

## MEMS 센서 낙하시험의 모의진단법

한승오\*, 김일중\*\*, 구경완\*\*\*

호서대학교 융합기술연구소\*, 호서대학교 기계공학과\*\*, 호서대학교 국방과학기술학과\*\*\*

### Simulation methodology of MEMS sensor drop test

Seungoh Han\*, Il-Jung Kim\*\*, Kyung-Wan Koo\*\*\*

Research Center for Convergence Technology\*, Dept. Mech. Eng.\*\*, and Dept. Def. Sci. Tech.\*\*\* of Hoseo Univ.

**Abstract** - MEMS 기술을 이용한 다양한 센서의 개발과정에서 신뢰성 확보는 매우 중요한 문제이며, 여러 가지 신뢰성 항목 가운데 낙하시험은 가장 기본이 되는 항목이다. 단시간 내에 낙하에 대한 내충격성을 확보하는 MEMS 센서를 개발하기 위해 본 논문에서는 FEA와 high-level 모델을 결합한 낙하시험 모의진단법을 제안하였다. 제안된 모의진단법을 통해 MEMS 소자에서의 최대응력과 응력분포, 최대변위, 그리고 낙하시의 과도응답과 오실휘 등의 결과를 확보할 수 있으며 이들을 토대로 MEMS 소자에서의 취약부위를 파악하고 이를 보완할 수 있으며 낙하시의 오동작을 제거하도록 신호처리 회로 등을 보완할 수도 있을 것이며 이를 통해 단시간 내에 최소의 비용으로 내충격성을 확보한 MEMS 센서를 개발하는 것이 가능해질 것이다.

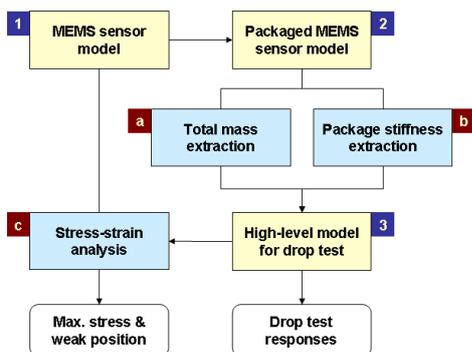
#### 1. 서 론

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용한 센서들은 최근 수년간 급격한 기술적 발전을 이루어 다양한 분야에서 사용되면서 초소형, 저가, 저전력 소모 등의 가치를 입증하고 있다. 이러한 MEMS 센서들의 개발에 있어, 그리고 성공적인 활용 및 응용분야의 확장에서 중요한 요소 가운데 하나가 신뢰성이다. 다양한 신뢰성 평가 요인들 가운데 낙하시험은 필수 시험항목이며 때문에 센서와 패키지의 구조를 설계함에 있어 반드시 고려되어야만 하는 부분이다. 하지만 지금까지는 MEMS 센서의 개발과정에서 낙하시험을 고려하기에 적합한 모의해석법이 부재하였기 때문에 시험소자를 실제로 제작하여 실험하고 그 결과를 토대로 isolation platform, stopper, elastic decoupling 등의 충격완화 구조를 채택하였다[1-3]. 이러한 종래의 접근법은 정확한 측정결과를 얻을 수는 있지만 요구되는 내충격성이 충족될 때까지 시험소자의 제작과 낙하시험을 반복해야만 하므로 막대한 비용과 개발시간의 낭비를 초래하였다.

이에 본 논문에서는 MEMS 센서의 낙하시험에 대한 모의진단 원리를 제공함으로써 MEMS 소자의 낙하특성을 분석하여 낙하시의 취약부와 이를 보완할 수 있는 방법을 적은 비용으로 단기간 내에 파악할 수 있도록 하고자 한다.

#### 2. 낙하시험의 모의진단법

본 논문에서 제안하고자 하는 낙하시험의 모의진단법은 그림 1과 같이 이루어진다. 먼저 모의진단에서는 3가지 모델이 사용되는데 이들은 각각 (1) MEMS 센서, (2) MEMS 센서를 포함하는 package, 그리고 (3) MEMS 센서와 package에 대한 high-level 모델들이다.



<그림 1> 낙하시험의 모의진단법 개념도

(2)의 MEMS 센서를 포함하는 package 모델을 사용하는 FEA(Finite Element Analysis) 해석을 통해 이들 전체에 대한 등가 질량과 package의 stiffness를 구한다. 이때 package stiffness는 MEMS 센서가 package에 고정되는 위치에서 MEMS 센서가 느끼는 stiffness로써, 만들어진 모델이 콘크리트 바닥에 contact된다고 가정하고 소하중 조건을 인가하여 얻어진 변위로부터 stiffness를 추출한다.

