

MEMS를 이용한 추진기관 점화안전장치

장승교* · 이상현** · 장현기***

Ignition Safe-Arm-Unit Using Micro-Electromechanical Systems

Seunggyo Jang* · Sanghun Lee** · Hyunkee Chang***

ABSTRACT

Ignition Safe-Arm-Unit using micro-electromechanical systems(MEMS) for propulsion system was designed and manufactured. MEMS was designed according to the design schemes for conventional mechanical elements. By comparing the design results and the test data of the prototype, small discrepancy was found, which is due to the nonlinear characteristic of the structure and the machining accuracy. The applicability of MEMS for Safe-Arm-Unit was proved by testing MEMS which is assembled into SAU.

초 록

MEMS를 적용한 추진기관용 점화안전장치를 설계하고 제작하였다. MEMS는 일반적인 기계요소 설계 방식을 따라 설계하였다. 제작된 시료에 대한 검사 결과와 설계 데이터를 비교해 본 결과 스프링의 비선형 요소에 의한 영향과 가공오차 등으로 인하여 설계된 성능 값과 근사한 차이를 나타냈다. MEMS가 결합된 점화안전장치의 성능 시험을 실시함으로써 MEMS 적용 가능성을 입증하였다.

Key Words: MEMS, Ignition Safe Arm Unit(점화안전장치), Threshold Hysteretic Switch(턱넘김 이력 스위치), Flexure Hinge(연성 힌지)

1. 서 론

유도무기용 추진기관은 무기체계가 고급화되고 현대화 될수록 그 안전성이 강조된다. 대부분의 추진기관은 전기식 기폭관에서 발생하는 열

원을 이용하여 점화되므로 추진기관의 우발 점화를 방지하기 위하여 전기식 기폭관의 동작 조건을 제한하는 방식을 채택하고 있다[1,2]. 즉, 어떤 특별한 조건을 만족할 때만 전기식 기폭관이 동작하도록 부가적인 장치를 설치한다. 이러한 장치를 일반적으로 점화안전장치라고 한다.

본 연구를 통하여 개발한 점화안전장치는 유도탄이 가스발생기 등에 의해 발사관에서 사출된 후 일정 거리를 비행한 후 공중에서 점화되

* 국방과학연구소 1본부-6부-2그룹

** (주) 한화 구미공장 개발 1부

*** (주) 마이크로인피니티 연구소

연락처, E-mail: jsg4580@add.re.kr

는 시스템의 경우에 적용된다. 이 때 점화안전장치는 유도탄의 사출 운동을 감지하여 점화회로를 연결시켜주는 기구적 메커니즘을 필요로 하는데, 유도탄이 소형일 경우 이러한 기구적 메커니즘을 일반적인 기계 가공품으로 설치하는 것이 부적합하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 MEMS 기술을 적용한 점화안전장치를 최초로 설계하였다. 본 연구를 통하여 개발된 점화안전장치용 MEMS는 유도탄의 사출 가속도를 감지하여 순차적으로 3개의 접점을 단락시키게 되는데, 이 접점들이 모두 정해진 시간 안에 동작하여야 추진기관에 점화 전류가 공급될 수 있다. 즉, 유도탄에 사출 가속도가 인가되어야만 추진기관에 점화 전류가 공급되고, 일반적인 보관 상태나 운용 중에는 절대로 점화신호가 공급될 수 없도록 고안된 장치이다.

본 논문에서는 점화안전장치용 MEMS 설계 내용과 MEMS를 적용한 점화안전장치 설계 및 시험 결과를 기술하였다.

2. 설 계

2.1 점화안전장치 설계

점화안전장치는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 유도탄의 사출 운동을 2개의 MEMS 소자로 감지하고 유도탄이 발사관을 벗어나 일정한 시간이 지났을 때 점화회로가 세 번째 MEMS 소자에 의해 연결되도록 설계하였다. 세 번째 MEMS 소자가 연결된 후 추가로 일정한 시간이 경과되면 점화회로에서 점화전류를 공급하게 된다.

