

AFM

Proper Orthogonal Decomposition of Tapping-Mode AFM Microcantilevers

한동희* · 김일광* · 이수일 †

Dong Hee Han, Il Kwang Kim and Soo Il Lee

1. 서론

본 연구에서는 적합직교분해(POD: proper orthogonal decomposition)법을 이용하여 AFM 마이크로캔틸레버의 진동특성을 주요한 몇 개의 적합직교모드(POM: proper orthogonal mode)로 추출하였으며 간단한 유한요소법(finite element method)을 실시한 결과와 비교하였다. 실험에 이용된 AFM 마이크로캔틸레버는 캔틸레버의 형상에 따라 3 종류이며 각각 팁의 유/무, 캔틸레버의 강성 변화, 시료 표면과의 탭핑 유/무에 따른 1 차와 2 차 캔틸레버 굽힘 모드 응답을 살펴보았다. 또한 팁의 유/무에 따른 유한요소해석을 함께 수행함으로써 마이크로캔틸레버의 진동 특성의 경향을 살펴보았다.

2. AFM 실험

실험에서는 XE-100 System 을 이용했으며 추출한 실시간 진동신호 캡처를 위해 2-channel 고속 데이터 획득장치(NI-5122)를 PC 에 장착하여 사용하였다. 실험에 사용한 프로브 팁의 종류는 Nanosensors 사의 PPP/TL-NCH, PPP/TL-NCL 과 Olympus 사의 OMCL-AC240TS 로 각각의 제원은 Table 1 과 같다. Olympus 사는 팁리스 마이크로캔틸레버를 제공하지 않아 팁 마이크로캔틸레버를 FIB 공정으로 팁을 제거하였다. 여기서 P/TL 은 각각 팁/팁리스를 의미한다.

마이크로캔틸레버에서 등간격의 5 개 측정점을 설정하여 팁의 유/무와 HOPG(highly oriented pyrolytic graphite) 시료의 탭핑 유/무에 따라 기저부에서 공진 주파수가 가진이 일어날 때 레이저 변위측정 기구를 이용하여 각각 시간 응답을 측정하였다[1]. 강성이 서로 다른 마이크로캔틸레버 기저부에서 NCH 와 NCL 은 1 차 공진주파수, OMCL 은 1 차/ 2 차 공진주파수까지 가진하고 공진조건에서 5 점의 개별 진동 특성을 정상상태라고 가정하여 신호를 취득하였다.

† 교신저자; 서울시립대학교 기계정보공학과

E-mail : leesooil@uos.ac.kr

Tel : (02) 2210-5667, Fax : (02) 2210-5575

* 서울시립대학교 대학원 에너지환경시스템공학과

Table 1 Constants and properties of the microcantilevers

Micro cantilever	# of Cantilevers	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Resonance Freq.(kHz)
P/TL-NCH	N=3	125	30	4	288/349
P/TL-NCL	N=5	225	38	7	169/174
P/TL-OMCL	N=4	450	50	2	76/78 (1 st) 458/432 (2 nd)

AFM 마이크로캔틸레버의 각 측정점의 진동 신호를 가진신호의 최대값을 기준으로 신호의 위상(phase)을 일치시켜 분석을 진행하였다. 신호 취득 시 외란이나 오차에 의한 영향을 줄이고 보다 정확한 실험 결과를 위해서 각 종류별로 3 쌍 이상의 AFM 마이크로캔틸레버를 사용하였다. 여기서 가진 신호는 고주파 노이즈의 영향을 받으므로 저역주파수필터링(low pass filtering)을 실시하였다. 또한 각 측정점에서 취득한 신호를 다시 개별적으로 4 회 측정한 앙상블(ensemble) 신호로 나누어 POD 를 통해 POV(proper orthogonal value)와 POM 을 추출한 후 통계처리를 실시하였다.

3. 적합직교분해법(POD) 결과

POV 를 통해 POM 의 모드별 에너지 분포를 파악할 수 있다. 마이크로캔틸레버의 크기, 팁의 유/무와 탭핑의 유/무에 따라 98% 내외가 1 차 POM 에 집중되어있는 것을 Fig. 1 과 같이 확인할 수 있다[1].