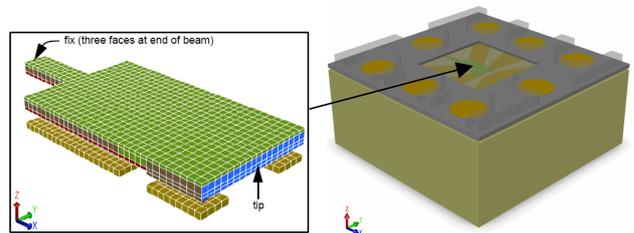
추출된 packaged MEMS 센서의 등가 질량과 package stiffness를 토대로 (3) MEMS 센서와 package에 대한 high-level 모델을 수립한다. High-level 모델은 모델링 대상의 각 요소들에 대한 수학적 모델(analytical model)을 토대로 구성되며 MatLab, C와 같은 프로그래밍 언어, Excel 등으로 구현할 수 있다. 이렇게 구현된 high-level 모델을 이용하여 낙하시험에 대한 모의해석을 수행하고 낙하에 따른 과도응답(transient response)과 낙하시의 최대변위 결과를 얻는다. 이때 얻어진 최대변위 결과를 토대로 (1) MEMS 센서 모델을 사용하여 구조해석을 수행함으로써 해당 변위에서의 응력분포 결과를 얻는다.

이상의 결과들을 토대로 응력분포는 적절하지, 최대 응력은 재료의 항복강도(yield strength)를 넘지 않는지, 낙하시의 충격에 따른 MEMS 소자의 거동은 정상동작 거동과 구별되어 오실휘를 발생시키지는 않는지 등을 판단하고 미비점을 보완하여 낙하에 따른 내충격성을 확보하는 MEMS 센서를 성공적으로 개발할 수 있도록 한다.

#### 3. 모의진단법의 적용 예: MEMS 외팔보

본 절에서는 전술한 낙하시험 모의진단법을 실제 MEMS 소자에 적용하는 사례를 보이고자 한다. 대상 소자는 가속도 센서, 바이오 센서 등의 각종 MEMS 센서에서 폭넓게 사용되는 구조인 외팔보 구조이며 보다 상세한 조건은 외팔보 구조에 기반한 RF MEMS 스위치[4]를 참고하였으며 모의진단법을 구현하기 위한 모의해석 환경으로는 CoventorWare™를 사용하였다[5].

먼저 MEMS 센서와 이를 포함하는 package에 대한 FEA 모델이 그림 2에 제시되어 있다. 이때 package 구조는 RF 신호를 다룰 수 있는 Hymite사[6]의 package 구조를 가정하였다. 본 예시의 경우 그림 1의 (a) 과정을 통해 얻어진 등가 질량은  $1.18 \times 10^{-6} \text{kg}$ 이었으며 그림 1의 (b) 과정을 통해 추출된 package stiffness는  $4.79 \times 10^9 \text{N/m}$ 이었다.



<그림 2> MEMS 센서(좌)와 이를 포함한 package(우) 모델

이들 결과를 토대로 구현된 (3)의 high-level 모델이 그림 3에 제시되어 있다. 이는 CoventorWare에서 제공하는 high-level 모델링 환경인 Architect로 구현되었으며, 그림에서 “stop element”는 콘크리트 바닥면을, “inertia”는 앞에서 구한 package의 등가 질량을, “weight”은 등가 질량에 의한 낙하시의 하중을, 그리고 “derivation block”은 콘크리트 바닥면과의 충돌이 package를 거쳐 MEMS 소자의 지지점에 전달되는 영향을 각각 모델링하고 있다. 이때 derivation block은 inertia의 변위를 2계도 미분함으로써 충격 가속도를 추출하고 이를 “RF switch”로 표시되는 MEMS 소자 모델에 전달하도록 하였다.

데 “stop element”에 package 구조의 damping 특성을 포함하도록 하여야 할 것이다.

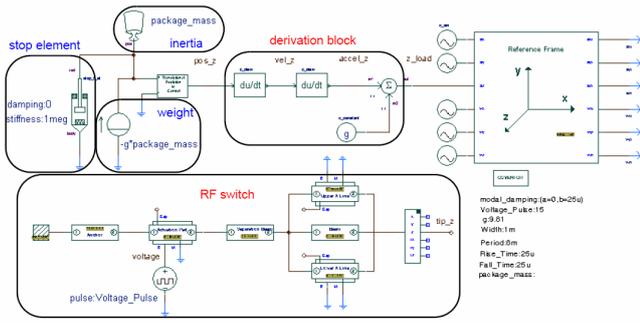
#### 4. 결 론

본 논문에서는 초소형, 저가격, 저전력 소모 등의 장점들로 인해 그 응용분야가 급증하고 있는 MEMS 센서의 낙하시험을 위한 모의진단법을 제시하고, 이를 가상의 MEMS 소자에 적용하였다. 제안된 모의진단법은 종래의 기술개발 과정에서 널리 사용되는 FEA와 high-level 모델링을 조합한 것으로써 자유낙하와 이후의 바닥면과의 충돌시의 MEMS 소자에서의 최대응력과 응력분포, 최대변위, 그리고 낙하시의 과도응답과 오신호 등의 결과를 분석할 수 있다. 다양한 MEMS 소자에서 널리 사용되는 외팔보 구조에 대한 적용결과 충격 가속도에 의한, 무시할 수 없는 수준의 오동작 신호와 재료의 항복강도에 비견되는 최대 응력이 발생함을 파악함으로써 제안된 낙하시험 모의진단법의 효용을 확인할 수 있었다.

