

AFM 마이크로캔틸레버의 다중모드 실험 분석

Multi-Modal Empirical Analysis of AFM Microcantilevers

김일광* · 한동희* · 이수일†
Il Kwang Kim, Dong Hee Han and Soo Il Lee

1. 서론

탭핑모드 AFM 마이크로캔틸레버의 진동특성을 간단한 유한요소법(finite element method)을 실시한 결과와 적합적교분해(POD: proper orthogonal decomposition)법을 이용하여 주요한 몇 개의 적합적교모드(POM: proper orthogonal mode)로 추출[1]한 실험결과와 비교하였다. 공기와 정제수 속에 길이와 강성이 서로 다른 3 종류의 팁/팁리스 AFM 마이크로캔틸레버로 서로 다른 탄성계수를 갖는 두 시료 표면을 탭핑하는 실험을 하였다[2]. 따라서 마이크로캔틸레버의 길이, 강성, 팁 질량, 탭핑의 세기와 시료의 탄성계수가 마이크로캔틸레버의 다중 모드 응답에 미치는 영향을 살펴보았다. 또한 팁의 유/무에 따른 유한요소해석을 함께 수행하여 POD를 이용하여 POM과 POV로 마이크로캔틸레버의 진동 특성의 경향을 살펴보았다.

2. AFM 실험과 유한요소해석

실험에서는 Park Systems 사의 XE-100 System을 이용하여 2-channel 고속 데이터 획득장치(NI-5122)를 PC에 장착하여 AFM 마이크로캔틸레버의 실시간 진동 신호를 취득하였다. 마이크로캔틸레버는 Nanosensors 사의 PPP/TL-NCH, PPP/TL-NCL과 Olympus 사의 OMCL-AC240TS로 각각의 제원은 Table 1과 같다. 여기서 P/TL은 각각 팁/팁리스를 의미한다. 사용된 시료는 HOPG(highly oriented pyrolytic graphite)와 PDMS(polydimethylsiloxane)이다.

Table 1 Constants and properties of the microcantilevers

Micro cantilever	# of Cantilevers	Length (mm)	Stiffness (N/m)	P/TL Resonance Freq.(kHz)	
				FEM	Experimnt
P/TL-NCH	N=3	125	42	318/341	288/349
P/TL-NCL	N=5	225	48	169/171	169/174
P/TL-OMCL	N=4	240	1.8	57/63 (1 st)	76/78 (1 st)
				365/390 (2 nd)	458/432 (2 nd)

† 교신저자; 서울시립대학교 기계정보공학과
 E-mail : leesooil@uos.ac.kr

Tel : (02) 2210-5667, Fax : (02) 2210-5575
 * 서울시립대학교 대학원 에너지환경시스템공학과

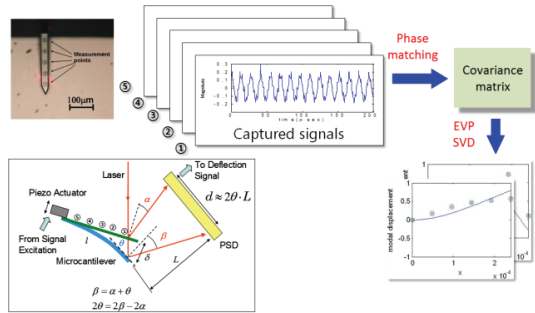


Fig. 1 Schematics of AFM experiments and POD

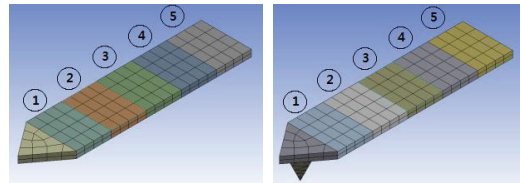


Fig. 2 FEM model

이때 Fig. 1과 같이 기저부를 공진주파수로 가진 하여 마이크로캔틸레버를 등간격으로 나눈 5개의 측정점에서 레이저 변위 측정 기구로 그 응답 신호(기울기)를 취득하였다[1]. 고정단의 변위는 0으로 가정하였다. 캔틸레버의 공차 등에서 발생할 수 있는 오차와 신호 취득 시의 외란에 의한 영향을 줄이고자 각각 3쌍 이상의 AFM 마이크로캔틸레버로 반복 실험을 하였다. 또한 각 측정점에서 취득한 신호를 다시 4구간으로 나눈 후 각 구간마다 POD를 통해 POV(proper orthogonal value)와 POM을 추출한 후 통계처리를 실시하였다. 이는 외부 환경의 변화와 실험 시 발생할 수 있는 오차를 최소화 하는 동시에 실험 결과의 신뢰성을 높이는 데 기여한다.

Figure 2와 같이 ANSYS를 이용하여 실험에서 사용된 팁/팁리스 마이크로캔틸레버를 3차원 형상으로 모델링하여 기저부 가진에 의한 굽힘 모드 응답의 유한요소해석을 수행하였다. 여기서 SOLID186 요소를 적용하였다. 마이크로캔틸레버 고정단에 1차 혹은 2차 공진주파수로 가진하여 실험과 같이 5개의 측정점을 통하여 변위를 취득하였으며 POD를 실시하여 POV와 POM을 추출하였다.

