

논문 2014-51-10-25

안전성 증대를 위해 솔레노이드를 적용한 신관 안전장전장치 설계

(Design of Safety and Arming Device of the Fuze
using Solenoid for Improving Safety)

안 지 연*, 정 명 숙*, 김 기 룡*

(Ji Yeon An[©], Myung Suk Jung, and Ki Lyug Kim)

요 약

신관 안전장전장치는 비행체의 수송, 저장, 취급 중의 안전을 절대적으로 보장하도록 설계되어야 한다. 본 논문에서는 비행체에 적용되는 신관 안전장전장치의 안전성을 증대시키기 위한 솔레노이드 조립체와 솔레노이드 조립체를 구동하기 위한 솔레노이드 구동회로를 포함한 신관 안전장전장치 설계에 대해 기술한다. 솔레노이드 조립체는 신관 안전장전장치에 적용한 추가적인 안전장치로서, 코일 조립체, 복원스프링, 코어 등으로 구성된다. 솔레노이드 조립체의 코어는 정상시에는 1차 안전장치를 구속하고 있어 1차 안전장치가 작동하는 것을 저지해줌으로써 비행체의 취급이나 수송 시 안전을 확보해주게 되며, 발사를 위한 비행체 배터리 전원이 인가 및 활성화되어 신관 안전장전장치에 공급되면, 솔레노이드 구동회로가 코어를 작동시켜 신관 안전장전장치의 1차 및 2차 안전장치를 해제시키는 역할을 한다. 또한, 솔레노이드 구동회로는 비행체 발사 이후, 신관 안전장전장치의 기계적 장전이 완료되어 장전스위치가 turn-on되면 솔레노이드 조립체에 인가되는 전원을 자동 차단시켜 비행 중의 전원 소모량을 줄일 수 있도록 하였다.

Abstract

The safety and arming device(SAD), one of the components of the fuzes, shall provide safety that is consistent with handling, storage, transportation, use, and disposal. In this paper, we describes the design of the SAD which includes the solenoid assembly and the solenoid driving circuit to improve the safety of the fuzes. The solenoid assembly consists of a coil assembly, a restoring spring, and a core. The solenoid assembly is added in the SAD as an additional safety device. In case of the normal circumstances, the core of the solenoid assembly restrains the 1st and 2nd safety devices of the SAD for those devices not to operate at all, so that the SAD can secure safety for storage, transportation, and use. In contrast, when the battery power is provided to the solenoid driving circuit just before the flight, the core confirms the power level and starts removing the restraint from the 1st and 2nd safety devices of the SAD, and then the SAD is able to change its mode from safety mode to armed mode. After firing, once the SAD's operations complete, the turned-on arming switch stops providing the power to the solenoid assembly automatically. It can reduce the power consumption at solenoid assembly. Therefore, the proposed solenoid driving circuit for the solenoid assembly not only unlocks the restrained solenoid assembly from the safety devices, but also saves the power consumption during the flight.

Keywords : Fuzes, Safety and Arming Device(SAD), Solenoid, Solenoid Driving Circuit

* 정회원, 국방과학연구소 신관연구실협실
(Agency for Defence Development, Fuze Research Laboratory)

© Corresponding Author(E-mail: jyan@add.re.kr)

접수일자: 2014년08월20일, 수정일자: 2014년09월26일, 게재확정: 2014년09월30일

I. 서 론

비행체에 적용하는 신관(Fuze)은 그림 1에 나타난 바와 같이, 표적을 탐지하는 표적탐지장치(Target detecting device, TDD)와 폭발계열을 포함한 안전장전장치(Safety and arming device, SAD)로 구성된다. 특히 SAD는 비행체의 수송, 저장, 취급 중의 안전을 보장하고, TDD가 표적을 탐지하여 표적탐지신호를 출력하거나 또는 비행체가 표적과 충돌하면서 표적충돌신호가 출력되는 경우, 기폭신호를 출력하여 기폭관을 점화시키고 탄두를 기폭시키는 역할을 한다. 이를 위해 SAD는 크게 기폭회로 및 인터페이스 회로 등으로 이루어진 기폭회로부, 안전장치(관성추 및 로터 조립체), 그리고 폭발계열로 구성된다.

