

## 천무 발사대 방향성 오류현상 개선에 관한 연구

김혜은<sup>1\*</sup>, 김민창<sup>2</sup>, 유한준<sup>2</sup>, 배공명<sup>1</sup>, 오은빈<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>국방기술품질원, <sup>2</sup>한화디펜스

### A Study on Improvement of Directional Errors for K-MLRS Launcher

Hye Eun Kim<sup>1\*</sup>, Minchang Kim<sup>2</sup>, Hanjun Yu<sup>2</sup>, Gongmyeong Bae<sup>1</sup>, Eunbin Oh<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Defense Agency for Technology and Quality  
<sup>2</sup>Hanwha Defense

**요약** 케이지 조립체는 발사대의 사격 플랫폼 역할을 하므로 목표물에 대한 사격 정확성을 확보하기 위한 정확한 조준이 필수적이다. 그러나 천무 발사대의 방향성 오류로 인한 케이지의 비정상적인 회전으로 장비에 대한 품질 문제가 지속적으로 발생하였다. 이러한 무기체계의 품질문제는 우리 군의 전력 손실에 큰 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 현재 운용중인 천무 발사대 케이지의 방향성 오류 현상을 대상으로 결함 고찰 및 원인분석을 수행하여, 개선방안을 도출하였다. 또한 케이지 방향 결정 신호 흐름 구성 분석을 통해 방향성 오류 발생이 가능한 예상 원인을 모두 도출하여 소프트웨어 방어 설계를 통해 방향성 상실 문제를 완전 차단하고자 하였다. 본 연구를 통해 데이터의 불특정 신호를 방지하여 레졸버의 신호오류를 개선하였다. 또한 데이터의 왜곡을 최소화하기 위하여, 방향성 판단방식을 개선하였다. 마지막으로 케이지 회전방향에 대한 데이터가 저장오류나 통신오류로부터 영향을 받지 않도록 방향성 저장공간과 확인방식을 개선하였다. 개선사항에 대한 신뢰성은 체계 적용성 검증을 수행하여 입증되었다. 본 연구는 향후 유사무기체계에 대한 고장 분석 및 설계에 참고자료가 될 것으로 기대된다.

**Abstract** Because the cage assembly serves as the launch platform, an accurate aim is essential to ensure shooting accuracy for the target. On the other hand, the abnormal rotation of the cage due to the directional errors of the K-MLRS has continuously caused quality problems. The quality problem of weapon systems may have a negative impact on the military's power loss. In this study, improvement plans were derived by examining the defects and analyzing the directional errors of the K-MLRS launcher. In addition, all possible causes of directional errors were derived from the flow diagram for cage directionality. Based on the results, the defense design through the software program was intended to prevent the loss of direction. Through this study, the signal error of the resolver was improved by preventing unspecific signals in the data. Furthermore, the directional judgment method was improved to minimize the impact of data distortion. Lastly, directional storage and verification methods were improved so that data for the cage rotation direction would not be affected by errors. For the design improvement method, the reliability was verified through the system applicability. This study is expected to be a reference for failure analysis and design for similar weapon systems in the future.

**Keywords** : K-MLRS, Launcher, Directional Errors, Resolver, LCU

\*Corresponding Author : Hye Eun Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: hyen@dtaq.re.kr

Received October 7, 2020

Accepted February 5, 2021

Revised November 12, 2020

Published February 28, 2021

### 1. 서론

230mm급 다련장 천무는 미래 전장 환경에 부합하는 장사거리, 고위력 및 정밀타격이 요구되는 무기체계의 필요성에 따라 개발되었다. 그 개발개념에 따라 전술 운용 및 자동사격제원 산출이 가능한 사격통제체계를 탑재하고 있으며 동시 다량의 화력집중으로 대형 지역 표적 및 고속 기동 표적에 대한 제압이 가능하다[1].

천무의 케이지 조립체는 포드를 탑재하는 구조로 발사대가 사격을 할 수 있도록 하는 사격 플랫폼 역할을 한다. 따라서 목표물에 대한 사격 정확성을 확보하기 위해서는 케이지의 정확한 조준이 필수적이다. 그러나 야전에서 발생한 천무 발사대 방향성 오류로 인한 케이지의 비정상 회전은 비정상 사격뿐만 아니라 케이지 내부 부품들의 파손 문제를 발생시킨다. 이러한 무기체계의 품질 문제는 우리 군의 전력 손실에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 무기체계에 대한 잠재결함 발생 최소화를 위한 무기체계의 신뢰성 검증은 필수적이며, 발사대에 대한 신뢰도 개선은 지속적으로 연구되고 있다[2],[3],[4].

