

## 이중 센서를 이용한 유도탄 광축 정렬 연구

한석주<sup>\*1)</sup> · 고상훈<sup>2)</sup> · 윤경섭<sup>2)</sup> · 박동현<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제1기술연구본부

<sup>2)</sup> LIG넥스원(주) 유도무기1연구센터

### A Study on the Optical Axis Alignment of Missile using the Dual-Mode Sensor

Seokchoo Han<sup>\*1)</sup> · Sanghoon Koh<sup>2)</sup> · Kyungsub Yun<sup>2)</sup> · Donghyun Park<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>2)</sup> PGM Research and Development Lab, LIGNex1 Co., Ltd., Korea

(Received 11 November 2016 / Revised 20 February 2017 / Accepted 28 April 2017)

#### ABSTRACT

In this paper, the optical axis alignment(OAA) of an infrared sensor(IRS) using a microwave sensor(MWS) was presented as a method of an axis alignment to minimize the problems that could be caused by the misalignment of the two sensors in the missile including the dual-mode sensor. The azimuth(AZ) and elevation(EL) angles of the two targets used for each sensor test were calculated by using the transformation equation and the test results of the MWS and IRS, and then the proposed OAA was verified by comparing the angles. Furthermore, the validity of the proposed OAA was demonstrated by confirming the abnormality of the OAA through the test results of the electro optical head(EOH) of the IRS which was equipped with a tilt on the missile fuselage.

Key Words : Dual-Mode Sensor(이중 모드 센서), Optical Axis Alignment(광축 정렬), Missile(유도탄), Infrared Sensor(적외선 센서), Microwave Sensor(초고주파 센서)

#### 1. 서론

표적을 탐지 추적하는 센서(Sensor)의 역할은 정밀 타격을 위한 유도무기 개발에서 점점 더 중요해 지고 있다. 유도무기에 사용하는 초고주파(Microwave) 센서

는 장거리 탐지와 전천후 사용이라는 장점이 있지만, 표적에 대한 낮은 분해능과 ECM(Electronic Counter Measures)에 대한 취약성 때문에 정밀한 표적 포착과 추적을 위해서 IR(InfraRed, 적외선)을 이용하는 센서를 사용한다. 그러나 적외선 센서 또한 표적 포착 거리가 짧고 날씨에 따른 탐지/추적에 제약을 가지고 있어서 이러한 약점들을 보완하며 유도탄의 정밀유도와 탐지능력을 향상시키기 위해 초고주파 센서(MWS)와

<sup>\*</sup> Corresponding author, E-mail: joy7847@hanmail.net  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

적외선 센서(IRS)를 병행하여 사용하기도 한다.

센서의 주요 기능은 유도탄의 정확한 유도에 필요한 표적의 정보를 유도조종장치에 제공하는 것인데, 이를 위하여 유도탄과 센서 사이에 정밀한 축 정렬이 이루어져야 한다. 센서의 정렬 오차는 부정확한 표적 정보를 생성하게 되어 표적 명중에 치명적인 문제를 유발할 수 있으므로 이러한 오차를 줄이기 위한 축 정렬에 많은 노력을 기울여야 한다<sup>[1]</sup>.

특히 김발형 적외선 센서(Gimballed IRS)와는 달리 유도탄 동체에 부착하는 스트랩다운(Strapdown) 센서는 구조가 간단하고 가격이 저렴한 장점이 있지만, 유도탄의 운동에 직접적인 영향을 받기 때문에 EOH(Electro Optical Head, 영상획득부)를 유도탄 동체에 고정된 후에 광축 정렬 상태를 확인해야 한다<sup>[2]</sup>.

본 논문은 이중 센서가 장착된 유도탄에서 앞서 언급한 정렬 오차를 최소화하기 위한 정렬 확인 방안으로 초고주파 센서를 이용한 스트랩다운 적외선 센서의 광축 정렬 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 유도탄의 이중 모드 센서 점검

본 논문에서 제안하는 이중 센서를 이용한 유도탄 광축 정렬은 유도탄 점검 중 센서의 성능을 확인하기 위해 수행하고 있는 초고주파 센서와 적외선 센서의 점검 결과를 활용하는 것이다. 이는 기존 점검에 대한 결과를 사용함으로써 광축 정렬 확인을 위한 추가적인 점검이 필요 없게 되어 비용과 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

### 2.1 센서 점검 구성

유도탄에 장착되어 있는 센서의 성능은 무반향 챔버 안에 모의 표적을 만들어 이를 움직이면서 센서가 정확하게 모의 표적을 포착하고 추적하는 점검을 수행하여 확인한다.

