

MEMS 가속도 센싱요소의 동적응답해석

Dynamic Response Analysis of Sensing Element of MEMS Accelerometer

이강희† · 강흥석* · 송인혁** · 유병희** · 양동욱***

Kang-Hee Lee, Heung-Seok Kang, In-Hyok Song, Byung-Hee You, Dong-Youk Yang

1. 서 론

한국원자력연구원은 지식경제부 산하 연구개발특구진흥재단의 연구비지원으로 텍사스주립대학 및 로그텍㈜와 MEMS 기술을 이용한 무선 마이크로 가속도 센서를 공동으로 개발하고 있다. MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) 기술은 반도체 산업을 근간으로 마이크로 스케일의 가공기술과 전기, 전자 및 기계분야를 아우르고 있다. 본 연구는 원자력, 항공 및 군수와 같이 사람의 접근이 용이하지 않으면서 센서의 설치공간이 협소한 극한 시험환경에서 관심 대상 구조물의 진동응답을 효과적으로 측정하는 박형 무선 가속도 센서를 대상으로 하며, 박형의 전지기술과 접목하여 상용화될 경우 핸드폰과 같은 가전 사업분야에도 확장적용이 가능할 것으로 기대된다. 본 논문은 MEMS 가속도 센서의 핵심 구성요소인 MEMS 센싱부 설계를 위하여 필요한 기본적인 동특성과 동적응답을 수치해석적으로 분석한 것이다.

2. 동특성 및 응답해석

Fig. 1 은 MEMS 가속도센서의 센싱부 형상과 유한요소 모델, 경계조건을 각각 나타낸다. 동특성 해석에서는 유한요소 수의 변화에 따른 계산결과 수렴성을 평가하였고, 대략 유한요소 수 10^5 개 정도에서 기저고유진동수 값이 수렴됨을 알았다. Fig. 2 는 동특성 해석결과를 나타낸다. 센싱부의 고유진동수는 앵커 지지부에 근접한 날개의 두께와 폭, 판의 조합과 배열에 따라 변화되었다. 센싱부의 최종적인 설계형상과 치수는 예상되는 사용 주파수 범위(~200

Hz)를 감안하여 대략 2 kHz 부근에서 기저 고유진동수를 갖도록 설계되었다. 특성해석 결과에서 표시된 주파수 값과 %오차는 독립검토를 위해 이(異)종의 수치해석 코드로 계산한 결과와의 차이를 나타내며, 이러한 차이는 센싱부 전극판을 쉘(shell) 혹은 3 차원 연속체요소로 모델링함에 따른 것으로, 본 해석의 경우는 3 차원 연속체 요소로 가정하는 것이 현실에 가까운 것으로 판단된다.

센싱부에 대한 응답해석은 일정한 크기와 주파수의 지지점 가속도 입력을 인가하는 경우 및 지지부에 랜덤한 지진입력이 작용하는 두 가지 경우에 대하여, 모드 중첩법과 상용수치해석코드를 이용하여 수행하였다. 유한요소모델은 이전의 동특성 해석에서 이용했던 요소밀도와 경계조건을 동일하게 적용하였고, 최소/최대 측정가능 예상 가속도 값(지지부에 작용하는 경우)에 대한 중심부 변위를 계산하여 센싱부 응답의 선형특성을 확인하였다. 앵커부분에서 양단 지지되는 센싱부 전극판(electrode plate)은 미소변위하므로, 선형 수치해석 모델로 가정하였고, 감쇠비는 0.1~0.5%범위에서 일정한 값으로 적용하였다. 본 해석의 목적은 센싱부에 대한 최소 입력 가속도의 값과, 최대 조화 가진 하중에 대한 가측성(measurability)을 확인하고, 최종적으로 가진 입력의 크기에 따른 선형성을 확인하는 것이었다. Fig. 3 은 단위 주파수 조화입력에 대한 센싱부 중심의 시간 이력 응답을 나타낸다. 본 해석은 양단 고정부에 10~200 Hz 까지 정해진 가진 주파수에 대하여, 0.1~3g 까지 일정한 가진 입력(가속도 하중)을 인가하고, 센싱부 중심에서의 응답 시간변위를 0.2 초까지 1/1000 초 단위로 계산한 것이다. 계산결과는 가진 입력의 크기와 위치에 따라 일정하게 변화되는 전형적인 조화가진 응답특성을 보여주고 있으며, 동일한 크기의 가진입력에 대하여 가진 주파수의 값에 따라 초기 상태의 과도응답에서 다소의 차이를 보여주고 있지만, 이것은 센서의 정상상태 수렴응답에는 영향을 없을 것으로 판단된다. Fig. 4 는 다양한 가속도 입력크기와 가진 주파수에 대한 계산 결과(이중 센싱부 설계, 정상상태 최대진동 변위)를 근거