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 과정을 거쳐 개선방안을 도출하였다. 먼저 식별된 고장현상에 대한 문제의 원인을 파악하여, 그 결과를 바탕으로 개선점을 도출하고 설계하였다. 또한 방향성 오류 방지를 위한 소프트웨어 방어 설계를 추가하였다. 이후 기능검증과 체계 적용성 검증을 수행하였으며, 모든 기준을 충족하였을 경우에만 천무 발사대 방향성 오류현상 개선방안에 대한 신뢰성을 확인하였다.

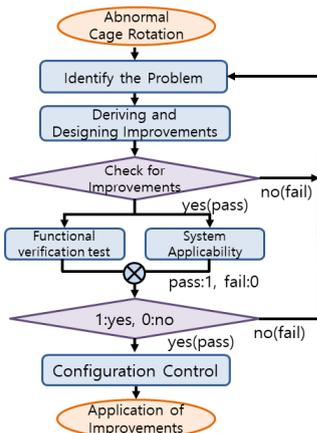


Fig. 1. Flow chart of a quality improvements of K-MLRS Launcher

### 2. 케이지

#### 2.1 형상 및 기능

천무 케이지 조립체는 Fig. 2와 같이 발사대의 탑재차량 후방에 위치하여 포드를 탑재하는 구조이다. 내부에는 사격통제장치가 탑재되며 발사로 인한 후폭풍으로부터 포드와 탑재장비를 보호할 수 있게 방호문 및 방호대가 구성되어 있다.



Fig. 2. Cage assembly of K-MLRS Launcher

케이지는 발사대제어장치(이하 LCU, Launcher Control Unit)의 제어를 통해 방향 회전을 하며 정상회전 범위는 0 ~ 194° 로 발사대가 사격 조준점을 유지할 수 있도록 사격 플랫폼 역할을 한다. 고각 구동 시 회전 포탑과 케이지 사이의 고각 위치 정보는 케이지의 고각 위치센서를 이용하여 차량 내부에 탑재된 사격통제장치로 전달된다.

#### 2.2 방향성 판단 알고리즘

천무 발사대의 방위각 방향성 판단은 방향성 판단주체인 LCU와 방향성 저장위치인 발사제어콘솔(이하 FCC, Fire Control Console)로 이루어지며 프로세스는 Fig. 3과 같다. FCC를 통해 운용자 명령이 입력되면 LCU는 발사대 동작제어를 하게 된다. 이때 LCU는 구동 간 방위각 각도로 발사대의 방향성을 판단하여 FCC에 전송한다. FCC는 저장된 방향 데이터를 이용하여 케이지 원위치 복귀 시 LCU에 해당 방향성을 전송한다.

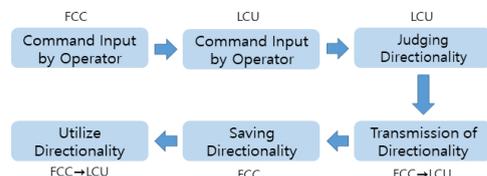


Fig. 3. Process of judging directionality

### 2.3 동작원리

발사대의 방위각 방향성 판단 동작원리는 Fig. 4와 같다. 발사대는 빗금 친 -2750 ~ -2400 mil 과 2400 ~ 2750 mil 회전영역에서 10 ms 주기로 LCU가 방향성을 판단한다. 발사대가 우측으로 이동시에는 레졸버 값이 증가하며, 좌측으로 이동시에는 레졸버 값이 감소한다. 또한 발사대는 -2750 ~ 2750 mil 사이에 위치한 상태에서 방향성을 상실할 경우에는 발사대 파손을 방지하기 위해 FCC로부터 원위치복귀 명령이 수신되어도 케이지 원위치 복귀가 불가하도록 설계되어 있다.

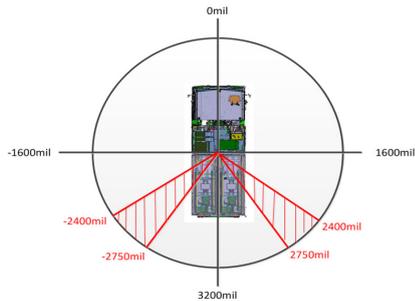


Fig. 4. Principle of motion

## 3. 케이지 고장현상 분석

### 3.1 고장 현상

아전에서 천무 운용 간에 발사대 방향성 오류로 인해 케이지가 비정상적으로 회전함으로써 장비에 품질문제가 〇회 발생하였다. Fig. 5(a)와 같이 천무 케이지의 정상 복귀 경로는 작동 후, 작동 방향으로 원상복귀 되어야 한다. 하지만 발사대 방향성 판단 오류로 케이지가 비정상 복귀하여 Fig. 5(b)처럼 발사대 원상복귀 시 작동 방향으로 추가 회전되어 360° 회전하는 문제가 발생하였다.