Fig. 1은 센서의 점검을 위한 구성으로 무반향 챔버와 유도탄을 고정시키기 위한 유도탄 고정대가 있으며 초고주파 센서의 표적 모의를 위한 혼 안테나와 적외선 센서의 표적 모의를 위한 열원이 있다. 그리고 모의 표적을 좌우로 움직이기 위한 구동레일 및 레일 구동부로 되어 있으며 신호처리부를 통하여 점검을 수행한다.

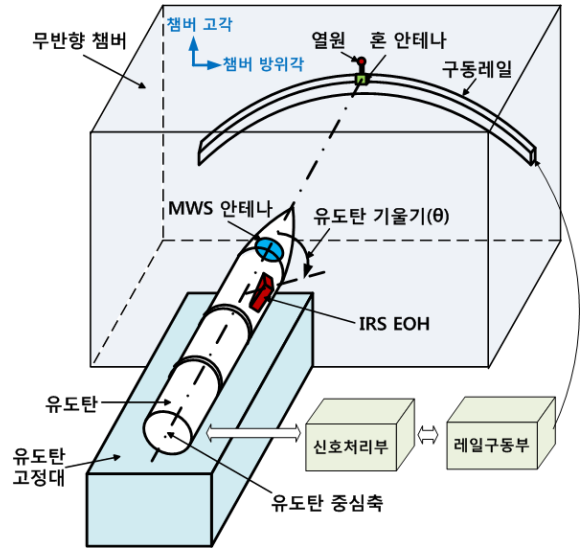


Fig. 1. Test configuration of sensor

### 2.2 초고주파 센서 점검

#### 2.2.1 점검 방법

Fig. 1과 같이 유도탄을 유도탄 고정대에 설치하고 유도탄 중심축을 기준으로  $\theta$ 도 기울여 무반향 챔버에 고정한다. 유도탄을  $\theta$ 도 기울여 설치함으로써 센서 축과 레일 축이 일치하지 않게 되어 센서의 두 축에 대한 움직임을 한 번에 확인할 수 있다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 초고주파 센서 안테나(김발)이 모의 표적인 혼 안테나의 좌우 움직임에 따라 센서 Z축과 Y축(검은 실선)을 기준으로 하는 2차원적 회전을 하며 모의 표적을 포착하고 추적하는 점검을 수행한다.

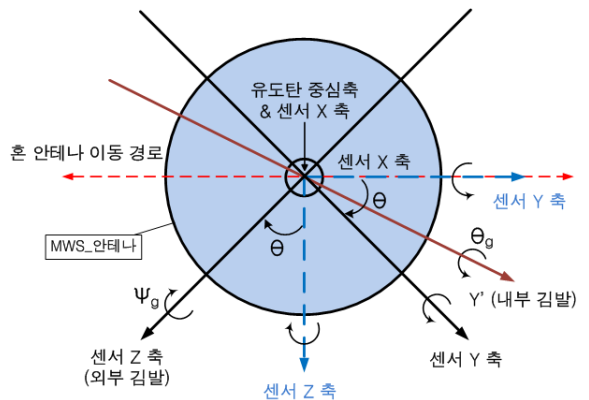


Fig. 2. Gimbal rotation of MW sensor(real view)

2.2.2 점검 결과

Fig. 3과 4는 초고주파 센서가 표적을 포착한 후 움직이는 표적을 추적한 결과를 보여준다.

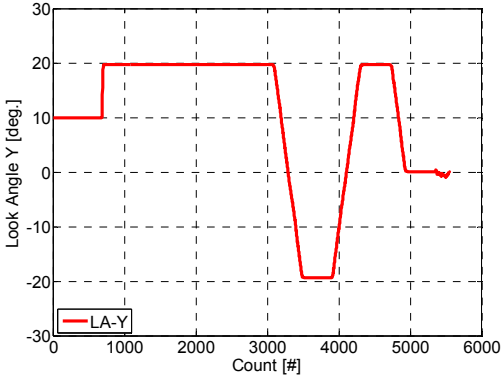


Fig. 3. Test result of MW sensor(LA\_Y)

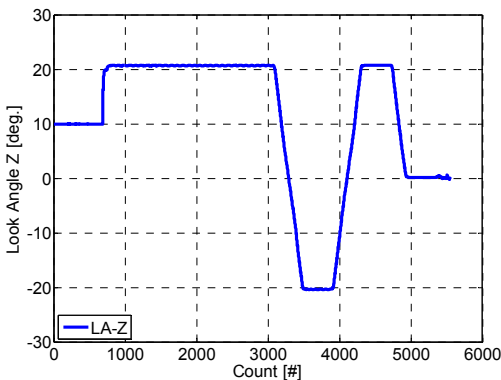


Fig. 4. Test result of MW sensor (LA\_Z)

여기서 Look Angle Y(LA\_Y)는 Fig. 2와 같이  $\theta$ 도 회전한 센서 좌표계에서 Y축 방향의 안테나 회전각( $\theta_g$ )을 의미하며 내부감발에 장착된 위치감지기의 전압을 각도로 환산한 값이고, Look Angle Z(LA\_Z)는  $\theta$ 도 회전한 센서 좌표계에서 Z축 방향의 안테나 회전각( $\psi_g$ )을 의미하며 외부감발에 장착된 위치감지기의 전압을 각도로 환산한 값이다.