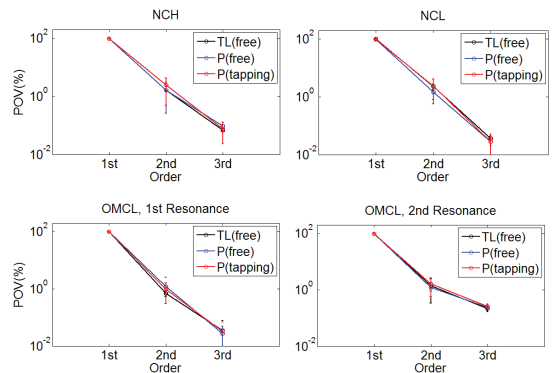
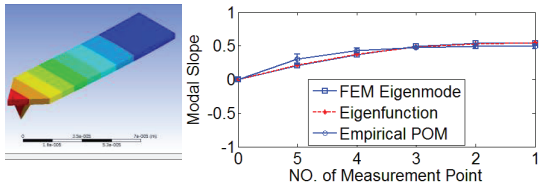
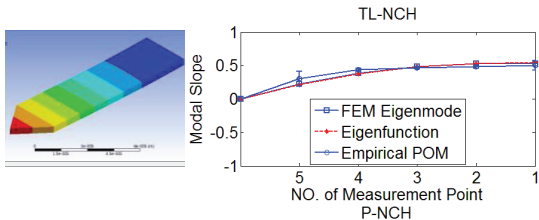
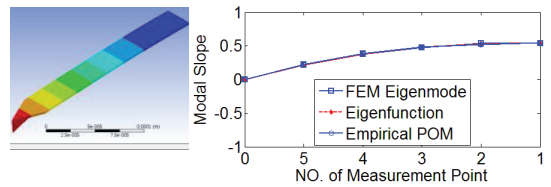
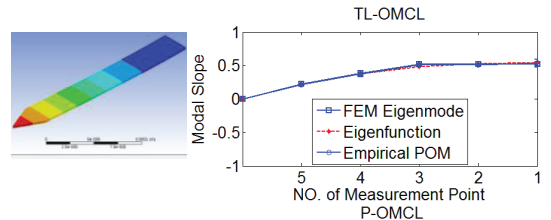


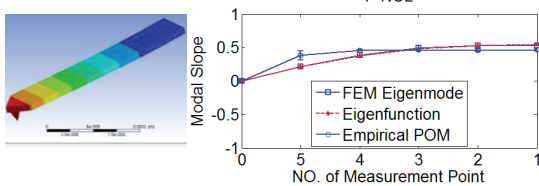
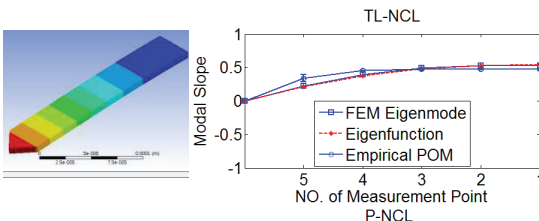
Fig. 1 The POVs at the 1st/2nd resonance of microcantilevers



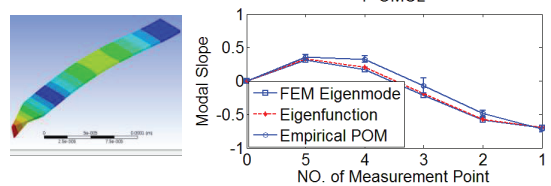
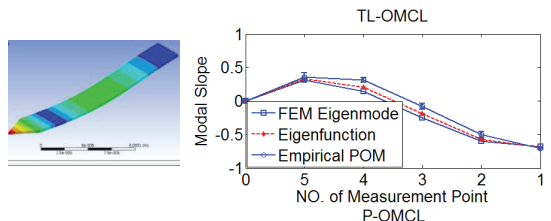
(a) Averaged POMs of TL/P-NCH



(a) Averaged POMs of TL/P-OMCL at 1st resonance



(b) Averaged POMs of TL/P-NCL



(b) Averaged POMs of TL/P-OMCL at 2nd resonance

Fig. 2 The POMs of NCH and NCH at 1st resonance

Fig. 3 The POMs of OMCL

팁 유/무에 따른 POM 을 FEM 과 실험 결과로 고유함수와 비교하여 Table 2 와 Fig. 2, 3 과 같이 나타내었다. 여기서 팁의 유/무에 따라 실험과 FEM 에서 POM 의 변화와 경향성은 크지 않음을 알 수 있다. 다만 NCL 과 2 차 공진주파수 가진에 대한 OMCL 의 실험 결과가 각각 1 차 POM 과 일치도가 상대적으로 낮은 것을 보이는데 가진 모드 이상의 고차 모드의 에너지 분포의 영향이 상대적으로 높음을 의미한다.

4. 결론

적합직교분해법과 FEM 을 통하여 팁의 유/무에 따른 실험결과와 비교해보았다. 팁과 탭핑의 유/무에 따라 캔틸레버 응답의 POV 변화 경향을 확인하였으며 캔틸레버 형상에 따른 POV 변화가 작으며 일정한 경향이 없음을 확인했다.

후 기

본 연구는 2011 년도 연구재단 기본연구지원사업 (과제번호 2011-0005249)의 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

- (1) Kim, I. K., Han, D. H., Lee, J. W. and Lee, S. I., 2012, Classification of Empirical Orthogonal Mode in Multi-Modal AFM Microcantilevers, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Annual Spring Conference.

Table 2 The MACs and resonance frequencies of 1st POM

Microcantilever	Experiment		FEM	
	MAC(%)	Resonance Freq.(kHz)	MAC(%)	Resonance Freq.(kHz)
TL-NCH	99.05	349	99.98	341
P-NCH	99.18	288	99.96	318
TL-NCL	97.95	174	99.93	171
P-NCL	96.53	169	99.97	168
TL-OMCL, 1 st	99.84	78	99.77	63
P-OMCL, 1 st	99.96	76	99.99	59
TL-OMCL, 2 nd	91.86	432	99.10	390
P-OMCL, 2 nd	90.65	458	99.74	365