

추진기관 점화안전장치에 적용 가능한 MEMS 관성 스위치 연구

장승교* · 정형균**

Studies on MEMS Inertial Switch Applicable to the Ignition SAU(Safe-Arm-Unit) of Propulsion System

Seung-gyo Jang* · Hyung-gyun Jung**

ABSTRACT

MEMS(micro electro-mechanical systems) inertial switch which is applicable to the ignition Safe-Arm-Unit of propulsion system is devised. The MEMS inertial switch is designed according to the general design procedure for conventional mechanical elements. Unlikely conventional MEMS accelerometer, threshold inertial switching mechanism is adopted which makes a MEMS element an abrupt switching in a certain acceleration level. By comparing the design data and test results of the specimen a small discrepancy in switching acceleration level is found which is presumably due to the nonlinear characteristics of the beam spring and the flexure hinge which are the main parts of the MEMS inertial switch.

초 록

추진기관용 점화안전장치인 SAU에 적용 가능한 MEMS 관성 스위치를 고안하였다. 본 MEMS 관성 스위치는 일반적인 기계요소 설계 방식을 따라 설계하였으나 일반적인 MEMS 가속계와 다르게 목넘김 관성 스위칭 방식을 채택하여 일정 가속도 이상에서만 스위칭이 일어난다. 제작된 시료에 대한 검사 결과와 설계 데이터를 비교해 본 결과 관성 스위치의 구성 요소인 판 스프링 및 연성 힌지의 비선형 요소에 의한 영향으로 인하여 설계된 스위칭 가속도 값과 근사한 차이가 유발됨을 확인하였다.

Key Words: MEMS, Ignition Safe Arm Unit(점화안전장치), Threshold Inertial Switch(목넘김 관성 스위치), Flexure Hinge(연성 힌지)

1. 서 론

유도무기용 추진기관은 무기체계가 고급화되고 현대화 될수록 안전성이 강조된다. 대부분의 추진기관은 전기식 기폭관에서 발생하는 열원을 이용하여 점화되므로 추진기관의 우발 점화를 방지하기 위하여 전기식 기폭관의 동작 조건을

* 국방과학연구소 1본부-6부

** (주) 마이크로인피니티 연구소

연락처, E-mail: jsg4580@add.re.kr

제한하는 방식을 채택하고 있다[1]. 즉, 어떤 특별한 조건을 만족할 때만 전기식 기폭관이 동작하도록 부가적인 장치를 설치한다. 이러한 장치를 일반적으로 점화안전장치라고 한다.

일반적인 유도탄 발사 시스템은 추진기관을 지상에서 점화시켜서 유도탄이 이륙하도록 하는데 어떤 경우에는 유도탄이 가스발생기 등에 의해 발사관에서 사출된 후 짧은 시간동안 일정 거리를 비행한 후 공중에서 점화되는 시스템을 채택하기도 한다. 이러한 경우에는 점화안전장치 내부에 유도탄의 사출 운동을 감지하여 점화회로를 연결시켜주는 기구적 메커니즘을 필요로 하는데, 특별히 유도탄이 소형일 경우 이러한 기구적 메커니즘을 일반적인 기계 가공품으로 설치하는 것이 부적합하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 MEMS 기술을 적용한 소형 점화안전장치가 고안되었다[2]. 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. 유도탄에 사출 가속도가 인가되어야만 추진기관에 점화 전류가 공급되고, 일반적인 보관 상태나 운용 중에는 절대로 점화신호가 공급될 수 없도록 고안된 장치이다.

본 논문에서는 점화안전장치에 적용 가능한 MEMS 관성 스위치의 설계 내용과 제작된 MEMS의 치수 등을 정밀 측정하여 가공 오차에 따른 성능 변화와 연성헌지 및 스프링의 비선형 요소에 의한 영향을 기술하였다.

2. 설 계

2.1 점화안전장치 설계

점화안전장치는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 유도탄의 사출 가속도를 2개의 MEMS 관성 스위치로 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 관성 스위치는 전원이 공급되기 전까지 구속 편에 의해 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[2].

