보를 받아 초기정렬을 수행하는 one-shot 정렬 방식을 적용한다.

2-1 초기정렬

주 관성항법장치의 자세를 C_n^{bm} , 주 관성항법장치와 부 관성항법장치 사이의 비정렬각을 C_{bm}^{bs} 라 하면 부 관성항법장치의 자세 C_n^{bs} 는 식 1과 같이 구할 수 있다. 즉, 주 관성항법장치의 정보와 비정렬각을 이용하여 부 관성항법장치의 자세에서 필요한 값을 구하는 것이다.

$$C_n^{bs} = C_{bm}^{bs} \cdot C_n^{bm} \tag{1}$$

적용 무기체계에 따라 주 관성항법장치와 부 관성항법장치 사이의 비정렬각은 단순화 될 수 있지만 그림 2와 같이 두 항법장치 사이에 많은 비정렬이 존재하는 경우도 있다.

장입유도탄이 발사대에 탑재되는 시스템에서 주 관성항법장치는 발사대에 설치된다. 발사관과 발사대 사이의 비정렬각과 발사대와 발사대에 장착되는 주 관성항법장치 사이의 비정렬각은 1mil 이내의 오차값이 나오도록 설계되어 있기 때문에 보상하지 않는다. 유도탄을 발사관에 장입하는 과정에서도 레일과 슈가 존재하여 비정렬각은 1mil 이하이다. 만약 각 단계 중에서 비정렬각이 1mil 이상 발생하는 단계가 있다면 그 값을 식별하여 보상해야 유도탄의 정확한 초기정렬이 가능하다.

이와 같은 이유로 그림 2에서의 주 관성항법장치와 부 관성항법장치의 비정렬각은 유도탄 내 관성측정기와 장입유도탄인 발사관 사이의 비정렬각을 구하면 되는 것이다.

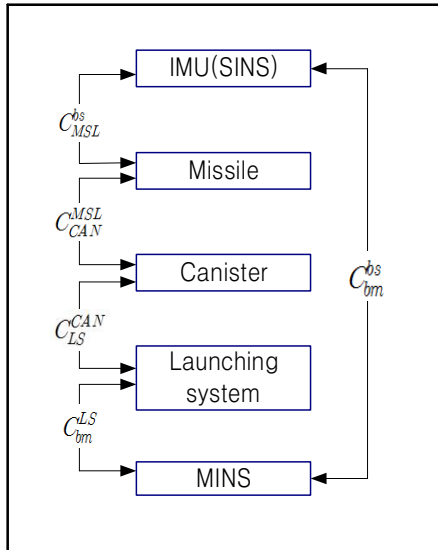


그림 2. 비정렬각 보상
 Fig. 2. Compensation of the tilt angle.

저급의 관성측정기의 자세를 구할 경우, 각속도계를 이용한 방위각 추정은 정확하지 않다. 하지만 다소 정밀한 가속도계 성능으로 수평 축(롤, 피치) 자세는 정확하게 구할 수 있다. 관성측정기의 가속도계의 출력을 이용하여 항법좌표계 north, east, down 축 기준으로 한 수평 자세를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$f^b = C_n^b \cdot f^n \tag{2}$$

여기서 f^b 는 관성측정기의 가속도계에서 출력되는 가속도 값이며, C_n^b 는 항법좌표계에서 동체좌표계로의 DCM (direct cosine matrix)이며, f^n 는 항법좌표계에서의 north, east, down 축의 가속도 출력 값을 나타낸다. 정지 상태에서 지구 중력의 영향으로 항법좌표계의 가속도 출력 값은 $[0, 0, -g]^T$ 를 나타낸다.

항법좌표계로부터 동체좌표계로의 오일러각 회전 변환은 회전이 적용되는 순서에 따라 6가지 경우가 있다. 그 중 R_{xyz} 와 R_{yxz} 는 요 성분이 제거되기 때문에 3축의 가속도 값으로 수평 축(롤, 피치) 자세를 구할 수 있다.