가속도를 감지하는 두 개의 MEMS 소자는 전원이 공급되기 전까지 구속 편에 의해 고정되어 있으므로 외부의 충격이나 진동에 의해 MEMS는 절대로 동작하지 않게 된다. 또한 일정한 시간 간격을 두고 사출 가속도를 감지하기 위하여 첫 번째 MEMS 소자와 두 번째 소자 사이에는 전기적 저항과 커패시터를 연결하였다. 이렇게 함으로서 첫 번째 소자가 동작하고 발생하는 신호가 일정한 시간 후에 두 번째 소자의 구속 편을 해제해 주고 그 시점에 두 번째 소자는 가속도를 감지하기 시작한다. 또한 두 번째 소자와

마지막 소자인 전기기계식 접점 사이에도 유사하게 저항과 커패시터를 연결하여 동작 시간 지연이 발생하도록 하였다.

점화회로는 Mono-stable Multivibrator IC를 이용하여 설계하였고 사출모타가 점화되어 유도탄의 배꼽이 분리되면 그 신호를 트리거 신호로 사용하여 일정한 시간 후에 내장된 Power Tr을 동작시킴으로 점화 전류가 공급된다.

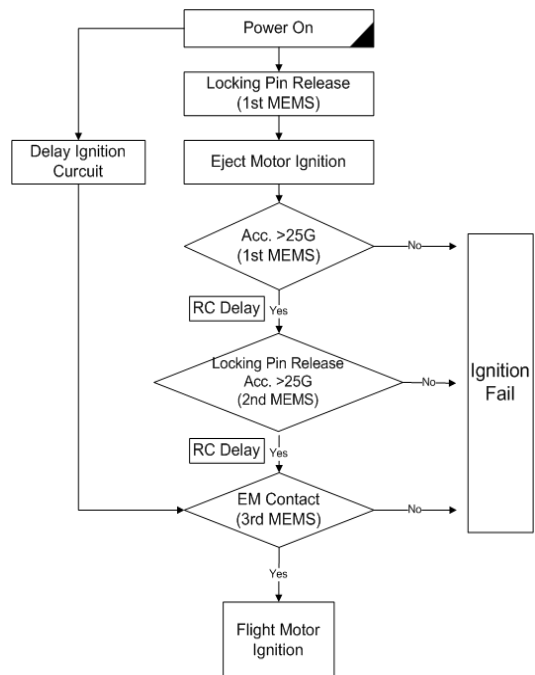


Fig. 1 Flow Chart of MEMS SAU

2.2 MEMS 설계

SAU에 적용된 MEMS는 크게 세부분으로 나눌 수 있는데 두 개의 가속도 스위치와 하나의 전기기계식 접점으로 구성된다. 또한 각각의 가속도 스위치에는 구속 편이 체결되어있으므로 전원이 인가되기 전까지는 어떤 충격에 의해서도 가속도 스위치가 동작하지 않도록 설계되어 있다.

(1) 가속도 스위치 설계

SAU용 MEMS에 적용되는 가속도 스위치는 운용 특성상 일정 한계치 가속도 이상에서만 동

작하여야 한다. 이러한 특성을 만족시키기 위하여 소자가 힘을 받아 변위가 발생하는 경로에 불안정한 평형점을 갖는 목넘김(threshold) 이력(hysteretic) 스위치를 설계하였다. 설계된 가속도 스위치의 동작에 관여되는 힘은 연성 힌지(flexure-hinge)의 굽힘에 의한 반발력과 판스프링의 변형에 의한 반발력이다. 즉, 외부에서 관성질량에 가해지는 관성력이 유연 힌지 반발력과 판스프링 반발력의 합보다 클 경우에 동작하도록 설계하였다. 설계된 스위치의 개념도는 Fig. 2와 같다. Figure 2에는 3개소의 유연 힌지와 길이가 l 인 하나의 판스프링이 표시되어 있다.