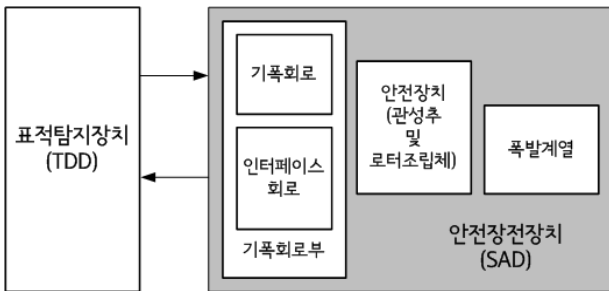


그림 1. 신관의 구성
Fig. 1. Structure of the Fuze.

본 논문에서는 비행체의 안전성을 증대하기 위해 제안한 솔레노이드 조립체와 솔레노이드 조립체를 구동시키기 위한 솔레노이드 구동회로를 포함한 SAD의 설계에 대하여 기술한다.

II. 본 론

1. SAD의 구성

그림 2는 SAD의 블록도를 나타낸 것으로서 각 부분에 대하여 아래에서 기술한다.

가. 기폭회로부

(1) 전원필터 및 장전스위치

전원필터는 비행체 배터리 전원단을 통해서 유입되는 외부 잡음을 제거하는 역할을 수행한다. 이를 위해 전원필터 회로는 공통모드 잡음제거 필터부와 파이(π)

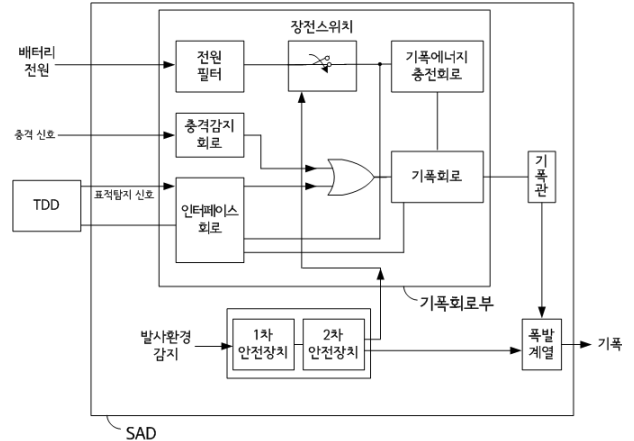


그림 2. SAD 블록도
Fig. 2. Block Diagram of the SAD.

형 필터부로 구성하여 설계하였고, 공통모드 잡음제거 필터의 샴시 접지는 SAD의 하우징에 접지하여 전자과 잡음을 차폐하도록 하였으며, 제너다이오드를 적용하여 임펄스형 잡음을 제거하도록 설계하였다.

장전스witch는 SAD의 안전장치가 장전되면 작동(turn-on) 되도록 설계하였다. SAD는 비행체의 수송, 저장, 취급 중의 안전을 보장하고, 비행체 발사 후 안전 거리를 이탈한 시점에서 장전되도록 설계되어야 하므로, SAD는 비행체 발사 직전에만 활성화 되는 배터리 전원에 의해서만 작동하도록 설계하였고, 여기에 추가로 장전스witch를 적용함으로써 비행체가 발사되어 일련의 과정을 거쳐 기계적으로 장전이 완료되는 경우에만 장전스witch가 turn-on되도록 설계하였기 때문에 비행체의 수송, 저장, 취급 중의 안전을 확실히 보장하도록 하였다.

(2) 충격감지회로

충격감지회로는 충격스위치와 트랜지스터 등으로 구성되어 비행체와 표적과의 충돌을 감지하도록 설계하였다. 비행체와 표적이 충돌할 때, 충격스witch는 turn-on되면서 기폭관을 점화시키기 위한 기폭 트리거신호를 출력한다. 이 때 충격스witch의 turn-on 시간은 충돌 순간 충돌 조건에 따라 수 μ s에서 수백 μ s로 매우 크게 변한다. 이로 인해 특정 표적 충돌 조건에서 충격스witch의 turn-on 시간이 수 μ s 이하로 매우 짧을 경우, 충격스witch를 통해 기폭에너지가 기폭관에 충분히 전달되지 않게 되어 기폭관 점화가 되지 않을 수 있고 따라서 신관이 미작동하는 경우가 발생한다. 이러한 단점을 보

완하기 위해 트랜지스터, 저항, 캐패시터 등을 이용하여 충격스위치 단자의 단락시간이 수 μs 정도로 짧더라도 기폭 트리거신호의 펄스폭을 수십 μs 이상으로 확장시켜 기폭에너지가 기폭관으로 충분히 전달되도록 하여 기폭관을 확실히 점화시킬 수 있도록 하였다.

