

# 우주발사체 추적시스템 정밀도 향상을 위한 온도 보상 방법

김현서\*<sup>1</sup>, 오달석\*<sup>2</sup>, 이희진\*\*

## Temperature Compensation Methods for Enhancing the Accuracy of Spacecraft Tracking Systems

Hyeon-Seo Kim\*<sup>1</sup>, Dal-Suk Oh\*<sup>2</sup>, and Hee-Jin Lee\*\*

본 연구는 국방기술진흥연구소에서 지원하는 방산특화개발연구소 구축 및 운영 (No.DC2023SD)사업의 연구수행으로 인한 결과물임

### 요약

본 연구는 각국의 인공위성 발사 증가로 인한 우주 물체의 충돌 위험성과 잔해물 관리의 필요성이 대두됨에 따라, 우주발사체 추적제어시스템의 정밀도를 향상시키기 위한 온도 보상 기술의 적용 가능성을 탐구하였다. 이를 위해, 온도 변화에 따른 기계적 변형을 실시간으로 측정하고 보상 값을 추적제어시스템에 반영하는 기술을 제안한다. 이 연구는 특히 광학 망원경과 같은 정밀 장비에서 온도 변화로 인해 발생할 수 있는 천정각의 오차를 보상하여, 목표물의 정확한 추적을 가능하게 하는 데 중점을 두고 있다. 온도 보상 기술을 통해 시스템의 안정성을 높이고, 다양한 환경 조건에서도 일관된 성능을 유지할 수 있도록 하는 것이 목표이며 결과적으로, 본 연구는 군사 작전 및 우주 감시 능력을 강화하는 데 기여할 것으로 기대될 뿐만 아니라 기술적 자립을 통해 국가 안보를 증진하고, 우주 산업의 발전에도 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

### Abstract

This study explores the possibility of applying temperature compensation technology to improve the precision of space launch vehicle tracking systems, as the risk of collisions with space objects and the need for debris management are increasing due to the increase in satellite launches in each country. To this end, we propose a technology that measures mechanical deformation due to temperature change in real time and reflects the compensation value to the tracking control system. This study focuses on compensating for the error of zenith angle that may occur due to temperature change in precision equipment such as optical telescopes, thereby enabling accurate target tracking. The goal is to improve the stability of the system through temperature compensation technology and maintain consistent performance under various environmental conditions. As a result, this study is expected to contribute to strengthening military operations and space surveillance capabilities, as well as promoting national security through technological independence and having a positive effect on the development of the space industry.

### Keywords

enhance the accuracy, optical telescope, spacecraft tracking, space industry, temperature compensation

\* 위드엘릭스

- ORCID<sup>1</sup>: <https://orcid.org/0009-0003-4347-3481>

- ORCID<sup>2</sup>: <https://orcid.org/0009-0004-4994-793X>

\*\* 국립금오공과대학교 전자공학부 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1306-8771>

• Received: Nov. 13, 2024, Revised: Dec. 11, 2024, Accepted: Dec. 14, 2024

• Corresponding Author: Hee-Jin Lee

Dept. of Electronic and Electrical Engineering of Kumoh National

Institute of Technology, 61 Daehak-ro, Gumi-si, Gyeongbuk, Korea

Tel.: +82-54-478-7437, Email: jinlee@kumoh.ac.kr

### 1. 서 론

최근 각국이 우주 영토 선점을 위해 인공위성을 기하급수적으로 발사함에 따라, 이로 인한 충돌 사고나 잔해물 추락과 같은 위험성이 증가하고 있다 [1]. 이러한 상황에서 위성들을 정밀하게 추적하고 관리하는 기술의 필요성이 더욱 강조되고 있다[2]. 현대 사회에서 인공위성은 통신, 기상 관측, 군사 정찰 등 다양한 분야에서 핵심적인 역할을 수행하고 있으며, 이로 인해 우주물체의 안정적인 운영과 관리가 국가 안보 및 경제적 이익에 직결되는 상황이다[3].

아래의 표 1은 국가별 우주 감시 기술 수준 비교 결과를 보여주고 있다[4]. 우리나라의 우주 감시 기술 중에서도 광학, 레이더, 레이저 기술이 다른 국가들에 비해 미흡한 점이 있음을 확인할 수 있다. 특히, 이러한 기술적 차이는 국가의 우주 안보 및 경제적 이익에도 심각한 영향을 미칠 수 있으며 우주발사체 추적제어시스템의 정밀도 향상은 단순한 기술적 요구 사항을 넘어 국가의 안전과 직결된 필수 요소로 자리 잡고 있다. 따라서 온도 보상 기술을 활용한 정밀 추적제어시스템 개발이 더욱 필요하다[5].