$z \rightarrow y \rightarrow x$ 축 순서로 회전 변환한 matrix R_{xyz} 는 다음과 같다.

$$C_n^b = R_x(\phi) R_y(\theta) R_z(\psi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$f^b = [f_x \ f_y \ f_z]^T$, $f^n = [0 \ 0 \ -g]^T$ 를 대입하면 다음과 같이 수평축 자세에 해당하는 롤(ϕ)과 피치(θ) 각을 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta \\ -\sin\phi\cos\theta \\ -\cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{-f_y}{-f_z}\right) \tag{5}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{f_x}{\sqrt{(-f_y)^2 + (-f_z)^2}}\right) \tag{6}$$

2-2 장입유도탄 정렬용 치구와 수평 각도계

본 논문에서는 장입유도탄 상태에서 유도탄 내 관성항법장치와 발사관 기준면 사이의 비정렬각을 발사관의 롤 축에 대한 회전을 이용하여 산출하기 위해, 발사관을 원활하게 회전시킬 수 있는 치구가 필요하다. 장입유도탄 단계에서 초기정렬을 위한 사전정렬 과정은 업무 수행이 간편하면서 정확하도록 관련 치구와 절차를 정립하였다. 장입유도탄 정렬용 치구는 회전을 위해 원형 지지대로 구성되는데, 이 지지대는 발사관에 장착되어 롤 방향으로 0°, 90°, 180°, 270° 회전 및 고정할 수 있도록 제작되었다. 또한 발사관 기준면을 구하기 위해 수평 각도계를 이용하는데, 발사관에 올려놓을 수 있도록 인터페이스 구조물도 제작하였다.

사전정렬인 비정렬각 산출 과정에서 발사관의 수평 자세 측정을 고가의 주 관성항법장치를 대신해 수평 각도계로도 측정할 수 있는 절차이기 때문에 체계점검 면에서 효율적이다.

사전정렬 절차에서 정렬을 수행하기 전 수평 각도계는 반드시 정반을 통해 교정이 이루어져야 한다. 정렬을 위해 장입유도탄 롤 방향으로 0°, 90°, 180°, 270° 인 상태에서 각각 유도탄 내 관성항법장치의 자세와 발사관의 자세를 측정하여 비정렬각을 산출하게 된다. 발사관의 롤 자세가 0° 인 상태에서 수평 각도계로 측정한 자세 값을 발사관의 수평 축(롤, 피치) 자세로 정의하고, ref. roll, ref. pitch로 나타낸다. 관성측정기의 가속도 값으로 구한 유도탄 내 관성항법장치의 수평 축 자세를 roll, pitch로 나타내면 비정렬각은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{비정렬각 } \alpha &: \text{roll - ref. roll} \\ \text{비정렬각 } \beta &: \text{pitch - ref. pitch} \end{aligned} \tag{7}$$

그림 3은 장입유도탄에 장착되어 롤 방향으로 회전 후 고정하여 사전정렬을 수행하도록 제작된 정렬용 치구의 모습을 나타내고 있다. 그리고 발사관의 수평한 정도를 측정하기 위해 발사관 후면판에 제작된 인터페이스 구조물을 체결하여 수평 각도계를 올려놓을 수 있도록 한다. 물이 90° 회전할 때마다 인터페이스 구조물도 수평 각도계를 수평하게 놓을 수 있도록 체결해야 된다.

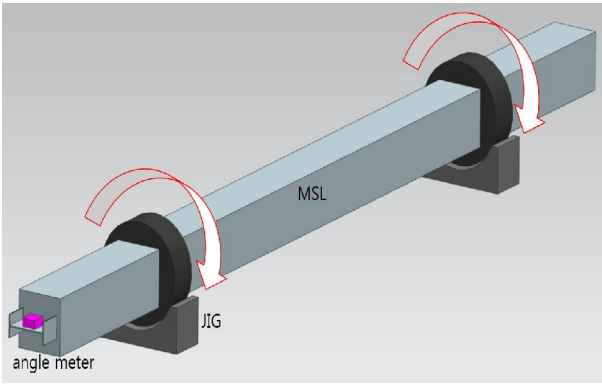


그림 3. 장입유도탄 정렬용 치구
Fig. 3. Missile round jig for alignment.

2-3 롤 회전을 이용한 비정렬각 산출 방법

유도탄 내 관성측정기의 x, y, z축과 발사관 기준면 x, y, z축을 모두 항법좌표계 north, east, down 축으로 변환 후 둘 사이의 비정렬각 α, β, γ 를 산출하는 방법에 대해 기술한다. 장입 유도탄 롤 자세가 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 인 4가지 경우에 대해서 각각 알아보도록 한다. 그림 4는 롤 자세에 따른 관성항법장치 축 정의 및 변환에 대해 나타낸 것이다.