(3) 기폭에너지 충전회로

기폭에너지 충전회로는 일정시간의 전기적인 지연 후 기폭회로 내의 기폭캐패시터에 에너지를 충전시켜 주는 역할을 한다. 장전스위치가 turn-on 되어 기폭에너지 충전회로에 전원이 인가되면, 회로 내의 저항과 캐패시터에 의해 전압 전압이 충전되기 시작하며, 트랜지스터와 제너다이오드를 적용하여 제너 전압 도달 이후 기폭회로 내의 기폭캐패시터가 충전될 수 있도록 충전지연기능을 보유한 회로를 설계하였다. 이로써 기폭캐패시터에는 충전시간 동안의 시간 지연 이후 기폭에너지가 충전되고, 충전이 완료된 시점이 SAD의 전기적 장전시간이며, 이를 통해 SAD의 장전시간 요구사항을 만족하도록 설계하였다.

(4) 기폭회로

기폭회로는 TDD로부터 입력되는 표적탐지신호 또는 비행체가 표적과 충돌하면서 출력되는 표적충돌신호에 의해 트리거되어 수십 μs 이상의 펄스폭을 가지는 기폭신호를 발생시킨다. 기폭펄스는 기폭캐패시터에 저장되어 있던 기폭에너지를 짧은 시간 동안 순간적으로 방전시키게 되어 기폭관을 점화시키게 된다.

(5) 인터페이스 회로

SAD의 인터페이스 회로는 신관 TDD 등과의 전기적 인터페이스를 수행하는 회로로서, 기폭회로부에 잡음 등의 유입 방지를 위해 옵토커플러(opto-coupler)를 사용하여 전기적 절연이 되도록 회로설계를 하였다.

SAD가 외부로부터 인가받는 신호는 표적탐지신호 1개이며, SAD가 출력하는 신호는 SAFETY 신호 등을 포함한 다수 개의 신호가 있다. 표적탐지신호는 신관 TDD가 비행 중 표적을 탐지하였을 때 SAD로 출력하는 신호이고, SAFETY 신호는 발사 전 비행체 전원 인가 시 SAD의 안전 또는 장전 상태를 확인하기 위한 신호이다. 이 신호는 신관 TDD에 인가되며, 신관 TDD는 이 신호의 상태에 따라 SAD의 안전/장전 상태를 판단

하여 신관의 자체고장진단(Built-in Test, BIT) 점검을 수행하게 된다.

나. 안전장치

SAD의 안전장치는 비행체의 수송, 저장, 취급 중의 안전성을 확보하기 위해 발사환경 이외의 여하한 조건에서도 작동되면 안 되며, 두 가지의 독립적인 요인에 의해 장전되도록 설계되어야 한다. 본 논문에서는 SAD 안전장치로서 관성추 등을 포함한 관성장치 조립체와 로터 조립체를 사용하였고, SAD의 안전조건에 부합되도록 설계하였다.

비행체 발사 직전 SAD에 비행체의 배터리 전원이 인가되고, 비행체 발사 시의 발사환경을 감지하여 관성장치 조립체의 관성추가 작동하면, 차례로 로터 조립체가 작동하여 특정 시간 장전 지연된 후에 SAD를 기계적으로 장전시킨다. SAD가 기계적으로 장전되면 기폭관 및 폭발계열이 정렬되게 되고, 기폭회로부로 전원을 공급하는 장전스위치가 turn-on되어 기폭회로 내의 기폭캐패시터에 기폭에너지가 충전되는데, 이 시점이 SAD의 전기적 장전이 완료된 시점이다.

(1) 관성장치 조립체

관성장치 조립체 내의 관성추는 비행체가 발사되면 그 추력에 의해 하강하도록 설계되었으며, 작동과 비작동 조건은 관성추의 형상과 무게를 변경함으로써 요구사항에 부합되도록 하였다.