† 교신저자; 정희원, 한국원자력연구원

E-mail : leekh@kaeri.re.kr

Tel : 042-868-2298, Fax : 042-863-0565

* 한국원자력연구원, 경주로연료기술개발

** Texas State University, Dept. of Engineering Technology

** 로그텍㈜, 대표이사

로 작성된 센서의 선형특성도(linearity curve)를 나타낸다. 최종적으로 설계된 MEMS 센싱부는 주어진 가진입력 조건에 대하여, 상당히 양호한 선형성을 보여주고 있다. 끝으로, 지지부에 랜덤한 지진응답이 작용하는 경우, 센싱부 중심에서의 주파수 응답을 같은 방식으로 계산하였다. 기준 지진 하중(seismic loading) 입력은 연구용 원자로인 하나로의 연료저장 랙(Wrack)에 대한 설계기준 입력값을 근거로 적용하였으며, Fig. 5는 기준 지진 입력값을 사용하는 하나로 연료 저장구조물에 대한 지진응답해석의 예시를 보여준다. Fig. 6은 MEMS 센싱부에 대한 지진응답 해석결과에서, 측정 위치에 따른 선형 주파수 응답선도와 최대 응력발생 위치 및 값을 각각 보여준다. 최대 변위에 대응되는 최대 응력 값은 0.24MPa 이하로 재료의 항복응력 값과 비교할 때, 극히 작은 값으로 해석에 적용된 미소변위(선형) 가정은 타당한 것으로 생각된다.

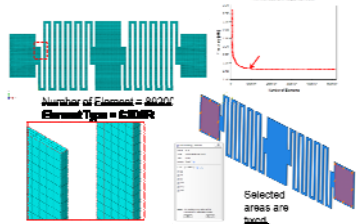


Fig. 1 FE analysis model, mesh-density evaluation results.

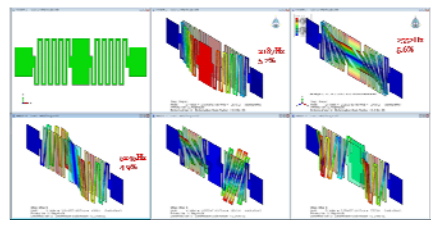


Fig. 2 Free vibration analysis results.

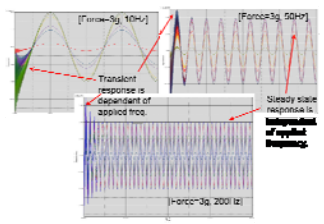


Fig. 3 Harmonic time response of sensing element

3. 결론

MEMS 센서의 핵심 구성요소인 센싱부를 설계하기 위해, 동특성과 동적응답을 수치해석하였고,

주어진 가속도 가진입력 크기에 대한 선형성과 사고 지진하중에 대한 구조 건전성을 확인하였다. 향후, 센서(센싱부 및 회로집합체)의 내구성에 대한 수치해석적인 평가를 준비하고 있다.

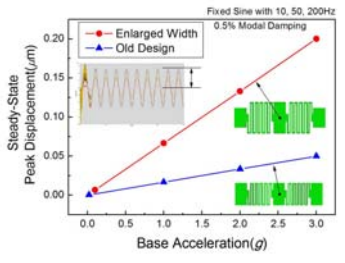


Fig. 4 Linearity variation due to design change

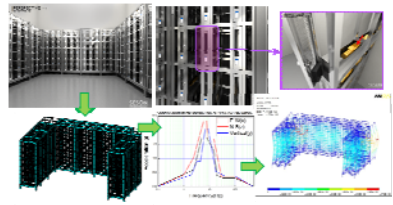
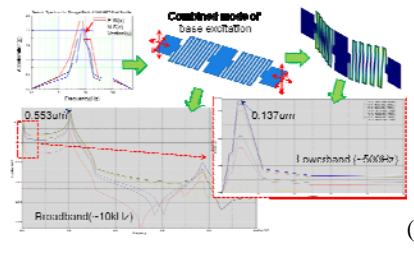
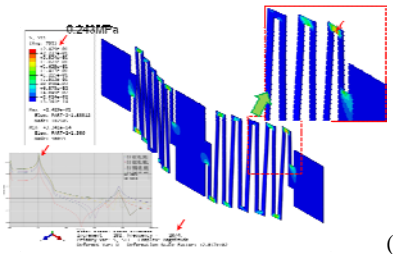


Fig. 5 Fuel storage wrack seismic analysis for HANARO research reactor's safety protocol



(a)



(b)

Fig. 6 MEMS sensing element seismic analysis results: (a) spectral response, (b) maximum stress and its location.

후 기

본 연구는 연구개발특구진흥재단의 국제공동기술 사업화 사업의 연구비 지원으로 수행되고 있으며, 저자 일동은 이에 감사드립니다.