2.3 적외선 센서 점검

2.3.1 점검 방법

유도탄을 유도탄 고정대에 설치하고  $\theta$ 도 기울여 무반향 챔버에 고정한다. 유도탄 동체 상단에 위치한 적외선 센서의 EOH는 고정된 FOV(Field Of View, 시계)

를 가지고 있으며, 유도탄이 회전을 하면 하단의 유도탄 중심축을 기준으로 FOV가 회전하게 된다.

유도탄을  $\theta$ 도 기울여 설치함으로써 Fig. 5와 같이 적외선 센서 FOV 상에서 모의 표적인 열원의 좌우 이동에 따라 적외선 센서의 방위각(IRS\_AZ)과 고각(IRS\_EL) 모두의 변화를 한 번에 확인할 수 있다.

기울어진 적외선 센서 좌표계(IRS\_AZ, IRS\_EL)에서 표적을 추적하여 표적의 위치를 LOS(Line of Sight, 시선)의 방위각(LOS\_AZ)과 고각(LOS\_EL)으로 나타낸다.

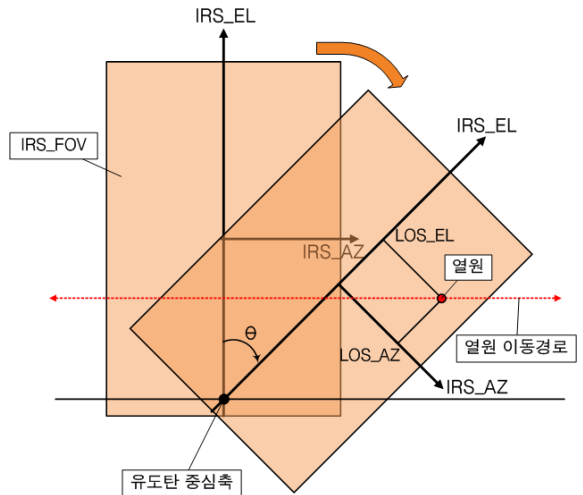


Fig. 5. FOV rotation of IR sensor

2.3.2 점검 결과

Fig. 6과 7은 적외선 센서가 표적을 포착한 후 움직이는 표적을 추적한 결과인 LOS\_AZ과 LOS\_EL을 보여준다.

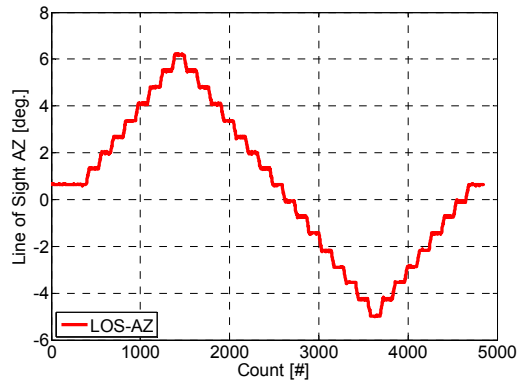


Fig. 6. Test result of IR sensor(LOS-AZ)

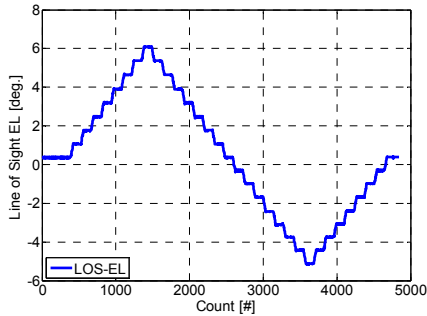


Fig. 7. Test result of IR sensor(LOS\_EL)

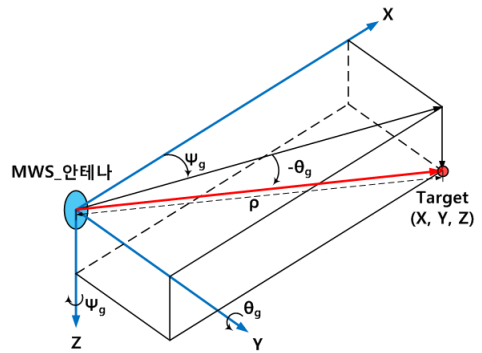


Fig. 8. MW sensor coordinate vs. gimbal angle

3. 이중 센서를 이용한 유도탄 광축 정렬

3.1 구성 및 방법

이중 센서를 이용한 유도탄 광축 정렬의 구성은 유도탄 센서 점검의 구성(Fig. 1)과 같다. 표적의 역할을 하는 혼 안테나와 열원은 혼 안테나 위에 열원이 설치되어 있는 구조로써 구동레일 위에서 동시에 좌우로 움직이기 때문에 각 센서 점검 시 이동하는 혼 안테나와 열원의 방위각은 동일하고 고각은 각각 일정한 값을 가지게 된다.