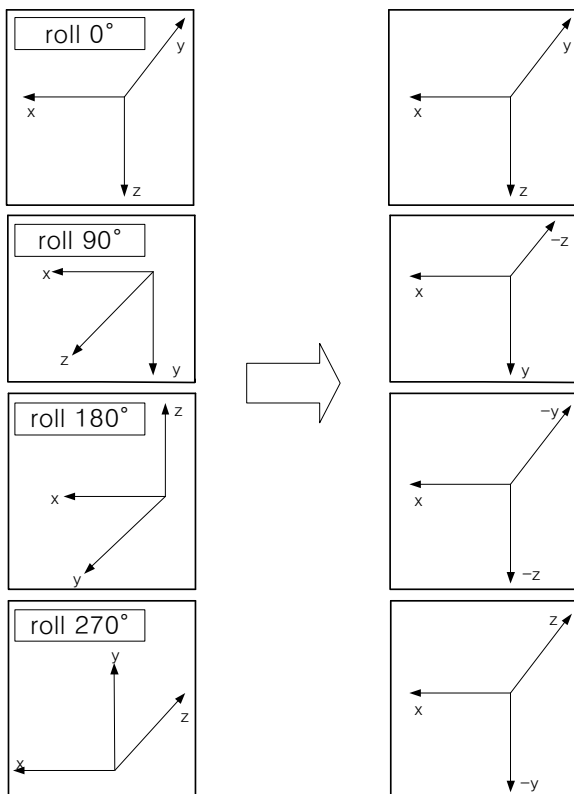


그림 4. 롤 자세에 따른 관성측정기 축 변환
Fig. 4. IMU axis transformation by roll posture.

그림 4의 왼쪽은 롤 자세에 따른 관성측정기 축에 대해 나타낸 것이고, 오른쪽은 항법좌표계 north, east, down 축으로 변환한 것이다. x축 기준 비정렬각 α , y축 기준 비정렬각 β , z축 기준 비정렬각 γ 를 산출한다고 하면 롤 자세가 $0^\circ, 180^\circ$ 일 때 축 x, y에 대한 비정렬각 α, β 를 계산하는 것이고, $90^\circ, 270^\circ$ 일 때 축 x, z에 대한 비정렬각 α, γ 를 계산하는 것이다.

발사관의 롤 자세가 0° 인 상태에서 정렬용 치구를 장착하고, 발사관 후면판에 수평 각도계 인터페이스 구조물을 장착하고 교정한 수평 각도계를 올려놓는다. 유도탄 내 관성측정기의 가속도계에서 출력되는 값을 $f^b = [f_x f_y f_z]^T$ 라 하면 출력되는 값의 노이즈 성분을 감소시키기 위하여 1초 이동평균을 구한 값을 $[\tilde{f}_x \tilde{f}_y \tilde{f}_z]^T$ 라고 한다. 이를 이용하여 롤과 피치 자세를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{roll}_0 &= \tan^{-1}\left(\frac{-\tilde{f}_y}{-\tilde{f}_z}\right) \\ \text{pitch}_0 &= \tan^{-1}\left(\frac{\tilde{f}_x}{\sqrt{(-\tilde{f}_y)^2 + (-\tilde{f}_z)^2}}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

발사관 기준 자세 롤과 피치를 ref. roll₀, ref. pitch₀라 하면 롤 자세 0° 에서 유도탄 내 관성항법장치와 발사관 사이의 비정렬각은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \text{roll}_0 - \text{ref. roll}_0 \\ \beta_0 &= \text{pitch}_0 - \text{ref. pitch}_0 \end{aligned} \quad (9)$$

발사관의 롤 자세가 90° 가 되도록 회전 및 고정 상태에서 발사관 후면판에 수평 각도계 인터페이스 구조물을 장착하고 교정한 수평 각도계를 올려놓는다. 그림 4를 보면 관성항법장치에서 출력되는 z축 값의 부호를 바꾸면 x축과 z축을 기준으로 수평 자세인 롤과 피치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{roll}_{90} &= \tan^{-1}\left(\frac{\tilde{f}_z}{-\tilde{f}_y}\right) \\ \text{pitch}_{90} &= \tan^{-1}\left(\frac{\tilde{f}_x}{\sqrt{(\tilde{f}_z)^2 + (-\tilde{f}_y)^2}}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