표 1. 국가별 우주감시기술수준 비교표  
Table 1. Comparison of space surveillance technology levels by country

	United state	Russia	Europe	South Korea
Optics	Excellent	Excellent	Excellent	Insufficient
Radar	Excellent	-	Excellent	Insufficient
Interference observer	Excellent	-	-	-
Satellite relay	Excellent	-	-	-
Laser	Excellent	Excellent	Excellent	Insufficient

온도 보상 기술은 환경 온도의 변화에 따라 발생하는 기계적 변형을 실시간으로 측정하고 이를 추적제어시스템에 반영하는 기술이다. 온도 변화는 기계적 프레임의 길이 및 각도를 변형시켜 측정에 직접적인 영향을 주어 시스템의 정확성을 저하시킬

수 있다. 예를 들어, 광학 망원경이나 추적시스템은 온도가 상승함에 따라 기구 프레임이 팽창하고, 이는 천정각의 오차를 유발하여 목표물의 정확한 추적을 방해할 수 있다. 따라서 온도 보상 기술은 이러한 변형을 사전에 측정하고 추적제어시스템을 통해 보정함으로써 시스템의 정밀도를 유지하는 데 필수적인 역할을 한다.

본 연구의 목적은 온도 보상 기술을 추적제어시스템에 적용하여 최종적으로 우주발사체 추적시스템의 정밀도를 향상시키는 것이다. 이를 통해 시스템이 다양한 환경 및 온도 조건에서도 안정적이고 정확하게 작동할 수 있도록 하고자 한다.

이러한 연구의 중요성은 여러 측면에서 나타난다. 첫째, 본 연구는 군사 작전 및 계획 운용에 중대한 영향을 미칠 것으로 기대된다. 현대 전쟁에서 정보의 우위는 승패를 가르는 결정적인 요소로 작용하며, 우주물체의 정확한 추적은 군사 작전의 성공 가능성을 높인다. 온도 보상 기술을 통해 정밀도를 향상시키는 것은 우리 군의 독자적인 우주 감시 및 정찰 능력을 강화하고, 해외 의존에서 벗어나 독립적인 우주 작전 수행 능력을 확보하는 데 기여할 것이다. 둘째, 기술적인 측면에서도 본 연구는 중요한 효과를 기대할 수 있다. 전 세계적으로 우주항공 분야 사업이 확대됨에 따라, 위성의 관측과 예상 위치 및 궤적 분석을 통한 능동적인 대처가 필수적으로 요구된다. 결론적으로, 본 연구는 온도 보상 기술을 활용하여 우주발사체 추적시스템의 정밀도를 향상시키고, 이를 통해 안전하고 효율적인 우주물체 관리 시스템을 구축하는 데 기여하고자 한다. 이러한 기술적 발전은 국가의 안전과 미래 산업의 발전을 동시에 도모하는 중요한 기반이 될 것으로 확신한다.

### II. 국내 외 우주 감시 기술 및 인공위성 동향

#### 2.1 국내 외 우주 감시 기술

우주 감시 기술은 인공위성과 우주 물체의 위치, 상태, 궤적을 지속적으로 모니터링하고, 이를 바탕으로 충돌 위험 등을 분석하는 기술이다.

세계적으로 우주 감시 기술은 급속히 발전하고 있으며, 각국은 자국의 우주 자산을 보호하기 위해 다양한 시스템을 구축하고 있다.

그림 1을 보면 미국, 유럽 등에서 많은 인공위성을 발사하는 것을 확인할 수 있으며 이를 추적 감시 및 관리하기 위해 고도화된 우주 감시 시스템을 운영하고 있다[6]. 미국의 경우, 민간 및 군사 부문에서의 협력을 통해 우주 물체의 실시간 추적과 데이터 분석을 수행하며, 이를 통해 인공위성의 안전을 확보하고 있다[7]. 또한, 첨단 기술을 적용한 우주 감시 시스템을 통해 위성 간의 충돌 가능성을 사전에 예방하고, 우주 환경을 지속적으로 모니터링하고 있다.