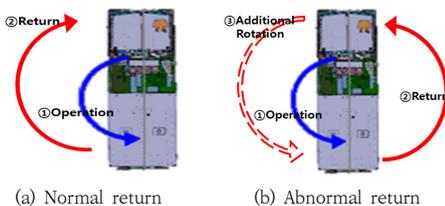


Fig. 5. Cage's return route

케이지의 비정상 복귀로 인한 피해범위는 Fig. 6과 같다. LCU의 부품 소손은 LCU와 사격통제시스템(이하 FCS, Fire Control System)을 연결하는 C206, C208 케이블의 손상으로 FCS에 전원 공급 문제를 발생시킨다. 또한 LCU와 유압장치 간에 C207, C302, C303 케이블 손상은 고각 제동기와 고각모터, 레졸버에 영향을 미칠 수 있다. 전원공급기(이하 PSU, Power Supply Unit)와 붐/인양기 간의 C904, C905 케이블의 파손은 케이지 전원에도 영향을 준다. 이처럼 케이지 비정상 회전은 발사대 케이지 내부 케이블 및 일부 장치의 파손 문제를 발생시켜 발사대 고장의 주요 원인이 될 수 있다.

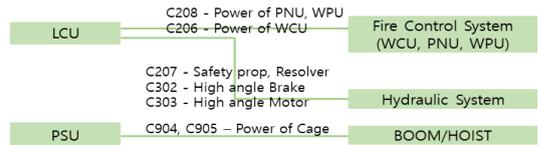


Fig. 6. Damage caused by abnormal cage rotation

발사대 방향성 오류로 인한 케이지의 비정상 회전에 대한 원인은 다양한 요소에 발생할 수 있다. 이에 따른 상세한 원인분석을 위해 Fig. 7과 같이 특성요인도 분석을 수행하였다.

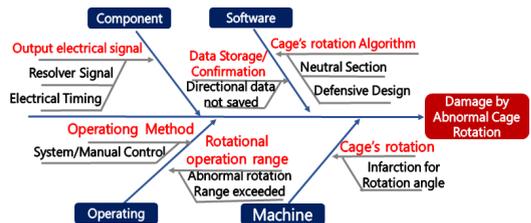


Fig. 7. Cause-and-effect diagram for failure analysis

본 연구에서의 케이지 고장현상에 대한 분석 및 개선 방안에 대한 입증은 LabVIEW 2013 버전을 통해 자체 개발한 프로그램을 사용하여 수행하였다.

### 3.2 레졸버 신호오류

천무 발사대는 높은 신뢰성이 요구되는 군사 체계로 레졸버를 사용하여 방위각 데이터 정보를 얻고 있다. 레졸버는 기계적 강도가 높고 내환경성이 우수한 장점이 있어 군사용과 항공용 센서로 주로 사용된다[5]. 하지만 레졸버의 변압비 차이, 불평형 여자신호, 불균일한 인덕턴스 성분, 신호처리 회로상의 왜곡으로 신호의 크기 불

평형이 발생하고 이는 위치정보에 주기적인 오차 성분으로 데이터 값에 영향을 준다[6].

발사대제어장치 내부의 RDB(Resolver to Digital Board)에 조립된 RDC(Resolver to Digital Converter)는 멀티턴 RDC로써, 내부에 내장된 2개의 레졸버에서 출력되는 2개의 신호를 조합하여 각도 데이터를 구성한다[7]. Fig. 8은 천무 멀티턴 RDC의 기본 동작 구조이다. 상위 5비트와 하위 11비트가 합쳐져서 16BIT의 값으로 각도를 표기하며, 둘 중 하나의 값이 다른 값과 합쳐지면서 오류 데이터가 발생하게 된다.

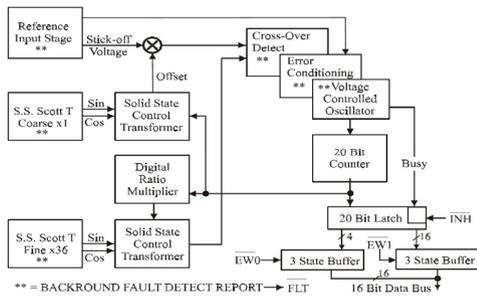


Fig. 8. RDC's functional block diagram

발사대의 케이지 회전 영역에서 방위각 레졸버 데이터를 확인한 결과, 레졸버의 데이터 끊김 현상이 Fig. 9와 같이 식별되었다. 데이터 끊김 및 데이터 튕 현상 발생은 레졸버 값의 연속성을 보장하지 못하여 발사대 방향성 판단 오류에 영향을 미칠 수 있다.