발사관 기준 자세 롤과 피치를 ref. roll₉₀, ref. pitch₉₀라 하면 롤 자세 90° 에서 유도탄 내 관성항법장치와 발사관 사이의 비정렬각은 다음과 같다. 가상의 수평 축에서 z축의 부호는 반대이므로 피치 값의 부호가 반대가 된다.

$$\begin{aligned} \alpha_{90} &= \text{roll}_{90} - \text{ref. roll}_{90} \\ \gamma_{90} &= -\text{pitch}_{90} - \text{ref. pitch}_{90} \end{aligned} \quad (11)$$

발사관의 롤 자세가 180°가 되도록 회전 및 고정 상태에서 발사관 후면판에 수평 각도계 인터페이스 구조물을 장착하고 교정한 수평 각도계를 올려놓는다. 그림 4를 보면 관성항법장치에서 출력되는 y축과 z축 값의 부호를 바꾸면 x축과 y축을 기준으로 수평 자세인 롤과 피치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{roll}_{180} &= \tan^{-1}\left(\frac{\tilde{f}_y}{\tilde{f}_z}\right) \\ \text{pitch}_{180} &= \tan^{-1}\left(\frac{\tilde{f}_x}{\sqrt{(\tilde{f}_y)^2 + (\tilde{f}_z)^2}}\right) \end{aligned} \quad (12)$$

발사관 기준 자세 롤과 피치를 ref. roll₁₈₀, ref. pitch₁₈₀라 하면 롤 자세 180°에서 유도탄 내 관성항법장치와 발사관 사이의 비정렬각은 다음과 같다. 가상의 수평 축에서 y축의 부호는 반대이므로 피치 값의 부호가 반대가 된다.

$$\begin{aligned} \alpha_{180} &= \text{roll}_{180} - \text{ref. roll}_{180} \\ \beta_{180} &= -\text{pitch}_{180} - \text{ref. pitch}_{180} \end{aligned} \quad (13)$$

발사관의 롤 자세가 270°가 되도록 회전 및 고정 상태에서 발사관 후면판에 수평 각도계 인터페이스 구조물을 장착하고 교정한 수평 각도계를 올려놓는다. 그림 4를 보면 관성항법장치에서 출력되는 y축 값의 부호를 바꾸면 x축과 z축을 기준으로 수평 자세인 롤과 피치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{roll}_{270} &= \tan^{-1}\left(\frac{-\tilde{f}_z}{\tilde{f}_y}\right) \\ \text{pitch}_{270} &= \tan^{-1}\left(\frac{\tilde{f}_x}{\sqrt{(-\tilde{f}_z)^2 + (\tilde{f}_y)^2}}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

발사관 기준 자세 롤과 피치를 ref. roll₂₇₀, ref. pitch₂₇₀라 하면 롤 자세 270°에서 유도탄 내 관성항법장치와 발사관 사이의 비정렬각은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha_{270} &= \text{roll}_{270} - \text{ref. roll}_{270} \\ \gamma_{270} &= \text{pitch}_{270} - \text{ref. pitch}_{270} \end{aligned} \quad (15)$$

위와 같은 방법으로 계산한 비정렬각들의 평균값을 구하여 세 축에 대한 비정렬각 α, β, γ를 최종적으로 산출한다.

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\alpha_0 + \alpha_{90} + \alpha_{180} + \alpha_{270}}{4} \\ \beta &= \frac{\beta_0 + \beta_{180}}{2} \\ \gamma &= \frac{\gamma_{90} + \gamma_{270}}{2} \end{aligned} \quad (16)$$