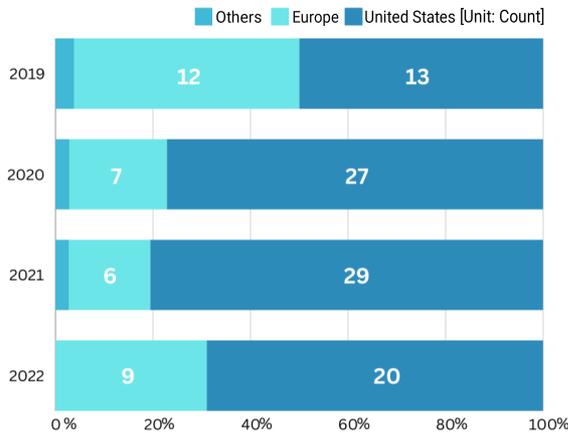


그림 1. 국가별 세계 상업용 위성 발사 수  
Fig. 1. Global commercial satellite launch by country

러시아와 유럽연합 역시 자국의 우주 자산 보호를 위해 다양한 우주 감시 프로그램을 운영하고 있으며, 국제 협력을 통해 기술 발전을 도모하고 있다. 이러한 국가들은 인공위성의 궤적 예측 및 충돌 회피를 위한 체계적인 시스템을 갖추고 있어, 우주 물체 간의 안전한 거리 유지를 위한 노력을 기울이고 있다.

우리나라는 표 2에서 우주 감시 기술 1단계에 해당되는 기초 연구가 한국천문연구원을 통해 진행 중이며, 광학관측과 레이저 장비를 활용한 우주 감시 시스템의 구축이 선행되어 통합 우주감시 체계를 위한 발판이 마련되고 있다[8]. 본 연구에서 제안하는 우주발사체 추적시스템 성능 향상기술은 우주 감시 기술 1단계에 해당한다.

표 2. 기술 단계별 우주 감시 기술

Table 2. Space surveillance technology by development stage

Stage	Monitoring means	Principle	Monitoring range
Space monitoring technology level 1	Optical system	Observing satellite trajectories to derive orbital elements	Unlimited
	Laser system	Measuring distance to the satellite by emitting lasers	Altitude of 20,000 km
Space monitoring technology level 2	Radar system	Measuring distance by emitting radio waves	Altitude of 1,500 km
Space monitoring technology level 3	Space-based system	Utilizing optical detectors mounted on satellites	Depends on optical detectors

## 2.2 국내 외 인공위성 수

UCS-Satellite-Database 2023의 데이터를 분석한 결과 표 3과 같이 결과가 나왔으며 전 세계적으로 약 7,500개의 수많은 인공위성이 운영되고 있는 것으로 나타났다[9]. 반면 우리나라는 상대적으로 적은 21개의 인공위성을 보유중이다. 이러한 상황에서 우리나라는 국외의 우주 감시 기술 의존도가 높을 수밖에 없으며, 의존도를 낮추기 위해 각종 연구가 현재 진행되고 있다. 본 논문에서 제안하는 온도 보상기술을 적용한 우주발사체 추적시스템 성능 향상 기술 역시 육상에서 우주를 감시하는 기술을 개발함으로써 국외의 우주 감시 기술 의존도를 낮추고자 하는 노력의 일환이다.

표 3. 국가별 인공위성 수

Table 3. Number of satellites

country	Number of satellites
USA	5,184
United Kingdom	655
China	623
Russia	182
South Korea	21
Others	801
Total	7561

### III. 우주발사체 추적시스템

#### 3.1 천정각

천정각 제어는 우주 발사체의 위치를 정밀하게 추적하기 위해 필수적인 요소로, 목표물의 정확한 위치를 유지하는 데 기여한다. 특히, 우주 감시 및 추적시스템에서 천정각 제어는 광학 망원경의 시야를 조정하는 데 사용되며, 이 각도의 정확한 조정 없이는 목표물의 위치를 올바르게 추적할 수 없다. 천정각이 조금 뒤틀리면, 광학 장비가 목표물을 놓치거나 잘못된 데이터를 제공할 수 있어, 이는 군사 작전이나 과학 연구에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 외부 요인으로 인한 천정각의 뒤틀림을 보상하는 기술은 우주 발사체와 같은 고속 이동 물체의 정확한 위치를 지속적으로 추적하기 위해 필수적이다[10]. 그림 2는 천정각의 개념을 나타낸다. 천정각(Elevation angle)은 광학망원경(Optical telescope)에서 목표물인 우주발사체(Spacecraft)로 발사한 레이저(Laser)와 지면(Ground)사이의 각도를 뜻한다[11][12].