(2) 로터 조립체

로터는 비행체가 발사되어 관성추가 하강한 이후, 무게중심의 편심으로 인한 관성에 의해 지연장치와 연계하여 일정시간 지연 후 작동하여 장전스위치를 작동시키도록 설계되었다.

다. 폭발계열

기폭관은 기폭회로부 내에 위치하고, 연결관은 안전장치의 관성장치 조립체에 위치하도록 설계하였다. 폭발계열의 정렬은 비행체 발사 시 발생하는 관성력에 의한 관성장치 조립체의 관성추 및 로터 동작에 의해서만 이루어지도록 설계하였다.

2. SAD의 작동

그림 3은 비행체 발사 절차에 따른 SAD의 개략적인 작동 개념도를 나타낸 것이다. 신관에 비행체 전원이 공급되면 SAD는 인터페이스 회로를 통해 안전상태를 확인하기 위한 SAFETY 신호를 출력한다. 비행체 전원이 인가 직후, SAFETY 신호가 HIGH 상태이면 SAD는 안전모드(정상)이며, LOW 상태이면 장전모드(비정상)에 있음을 나타낸다. SAFETY 신호는 신관 BIT 점검에 포함되어 결과를 출력한다. 다음으로 비행체 발사 수 초 전, SAD에 비행체 배터리 전원이 인가되고, 발사 절차에 따라 비행체가 발사하게 된다. 비행체가 발사되면 SAD의 안전장치인 관성추 및 로터 조립체가 차례로 작동되고, SAD의 기계적 장전이 수행되어 장전스위치가 turn-on한다. 그림 2의 SAD의 블록도에 나타낸 바와 같이, 장전스위치가 작동하면 기폭에너지 충전회로에 전원이 인가되고, 기폭에너지 충전회로는 비행체가 안전거리를 벗어나는데 소요되는 일정 시간동안 지연한 후 기폭회로 내의 기폭 캐패시터에 기폭에너지를 충전시킴으로써 전기적인 장전까지 완료한다. 기폭에너지가 충전된 기폭회로는 비행체와 표적 충돌 시 작동하는 충격센서 출력신호 또는 TDD로부터 출력되는 표적 탐지 신호에 트리거되어 기폭관을 기폭시키고, 폭발계열을 통해 탄두를 기폭시킨다.

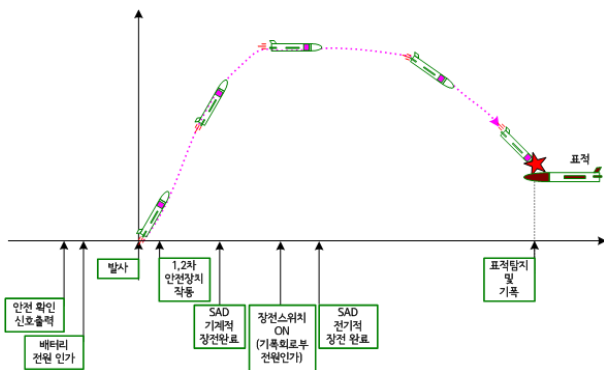


그림 3. SAD 작동 개념도
Fig. 3. Operational Concept of the SAD.

3. 솔레노이드 구동회로

그림 4는 솔레노이드 조립체와 솔레노이드 구동회로가 추가된 SAD의 블록도를 나타낸다. 그림에 나타낸 바와 같이 솔레노이드 조립체는 신관의 1차 및 2차 안전장치 앞에 위치하여 기구적으로 조립되며, 솔레노이

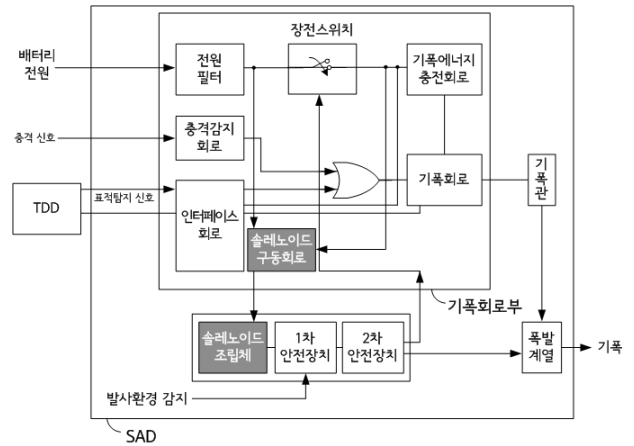


그림 4. 솔레노이드 조립체 및 솔레노이드 구동회로가 추가된 SAD 블록도
Fig. 4. Block Diagram of the SAD with a Solenoid Assembly and Solenoid Driving Circuit.