이러한 모의 표적의 구조에 대하여 각각의 변환식을 사용하여 초고주파 센서의 점검에 사용된 표적의 방위각(AZ<sub>MWS</sub>)과 고각(EL<sub>MWS</sub>)을 계산하고, 동일하게 적외선 센서 점검에 사용된 표적의 방위각(AZ<sub>IRS</sub>)과 고각(EL<sub>IRS</sub>)을 계산한 후에 두 표적의 위치를 비교하고 그 차이 값이 오차 범위 내에 있는지 확인하여 정렬 여부를 판단한다.

3.2 초고주파 센서 변환식

LA<sub>Y</sub>와 LA<sub>Z</sub>로부터 표적의 궤적을 계산하기 위해서는 먼저 Fig. 8에서 짐발 각도  $\theta_g$ 와  $\psi_g$ 의 값을 사용하여 수식 (1)과 (2), 그리고 (3)과 같이 초고주파 센서 좌표계 X축과 Y축, 그리고 Z축의 값으로 변환해야 한다.  $\rho$ 가 초고주파 센서의 안테나로부터 표적까지의 거리라고 한다면,

$$X = \rho \times \cos\theta_g \times \cos\psi_g \tag{1}$$

$$Y = \rho \times \cos\theta_g \times \sin\psi_g \tag{2}$$

$$Z = -\rho \times \sin\theta_g \tag{3}$$

또한 초고주파 센서 안테나(짐발)이 유도탄의 중심축을 기준으로  $\theta$ 도 기울여 유도탄 고정대에 설치되어 있으므로, Fig. 9와 같이 안테나의 회전에 대해 센서 좌표계의 값 Y'와 Z'를 수식 (4)와 (5)의 계산식에 사용하여 Y'와 Z'로 변환한다. X' = X 이면,

$$Y' = \cos\theta \times Y - \sin\theta \times Z \tag{4}$$

$$Z' = \sin\theta \times Y + \cos\theta \times Z \tag{5}$$

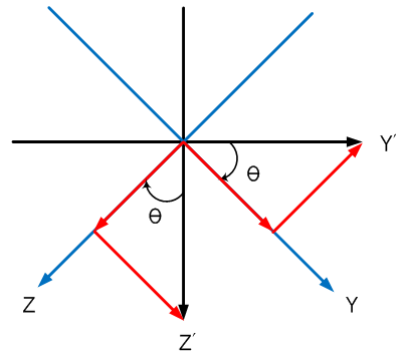


Fig. 9. Transformation of gimbal rotation

마지막으로 변환된 Y'와 Z'를 수식 (6)과 (7)에 사용하여 표적의 위치인  $\theta_t$ 와  $\psi_t$ 를 계산한다.

$$\theta_t = \tan^{-1}\left(\frac{-Z'}{\sqrt{X'^2 + Y'^2}}\right) \tag{6}$$

$$\psi_t = \tan^{-1}\left(\frac{Y'}{X'}\right) \tag{7}$$

Fig. 10과 11은 초고주파 센서 점검 결과에 대해 변환식을 사용하여 계산한 표적의 방위각(AZ<sub>MWS</sub>)과 고각(EL<sub>MWS</sub>)을 보여준다. 방위각의 경우 +14도 → +28도 → -28도 → +28도 → 0도로 움직이는 표적을 잘 보여주고 있으며, 고각의 경우도 0도를 유지하며 이동하고 있음을 볼 수 있다. Fig. 11에서 약간씩 튀는 부분은 김발이 이동하는 구간에서 진동하고 있음을 보여준다. 이 결과를 통하여 적용한 초고주파 센서의 변환식이 바르게 동작하고 있음을 알 수 있다.

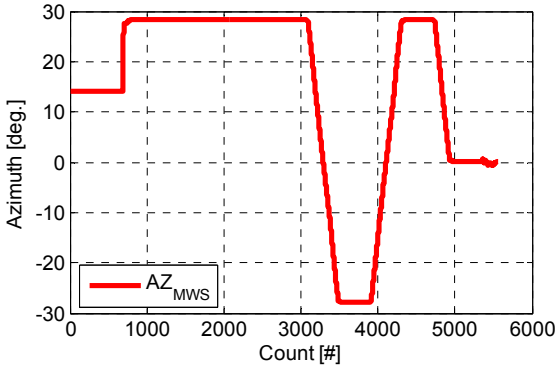


Fig. 10. Azimuth of target(AZ<sub>MWS</sub>)