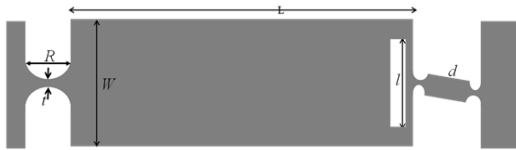


Fig. 2. Schematic Diagram of Threshold Hysteretic Switch

유연 힌지의 굽힘에 의해 발생하는 회전방향의 복원력은 회전방향의 변위(θ_F)가 증가함에 따라 다음 식과 같이 표현된다.

$$T_{Flexure} = K_{ZF} \theta_F = \frac{2EHt_F^{5/2}}{9\pi R^{1/2}} \theta_F$$

여기에서 K_{ZF} 는 유연 힌지의 탄성계수이고, E 는 Young's modulus, H 는 힌지의 두께, 그리고 t 는 힌지 목(Hinge neck)의 두께를 의미한다.

반면에 핀 스프링의 변형에 따른 복원력은 빔의 변형량(dX)에 따라 아래의 식과 같이 표현할 수 있다.

$$T_{beam} = K_{beam} dX \frac{l}{2} = 2EH \left(\frac{w}{l}\right)^3 \frac{dX \cdot l}{2}$$

각 변위 θ_F 가 증가함에 따라 유연 힌지들과 판스프링에 의해 발생하는 복원력을 표현하면 Fig. 3과 같다.

Figure 3으로부터 일반적인 가속도 스위치와 달리 일정한 가속도가 관성질량에 인가될 경우

불안정 평형점을 지나 대변위 이동을 하는 목넘김(threshold)현상이 유발됨을 확인할 수 있다. 이러한 목넘김 현상은 진동 및 충격 등에 대해 꺼짐 상태(Off-State) 안정성과 켜짐 상태(On-State) 안정성을 모두 향상시킨다.

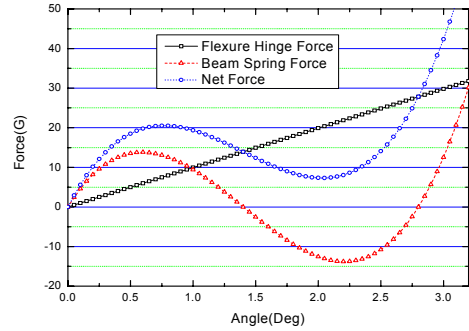


Fig. 3. The Spring Force of Threshold Hysteretic Switch

(2) 구속 핀 설계

구속 핀은 위의 가속도 스위치가 원하지 않는 상황에서 동작하지 않도록 스위치를 기구적으로 구속하는 장치이다. 즉, 전원이 인가되었을 때는 가속도 스위치의 구속을 해제하고 전원이 인가되지 않은 상황에서는 스프링의 탄성을 이용하여 원위치로 복귀하여 가속도 스위치의 측면을 기구적으로 구속하도록 설계하였다.

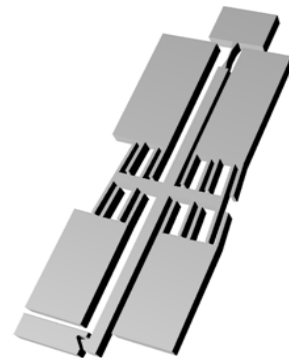


Fig. 4. Schematic Diagram of Restrain Pin

이러한 기능을 수행하기 위하여 구속 핀을 가속도 스위치 구동부에 삽입되도록 하고 정전력

으로 구동되는 평행판 전극을 연결하여 전위차가 발생할 때 해당 구속 핀이 이동하여 구속이 해제되도록 설계하였다. 설계된 구속 핀 기능부의 개념도는 Fig. 4와 같다.