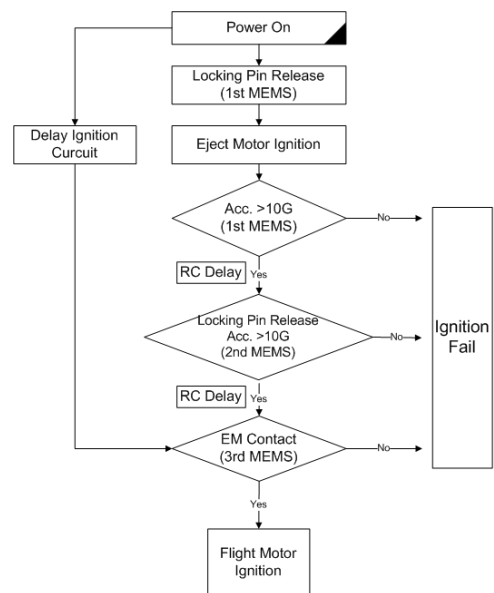


Fig. 1 Flow Chart of MEMS SAU

2.2 MEMS 설계

SAU에 적용된 MEMS는 크게 세부분으로 나눌 수 있는데 두 개의 관성 스위치와 하나의 전기기계식 접점으로 구성된다. 각각의 관성 스위치에는 구속 편이 체결되어있으므로 전원이 인가되기 전까지는 어떤 충격에 의해서도 관성 스

위치가 동작하지 않도록 설계되어 있다.

SAU용 MEMS에 적용되는 관성 스위치는 운용 특성상 일정 한계치 가속도 이상에서만 동작하여야 한다. 이러한 특성을 만족시키기 위하여 소자가 힘을 받아 변위가 발생하는 경로에 불안정한 평형점을 갖는 목넙김(threshold) 관성(inertial) 스위치를 설계하였다. 설계된 관성 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 관성 스위치의 개념도는 Fig. 2와 같다. Figure 2에는 2개소의 유연 힌지와 하나의 판스프링이 표시되어 있다.

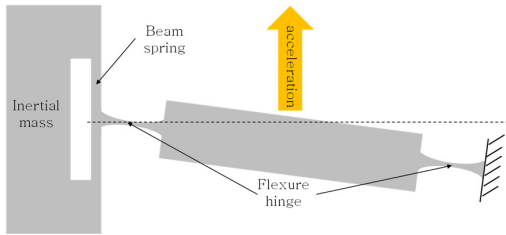


Fig. 2 Schematic of MEMS threshold inertial switch

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 판 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 MEMS 가속도계와 달리 일정한 가속도가 관성질량에 인가될 경우 불안정 평형점을 지나 대변위 이동을 하는 목넙김(threshold)현상이 유발됨을 확인할 수 있다. 이러한 목넙김 현상은 진동 및 충격 등에 대해 꺼짐 상태(Off-State) 안정성과 켜짐 상태(On-State) 안정성을 모두 향상시킨다.

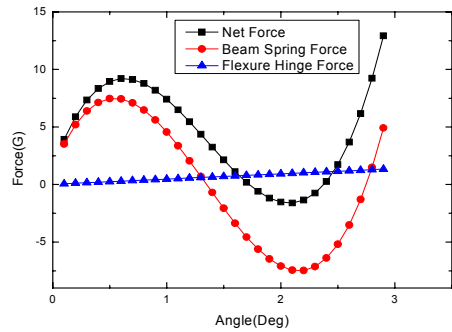


Fig. 3 The spring force of threshold hysteretic switch

3. 제작 결과 및 성능 평가

목넙김 관성 스위치를 일반적인 웨이퍼 레벨 패키지 공정 순서에 따라 제작하였다[3]. Figure 4는 웨이퍼 레벨 패키지 전의 실리콘 구조물을 관찰한 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진이다. Figure 4의 (a)는 관성 질량에 빔 스프링과 연성 힌지가 연결된 형상이고, (b)는 관성 질량의 측면에 연결된 연성 힌지의 형상을 나타내고 있다. Figure 5는 웨이퍼 레벨 패키지 상태의 관성 스위치 모듈을 보여주고 있다. 이 관성 스위칭 모듈에는 2개의 관성 스위치와 각 스위치의 운동을 제한하는 구속편이 포함되어 있다.