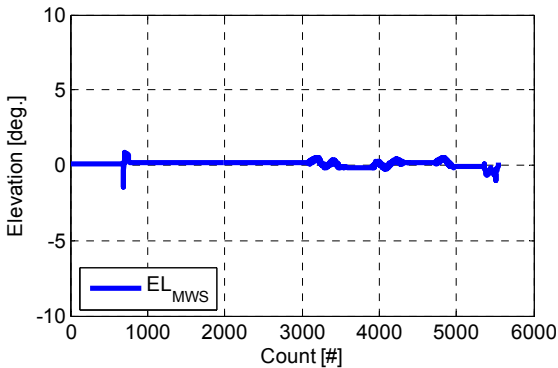


Fig. 11. Elevation of target (EL<sub>MWS</sub>)

### 3.3 적외선 센서 변환식

적외선 센서의 변환식을 구하기 위해 챔버의 방위각(C<sub>AZ</sub>)과 고각(C<sub>EL</sub>)을 기준으로 하여 유도탄 회전 에 따른 FOV의 변화에 대한 기하학적 관계를 계산하였다. 적외선 센서의 FOV 이동과 함께 적외선 센서 좌표계 또한 Fig. 12와 같이 이동을 하게 됨으로 수식 (8)과 (9)와 같은 좌표 원점의 위치 변화가 필요하며, 이동한 원점을 사용하여 표적의 위치를 계산한다.

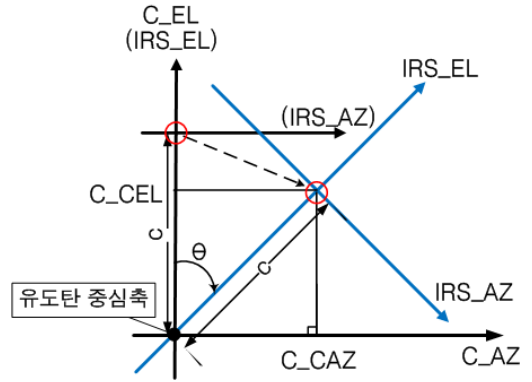


Fig. 12. Transformation of coordinate origin

$$\sin\theta = \frac{C\_CAZ}{c} \Rightarrow C\_CAZ = \sin\theta \times c \quad (8)$$

$$\cos\theta = \frac{C\_CEL}{c} \Rightarrow C\_CEL = \cos\theta \times c \quad (9)$$

Fig. 12에서 ‘c’가 혼 안테나와 적외선 센서 좌표계 원점과의 거리라면, C<sub>CAZ</sub>은 챔버 좌표계(C<sub>AZ</sub>, C<sub>EL</sub>) 상에서 회전(θ)한 센서 좌표계 원점의 방위각 위치를, C<sub>CEL</sub>은 고각 위치를 나타낸다.

Fig. 13은 적외선 센서 점검을 통하여 얻은 적외선 센서 좌표계(IRS<sub>AZ</sub>, IRS<sub>EL</sub>)에서의 열원의 위치(LOSAZ, LOSEL)와 챔버 좌표계(C<sub>AZ</sub>, C<sub>EL</sub>)에서의 열원의 위치(CAZ, CEL)에 대한 기하학적 관계를 보여주고 있다. 이러한 기하학적 관계에 대한 계산을 통하여 수식 (10)과 (11)을 얻을 수 있다.

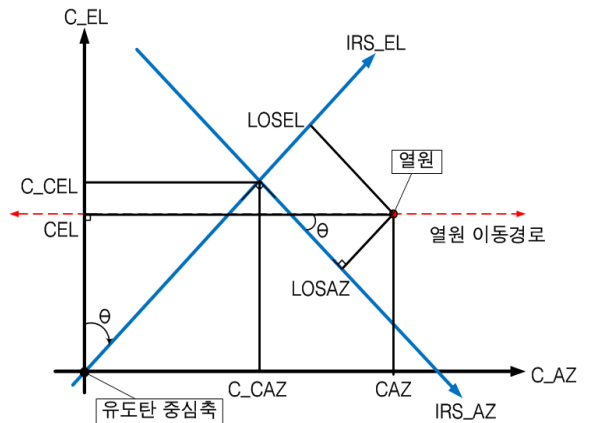


Fig. 13. Coordinate transformation of target position

$$CAZ = C\_CAZ + \cos\theta \times LOSAZ + \sin\theta \times LOSEL \quad (10)$$

$$CEL = C\_CEL - \sin\theta \times LOSAZ + \cos\theta \times LOSEL \quad (11)$$

Fig. 14와 15는 적외선 센서 점검 결과에 대해 위의 변환식을 사용하여 계산한 표적의 방위각( $AZ_{IRS}$ )과 고각( $EL_{IRS}$ )을 보여준다.