구속 핀의 평행판 전극에 전원이 인가되면 정전력이 발생하여 구속 핀이 구동하게 되는데 이때 연성 힌지(Flexure Hinge) 스프링에 의한 복원력과 각도 방향 변위에 따른 구동 제한 스프링의 복원력이 반발력으로 작용한다.

구속 핀에 작용하는 정전력은 다음 식으로 표현된다.

$$F_E = \frac{1}{2} \epsilon \frac{A}{g} V^2$$

여기에서 A는 전체 전극의 면적이고, g는 전극의 간격, 그리고 V는 인가된 전압이다. 정전력은 전극 사이의 간격이 가까워질수록 증가한다. 이때 일정 전압에서 스프링에 의한 복원력들보다 정전력을 크게 설계하면 구속 핀은 해제된다.

각도 변위에 따른 각각의 힘을 모델링하여 표현하면 Fig. 5와 같다. 이때 정전력에 의한 Pull-In[3]을 야기 시키기 위하여 전압 값을 7V로 놓고 계산하였다.

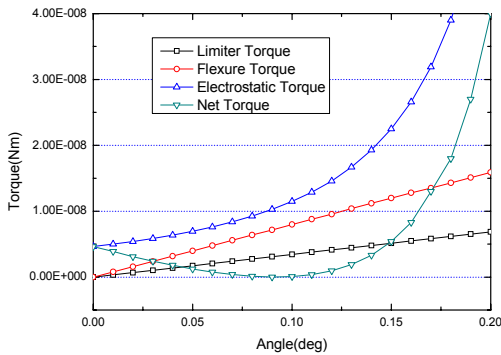


Fig. 5. Torques Related with Restrain Pin

3. 성능 평가

제작된 시료를 이용하여 전압을 증가시키면서 구속 핀의 운동을 현미경으로 관찰한 결과 약

5.5 V 이상에서 Pull-In이 발생하는 것을 관찰하였다. Pull-In이 설계 값보다 다소 적은 값에서 발생하는 원인으로서는 전극 사이의 간격이 설계 값보다 좁게 제작된 것으로 추정된다. 또한 가속도 감지 성능을 알아보기 위하여 회전체에 직각 방향으로 MEMS를 설치하여 원심력에 의해 가속도를 발생시키고 동작 가속도를 측정된 결과 모든 시료가 약 30G 내외에서 동작함을 확인하였다. 설계된 값보다 비교적 높은 가속도에서 스위치가 동작하는 원인으로서는 연성 힌지와 핀 스프링의 반발력에 비선형 요소가 작용하는 것으로 판단된다.

성능이 확인된 MEMS를 점화안전장치에 연결하여 통합 성능실험을 하였고 설계된 모든 기능이 정상적으로 동작함을 확인하였다.

4. 결 론

MEMS를 점화안전장치에 적용하기 위하여 일반적인 기계요소 설계기법을 이용하여 설계하고 제작하여 시험한 결과 가속도 스위치의 경우 비선형 요소에 의한 영향으로 설계 값과 다소 차이를 나타냈고, 반면에 전극은 설계한 형상대로 가공되지 않아 약간의 오차가 발생했다. 제작된 MEMS 중 일부를 선별하여 점화안전장치에 적용하여 그 성능을 검증해 본 결과 점화안전장치에 적용 가능성이 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 장승교, 정진석, 김인석, "고체 추진기관 점화안전장치 개발", 한국추진공학회 2005년도 추계학술대회, 2005.
2. 장승교, 차홍석, "점화안전장치용 격벽착화 모듈 설계 및 신뢰도 분석", 한국추진공학회 2008년도 추계학술대회, 2008.
3. Joseph I. Seeger, Bernhard E. Boser, "Dynamics and Control of Parallel-Plate Actuators beyond the Electrostatic Instability", Transducers, June 1999, pp. 474-477.