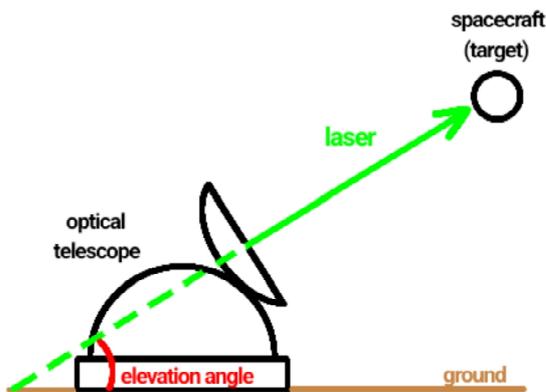


그림 2. 우주발사체 추적시스템 구조물 및 천정각  
Fig. 2. Spacecraft tracking system and elevation angle

#### 3.2 온도 보상 기술

온도 보상 기술은 특정 시스템이나 기계가 환경 온도의 변화에 따른 성능 저하를 방지하기 위해 설계된 기술적 접근 방법이다[13]. 이 기술은 기계적 구조물이나 전자 장비가 온도 변화에 길이나 각도가 반응하는 특성을 이용하여, 성능의 일관성을 유

지하는 데 중점을 둔다. 온도 보상 기술은 두 가지 주요 측면에서 접근된다.

첫째, 물리적 변형의 감지 및 보정이다. 이 단계에서는 온도 변화에 따라 발생하는 기계적 변형 즉 프레임 길이의 수축, 팽창에 따라 변경되는 각도에 대한 데이터를 측정하고 수집한다.

따라서 그림 3과 같이 온도 감지 센서를 각 프레임에 부착하여 외부 온도를 지속해서 사용자에게 전송하게 되어있다. 이렇게 측정된 데이터를 활용한 보상 알고리즘을 사용하면 보정이 가능하다. 이 접근법은 수집된 온도 데이터와 기계적 변형 데이터를 분석하여 상관관계를 파악하고 이를 기반으로 최적의 보정 방법을 제안할 수 있다. 이를 통해 시스템의 안정성을 더욱 높일 수 있다.

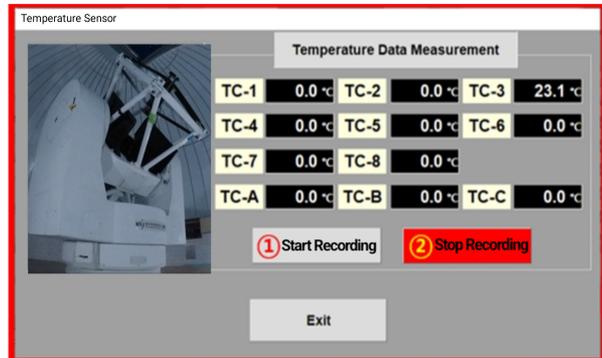


그림 3. 각 프레임 별 온도 데이터 측정  
Fig. 3. Temperature data measurement for each frame

둘째, 추적제어시스템에 반영 단계이다. 이는 물리적 변형의 감지 및 보정한 값을 실제 시스템에 적용한다. 실시간으로 측정된 온도 데이터를 바탕으로 자동으로 보정하는 기능을 포함한다. 예를 들어, 주변 온도에 따라 천정각의 변경 정도를 데이터화하여 보정을 한 뒤 추적제어시스템에 적용하면 시스템의 신뢰성을 높일 수 있다. 또한, 다양한 환경 조건에서의 실시간 대응 능력을 향상시켜, 시스템이 보다 효율적으로 작동하도록 한다.

#### 3.3 온도 변화가 미치는 영향

온도 변화는 기계적 시스템에 중대한 영향을 미치며, 특히 정밀한 우주 발사체 추적시스템에서는 이러한 변화가 매우 중요하다.

환경 온도가 상승하거나 하강하면, 기계적 구조물은 물리적 특성을 변화시켜 팽창하거나 수축하게 된다. 금속과 같은 재료는 열팽창을 경험하게 된다 [14]. 이는 온도 변화에 따라 물체의 길이, 부피 및 형태가 변하는 현상을 의미한다. 이러한 변형은 다음과 같은 선팽창 식 및 부피팽창 식을 통해 설명될 수 있다[15].