이처럼 제안된 낙하시험 모의진단법은 시험소자를 일일이 제작하여 직접 낙하시험을 진행하지 않고도 자유낙하와 충돌에 따른 다양한 물리 신호들을 분석할 수 있도록 하며, 이를 통해 내충격성이 확보된 MEMS 센서를 단기간 내에 저비용으로 개발하는데 일조할 것으로 기대된다.

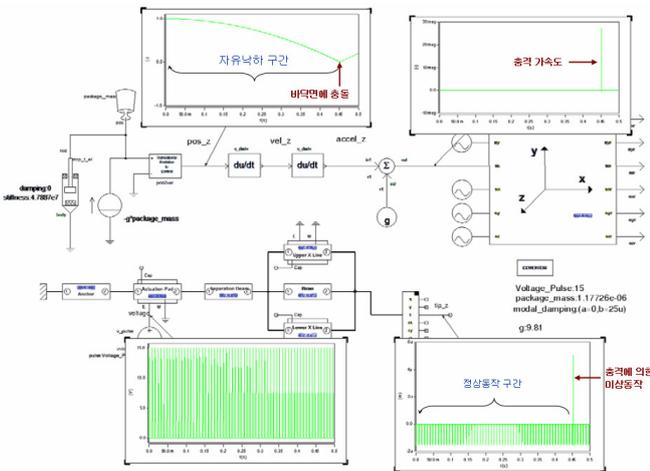
#### [참 고 문 헌]

- [1] S. W. Yoon, N. Yazdi, N. C. Perkins, and K. Najafi, “Micromachined integrated shock protection for MEMS”, Sensors and Actuators, Vol. A130-131, 166-175, 2006
- [2] S. Jean-Michel, “Current capabilities of MEMS capacitive accelerometers in harsh environment”, IEEE Position, Location, and Navigation Symposium, 23-25, 2006
- [3] www.memsepack.com
- [4] P. M. Zavracky, S. Majumder, and N. E. McGruer, “Micromechanical switches fabricated using nickel surface micromachining,” J. MEMS, Vol. 6, 3-9, 1997
- [5] www.coventor.com
- [6] www.hymite.com
- [7] M. L. Baucio, *AMS Engineered Material Reference Book*, 2nd Ed., ASM International, 1994



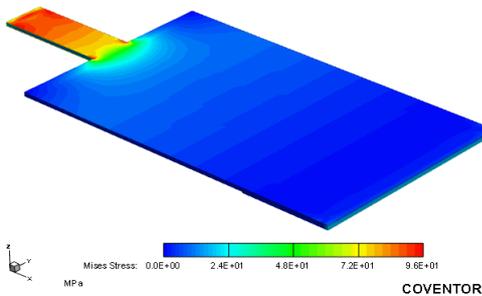
〈그림 3〉 낙하시험의 모의해석을 위한 high-level 모델

High-level 모델을 사용한 낙하시험 모의해석 결과인 그림 4에 의하면 1m 높이에서 자유낙하를 시작한 후 MEMS 소자를 포함한 package 구조는 약 0.45초 경과 후 바닥면에 도달하였으며 충돌 후 되튀어나온다. 이때의 충격 가속도는  $28 \times 10^6 \text{m/s}^2$  정도의 매우 큰 값을 보이며 이로 인해 MEMS 소자는 5.02um의 이상변위를 나타내었다. 이러한 이상변위는 정상동작 신호와는 구별되는 이상신호를 발생시켰으며, 따라서 내충격성을 확보하기 위해서는 MEMS 소자나 package에 있어 구조 또는 재료적인 개선이 필요함을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 낙하시험의 모의해석 결과

앞에서 확인한 이상변위인 5.02um 발생시 MEMS 소자에서의 최대 응력과 응력분포를 확인하기 위해 그림 2에 제시된 MEMS 소자에 대한 FEA 모델을 사용하였다. 구조해석을 통해 얻어진 결과는 그림 5와 같으며 여기서 얻어진 von Mises 응력의 최대값은 96.4MPa이었다. MEMS 소자를 구성하는 실리콘 질화막의 항복강도가 성막방법에 따라 68MPa에서 172MPa 범위[7]임을 고려한다면 본 소자는 낙하충격에 의해 파손될 가능성이 있으므로 재료의 성막방법이나 소자의 구조, 또는 package 구조를 개선할 필요가 있다.



〈그림 5〉 낙하시의 최대변위에 대응되는 응력분포

이상의 논의를 통해 MEMS 센서에 대한 낙하시험 모의진단법을 예시하였는데, 본 예시에서는 문제의 간략화를 위해 damping 특성을 생략하였다. 보다 정확한 모델링을 위해서는 그림 3의 high-level 모델 가운