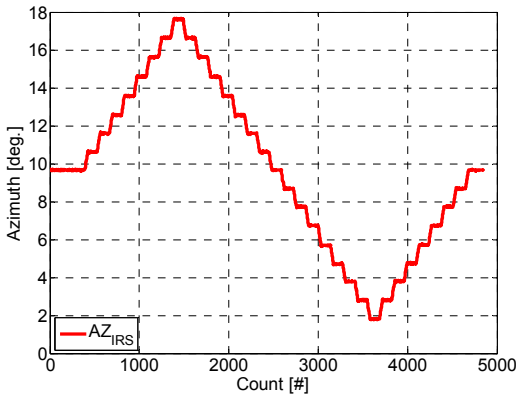


Fig. 14. Azimuth of target( $AZ_{IRS}$ )

방위각의 경우 +9.5도 → +17.5도 → +1.5도 → +9.5도로 1도씩 움직이는 표적을 잘 보여주고 있으며, 고각의 경우도 8.8도를 일정하게 유지하며 이동하고 있음을 볼 수 있다. 이를 통하여 계산한 적외선 센서의 변환식이 정확하게 동작함을 알 수 있다.

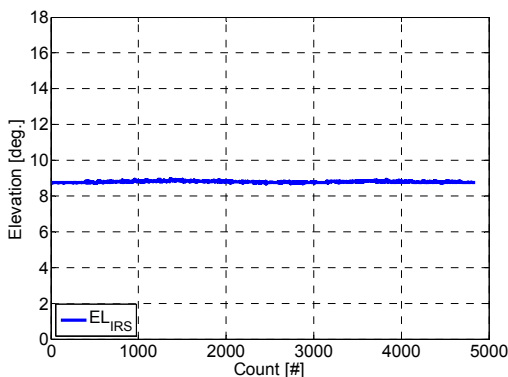


Fig. 15. Elevation of target( $EL_{IRS}$ )

### 3.4 이중 센서를 이용한 유도탄 광축 정렬 검증

본 논문에서 제안하는 적외선 센서의 광축 정렬을 검증하기 위해 초고주파 센서와 적외선 센서 점검 결

과를 각각의 변환식에 적용하여 초고주파 센서에 대한 표적의 위치( $AZ_{MWS}$ ,  $EL_{MWS}$ )와 적외선 센서에 대한 표적의 위치( $AZ_{IRS}$ ,  $EL_{IRS}$ )를 계산하고, 두 표적의 방위각과 고각에 대한 차이를 Fig. 16과 17에 나타내었다.

여기서 변환식에 적용된 초고주파 센서의 점검 결과는 적외선 센서의 고정된 FOV를 반영하여 방위각 +17.5도 → +1.5도 사이에서 1도씩 이동하는 표적으로 제한하였으며, 초고주파 센서 김발의 정확도를 ±0.5도로 가정한 후 광축 정렬 방법을 검증하였다.

방위각의 경우 Fig. 16에서 보는 바와 같이 초고주파 센서 김발의 오차 범위(점선) 내에 방위각 차이가 존재함을 알 수 있다.

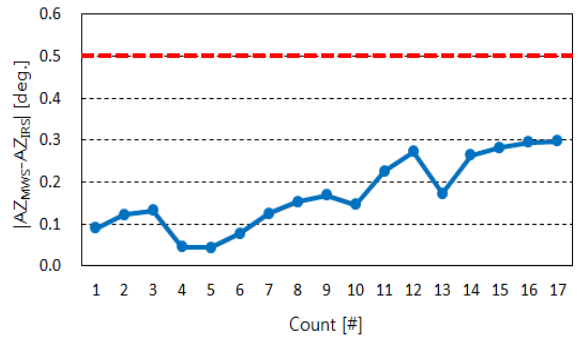


Fig. 16. Difference of azimuth( $|AZ_{MWS} - AZ_{IRS}|$ )

고각 또한 Fig. 17과 같이 초고주파 센서와 적외선 센서 고각의 차이에 대한 최대값(8.880도)과 최소값(8.384도)의 차이가 0.496도로 0.5도의 오차 범위 내에 있음을 볼 수 있다. 그러므로 방위각과 고각 차이의 결과를 통하여 이 유도탄에 적용된 적외선 센서의 광축 정렬이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

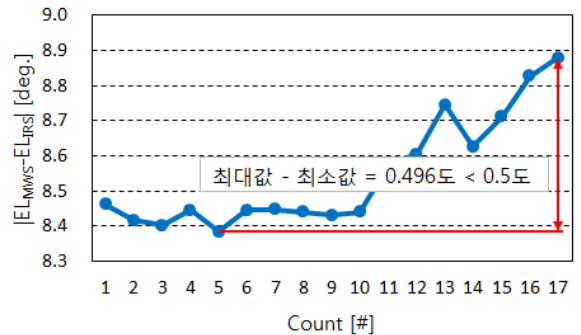


Fig. 17. Difference of elevation( $|EL_{MWS} - EL_{IRS}|$ )

3.5 유효성 확인

이중 센서를 이용한 광축 정렬의 유효성을 확인하기 위해 Fig. 18과 같이 적외선 센서의 EOH를 유도탄 동체에 장착할 때 임의적으로 앞, 뒤, 옆을 약간 기울게 조립한 후에 초고주파와 적외선 센서 점검을 수행하고 그 결과를 통하여 광축 정렬 상태를 확인하였다.