$$\Delta L = \alpha \times L_0 \times \Delta T \quad (1)$$

$$\Delta V = 3\alpha \times V_0 \times \Delta T \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에  $\alpha$ 는 물질의 선팽창 계수로써 이는 온도에 따른 물체의 길이 변화량 값을 나타낸 것이며  $\Delta L$ ,  $L_0$ 는 각각 물체의 길이 변화량, 초기 길이를  $\Delta V$ ,  $V_0$ 는 물질의 부피변화량, 초기 부피를 뜻한다. 특정 물질의 길이와 부피는 접촉온도인  $T$ 가 기준 온도  $20^\circ\text{C}$ 와의 차이인  $\Delta T$ 에 따라 일정 비율로 증가하거나 감소한다. 이러한 변형은 특히 천정각을 제어하는 데 필요한 수치들을 변화시킨다. 이에 따라, 천정각 제어에 영향을 미쳐 잘못된 목표 각도 값을 출력하게 되고, 각도가 잘못 설정되면 추적 정확성이 크게 저하될 수 있다. 결론적으로 온도 변화는 기계적 변형을 초래하며 이는 천정각이 뒤틀려 중대한 영향을 끼치게 되어 정확한 보정이 이루어지지 않으면 목표물의 위치를 잘못 판단하게 되어 시스템의 신뢰성과 안전성을 저하시킬 수 있다. 따라서 온도 보상 기술은 이러한 기계적 변형을 관리하고, 우주발사체 추적시스템의 성능을 극대화하는 데 필요하다.

#### IV. 온도 보상을 적용한 우주발사체 추적제어시스템

##### 4.1 우주발사체 추적시스템의 구성 요소 및 동작 원리

온도 보상 시스템은 그림 4와 같은 주요 구성 요소로 이루어진다. 프레임, 프레임의 온도를 측정하는 접촉 온도 센서, 대기의 온도를 측정해주는 대기 온

도 센서, 온도 데이터를 전송해주는 전송선, 온도 센서의 데이터를 받아주고 거기에 맞는 제어 컨트롤을 보내는 I/O CONTROL, 온도 데이터를 저장해주는 DAQ(Data Acquisition System), OTA(Operational Transconductance Amplifier)로 이루어져있다.

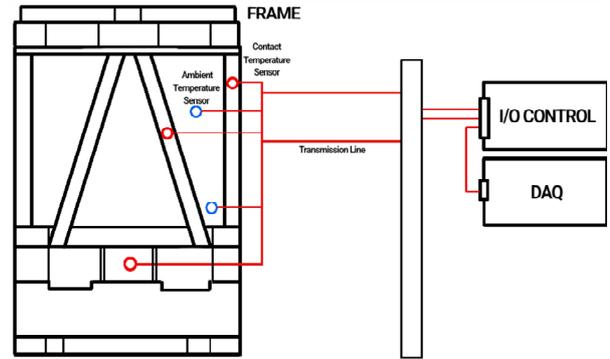


그림 4. OTA 전원 결선도  
Fig. 4. OTA power wiring diagram

시스템의 동작원리는 먼저 접촉 및 대기 온도 센서를 통해 각 구성부의 실시간 온도 상태를 정확히 파악할 수 있게 되어있다. 또한 외부에 설치된 카메라를 통해 휘어짐 정도를 측정한다. 이렇게 수집된 데이터는 전송선을 통해 데이터 수집 및 처리 시스템으로 전송되어 추적제어시스템으로 제어신호를 보낼 수 있도록 데이터를 처리한다.

처리된 보상 값은 그림 5와 같은 6축 모션 제어기에 입력하여 천정각의 뒤틀림을 보정할 수 있다. 6축 모션 제어 모터는 X, Y, Z 축의 이동뿐만 아니라 회전 Rx, Ry, Rz 도 가능하여 다양한 방향으로 정밀하게 조정할 수 있다.

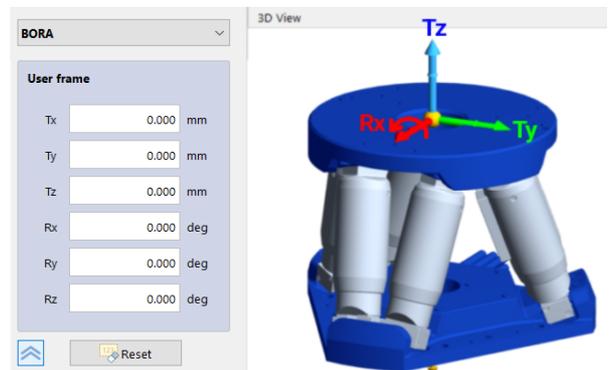


그림 5. 6축 모션 제어 모터  
Fig. 5. 6-axis motion control motor

### 4.2 천정각의 뒤틀림 및 부경 구동부의 보상 방법

그림 6은 온도 변화에 따른 천정각의 변화를 시각적으로 나타내고 있으며, 각 수치들은 부경이 얼마나 틀어졌는지 방향 값을 보여준다.