제작된 시료들 중 3조를 선별하여 유연 힌지 목두께와 판 스프링의 두께를 측정하고 측정 결과로부터 예상되는 스위칭 가속도 값을 Table 1에 나타내었다.

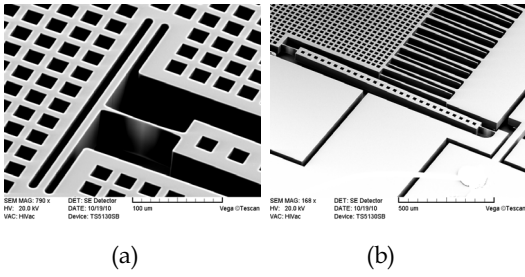


Fig. 4 Fabricated threshold inertial switch

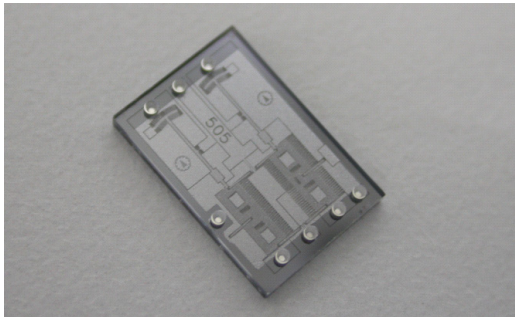


Fig. 5 Wafer level packaged device

Table 1 Acceleration Level of samples

Item	Flexure hinge neck (μm)	Beam spring width (μm)	Threshold acceleration (g)
Designed value	1.9	10	9.2
Sample #1	2.43	10.52	12.03
Sample #2	2.36	10.48	11.67
Sample #3	2.44	10.56	12.16

Rate table을 이용하여 제작된 목넘김 관성 스위치의 동작 가속도를 측정하였다. 측정 시 분해능은 0.1 G ($1\text{ G}=9.8\text{ m/s}^2$)이며 5회 반복 측정하여 평균값을 측정값으로 하였다. 설계 값과 측정 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 측정된 값과 설계 값이 약간의 차이를 나타내고 있는데 이는 빔 스프링과 연성힌지의 비선형 요소에 기인한다고 판단된다.

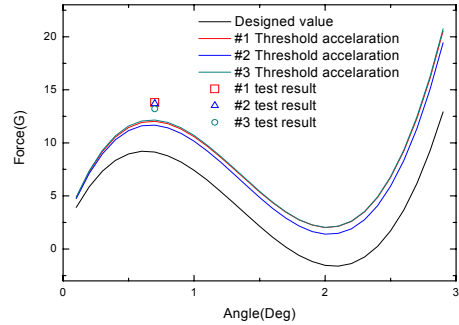


Fig. 6 Comparison between design values and experimental results

4. 결 론

추진기관 SAU에 적용하기 위하여 MEMS 관성 스위치를 일반적인 기계요소 설계기법을 이용하여 설계하였다. 일반적인 MEMS 제작 공정을 통하여 제작하여 시험한 결과 비선형 요소에 의한 영향으로 설계 값과 다소 차이를 나타냄을 확인하였다. 비선형 요소에 의한 차이를 감안하여 설계에 반영하면 원하는 가속도에서 동작하는 관성스위치를 개발할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 장승교, 정진석, 김인석, "고체 추진기관 점화안전장치 개발", 한국추진공학회 2005년도 추계학술대회, 2005.
2. 장승교, 이상현, 장현기, "MEMS를 이용한 추진기관 점화안전장치", 한국추진공학회 2009년도 추계학술대회, 2009.
3. J. Hanse, Honeywell MEMS Inertial Technology & Product States," IEEE, PLANS 2004