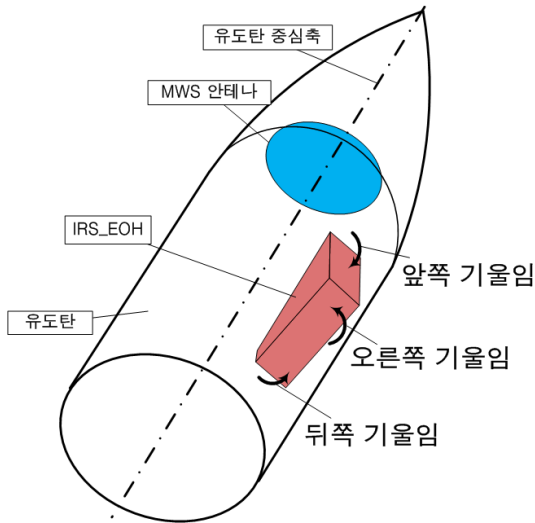


Fig. 18. Abnormal assembly of EOH

Fig. 19와 20, 그리고 21에서 두 센서 점검에 사용된 표적의 방위각 차이를 비교하였다. 결과에서 보는 바와 같이 오른쪽 기울임과 앞쪽 기울임에서는 차이 값이 0.5도(점선)의 오차 범위 내에 있음을 볼 수 있지만, 뒤쪽 기울임에서는 오차 범위를 상당히 벗어나고 있음을 알 수 있다.

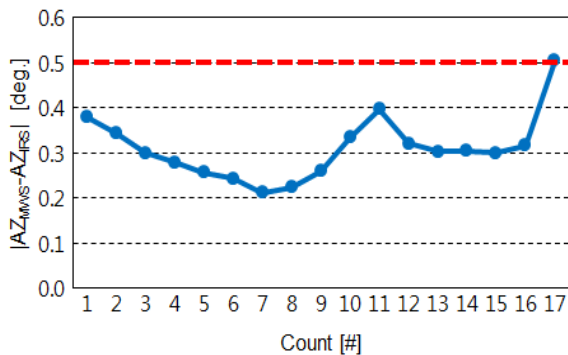


Fig. 19. Difference of azimuth (tilt the right)

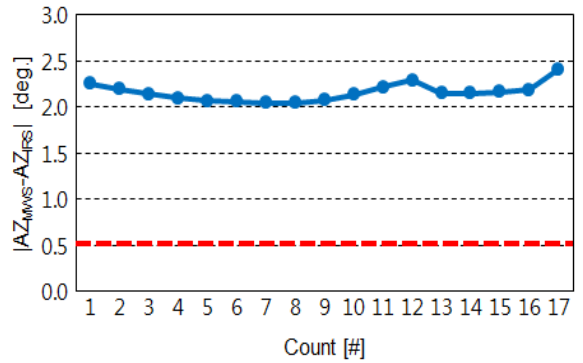


Fig. 20. Difference of azimuth (tilt the back)

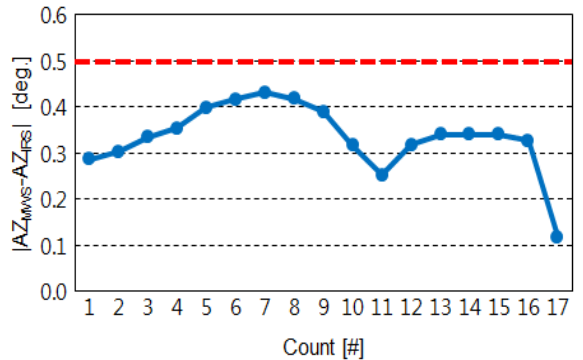


Fig. 21. Difference of azimuth (tilt the front)

Fig. 22와 23, 그리고 24에서는 고각의 차이를 비교하였다. 결과에서 보는 바와 같이 뒤쪽 기울임을 제외한 오른쪽 기울임과 앞쪽 기울임이 0.5도의 오차 범위를 벗어나고 있다.