드 구동회로는 기폭회로부 내에 위치한다. 솔레노이드 조립체는 비행체의 저장, 수송, 취급 시의 안전성을 증대하기 위해 SAD에 적용한 추가적인 안전장치로서, 1차 안전장치인 관성장치 조립체 및 2차 안전장치인 로터 조립체의 안전핀 역할을 수행한다. 솔레노이드 구동회로는 솔레노이드 조립체 내에 장착된 솔레노이드를 구동하는 역할을 하는데, 외부로부터 솔레노이드 구동신호를 인가받지 않고, 솔레노이드 구동회로 내에서 독자적으로 작동하도록 설계하였다. 즉, 솔레노이드 구동회로는 전원이 인가됨과 동시에 솔레노이드를 구동한다. 또한, 솔레노이드 구동회로는 SAD가 장전됨과 동시에 솔레노이드 구동전원을 자동으로 차단시켜 비행 중의 전원 소모량을 줄일 수 있도록 설계하였다.

그림 5는 제안하는 SAD의 솔레노이드 구동회로의 세부회로도이다. 그림 5에서 보는 바와 같이, 비행체 발사 수 초 전, SAD가 비장전 상태에서 발사를 위해

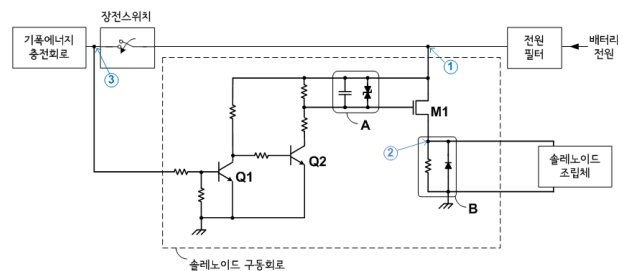


그림 5. 솔레노이드 구동회로
Fig. 5. The Solenoid Driving Circuit of the SAD.

비행체 배터리 전원이 SAD에 인가되면 장전스위치가 비작동(turn-off) 상태에 있으므로(SAD가 장전상태일 때만 turn-on) 트랜지스터 Q1이 turn-off 상태가 되고, 이로 인해 트랜지스터 Q2가 turn-on 상태가 된다. Q2가 turn-on되면 P채널 MOSFET M1의 게이트-소스단에 역전압이 인가되어 M1이 turn-on된다. 이로 인해 솔레노이드 조립체에 솔레노이드 구동전압이 인가되어 1차 및 2차 안전장치의 안전핀 역할을 하는 솔레노이드 핀을 잡아당겨 안전장치의 안전상태를 해제한다. 이후 비행체가 발사되고 SAD 내의 1차 및 2차 안전장치가 비행체 발사환경을 감지하여 작동하게 된다. 비행체가 안전거리를 벗어나면 SAD가 장전되고 장전스위치가 turn-on된다. 장전스위치가 turn-on되면, Q1이 turn-on 상태가 되고 이로 인해 Q2가 turn-off된다. Q2가 turn-off 되면, M1도 turn-off 되어서 솔레노이드 조립체에 인가된 전원이 자동 차단되고 이로 인해 큰 에너지를 사용하는 솔레노이드 구동전원이 차단되어 비행 중의 전원 소모를 감소시킨다. 한편, M1의 게이트 단 보호를 위해 캐패시터와 다이오드로 구성된 보호용 회로 A를 적용하였고, 솔레노이드 구동전원 차단 시 발생하는 역기전력 등에 의한 M1의 손상을 방지하기 위해 저항과 다이오드로 구성된 보호용 회로 B를 적용하였다.

그림 6은 솔레노이드 구동회로에 의한 솔레노이드 조립체의 구동전원 인가 및 차단에 대한 개념도이다.