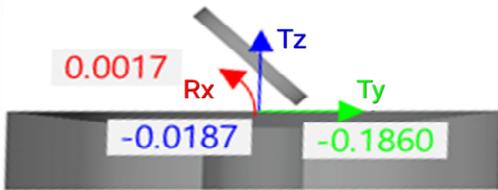


그림 6. 온도에 따른 부경의 처짐 방향 값  
Fig. 6. Deflection direction of the subframe due to temperature

이러한 온도 변화에 따른 처짐 정도를 분석하기 위해 그림 7, 8, 9에서 보이는 바와 같이 각 방향별로 측정 데이터를 도식화하였다.

추적제어시스템에 반영하기 위해서는 연속적인 제어를 위해 처짐 정도를 수식으로 표현할 필요가 있어, 2차 다항식 근사화 방법을 적용하였다. 이 방법은 주어진 데이터를 기반으로 함수의 형태를 추정하여 보다 매끄럽고 연속적인 곡선을 생성하는데 효과적이다. 특히 비선형 관계를 설명하는 데 유용하여 복잡한 추적제어시스템에 적합하다.

$$Tz = \alpha x^2 + \beta x + \gamma + \Delta L \tag{3}$$

$$Ty = \alpha x^2 + \beta x + \gamma + \Delta L \tag{4}$$

$$Rx = \alpha x^2 + \beta x + \gamma + \Delta D \tag{5}$$

식 (3)~(5)와 같이 2차 다항식으로 근사화 하였으며,  $Tz$ ,  $Ty$ , 및  $Rx$  는 각각 부경구동부에서 필요로 하는 보상 값 중 각 축에 대한 길이와 각도를 뜻하며,  $\alpha, \beta, \gamma$  각 계수는 2차 다항식으로 근사화하여 구했으며 표 4와 같다.

그림 7, 8, 9 각각에 온도 변화에 따른 보상 값을 2차 다항식으로 나타내 시각화한 값이다. 이러한 시각화를 통해 보상 값이 특정 기준인  $\Delta T$ 가  $20^\circ C$  가까워질수록 보상해 주어야 하는 값이 작아진다는 것을 확인할 수 있다.