III. 적용 결과(TAS 점검)

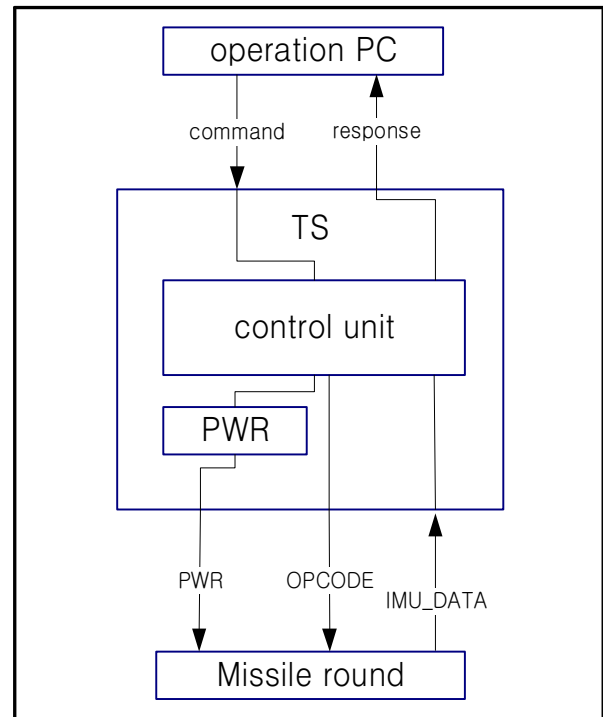


그림 5. TAS 점검 인터페이스 구성
Fig. 5. Interface configuration for TAS test.

장입유도탄 조립이 완료되면 점검을 통해 유도탄의 구성품들의 상태가 정상적임을 확인해야 한다. 점검장비의 경우, 유도탄과 연결 전에 자체점검을 수행하여 무결성을 확인한다. 그림 5는 TAS 점검을 위해 장입유도탄과 점검장비 간 인터페이스 구성에 대해 나타내고 있다. TAS (tilt angle save) 점검은 초기정렬을 위한 사전정렬을 수행하여 그 값을 유도탄 내에 저장하는 점검이다. 정렬용 치구에 장착된 장입유도탄과 자체 점검을 수행한 점검 장비 (TS; test set)를 케이블로 연결한 후, 운용컴퓨터에서 LAN (local area network) 통신으로 점검장비를 제어하게 된다. 유도탄은 안전을 위해 접지는 필수적으로 해야한다.

장입유도탄 점검은 유도탄 내 구성품을 부팅하기 위한 전원 인가 명령과 기능/성능 확인을 위한 명령 (OPCODE; operation code)을 점검장비에서 송신하고, 그에 대한 응답 데이터를 수신하여 정상유무를 확인하는 절차이다. 관성항법장치 관련 점검에는 구성품에 전원 인가 전 케이블 절연/도통 점검, 구성품 자체 점검인 BIT(built in test), 관성측정기 성능 점검인 드리프트 점검, 마지막으로 비정렬각을 산출하여 저장하는 TAS 점검이 있다. 각 점검마다 정상 판단을 위한 기준 범위가 존재하고, TAS 점검 역시 기준 범위가 존재하기 때문에 비정상 값이 일관되게 나타날 경우에는 유도탄을 분해해야 하는 경우도 발생한다.

TAS 점검 절차는 표 1과 같다.

표 1. TAS 점검 절차

Table 1. Sequence of TAS inspection.

	Inspection name
process 1	BIT(built in test)
process 2	tilt angle(roll 0°)
process 3	tilt angle(roll 90°)
process 4	tilt angle(roll 180°)
process 5	tilt angle(roll 270°)
process 6	TAS(tilt angle save)

BIT를 통해 TAS 점검 전 유도탄 구성품의 이상 없음을 확인한다. 프로세스 2~5는 정렬용 치구에 장착된 장입유도탄의 롤 자세에 맞게 세팅 후 유도탄에 전원 인가 및 점검 명령을 송신하여 관성측정기에서 출력되는 데이터 중 가속도 값을 운용 컴퓨터에 저장하여 2-3절의 수식에 따라 관성항법장치 자세와 발사관 기준면 사이의 비정렬각을 계산한다. 프로세스 6은 각 롤 자세에서 측정된 값을 이용하여 비정렬각 α, β, γ 를 구한 다음 유도탄 내 저장장치에 저장이 잘 되어 있는지 확인하는 점검이다. 이후 초기정렬에서 MINS의 항법 정보를 이용할 때 보상된다.