그림 6에서 보면, 비행체 발사 전 비행체 배터리 전원(그림 5의 ①)이 인가되면, 솔레노이드 구동회로가 솔레노이드 조립체에 구동전원(그림 5의 ②)을 인가하여 SAD의 장전을 위한 안전장치(안전핀)를 해제시킨다. 이후 비행체가 발사되어 기계적 장전이 완료되면(장전

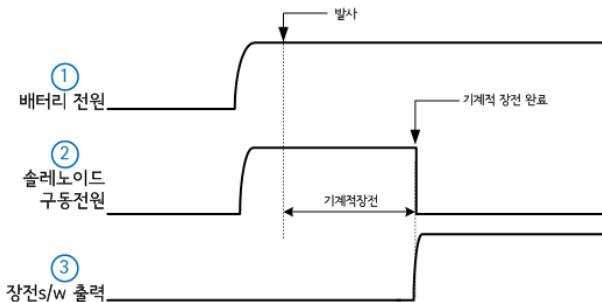


그림 6. 솔레노이드 구동전원 인가 및 차단 개념도
Fig. 6. Conceptual Diagram of the Solenoid Driving Power.

스위치(그림 5의 ③)가 turn-on 상태) 솔레노이드 조립체 구동전원을 차단하여 전원 소모량을 감소시킨다.

이와 같이 솔레노이드 조립체 및 솔레노이드 구동회로가 추가되면서, 발사 직전 신관이 정상인지를 확인하는 신관 BIT 점검에 솔레노이드 조립체의 동작 확인을 위한 SOL 신호 점검절차를 추가하였다. SOL 신호는 SAD 기폭회로부 내의 인터페이스 회로를 통해 출력된다. 신관에 비행체 전원이 공급되고 솔레노이드 구동회로를 통해 솔레노이드 조립체에 전원이 인가되면 SOL 신호는 LOW 상태가 된다. 이 신호가 LOW 상태가 되었다는 것은 솔레노이드 조립체를 작동시키기 위한 솔레노이드 구동전원이 정상적으로 인가되었음을 나타내므로 정상인 경우 LOW가 되며, 그렇지 않은 경우 HIGH를 출력한다. SOL 신호는 SAFETY 신호와 함께 신관 BIT 점검에 포함되어 이 결과가 정상인 경우에는 비행체의 발사절차가 계속 진행되고, 만약 점검결과가 비정상이면 발사절차를 중단하게 된다.

III. 제작 및 시험

솔레노이드 조립체 구성은 다음 그림 7에 나타낸 바와 같이, 코일 조립체와 복원스프링, 코어로 구성되어 있다.

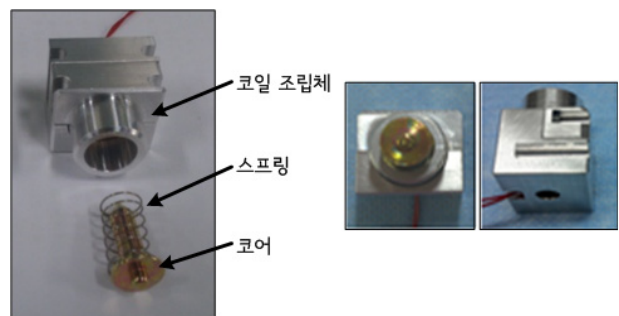


그림 7. 솔레노이드 조립체 형상
Fig. 7. The Solenoid Assembly.

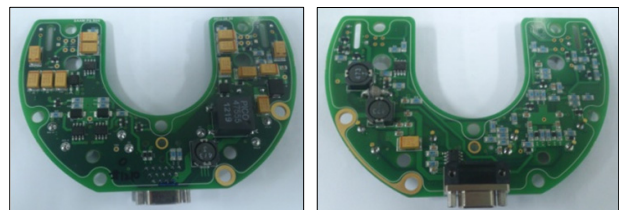


그림 8. SAD 기폭회로부(좌: 전면, 우: 후면)
Fig. 8. The Detonating Circuit Board of the SAD (Left: the front, Right: the back).

코어는 평상시 즉, 수송, 저장, 취급 등의 상태에는 1차 안전장치(관성장치 조립체 내의 관성추)를 구속하여 관성추가 운동하는 것을 저지해줌으로써 비행체의 취급이나 수송 시 안전을 확보해주게 되며, 비행체 발사를 위한 배터리 전원이 활성화되어 SAD에 공급되면, 코어가 작동하여 구속을 해제함으로써 관성추가 작동할 수 있게 한다. 그림 8은 솔레노이드 구동회로를 포함한 SAD 기폭회로부의 제작 형상을 나타낸다.