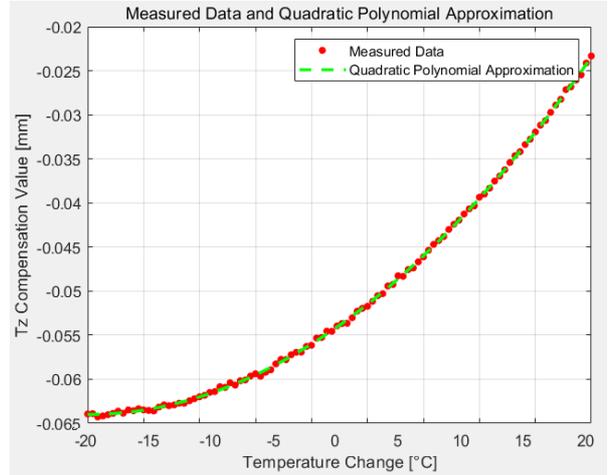


그림 7. 온도 변화에 따른  $Tz$  보상 값  
Fig. 7.  $Tz$  value for temperature change

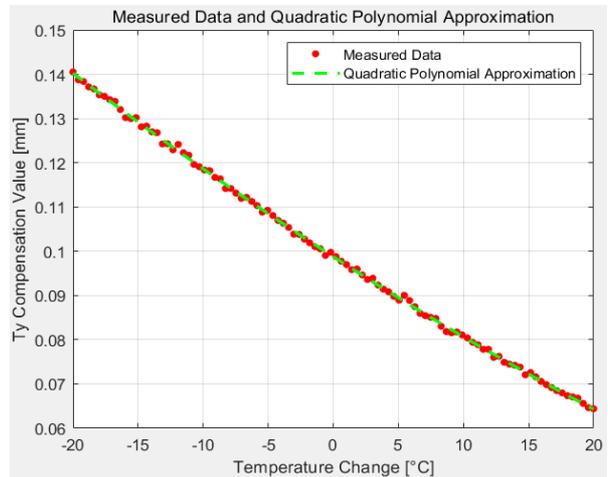


그림 8. 온도 변화에 따른  $Ty$  보상 값  
Fig. 8.  $Ty$  value for temperature change

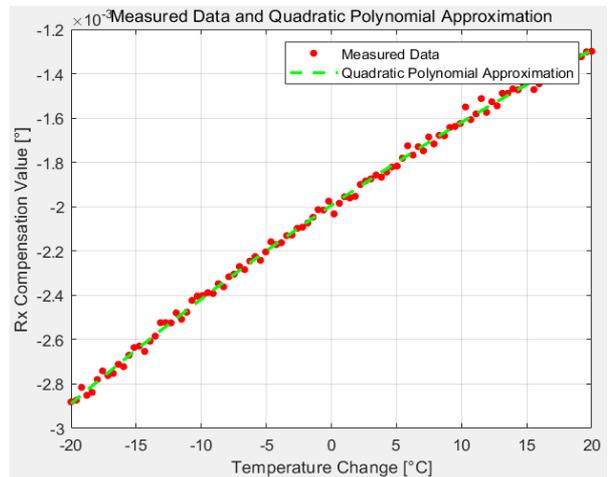


그림 9. 온도 변화에 따른  $Rx$  보상 값  
Fig. 9.  $Rx$  value for temperature change

표 4. 2차 다항식 산출 계수  
Table 4. Quadratic polynomial coefficients

Variable	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
$Tz$	$7.9 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-3}$	0.0898
$Ty$	$4.8 \times 10^{-9}$	$1.5 \times 10^{-3}$	0.059
$Rx$	$-2.2 \times 10^{-9}$	$4.2 \times 10^{-5}$	-0.002

한편, 측정 데이터들을 수식화하여 산출한  $Tz$ 의 평균 제곱근 오차(RMSE, Root Mean Squared Error)는 식 (6)과 같으며  $n, z', z$ 는 각각 횟수, 실제 값, 예측 값을 뜻한다.

$$Tz RMSE = \sqrt{\frac{\sum (z' - z)^2}{n}} = 0.093996 \quad (6)$$

평균 제곱근 오차(RMSE)는 예측 값과 실제 값 간의 차이를 정량적으로 표현하는 지표로, 값이 작을수록 모델의 성능이 우수함을 의미한다. 위와 같은 방식으로  $Tz, Ty, Rx$ 의 평균제곱근 오차를 구했을 때 각각의 RMSE 가 약 0.094, 0.087, 0.097 로 모두 0.1 보다 작은 값을 보인다는 것을 확인할 수 있었다[16]-[18].

## V. 결론 및 기대효과

본 연구에서는 온도 보상 기술을 적용한 우주 발사체 추적 시스템의 정밀도를 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. 이를 위해 온도 변화에 따른 기계적 변형을 실시간으로 측정하고, 2차 다항식 근사화 방법을 통해 보상 값을 도출하였다. 이 과정에서 평균 제곱근 오차(RMSE)가 모두 0.1 보다 낮은 값을 보인 결과, 시스템의 신뢰성과 안정성을 확보하였다. 또한 본 연구의 결과는 여러 측면 중 기술적 발전과 경제적 기회를 창출할 것으로 기대된다. 기술적 발전 측면에서 본 연구는 해외에 대한 의존에서 벗어나 우리나라가 자립적으로 우주 감시 및 추적시스템을 구축할 수 있는 기반을 마련하는 데 기여할 수 있다. 이를 통해 우리나라의 독자적인 우주 감시 능력을 강화하고, 군사 작전 및 계획 수립에 있어 중요한 정보를 제공함으로써 국가 안보를 향상시킬 수 있다. 경제적 기회 측면에

서 본 연구는 우주 분야 사업의 활성화와 관련 산업의 발전을 촉진할 것이다. 우주 감시 기술의 국산화는 자국 내에서의 기술 개발 및 생산을 통해 새로운 일자리 창출과 경제 성장에 기여할 수 있다. 또한, 우주 정밀 추적시스템의 개발은 방산 업체와의 협력을 통해 추가적인 사업 기회를 창출하고, 국내외 시장에서 경쟁력을 높이는 데 중요한 역할을 할 것이다.