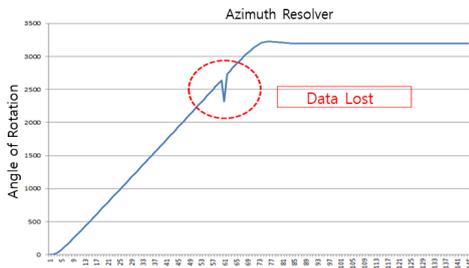


Fig. 9. Data of azimuth resolver

### 3.3 방향성 판단 프로세스 분석

Fig. 10의 케이지 방향 결정 신호 흐름 구성 분석을 통해 방향성 오류발생이 가능한 예상 원인을 Table 1과 같이 도출하였다.

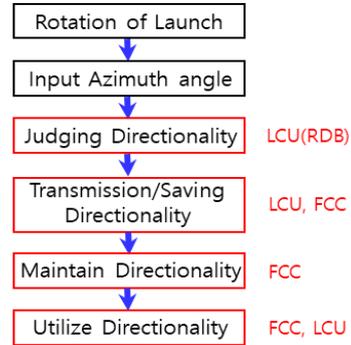


Fig. 10. Flow diagram for cage directionality

Table 1. Possible causes of directionality errors

NO	Process	Finding the Cause of Error
1	Judging Directionality	Angle recognition error in azimuth resolver
2	Transmission / Saving Directionality	Intermittent communication error between FCC and LCU
3		Saving error of directional data in FCC
4		Replace FCC in the reload position
5	Maintain Directionality	Corruption of the directional data stored in FCC
6	Utilize Directionality	Unable to update for initial misperceived directionality

## 4. 개선방안

천무 발사대의 방향성 오류현상 개선은 Table 2와 같이 레졸버의 신호오류, 방향성 판단방식, 방향성 전송/저장방식 설계 개선을 통해 수행되었다. 개선사항에 대한 입증시험 결과, 모두 기준을 충족하였다.

Table 2. Improvement of Directional Errors for K-MLRS Launcher

NO	Improvement	Verification Test
1	Resolver signal error improvement	PASS
2	Improvement of directional judgement method	PASS
3	Improvement of directional transmission / save method	PASS

### 4.1 레졸버 신호오류 개선

현재 발사대는 Fig. 11과 같이 상위 비트 값과 하위 비트 값을 읽을 시 INH(Inhibit) 신호를 각각 발생한다.

여기서 INH 신호는 레졸버에서 디지털 값으로 변환된 각도 데이터를 저장하는 신호이다.

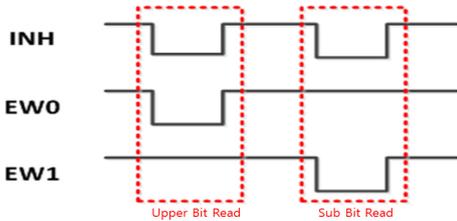


Fig. 11. RDC timing diagram

INH 신호 검토 결과 Fig. 12.(a)와 같이 INH에 의해 비정상적으로 비트 값을 읽을 시 A각도의 상위 값과 B각도의 하위 값을 더한 값이 읽혀 전혀 다른 데이터 값이 되어 데이터의 끊김이나 튜트 현상을 발생 시킴을 확인하였다. 이를 개선하기 위하여 Fig. 12.(b)와 같이 INH가 1회 발생 시 상/하위 비트를 모두 읽어 같은 값이 될 수 있도록 개선하였다. 비트 읽는 타이밍을 수정함에 따라 레졸버 신호가 불특정한 위치로 튜트 현상을 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

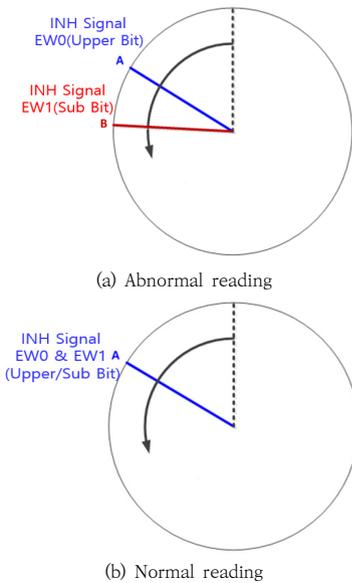


Fig. 12. Reading case by INH

## 4.2 방향성 판단방식 개선

Table 1에서 방향성 판단 프로세스 검토에서 식별된 내용을 토대로 방향성 오류와 방향성 상실에 대한 개선 방안을 Table 3과 같이 도출하였다.

Table 3. Improvement of judging directionality

NO	Cause of Error	Improvement
1	Angle Recognition Error in Azimuth Resolver	4.2.1 4.2.2
2	Intermittent Communication Error Between FCC and LCU	4.2.3
3	Unable to update for initial misperceived directionality	

레졸버 신호오류 개선을 통하여 오차를 최소화하여도 완전한 노이즈 제거는 불가능하다[8]. 따라서 노이즈에 대한 영향성을 최소화하기 위한 방안에 대한 연구를 하였다. 알고리즘 수정을 통하여 판단구역 확대, 판단기준 수정, 방위각 각도 MSB(Most Significant Bit) 판단조건 추가, 디지털 필터 추가를 함으로써 데이터의 왜곡을 최소화하고자 하였다.

### 4.2.1 판단조건 변경

레졸버는 신호처리를 통하여 전압 및 위상의 변화로부터 레졸버의 회전 각도가 디지털로 표현된다. 레졸버에 기준 전압을 인가하면, 레졸버로부터 SIN, COS출력 값이 구해지며 RDC를 통해 16비트의 디지털량으로 바뀌어 마이크로프로세서가 이들 비트값 0~65535비트의 값을 방위각 0~360 X (65535/65536)°으로 변환하여 디지털로 방위각을 확인할 수 있다. 천무 발사대는 약 0.005°의 분해능을 얻을 수 있다[9].

천무는 회전시 180°까지는 0x7FFF(16진수), 180° 이상으로는 0x8000(16진수)이 되어 360°회전이 끝나는 지점에서 0xFFFF(16진수)로 된다. 현재는 16비트의 모든 값을 실시간으로 읽어서 비교하는 연산 작업을 통하여 레졸버 오류 발생 시 발사대의 방향성 오류가 발생하게 된다. 이러한 문제를 예방하기 위해서 Fig. 13과 같이 방위각 각도 MSB 판단조건을 추가하여 16진수의 모든 숫자를 인지하지 않게 소프트웨어를 개선하였다. 좌측으로 회전하면 “0”을 기록하고, 우측으로 회전하면 “1”을 기록하는 방식으로 알고리즘을 간소화하여 방향성 인지의 신뢰성을 향상시켰다. 이러한 알고리즘 개선은 회전된 방향의 최상위 비트만으로 방향성을 판단하기 때문에 별다른 연산작업이 필요없어 시스템 부하를 감소시킬 수 있다. 상기 알고리즘 적용 시 최상위 비트는 데이터의 끊김과 튜트 현상에 영향을 받지 않으므로 안정적인 방향성 인지가 가능할 것으로 기대된다.

또한 방향성 인지영역을 기존의 2400 ~ 2750 mil에서 0 mil 부근으로 수정하였다. 사격통제장치가 보다 더

빠른 시점에 방향성을 인지할 뿐 아니라 사격통제콘솔에 보다 빠르게 방향성의 정보를 줌으로써 운용성 향상에 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

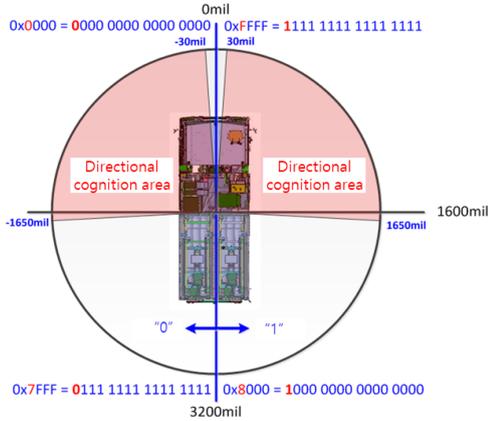


Fig. 13. Change of judging directionality conditions

#### 4.2.2 디지털 필터 추가

레졸버는 증립구간(-30 ~ 30 mil) 데이터까지 포함하여 외란이 발생할 경우 방향성에 영향을 미칠 가능성이 존재한다. 이러한 데이터의 외란을 방지하기 위하여 소프트웨어적으로 디지털 필터를 추가하였다[10]. 또한 비정상적인 방위각 데이터 입력에 의한 판단오류를 방지하기 위하여 데이터 처리 루프를 추가하였다.

이전 방위각 대비 현재 방위각이 20 mil 이상 차이가 발생할 경우에 대한 조건을 추가하였다. 3초 미만일 경우, 현재 방위각 데이터를 무시하고 이전 데이터를 사용하게 하였다. 3초 이상 20 mil 이상 차이가 유지될 경우 현재 방위각 데이터를 사용하게 하였다. 여기서 20 mil 은 방위각 최대구동속도인 445 mil/sec 이상임을 감안하여 산정하였다.

또한 디지털 필터를 추가하여 증립구간을 거쳐야 방향성이 전환되는 부분을 대체하였다. 레졸버 데이터 외란 제거로 유효한 데이터만 활용하여 레졸버의 데이터의 급격한 변화에 따른 방향성 판단오류를 방지할 수 있다.

디지털 필터에 대한 기능검증은 방위각 레졸버를 인위적으로 회전하여 급격한 각도변화 발생을 통해 확인하였다. 필터기능 확인시험 결과 Fig. 14와 같다. 방향성을 좌측으로 설정 후, 3초간 방위각이 20 mil 이상 차이나는 경우 방향성은 우측으로 변경되었다. 추가로 3초 미만의 20 mil 이상의 차이가 발생할 경우 방향성은 우측으로 유지되었다. 따라서 외란값 제거로 유효한 데이터로 방향성이 판단되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 디지털

필터를 추가하여 증립구간을 거쳐야 방향성이 전환되는 부분을 대체하였다. 레졸버 데이터 외란 제거로 유효한 데이터만 활용하여 레졸버의 데이터의 급격한 변화에 따른 방향성 판단오류를 방지할 수 있다.

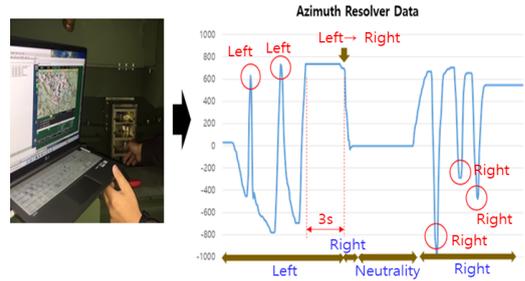


Fig. 14. Functional verification test for digital filter

#### 4.2.3 판단기준 수정

기존에는 증립구간을 거쳐야만 방향성 변경이 가능하며, 비정상 요인에 의한 방향 변경 시에는 정상방향으로 갱신이 불가하였다. 따라서 비정상 요인에 의한 방향성 변경으로, 방향성에 대한 정보전송이 누락 될 경우 정상방향으로 갱신이 불가하였다.

기존의 증립구간(-30 ~ +30 mil)을 삭제하여 현위치 기준으로 방향성 판단 후, 새로운 방향으로 업데이트 될 수 있게 수정하였다.

기능검증을 위하여 Fig. 15와 같이 FCC의 저장값에 반대방향 데이터를 입력하여 오류를 모의하였다. 발사대가 현위치로 방향을 판단하여 정상적인 방향으로 갱신하는 것을 확인하였다.

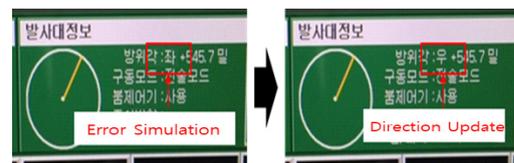


Fig. 15. Functional verification test for directional storage method

#### 4.3 방향성 전송/저장 개선

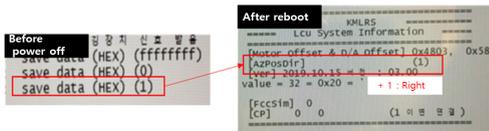
천무는 케이지 회전 구동 시 회전방향 정보가 데이터의 형태로 FCC에 저장되고 케이지 회전방향을 인식한다. 따라서 데이터의 저장오류, 통신오류에 대한 영향을 크게 받는다. 이에 따른 개선방안을 Table 4와 같이 도출하였다.

Table 4. Improvement of transmission/saving directionality

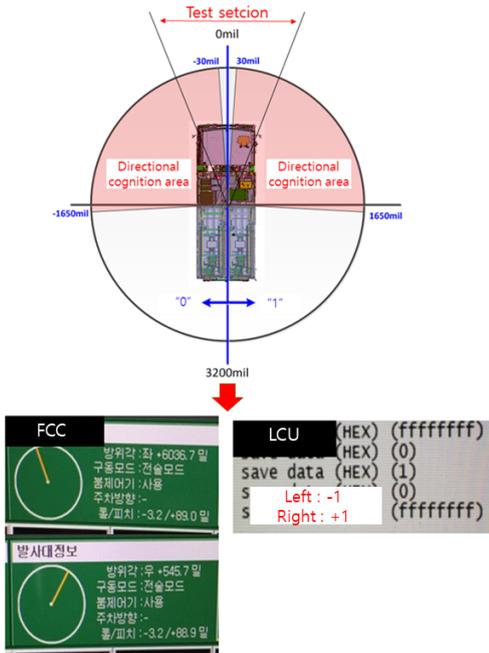
NO	Cause of Error	Improvement
1	Saving error of directional data in FCC	4.3.1
2	Corruption of the Directional Data Stored in FCC	
3	Intermittent communication error between FCC and LCU	4.3.2
4	Replace FCC in the reload position	

4.3.1 방향성 저장공간 추가

FCC에 저장된 방향성 데이터 저장오류 및 손상에 따른 방향성 상실을 방지하기 위하여 저장방식을 개선하였다. 기존에는 LCU에서 방향성을 저장하지 않아 방향성 오류 가능성이 존재하였다. 따라서 저장공간을 기존 FCC 이외에도 LCU를 추가하였다. 시스템 부하를 최소화하기 위하여 저장시점은 방향성 변경과 전원차단시점으로 하였다.



(a) Functional verification test 1



(b) Functional verification test 2

Fig. 16. Functional verification test for storage method improvement

기능검증을 위해 Fig. 16(a)와 같이 전원차단 전의 방향성 데이터가 재부팅 후 LCU에 데이터 보존이 되는지 확인하였다. 또한 방향성 변경구간(좌측-중립-우측) 동작에 따라 LCU 방향성 저장기능이 정상 작동하는지 Fig. 16(b)와 같이 확인하였다. 시험 결과, LCU에 저장된 방향성 데이터가 FCC 데이터와 일치하였다. 구동제어를 담당하는 LCU에서 방향성데이터를 유지 및 관리함에 따라 방향성 오류 가능성을 저하시킬 수 있을 것으로 판단된다.

4.3.2 방향성 확인방식 개선

기존 FCC는 방향성에만 의존하여 방향성 상실조건에만 케이지 동작을 차단시킨다. 따라서 데이터 오류 등의 비정상적인 현상으로 인한 방향성 데이터 변경시 문제점을 인지할 수가 없을 뿐 아니라 케이지 동작도 유지되었다. 이를 보완하기 위하여 FCC와 LCU 간에 방향성 비교검증을 추가하였다. 원위치복귀 동작시에 FCC와 LCU 간의 방향성 데이터를 상호비교 검증하여, 방향성이 동일할 경우에만 원위치 복귀를 가능하게 하였다. 그리고 방향성이 상이할 경우는 원위치 복귀를 차단하게 하였다.

기능을 검증하기 위하여 Fig. 17과 같이 실제 회전방향(LCU 저장값)과 FCC에 저장된 방향성을 반대로 변경하여 발사대 동작여부를 확인하였다. 시험을 통해 방향성의 차이가 발생할 경우에만 원위치복귀 동작이 차단됨을 확인하였다.

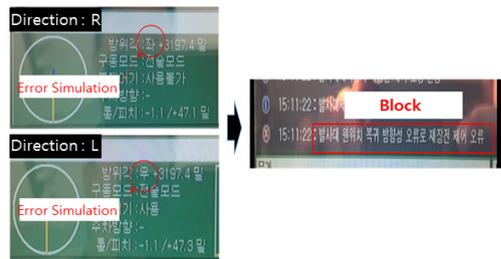


Fig. 17. Functional verification test for improvement of identification method

5. 체계적용성 확인 결과

국방규격에 의거 해당 장비의 체계 성능확인을 실시하였다. 개선으로 인하여 영향을 미치는 부분에 대한 5가지에 대해 시험결과 Table 4와 같이 시험기준을 모두 충족함을 확인하였다.

Table 4. Results of system applicability

NO	Test	Result
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Boom control</li> <li>- Check drive ability within driving range</li> <li>- Check the movement restrictions within the driving restricted area</li> </ul>	Pass
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reload</li> <li>- Check whether driving left 180 ° and right 180 °</li> </ul>	Pass
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cage's driving speed</li> <li>- Tactical mode : AZ 445 mil/sec, EL 115 mil/sec</li> <li>- Maintenance mode : AZ 90 mil/sec, EL 15 mil/sec</li> </ul>	Pass
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Range of fire</li> <li>- Restriction of fire procedures in the area of the fire limit</li> </ul>	Pass
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fire on 12 targets</li> <li>- Confirmation of possible fire for 12 guided rocket targets</li> </ul>	Pass

## 6. 결론

본 연구에서는 현재 운용중인 천무 발사대 케이지의 방향성 오류 현상을 대상으로 결함 고찰 및 원인을 분석하고 설계개선 및 적용성 검증을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 레졸버의 신호오류를 개선하기 위하여 RDC의 비트 읽는 타이밍을 수정하여 데이터의 불특정 한 신호를 개선하였다.
- (2) 케이지 방향 결정 신호 흐름 구성 분석을 통해 방향성 오류발생이 가능한 예상 원인으로 방위각 레졸버 각도인식 오류, 통신오류, 저장오류, 데이터 손상, 방향성 갱신불가에 대해 도출하고 이를 개선함으로써 데이터의 왜곡을 최소화하였다.
- (3) 방향성 상실방지를 위한 추가적인 소프트웨어 방어설계로 FCC와 LCU 간의 방향성 데이터를 상호 검증함으로써 오류 발생 가능성을 감소시킬 수 있게 방향성 확인방식을 개선하였다.

본 연구를 통해 개선사항이 입증 된 천무는 현재 야전에 적용되어 운용중이다. 천무의 운용성 향상을 위한 안정적인 케이지 운용에 대한 연구는 지속적으로 필요하다. 본 연구는 향후 유사 무기체계에 대한 고장분석 및 설계방안의 참고자료로 활용이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] G. Bae, S. Lee, S. Kim, T. Kang, "A Study on Align Process Improvement for K-MLRS Launchers and Position Navigation Unit", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 21, No. 3, pp. 379-385, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2018.21.3.379>
- [2] Y. Lee, J. Ryu, K. Son, S. Song, S. Kim, W. Park, "A Study on the Reliability Growth of Multiple Launch Rocket System Using Accelerated Life Testing", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 22, No. 2, pp. 241-288, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2019.22.2.241>
- [3] J. H. Choi, J. P. Choi, S. G. An, "The Shape Optimization of Structure Assembly of Vehicle Launcher Using FEM", Proceedings of KSPE 2019 Spring Conference, pp. 456, 2019.
- [4] H. Lee, Jong. Kim, "A Study on Friction Noise Reduction of Elevation Clutch in the Multiple Launcher Rocket System", Journal of the Korea Society of Mechanical Technology, Vol.18, No.5, pp. 813-818, 2016.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.17958/ksmt.18.5.201610.813>
- [5] K. Kim, "A Method to Adjust the Optimal Phase Angle of Resolver Excitation Signal", The Transactions of Korean Institute of Power Electronics, Vol. 15, No.3, pp. 252-258, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.6113/TKPE.2010.15.3.252>
- [6] Y. Kwon, S. Hang, Jang. Kim, "Compensation of Resolver Asymmetrical Signal Error for PMSM Drives", Proceedings of the KIPE Conference, pp. 22-24, 2008.
- [7] Computer Conversions Corporation (CCC), <https://www.computerconversions.com/secure/files/MRDC7540-5%20revB.pdf?customerid=3449>
- [8] H. Kim, S. Hwang, Jang. Kim, "Compensation of position error caused by Resolver signals for PMSM drive", Proceedings of the KIPE Conference, pp. 491-493, 2009.
- [9] W. Choi, Hak . Lee, Jin. Kim, Jeong. Bae, "Application of the Resolver for the Accurate Angle Positioning System", Proceedings of the KIPE Conference, pp. 141-144, 1997.
- [10] L. Hwang, S. Na, G. Choi, "A Study on the Resolver Interface using a Rotor Position Detector Method with DFT", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 10, pp. 4550-4560, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.10.4550>

김 혜 은(Hyeeun Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 전북대학교 전자공학부 (공학학사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>  
국방, 전기/전자, 정보통신

배 공 명(Gongmyeong Bae)

[정회원]



- 2006년 8월 : 부산대학교 기계공학부 (공학학사)
- 2008년 8월 : 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공 (공학석사)
- 2014년 2월 : 부산대학교 기계공학부 정밀가공 시스템전공 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>  
국방, 기계/재료, MEMS

김 민 창(Minchang Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 경북대학교 전기전자컴퓨터학부 (공학학사)
- 2007년 12월 ~ 현재 : 한화디펜스 선임연구원

<관심분야>  
국방, 정보통신, 신호처리

오 은 빈(Eunbin Oh)

[준회원]



- 2017년 2월 : 경상대학교 기계공학부 (공학학사)
- 2017년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>  
국방, 기계/재료, 열역학

유 한 준(Hanjun Yu)

[정회원]



- 2004년 2월 : 광운대학교 전기공학과 (공학학사)
- 2003년 11월 ~ 현재 : 한화디펜스 책임연구원

<관심분야>  
국방, 제어, AI, 메카트로닉스