솔레노이드 구동회로의 동작을 확인해 보기 위해 오실로스코프를 이용하여 파형을 측정하였다. 비행체 배터리 전원이 인가된 후 발사되고 SAD의 기계적 장전이 완료됨을 모의하여야 하는데, 실험실에서는 발사 시 발생하는 환경을 동일하게 모사할 수가 없어 장전스위치를 강제적으로 turn-on 하여 신호를 측정하였다. 장전스위치를 turn-on 시킨 시점이 기계적 장전이 완료된 시점이므로 이 때의 솔레노이드 구동전원 및 인터페이스 회로의 출력 신호들을 측정하였다. 그림 9의 좌측 파형을 보면, 장전스위치가 turn-off 상태일 때는 솔레노이드 구동전원이 HIGH 상태이다가, 장전스위치가 turn-on되면, 솔레노이드 구동전원이 차단됨을 알 수 있다. 우측 파형은 기폭회로부 내 인터페이스 회로의 결과로서, SAD의 안전 확인을 위한 SAFETY 신호와 솔레노이드 조립체 동작 확인을 위한 SOL 신호 출력을 나타내고 있다. SAFETY 신호는 SAD가 비장전 상태이면 HIGH이고, 장전 상태이면 LOW이다. 또한 SOL 신호는 솔레노이드 조립체에 구동전원이 공급되어 작동하게 되면 LOW이고, 그렇지 않으면 HIGH이다. 결과 확인을 위해 장전스위치를 turn-on하여 SAD를 장전시키면, SAFETY 신호는 HIGH에서 LOW로, SOL 신호는 LOW에서 HIGH로 출력된다. 이로부터 솔레노이드 조립체 및 솔레노이드 구동회로가 정상동작 함을 확인하였다.

IV. 결론

비행체에 적용하는 신관 SAD는 비행체의 수송, 저장, 취급 중의 안전을 보장하고 신관 TDD가 표적을 탐지하거나 또는 비행체가 표적과 충돌 시 기폭신호를 출력하여 기폭관을 점화시키고 탄두를 기폭시키는 역할을 한다. 이를 위해 SAD는 크게 기폭회로부, 안전장치, 폭발계열로 구성된다. 본 논문에서는 안전성을 증대하기 위해 적용한 솔레노이드 조립체와 솔레노이드 조립체를 구동시키기 위한 솔레노이드 구동회로를 포함한 SAD의 설계에 대하여 기술하였다. 솔레노이드 구동회로는 비행체 발사 직전 비행체 배터리 전원을 인가받아 솔레노이드 조립체를 구동시켜 SAD의 1차 및 2차 안전장치를 해제시키는 역할을 한다. 또한, 솔레노이드 구동회로는 비행체 발사 이후, SAD의 기계적 장전이 완료되어 장전스위치가 turn-on되면 솔레노이드 조립체에 인가되는 전원을 자동 차단시켜 비행 중의 전원 소모량을 줄일 수 있도록 하였다.

REFERENCES

- [1] MIL-STD-1316E, "Fuze design, safety criteria for," Department of Defense Design Criteria Standard, July, 1998.
- [2] Henry W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic systems*, Wiley, 1976.



그림 9. 동작 확인 결과

Fig. 9. Operation Results of the SAD.

저 자 소 개



안 지 연(정회원)
2008년 경북대학교 전자전기
컴퓨터학부 학사 졸업.
2010년 포항공과대학교
전자공학과 석사 졸업.
2010년~현재 국방과학연구소
연구원
<주관심분야 : 회로, 신호처리, 유도/제어기법>



정 명 숙(정회원)
1999년 경북대학교 전자·전기
공학부 학사 졸업.
2001년 포항공과대학교 전자전기
공학과 석사 졸업.
2001년~현재 국방과학연구소
선임연구원
2014년~현재 포항공과대학교 전자전기공학과
박사과정
<주관심분야 : 안테나 및 RF 회로 설계/제작, 레
이더/레이디오미터 시스템>



김 기 룡(정회원)
1985년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업.
1987년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.
2004년 충남대학교 전자공학과
박사 졸업.
1987년~현재 국방과학연구소 책임연구원
<주관심분야 : 통신, 회로, 영상처리, 신호처리>