## References

- [1] J. H. Lee, E. J. Choi, and H. W. Moon, "Design of L-Band-Phased Array Radar System for Space Situational Awareness", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 29, No. 3, pp. 214-224, Mar. 2018. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.3.214>.
- [2] K. Isoda, T. Sakamoto, and T. Sato, "Effective echo detection and accurate orbit estimation algorithm for space debris radar", IEICE Transactions on Communications, Vol. 91, No. 3, pp. 887-895, 2008. <https://doi.org/10.1093/ietcom/e91-b.3.887>.
- [3] K. P. Sung, H. C. Lim, M. S. Choi, and S. Y. Yu, "Development of Radar System for Laser Tracking System", Journal of Space Technology and Applications, Vol. 4, No. 1, pp. 1-11, Feb. 2024. <https://doi.org/10.52912/jsta.2024.4.1.1>.
- [4] J. H. Kim, "Suggestions for the Long-term Development Direction of Space Surveillance Technology in South Korea", Korea Astronomy and Space Science Institute, 2012.
- [5] G. Ruiz, T. Patzelt, L. Leushacke, and O. Loffeld, "Autonomous Tracking of Space Objects with the FGAN Tracking and Imaging Radar", GI Jahrestagung(1), Vol. 93, pp.349-353, 2006.
- [6] Ministry of Science and ICT, "(2023) Investigation on the Status of the Space Industry", pp. 1-339, Dec. 2023.
- [7] J. A. Haimerl and G. P. Fonder, "Space fence

- system overview", Proc. of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technology Conference, Maui, Hawaii Sep. 2015.
- [8] J. H. Lee, et al., "Current State and Future Prospect of Technology Development in Satellite Application", Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 44, No. 8, pp. 728-740, Aug. 2016. <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2016.44.8.728>.
- [9] Union of Concerned Scientists, "UCS Satellite Database", May 2023. <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>.
- [10] G. Blanchet, et al., "Laser ranging for effective and accurate tracking of space debris in low earth orbits", 6th European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, pp. 22-25, Apr. 2013.
- [11] L. H. Lee, H. I. Lee, S. Y. Kim, and J. B. Sung, "A Fault Tolerance State Transition Design of SAR Payload", Journal of KIIT, Vol. 21, No. 9, pp. 65-74, Sep. 2023. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.9.65>.
- [12] G. Y. Yu, D. W. Kim, D. K. Kim, and H. S. Shin, "Research Trends on Space Object Surveillance and Tracking using a Ground-based Radar", Proc. of the Korean Society for Aeronautics and Astronautics Conference Abstracts, Jeju, Korea, pp. 1756-1759, Nov. 2015.
- [13] J. W. Jin, J. S. Kim, and S. J. Lee, "Temperature Compensation Method and Driving Circuit Implementation of Infrared Temperature Sensor", Journal of KIIT, Vol. 12, No. 11, pp. 151-157, Nov. 2014.
- [14] H. G. Yang and J. W. Joo, "Measurement and Evaluation of Thermal Expansion Coefficient for Warpage Analysis of Package Substrate", Transactions of the KSME A, Vol. 38, No. 10, pp. 1049-1056, Oct. 2014. <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2014.38.10.1049>.
- [15] T. H. Yim, H. Y. Lee, and S. H. Koo, "Study on thermal expansion properties of metal foils substrate for flexible solar cells", Korean Society for New and Renewable Energy, pp. 265-268, Jun. 2007.
- [16] J. Fox, "Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models", 2nd ed, Los Angeles: Sage, Apr. 2008.
- [17] M. Y. Woo and Y. J. Kim, "An empirical study on RFM-T model for market performance of B2B-based Technology Industry Companies", The journal of the institute of internet, broadcasting and communication(JIIBC), Vol. 24, No. 2, pp. 167-175, Apr. 2024. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.2.167>.
- [18] M. G. Kim, Y. J. Kim, S. H. Park, S. G. Cho, C. I. Hong, and H. R. Kim, "Error Analysis of Radar Target Measurement due to Atmospheric Refractivity", The journal of the institute of internet, broadcasting and communication(JIIBC), Vol. 24, No. 6, pp. 57-62, Dec. 2024. <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.6.57>.

저자소개

김 현 서 (Hyeon-Seo Kim)



2025년 2월 : 국립금오공과대학교  
전자공학부(공학사)  
2024년 9월 ~ 현재 : 위드엘웍스  
연구원  
관심분야 : 제어시스템, 임베디드  
시스템

오 달 석 (Dal-Suk Oh)



2002년 2월 : 국립금오공과대학교  
전자공학부(공학사)  
2002년 3월 : LG전자  
영상제품연구소 연구원  
2022년 6월 ~ 현재 : 위드엘웍스  
대표  
관심분야 : 디스플레이, 임베디드  
시스템

이 희 진 (Hee-Jin Lee)



2008년 2월 : 연세대학교  
전기전자공학부(공학사)  
2013년 2월 : 연세대학교  
전기전자공학과(공학박사)  
2015년 2월 ~ 현재 :  
국립금오공과대학교 전자공학부  
교수

관심분야 : 전력시스템, 전력전자, 제어시스템,  
스마트그리드