

AFM

Classification of Empirical Orthogonal Mode in Multi-Modal AFM Microcantilevers

김일광*·한동희*·이진우**·이수일†

Il Kwang Kim, Dong Hee Han, Jin Woo Lee and Soo Il Lee

1. 서론

적합직교분해(POD: proper orthogonal decomposition) 법은 비선형 모드 및 다수의 모드가 중첩되어 나타나는 진동 특성을 주요한 몇 개의 적합직교모드(POM: proper orthogonal mode)를 추출하여 모델에 적용하는 기법이다. 이미 많은 구조역학과 유체역학 분야에서 사용되어 왔으며, 최근 나노스케일 측정과 관련된 고차 진동 해석에 활발히 적용되고 있다[1,2]. 본 연구에서는 길이가 서로 다른 3 종류의 AFM 마이크로캔틸레버를 사용하여 팁의 유/무, 캔틸레버의 강성 변화, 시료 표면과의 탭핑 유/무에 따른 1 차와 2 차 캔틸레버 굽힘 모드 응답을 살펴보았다. 각각의 경우, 3 쌍 이상의 실험군에 대하여 수행한 실험 데이터를 POD 기법과 통계처리 과정을 통해 선형화된 POM 분포를 구하였다. 이러한 과정은 신호 취득 시 노이즈 등의 영향을 최소화하여 신호정렬 시 오차를 최소화할 수 있었다. 길이, 팁의 유/무, 탭핑 유/무 등의 다양한 실험조건에 대한 POD 결과를 비교하였다.

2. AFM 실험

본 실험에서는 Park Systems 사의 XE-100 AFM System 을 이용했으며, System controller 에서 추출한 실시간 진동 신호 취득은 NI 사의 2 채널 고속 데이터 획득장치(NI-5122)를 PC 에 장착하여 사용하였다.

길이 및 크기가 서로 다른 마이크로캔틸레버에서 팁의 유/무와 HOPG(highly oriented pyrolytic graphite) 시료의 탭핑 유/무에 따른 주요 모드를 추출하기 위해서 캔틸레버의 5 개 측정점의 응답신호를 각각 취득하였다[2]. 실험에 이용한 AFM 마이크로캔틸레버의 제원은 Table 1 과 같으며 그 중 Olympus 사는 팁리스 마이크로캔틸레버를 제공하지 않아 팁 마이크로캔틸레버를 FIB 공정으로 팁을 제거하였다. 여기서 P/TL 은 각각 팁/팁리스를 의미한다.

† 교신저자; 서울시립대학교 기계정보공학과

E-mail : leesooil@uos.ac.kr

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

* 서울시립대학교 대학원 에너지환경시스템공학과

** 아주대학교 기계공학과

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	330
P/TL-NCL	N=5	225	38	7	190
P/TL-OMCL	N=4	450	50	2	70

마이크로캔틸레버 기저부에서 NCH 와 NCL 의 팁/팁리스 마이크로캔틸레버는 1 차 공진주파수, OMCL 의 팁/팁리스캔틸레버는 1 차/ 2 차 공진주파수까지 가진다고 공진조건에서 5 점의 개별 진동 특성을 정상상태라고 가정하였다. 각 측정점에서 순차적으로 측정된 신호를 가진신호를 기준으로 측정 신호의 위상(phase)을 정렬시킨 후 POD 를 진행하였다.

3. 적합직교분해법(POD) 결과

Table 1 에서와 같이 길이, 강성 및 고유진동수가 서로 다른 3 종류의 팁/팁리스 마이크로캔틸레버에서 3 쌍 이상을 대상으로 다시 각 측정점에서 개별적으로 4 회 측정된 앙상블(ensemble) 시간 신호를 POD 기법을 통하여 POM 과 POV(proper orthogonal value)를 추출하였다. Table 2 는 이 때 구한 POV 의 평균값을 나타낸다. 또한 각 모드별 POM 결과는 Fig. 1, 2 에 나타내었다.

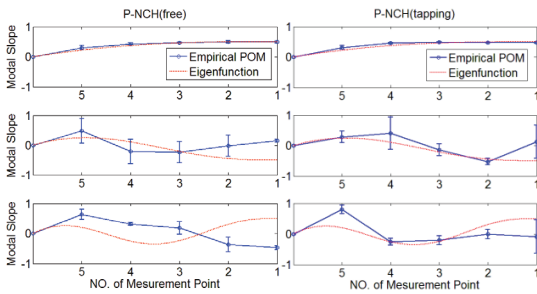
POV 를 통해 POM 에서 모드별 에너지 분포를 파악할 수 있다. 마이크로캔틸레버의 크기, 팁의 유/무와 탭핑의 유/무에 따른 POV 변화는 크지 않으며 캔틸레버의 강성에 따라 1 차/2 차 공진모드로 가진