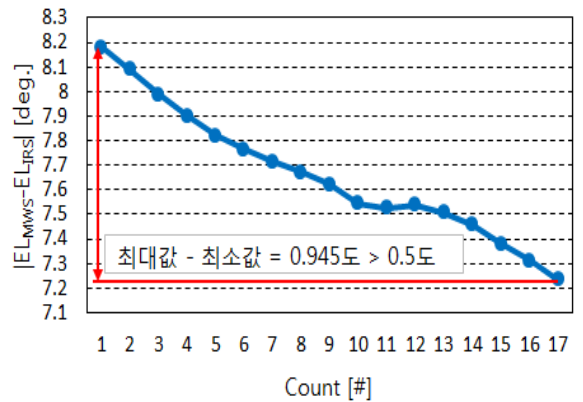


Fig. 22. Difference of elevation (tilt the right)

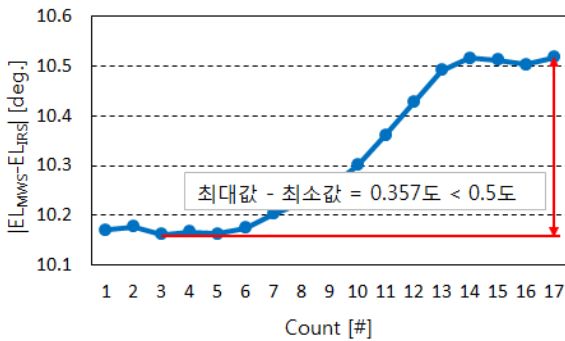


Fig. 23. Difference of elevation(tilt the back)

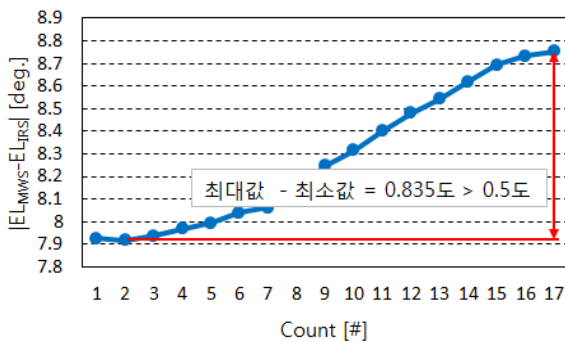


Fig. 24. Difference of elevation(tilt the front)

Table 1. Overall results of the difference

구분 \ EOH	오른쪽 기울임	뒤쪽 기울임	앞쪽 기울임	정상 장착
방위각 차이 (평균)	0.311도	<b>2.159도</b>	0.335도	0.172도
고각 차이 (최대값-최소값)	<b>0.945도</b>	0.357도	<b>0.835도</b>	0.496도
광축 정렬 상태	<b>비정상</b>	<b>비정상</b>	<b>비정상</b>	정상

결과를 종합한 Table 1에서 보는 바와 같이 적외선 센서 EOH의 오른쪽과 앞쪽을 약간 기울게 장착하고 시험한 경우에는 고각 차이가 오차 범위인 0.5도를 넘고 있으며, 뒤쪽 기울임의 경우에는 방위각 차이가 오

차 범위를 넘고 있음을 알 수 있다. 이를 통하여 비정상적으로 EOH가 장착된 경우는 광축 정렬이 잘 이루어지지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 이로써 본 논문에서 제시한 이중 센서를 이용한 유도탄 광축 정렬에 대해 유효성이 있다고 판단할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 이중 센서가 장착된 유도탄에서 두 센서의 정렬 오차로 인해 발생할 수 있는 문제를 최소화하기 위한 축 정렬 확인 방안으로 초고주파 센서를 이용한 적외선 센서의 광축 정렬에 대해 기술하였다.

초고주파 센서와 적외선 센서의 점검 결과와 변환식을 사용하여 각각의 점검에 사용된 두 표적의 방위각과 고각을 계산하고 그 값을 비교하여 제시한 광축 정렬의 방안을 검증하였고, 또한 적외선 센서의 EOH를 유도탄 동체에 임의적으로 기술여 장착하고 그 점검 결과를 통하여 광축 정렬이 비정상임을 확인함으로써 광축 정렬의 유효성을 입증하였다.

본 연구는 초고주파 센서와 적외선 센서의 점검을 위해 사용하고 있는 점검 장비를 활용함으로써 광축 정렬 확인을 위한 다른 장비가 필요 없으므로 이에 따르는 비용을 절감할 수 있으며, 또한 수치적 계산을 통하여 적외선 센서의 광축 정렬 확인에 필요한 시간을 단축할 수 있는 방안으로 이중 센서를 사용하는 유도무기에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

#### References

- [1] Jung, Y., "A Study on the Alignment of Aiming Sight Unit for Infrared Homing Missile," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 7, No. 3, pp. 30-37, 2004.
- [2] Oh, S., "Terminal Homing Guidance of Tactical Missiles with Strapdown Seekers Based on an Unscented Kalman Filter," Journal of the KSAS, Vol. 38, No. 3, pp. 221-227, 2010.