Table 2 The averaged MACs and POVs in air

Micro cantilever	FEM (%)				Experiment (%)			
	MAC1	MAC2	POV1	POV2	MAC1	MAC2	POV1	POV2
TL-NCH	99.96	59.62	99.99	0.01	97.73	65.83	98.27	1.59
P-NCH	99.96	60.62	99.94	0.06	97.81	0.42	98.21	1.64
TL-NCL	99.99	59.90	99.99	0.00	95.01	56.43	98.07	1.88
P-NCL	99.99	60.43	99.98	0.02	93.08	53.76	98.53	1.43
TL-OMCL, 1 st	99.99	60.48	99.99	0.00	99.76	23.31	99.39	0.53
P-OMCL, 1 st	99.98	60.73	99.99	0.01	99.92	43.19	98.76	1.19
TL-OMCL, 2 nd	89.33	19.29	99.99	0.00	99.72	40.66	98.27	1.38
P-OMCL, 2 nd	78.83	47.81	99.90	0.10	99.51	21.71	98.35	1.21

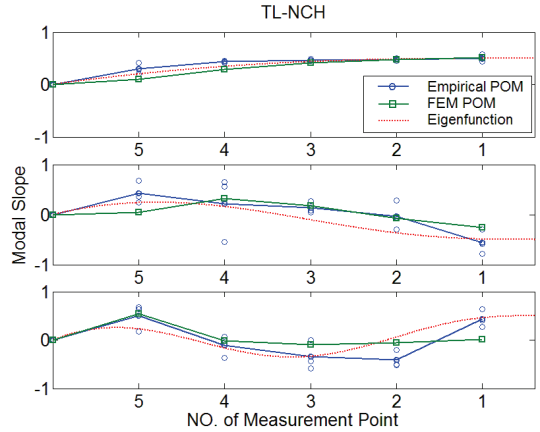
3. 적합직교분해법(POD) 결과

공기 중 1, 2 차 공진주파수 가진에 의한 팁/팁리스 AFM 실험 결과와 유한요소해석 결과를 Table 2 에 비교하였다. 두 분석 모두 각 공진주파수의 가진에 의한 그 응답신호를 POD 로 추출한 마이크로캔틸레버의 1 차 모드가 1 차 고유함수와 일치함을 Fig. 3 으로도 알 수 있다. 그리고 5 개의 다중모드 중 1 차 모드에 에너지가 집중되어 있음을 POV 분포로 알 수 있다. AFM 마이크로캔틸레버의 다중 모드 응답에 있어 팁 질량의 효과는 무시할 정도로 POV 변화가 크지 않음을 다시 확인[1]하였다. Table 2 에서 3 차 이상의 고차 POV 의 영향이 매우 작으므로 2 차 성분까지 나타내었으며, POM 은 기울기 값으로 3 차 성분까지 Fig. 3 에 나타내었다.

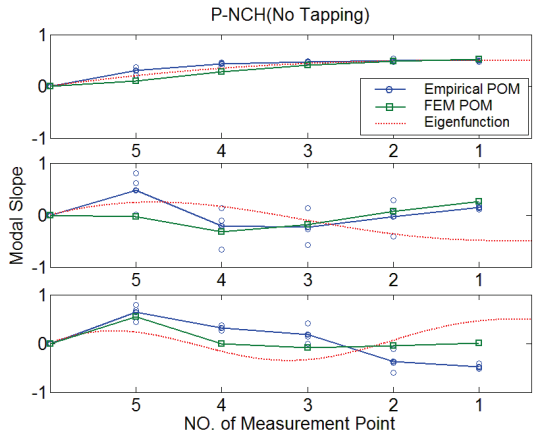
현재 액체 속에서 시료를 탭핑하는 마이크로캔틸레버의 다중모드 해석에 있어 유한요소해석은 연구 중인 반면 실제 실험[2]이 완료되었다. 그 실험 결과 공기 혹은 액체 속에서 P/TL-NCH 와 P/TL-NCL 비교 시, 마이크로캔틸레버의 길이가 다중모드에 미치는 영향은 없으나 P/TL-NCL 과 P/TL-OMCL 비교 시, 마이크로캔틸레버의 강성이 다중모드에 미치는 영향이 존재함을 POV 분포로 알 수가 있다[2]. 또한 탭핑의 세기가 증가하거나 공기에서 액체로 환경이 변하는 즉, 점성이 증가하는 경우 마이크로캔틸레버의 고차모드의 영향이 증가한다[2].

4. 결 론

적합직교분해법과 유한요소법을 통하여 AFM 마이크로캔틸레버의 모드를 추출하였으며 각 고유모드와 일치함을 확인하였다. 마이크로캔틸레버의 다중모드에 팁 질량과 길이 효과는 없으며 강성 변화에 영향이 있었다. 실제 액체 속의 실험에서는 공기 중의 실험과 같이 탭핑 세기와 점성의 변화가 고차모드의 변화에 영향을 미치는 것을 알았다.



(a) Tipless microcantilever



(b) Tip microcantilever

Fig. 3 The averaged 1st, 2nd, and 3rd POMs of NCH

후 기

본 연구는 2012 년도 연구재단 기본연구지원사업 (과제번호 2012-0002982)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, pp.167~168
- (2) