

항공기 무장/장착물의 안전 분리 및 성능 검증을 위한 점검 시스템 설계 및 구현

Design and Implementation of test system for safety separation and performance verification of aircraft weapons/equipment

김효중* · 김양원 · 권병기
LIGN엑스원 연구개발본부

Hyo-joung Kim* · Yang-won Kim · Byung-Gi Kwon
R&D Center of LIGNex1Co, Ltd, Seongnam 13488, Korea

[요 약]

최근 국방 기술이 발달함에 따라 다양한 항공기 무장/장착물이 국내에서 개발되고 있다. 그 중에서 항공기 발사용 순항 유도무기(유도탄)는 다양한 시험을 통해서 신뢰성 및 안전성을 확보한 후 항공기에 장착할 수 있다. 항공기로부터 분리된 유도탄은 항공기와 충돌을 회피하기 위해서 지정된 시간에 날개의 구속을 해제하고, 지정된 방향으로 날개를 제어해야 한다. 이를 확인하기 위해서 안전 분리 절차에 따라 MIL-STD-1760 신호를 제어하고, 구속해제 성능을 검증할 수 있는 점검 시스템이 필요하다. 특히, 점검 시스템은 구속해제를 위한 파이로 회로를 점검하는 기능과 MIL-STD-1760 신호를 제어해서 구동 성능을 점검하는 기능이 필요하다. 또한, 항공기로부터 분리된 환경을 유도탄에 모의할 수 있어야 한다. 본 논문은 지상에서 유도탄에 장착된 파이로 회로 및 구동 성능을 안전 분리 절차에 따라 검증할 수 있는 점검 시스템을 제시하였고, 비행시험을 통해서 항공기로부터 정상적으로 분리되는 것을 확인할 수 있었다.

[Abstract]

With the recent development of defense technology, various aircraft armaments/equipments are being developed. Among them, cruise guided weapons (missile) for launching aircraft can be installed on aircraft after securing reliability and safety through various tests. In order to avoid collision with aircraft, missile separated from aircraft must release restraint of wing at the specified time, control wing in the specified direction. In order to confirm this, a test system that can control MIL-STD-1760 according to safety separation procedure and verify release performance is required. test system needs a function to check circuit for release of restraints and a function to check driving performance by controlling MIL-STD-1760. In addition, test system should be simulate environment separated from aircraft. This paper presented a test system that can verify circuit and driving performance mounted on missile according to the safety separation procedure, and it was confirmed that it was normally separated from aircraft through flight tests.

Key word : Air to surface missile, MIL-STD-1760, Pyro test system, Safety critical separation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2022.26.2.47>



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 15 March 2022; Revised 6 April 2022
Accepted (Publication) 20 April 2022 (30 April 2022)

*Corresponding Author, Hyo-Joung Kim

Tel: +82-42-718-3624

E-mail: hyojoung.kim@lignex1.com

I. 서 론

항공기에는 각종 전자장치부터 항공무장에 이르기까지 다양한 무장/장착물들이 탑재되어 운용되기 때문에 이를 제어하거나 통신할 수 있는 MIL-STD-1760 연동방식이 적용된다 [1],[2]. 표준 연동방식인 MIL-STD-1760과 배꼽(umbilical)케이블을 통해서 유도탄의 전원, 이산신호, 1553B 기반 멀티플렉서(MUX)신호 등 다양한 신호를 제어하거나 송수신한다[3]. 따라서 표준 연동방식이 적용된 유도탄과 항공기를 통합하면 동일한 커넥터와 무장 관리 시스템을 이용하기 때문에 하드웨어 추가 및 개조에 따른 문제점들이 발생할 확률이 적고, 상호 운용성을 보장하기 때문에 통합에 따른 설계 및 개발 비용과 노력도 최소화할 수 있다.

유도탄은 항공기와 통합하기 전에 지상에서 다양한 시험을 통해서 안전성 및 신뢰성을 확보하고, 비행시험을 통해서 최종 성능을 검증한다[4]-[9]. 비행시험에는 많은 비용, 시간, 인력들이 요구되기 때문에 지상에서 유도탄 조립 단계별로 장착되는 장비들을 점검하고, 시뮬레이션을 통해서 장비의 성능을 검증한다. 특히, 주요 비행절차 이벤트에서 사용되고 있는 파이로(Pyro)는 일회성 부품이기 때문에 파이로와 관련된 회로는 반복적으로 시험을 수행해서 신뢰성과 안전성을 확보해야만 한다. 지상에서 성능을 확인하는 점검 중 하나로 탑재 장비들을 기체에 조립한 후 전기적 인터페이스를 점검해서 장비 및 장치의 성능을 확인하는 점검이 있다. 전기적 인터페이스 점검은 유도탄에 공급되는 여러 종류의 전원에 대해서 장비 및 장치별로 기능을 확인하고, 파이로의 동작 유무도 확인한다. 앞에 기술했듯이 주요 비행 절차 이벤트에 사용되는 파이로가 적용된다. 따라서 단 한 개라도 정상적으로 동작하지 않을 경우 비행 시험의 실패를 초래할 수 있기 때문에 반드시 신뢰성과 안전성을 확보해야한다. 파이로 장치는 일반적으로 발열선 착화장치, 폭발도선 착화장치, 폭발박막 착화장치 등으로 구분되는데 보편적으로 발열선 착화장치가 무기체계에는 사용된다. 발열선 착화장치는 크게 기폭약과 발열선으로 구성되며, 니크롬선이나 백금선 같은 발열선에 전기적 에너지를 가해서 발생하는 열을 통해서 기폭약이 점화되어서 파이로가 동작한다. 즉, 파이로가 정상적으로 동작하기 위해서는 도화 회로에 정해진 시간동안 기준치 이상의 전류가 인가되어야 한다.

본 논문은 안전 분리 절차에 따라 유도탄의 파이로 도화 회로를 검증하고, MIL-STD-1760에 따라서 유도탄의 구동 성능을 종합적으로 검증할 수 있는 점검 시스템을 제시한다.

II. 점검 시스템 설계 개요

본 장에서는 파이로 도화 회로 및 구동 성능을 검증하기 위한 점검 시스템에 적용한 주요 기술에 대해서 기술한다[10].

2-1 MIL-STD-1760 개요

MIL-STD-1760 연동 표준이 제정되기 전에는 항공기와의 연동 인터페이스에 대한 기준이 없었기 때문에 각 제조사들마다 독자적인 연동 인터페이스를 개발해서 항공기 무장/장착물에 적용하였다. 그 결과, 항공기와 연동하는 과정에서 수정 및 개선사항이 많이 발생하게 되었고, 시간과 비용이 증가하는 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 제정된 연동 표준이 MIL-STD-1760이다.

MIL-STD-1760는 항공기와 장착물간 전기적 상호 연동 체계(AEIS; aircraft/store electrical interconnection)를 주 신호 세트(primary signal set)와 보조 신호 세트(auxiliary signal set)로 정의하고 있다. 본 논문에서는 일반적으로 많이 사용하는 주 신호 세트에 대해서 기술한다. 주 신호 세트에서 제공하는 인터페이스는 항공기와 무장/장착물간 전기적 상호 연동 체계를 위해 표 1과 같이 전기적, 물리적, 논리적 인터페이스로 구분된다.

표 1. 주 신호 세트 인터페이스 목록

Table 1. Primary signal set interface list

Interface	Description
Electrical Interface	Power interface (28 Vdc, 270 Vdc, 115 Vac)
	Discrete signal interface (Release Consent, 1553 RT Address, Interlock & Interlock return,)
	Analog signal interface (High Bandwidth #1~ #4, MUX A&B)
Physical Interface	Umbilical & Connector Interface
Logical Interface	Message Architecture
	Message Format
	Message Protocol

전원 인터페이스는 무장/장착물을 투하하기 전 상태 감시 및 제어를 위한 전원 공급, 열전지 전원 착화와 같이 안전과 관련된 기능(safety critical functions)에 전원을 공급해주는 역할을 담당한다. 이산신호 인터페이스는 MIL-STD-1553B 통신을 위한 단말기(RT; Remote Terminal) 통신주소 설정, 무장/장착물의 상태 확인, 발사 절차 수행 및 제어를 위한 역할을 담당한다. 전기적 인터페이스에는 오디오 및 비디오 신호, 디지털 통신을 위한 아날로그 신호가 정의되어있다. MIL-STD-1760 연동 표준에서는 물리적 인터페이스를 MIL-DTL-38999 표준 커넥터를 사용해서 배꼽 케이블(Umbilical cable)을 설계 및 제작해야한다고 권고하고 있다. 그림 1은 MIL-DTL-38999 표준 커넥터의 형상과 각각의 핀에 할당되어 있는 주 신호세트를 나타내고 있다.

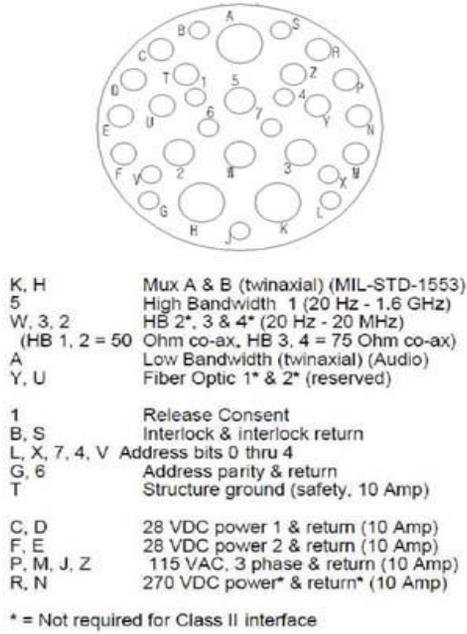


그림 1. 주 신호 세트
Fig. 1. Primary signal set

논리적 인터페이스는 그림2와 같은 데이터 구조의 1553B 메시지를 통해서 항공기와 무장/장착물간 통신 데이터 교환을 수행한다. 항공기와 무장/장착물간 데이터 모니터링과 제어를 위해서 MIL-STD-1760 연동 표준에서는 5비트(bit)로 구성된 서브 주소(Sub address)를 이용하여 표 2와 같은 표준 메시지를 정의 및 분류하고 있다. 또한, 각 제조사들의 무장/장착물마다 데이터 교환 방식 및 처리 절차가 상이하다는 점도 고려해서 제조사가 정의한 메시지도 표준 메시지와 함께 사용할 게 연동 표준에서 정의하고 있다. 각각의 메시지는 최대 32개의 워드(word)로 구성되며 각 워드마다 세부형식은 연동 표준에 상세하게 정의되어 있다.

표 2. 표준 메시지 목록
Table 2. Standard message list

Message	Description
1R	Aircraft Identification
1T	Store Description
2R	Periodic Transfer Alignment
5R	Reset Transfer Alignment
9R	Moment Arm
11R / 11T	Mission Store Control / Monitor
14R / 14T	Mass Data Transfer Control / Monitor
17R / 17T	Target Info Control / Monitor
22R / 22T	Weapon Control / Monitor

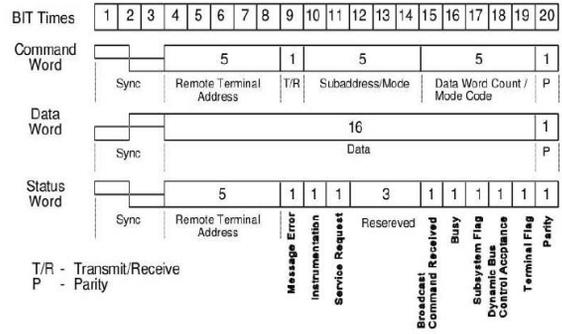


그림 2. 1553B 메시지 구조
Fig. 2. 1553B message format

2-2 파이로 원리 및 동작

파이로는 전기 에너지를 공급받아서 열에너지로 변환시키는 일종의 에너지 변환장치로서 주로 유도탄에서는 추진기관 점화와 같은 주요 비행 절차에 많이 사용된다. 현재 유도탄에서 가장 많이 사용되는 파이로는 그림3과 같은 구조의 발열선을 이용한 전기식 파이로다. 전기 에너지는 쉽게 얻을 수 있으며 저장, 증폭, 변환 등 조작이 용이하다. 또한, 속도가 빠르고, 신뢰성이 높다는 장점을 가지고 있다.

파이로는 그림3처럼 내부 발열선에 전류를 인가하면 열이 발생하게 되고, 발열선을 감싸고 있는 화약은 발열에 의해 단계적으로 점화된다. 따라서 파이로는 화약이 점화되면 재사용이 불가능하기 때문에 일회성으로 소모된다. 파이로는 유도탄의 주요 비행절차에 많이 사용되는 일회성 소모품이기 때문에 점검 시스템은 파이로 착화 회로에 대해서 철저하게 검증해서 신뢰성을 반드시 확보해야 한다.

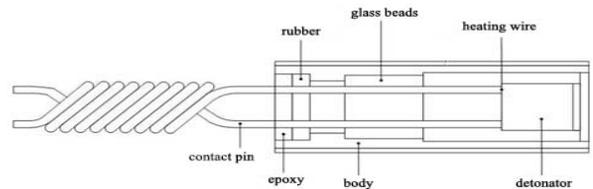


그림 3. 파이로 내부 구조
Fig. 3. Pyro internal structure

III. 점검 시스템 구현 및 안전 분리 절차 검증

본 장에서는 파이로 측정상자, 점검 케이블, VME (VME; Versa Module Eurocard) 보드 등으로 구성된 점검 시스템 구현 및 안전 분리 절차 검증 방안에 대해서 기술한다.

3-1 점검 시스템 구현 방안

점검 시스템은 MIL-STD-1760 연동 표준에서 정의하고 있는 전기적, 물리적, 논리적 인터페이스를 규격대로 구현하고,

유도탄을 점검해서 유도탄의 신뢰성 및 안정성을 확보해야 한다. MIL-DTL-38999 표준 커넥터를 적용한 배꼽 케이블을 통해서 유도탄의 데이터 통신, 이산 신호 및 아날로그 신호를 제어하고, MIL-STD-1553B 에서 요구하는 디지털 통신 방식에 따라 메시지를 유도탄과 송수신할 수 있어야 한다. 또한, 실시간 운영체제를 사용해서 안전 분리 절차에서 요구하는 타이밍에 정확하게 제어할 수 있게 설계하였다.

표 3. 점검 시스템 주요 기능

Table 3. Main functions of test system

Unit	Description
Power Controller	Single-phase power control Internal power control
Control Computer	SBC module 1553B module Discrete signal module Analog signal module DAQ module
I/O Interface	Control signal interface Power control interface Analog signal interface
External Interface	Pyro measuring device Separation simulation device Host computer

3-2 파이로 측정상자 구현 방안

기존에는 유도탄에 장착된 파이로 회로의 성능을 검증하기 위해 그림 4와 같이 파이로 회로에 모의저항을 연결하고, 제어 명령을 인가해서 회로에 흐르는 전류를 오실로스코프(oscilloscope)의 측정 프로브(probe)를 통해서 계측하였다.

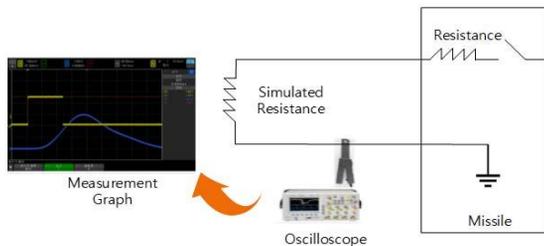


그림 4. 기존 파이로 회로 점검 방식

Fig. 4. Conventional pyro circuit measurement method

기존의 파이로 회로 검증 방식은 오실로스코프의 제한된 채널과 계측 시간 때문에 유도탄에 있는 다수의 파이로 회로를 점검하기 위해서는 회로마다 모의저항을 연결하고, 명령을

인가해서 출력된 그래프를 분석하였다. 이와 같은 방식은 시간이 많이 소모되고, 신뢰성이 떨어지는 문제점을 발생시켰다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서 그림 5와 같은 구조의 파이로 점검 보드를 설계해서 파이로 측정상자를 구현하였다. 파이로 측정상자는 유도탄에서 발생하는 파이로 신호(도화전류)를 파이로 점검 보드의 홀센서(Hall Sensor)가 측정하고, 측정된 데이터를 점검 시스템의 소프트웨어가 수집하고 분석해서 측정 결과를 사용자에게 출력해준다. 이와 같은 방식을 통해서 점검 시간을 단축시키고, 신뢰성을 높일 수 있었다.

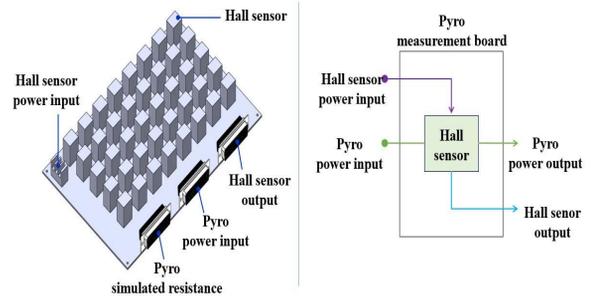


그림 5. 파이로 측정상자의 파이로 점검 보드

Fig. 5. Pyro test board of Pyro measuring device

파이로 점검보드를 구성하는 부품 중에서 가장 핵심적인 부품이 홀센서이다. 홀센서란 전류가 흐르는 도체에 자기장을 걸어 주면 전류와 자기장의 수직 방향에 전압이 발생하는 홀 효과(Hall Effect)가 발생하는데 이를 측정할 수 있는 부품이다. 이때 발생한 전압은 전류와 자기장의 세기에 비례하게 된다. 즉, 전류가 일정하게 인가하면 자기장의 세기에 비례하는 소량의 전압이 발생한다. 이때 발생한 전압을 이용해서 파이로 회로에 인가된 전류량과 시간을 측정할 수 있다.

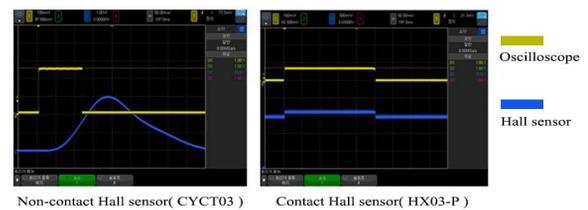


그림 6. 홀센서 응답특성 비교

Fig. 6. Hall sensor response characteristics comparison

파이로 점검 보드에 적용한 홀센서는 유도탄 내부에 장착된 파이로 전류를 정밀하게 측정하기 위해서 응답특성이 좋고, 입력전원의 노이즈 영향을 적게 받아야 한다. 그림 6을 보면 접촉식 홀센서의 응답특성이 비접촉식 홀센서의 응답특성보다 빠르고, 오실로스코프의 측정파형과 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 파이로 점검 보드에는 접촉식 홀센서를 적용하였고, 오프셋(offset) 출력이 없는 홀센서를 사용해서 측정 오차를 최소화함으로써 전류측정 정밀도를 향상시켰다.

전원 공급기를 통해서 파이로 측정상자의 점검보드에 1A

전류를 인가한 후 오실로스코프의 측정 프로브와 점검 시스템의 측정 소프트웨어를 통해서 주익과 미익 파이로 측정 회로에 흐르는 전류 값을 측정하였다. 표 4를 보면 오실로스코프의 측정 프로브와 점검 시스템의 측정 소프트웨어를 통해서 측정한 전류 값을 비교한 결과 평균 0.009 A와 0.016 A인 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 설계한 파이로 측정상자와 점검 시스템이 오실로스코프 측정 성능과 거의 유사하다는 것을 확인할 수 있다.

표 4. 측정 전류 비교표
Table 4. Measurement current comparison table

No	Measured current value(Main wing pyro)		
	Oscilloscope	Pyro measuring device	Difference
1	0.890 A	0.89721 A	0.0072 A
2	0.890 A	0.91369 A	0.0236 A
3	0.890 A	0.88165 A	0.0083 A
4	0.900 A	0.89965 A	0.0003 A
5	0.890 A	0.89691 A	0.0069 A
6	0.890 A	0.91156 A	0.0215 A
7	0.890 A	0.89904 A	0.0090 A
8	0.900 A	0.89965 A	0.0003 A
9	0.890 A	0.90179 A	0.0117 A
10	0.890 A	0.90057 A	0.0105 A
Mean difference			0.0099 A
No	Measured current value(Tail wing pyro)		
	Oscilloscope	Pyro measuring device	Difference
1	0.890 A	0.90728 A	0.0172 A
2	0.900 A	0.91726 A	0.0172 A
3	0.920 A	0.92651 A	0.0065 A
4	0.900 A	0.91642 A	0.0164 A
5	0.900 A	0.89721 A	0.0027 A
6	0.890 A	0.91383 A	0.0238 A
7	0.900 A	0.91375 A	0.0137 A
8	0.900 A	0.91430 A	0.0143 A
9	0.900 A	0.92224 A	0.0222 A
10	0.900 A	0.93261 A	0.0326 A
Mean difference			0.0166 A

3-3 항공기 무장/장착물의 안전 분리 및 동작 성능 검증

본 절에서는 항공기 무장/장착물의 안전 분리 및 동작 성능 검증을 위한 시스템 구성에 대해서 기술한다. 그림 7은 점검 시스템과 파이로 측정상자를 통해서 파이로 회로 및 구동 성능을 개별적으로 검증하기 위한 구성도이다.

점검 시스템은 유도탄에 장착된 미익장치의 구동 성능을 우선적으로 검증해야한다. 배꼽 케이블을 통해서 점검 시스템과 유도탄을 물리적으로 연결한 후 논리적 인터페이스 조건을 만족하는 1553B 제어 명령을 유도탄에 인가한다. 제어 명령과 유도탄에서 출력되는 구동 데이터 간 오차를 측정해서 구동 성능을 확인하였다. 마찬가지로 파이로 회로를 검증하기 위해 그림 8과 같은 구조의 소프트웨어를 통해서 유도탄에 도화 명령을 인가하고, 홀센서를 통해서 계측된 아날로그 데이터를 정해진 횟수만큼 수집 및 분석해서 파이로 회로의 신뢰성을 검증하였다.

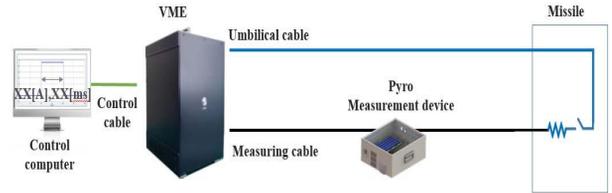


그림 7. 파이로 회로 및 미익 성능 검증을 위한 시스템 구성도
Fig. 7. System configuration diagram for verifying pyro circuit and tail-wing performance

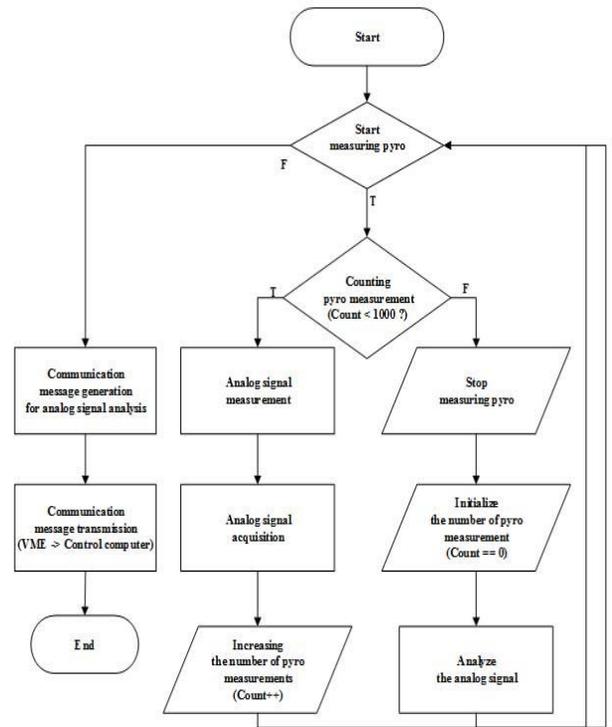


그림 8. 파이로 측정을 위한 SW 흐름도
Fig. 8. Pyro measurement for SW flow chart

항공기 무장/장착물의 안전 분리 및 동작 성능검증을 종합적으로 수행하기 위해 그림 9처럼 점검 시스템, 분리장치, 분리장치 제어기로 시스템을 구성하였다. 점검 시스템은 그림 10과 같은 무장분리 절차에 따라 실시간으로 제어명령을 유도

탄에 인가하면서 응답 데이터를 분석함으로써 안전 분리 절차 시작시점을 감지한다. 안전 분리 절차가 시작되는 시점에 점검 시스템은 그림 11과 같은 구조의 소프트웨어를 통해서 유도탄에게 분리 절차 명령인가, 이산 신호 모의, 아날로그 신호 모의를 해준다. 즉, 유도탄에게 항공기로부터 분리된 환경을 모의해줌으로써 종합적인 안전 분리 절차 성능을 검증할 수 있었다.

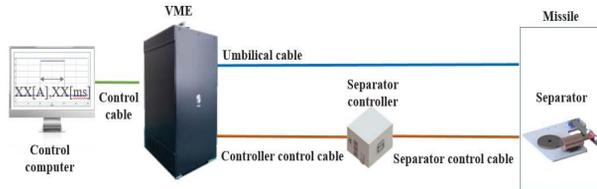


그림 9. 안전 분리 절차 검증을 위한 시스템 구성도
 Fig. 9. System configuration diagram for safety separation procedure verification

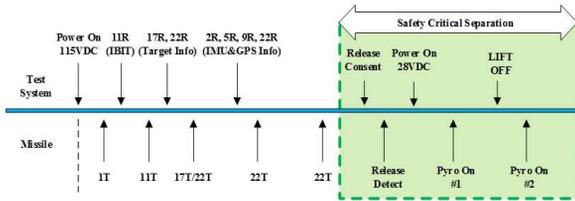


그림 10. 무장 분리 절차
 Fig. 10. Weapon separation procedure

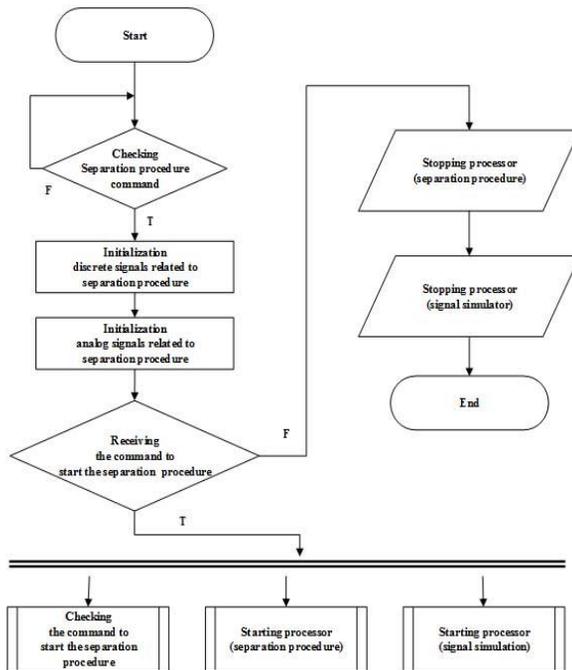


그림 11. 안전 분리 절차 검증을 위한 SW 흐름도
 Fig. 11. SW flow chart for safety separation procedure verification

V. 결론

본 논문에서는 항공기 무장/장착물의 안전 분리 및 동작 성능을 검증하기 위해서 실시간 운영체제와 MIL-STD-1760 연동 표준을 적용한 점검 시스템 설계 및 개발하였다. 실제 항공기로부터 유도탄을 분리하기 전에 지상에서 유도탄의 파이로도화 회로 및 미익구동 성능을 반복적으로 점검해서 각 장비의 신뢰성을 확보할 수 있도록 점검 시스템은 기능 및 성능을 제공하였다. 또한, 지상에서 유도탄이 항공기로부터 분리되는 절차를 종합적으로 점검할 수 있도록 환경을 구성한 후 안전 분리 절차에 따라 유도탄을 검증하는 기능도 점검 시스템은 제공하였다. 점검 시스템을 통해서 유도탄의 성능을 반복적으로 점검하고, 검증함으로써 지상에서 유도탄의 신뢰성을 확보할 수 있었고, 실제 항공기에 유도탄을 장착하고, 공중에서 분리하는 안전 분리 시험도 정상적으로 수행할 수 있었다. 추후에는 위성 신호 모의, 고도 모의 등 다양한 환경을 유도탄에 모의해주고, 정밀하게 검증할 수 있는 점검 시스템을 설계 및 개발할 예정이다.

References

- [1] MIL-STD-1760E : Aircraft/store electrical interconnection system, U.S. DoD, 2007.
- [2] MIL-HDBK-1760A : Aircraft/store electrical interconnection system, U.S. DoD, 2004.
- [3] MIL-STD-1553B Notice 4 (1996) : Digital time division command/response multiplex data bus, U.S. DoD, 5 January, 1996.
- [4] S. M. Choi, "Analysis of the Correlation between Armament /Store Integration Criteria and Aircraft Launch Missile Development Process," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 22, No.2, pp. 84-89, Apr. 2018.
- [5] MIL-HDBK-1763 : Aircraft/store compatibility:systems engineering data requirements and test procedures, U.S. DoD, 1998
- [6] K. D. Lee, I. W. Lee, Y. K. Park, S. W. Baek, N. H. Jung and S. J. Jung, "Ground ejection tests for the safe separation analysis of a gliding bomb," *Journal of the Korean society for Aeronautical and Space Science*, Vol. 41, No. 6, pp. 502-508, 2013.
- [7] H. K. Cho and B. S. Kim, "A study on the standard of test

and evaluation for aircraft/store compatibility,” in 2012 The Korean Society for Aeronautical and Space sciences Fall Conference, Je-ju: Korea, pp.1256~1259, 2012.

[8] H. S. Yeom, J. H. Oh and D. Y. Sung, “A study on Technique of Development Test by an Aircraft Captive Flight Test in Weapon System,” Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 37, pp. 1010~1016, 2009.

[9] S. J. Lee, J. H. Lee and J. Y. Hong, “Test and Evaluation Cost for the Aircraft and Guided Missile(1),” Defense & Technology, Vol. 339, No. 05, pp. 32~45, 2007.

[10] Squair, M. J., “Safety, software architecture and MIL-STD-1760,” in *Proceedings of the 11th Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software*, Adelaide: Australia, Vol. 29, pp. 93-112, 2007.



김 호 중 (Hyo-Joung Kim)

2007년 2월: 충남대학교 정보통신공학과(공학사)
2009년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2009년 2월 ~ 현재: LIG넥스원 수석연구원
※관심분야: 항공기 무장, 유도탄 체계



김 양 원 (Yang-Won Kim)

2014년 2월 : 아주대학교 전자공학과 (공학사)
2014년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원
※관심분야 : 항공기 무장, 유도탄 체계



권 병 기 (Byung-Gi Kwon)

2016년 8월 : 아주대학교 IT융합대학원 (공학석사)
2006년 1월 ~ 현재 : LIG 넥스원 수석연구원
※관심분야 : 유도무기, 신호처리