표 2는 실제 장입유도탄을 가지고 TAS 점검을 수행하면서 측정된 값을 나타내고 있다. 장입유도탄 롤 자세에 따른 관성측정기의 가속도계 값은 오차를 줄이기 위해 1초 이동평균한 값을 나타내고 있고, 약 0.0001의 분해능을 갖는다. 수평 각도 계로 구한 발사관의 수평 자세는 다음과 같고, 0.001의 분해능을 갖는다.

측정한 값을 바탕으로 계산된 비정렬각은 $\alpha = -0.065^\circ, \beta = 0.416^\circ, \gamma = 0.11^\circ$ 이며, 정상 범위이다. One-shot정렬 수행 때, 이 값이 보상되어 유도탄의 자세를 정밀하게 구할 수 있다.

표 2. 수평 축 비정렬각 계산을 위한 측정 데이터

Table 2. Measurement data for horizontal axis tilt angle calculation.

Roll (°)	IMU acceleration(m/s ²)			level(°)	
	\tilde{f}_x	\tilde{f}_y	\tilde{f}_z	X	Y
0	0.045	-0.032	-9.790	0.243	-0.261
90	-0.046	-9.798	0.041	0.264	0.285
180	-0.103	0.061	9.796	0.453	0.294
270	-0.012	9.792	-0.019	0.195	-0.306
LSB	0.0001			0.001	

IV. 결 론

본 논문에서는 유도탄 내 관성항법장치를 이용하여 유도탄의 위치, 속도, 자세 값을 구하는 과정에서 주 관성항법장치의 자세 정보를 이용하는 one-shot정렬에 대해 기술하였다. 그에 따라 주 관성항법장치와 유도탄 내 부 관성항법장치 사이의 비정렬각을 식별해야 한다. 두 항법장치 사이에 많은 비정렬각 요소가 존재하지만, 유도탄 내 관성항법장치와 발사관 사이의 비정렬각을 제외한 비정렬각들의 오차는 1mil 이내로 추정되어 보상하지 않는다.

유도탄 내 관성항법장치와 발사관 사이의 비정렬각 산출에 대해 기존의 방식은 장입유도탄의 수평 상태에서 x축과 y축의 비정렬각을 구하고, 수직 상태에서 z축의 비정렬각을 구하였다. 이를 위해서는 장입유도탄을 수평, 수직으로 움직일 수 있는 발사대가 필요하다.

본 논문은 장입유도탄의 수평 상태에서 롤 회전을 통해 x, y, z축에 대한 비정렬각을 산출할 수 있는 방법에 대해 기술하였다. 장입유도탄의 롤 회전을 이용한 관성측정기와 발사관 사이의 비정렬각 산출을 위해 장입유도탄 정렬용 치구, 수평 각도계, 인터페이스 구조물이 필요하다. 산출한 비정렬각이 정상 범위를 만족하지 못할 경우에는 그 상태에서 원인을 분석할 방법이 많지 않기 때문에 유도탄을 분해해야 되는 경우가 발생된다. 분해를 하게 되면 공수에 대한 비용이 발생하게 되므로 이러한 부분에 대해 보완할 수 있다면 향후 다른 체계사업에서도 유용하게 사용될 것이라 판단된다.

References

- [1] D. H. Titterton, J. L. Weston, J. L. Weston, *Strapdown inertial navigation technology*, Peter Peregrinis Ltd. on behalf of the Institution of Electrical Engineers, pp. 455, 1997.
- [2] M. J. Yu, and C. J. Park, "Rapid alignment for SDINS using equivalent linear transformation," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 35, No. 5, pp. 419-425, May. 2007.
- [3] B. S. Park, S. W. Lee, S. M. Jeong, K. J. Han, and M. J. Yu, "Performance verification methods of an inertial measurement unit in flight environment using the real time dual-navigation," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 45, No. 1, pp. 36-45, Jan. 2017.
- [4] B. S. Park, K. J. Han, S. W. Lee, and M. J. Yu, "The vertical alignment method using wavelet de-noising," in *Proceedings of Annual Conference*, Jeju: Korea, Vol. 2013, No. 1, pp. 962-963, Jul. 2013.



박 동 현 (Dong-Hyun Park)

2011년 8월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 (공학사)
2013년 8월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2014년 10월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원
※관심분야 : 유도무기, 전자공학