Table 2 Proper orthogonal values

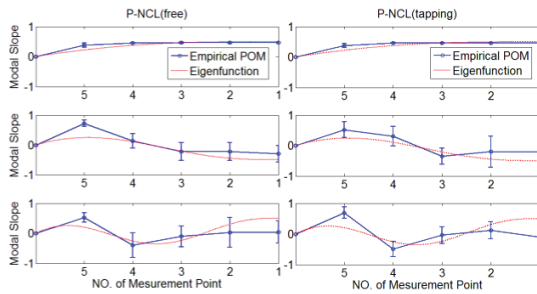
Cantilever	Tapping	POV1 (%)	POV2 (%)	POV3 (%)
		Average	Average	Average
TL-NCH	Free	98.27	1.59	0.07
	Free	98.21	1.64	0.09
P-NCH	HOPG	97.47	2.39	0.08
	Free	97.73	2.22	0.04
TL-NCL	Free	98.53	1.43	0.03
	HOPG	98.62	2.34	0.03
P-NCL	Free	99.24	0.69	0.04
	Free	98.76	1.19	0.03
TL-OMCL	Free	98.76	1.19	0.03
	HOPG	98.98	0.95	0.03
P-OMCL	Free	98.27	1.38	0.21
	2 nd resonance	Free	98.35	1.21
P-OMCL	Free	98.35	1.21	0.25
	2 nd resonance	HOPG	97.95	1.59

되었으나 98% 내외가 1 차 POM 에 집중되어있는 것을 확인할 수 있는데 이러한 모드 에너지 집중은 지난 연구결과[2]와 비슷한 양상을 보인다. Table 1 과 같이 마이크로캔틸레버의 크기에 따른 POV 변화는 일정한 경향이 보이지 않는다. 팁이 있을 때 NCH 와 OMCL 은 1 차 모드에서 POV 가 팁리스 마이크로캔틸레버 대비 각각 0.06%, 0.48%로 감소하였으나 NCL 은 0.82%로 증가한 것을 알 수 있다. 탭핑을 하는 경우 NCH 는 1 차 모드에서 HOPG 시료에 탭핑을 하지 않을 경우 대비 POV 가 0.75%로 감소하였으나 NCL 은 POV 변화가 없으며 OMCL 은 0.22%로 증가한 것을 알 수 있다.

POM 에서는 1 차 공진주파수에 해당하는 공진모드와 유사한 1 차 POM 이 나타나는 것을 Fig. 1, 2 와 같이 확인할 수 있다. 가진 모드 이상의 고차 모드의 에너지의 분포의 영향은 상당히 작은 것을 Table 2 에서와 같이 알 수 있으며 실험 당시의 외란으로 인해 고차 POM 과 일치하지 않음을 확인할 수 있다. 그러나 탭핑 시 2 차 POM 이 고유모드에 상당히 근접한 결과를 보이는 것을 알 수 있지만 팁 쪽에서 급격한 위상변화가 발생하는 것으로 보인다. 2 차 공진주파수 가진 시 상대적으로 1 차 POM 과 일치도가 낮으며 앞선 경향과 달리 팁 쪽에서 급격한 위상 변화가 발생하지 않았다(Fig. 2(b)).



(a) Averaged POMs of P-NCH (Free / Tapping)



(b) Averaged POMs of P-NCL (Free / Tapping)

Fig. 1 The POMs at the 1st resonance of NCH and NCL

4. 결론

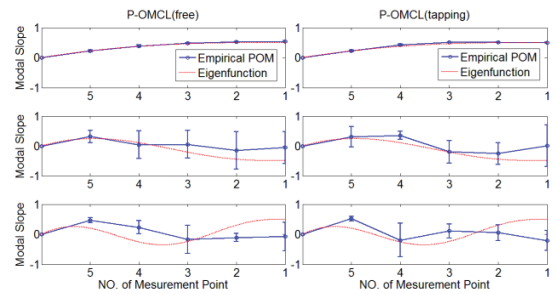
본 연구는 적합직교분해법을 이용하여 다수의 AFM 마이크로캔틸레버 실험 쌍에 대한 동적 응답의 POV 및 POM 의 평균적인 경향을 분석하였다. 마이크로캔틸레버의 길이와 형상에 따른 POV 변화 정도는 작았으나 탭핑 시 고차 POM 의 POV 값이 대체로 증가하는 경향을 나타내었다.

후 기

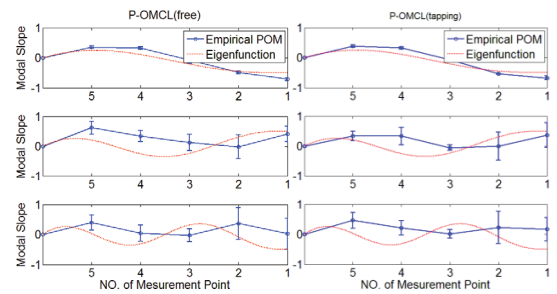
본 연구는 2011 년도 연구재단 기본연구지원사업 (과제번호 2011-0005249)의 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

- (1) Hong, S. H. and Lee, S. I., 2010, Vibration Analysis of the Tapping AFM Microcantilevers Using Proper Orthogonal Decomposition, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 4, pp. 414-421.
- (2) Lee, J. W. and Lee, S. I., 2011, Modal Characteristics of Microcantilevers in Tapping Mode AFM: Complex Mode Extraction Using an Approximate Beam Model, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Annual Spring Conference, pp. 44-45.



(a) Averaged POMs at 1st resonance (Free / Tapping)



(b) Averaged POMs at 2nd resonance (Free / Tapping)

Fig. 2 The POMs at the 1st/2nd resonance of P-OMCL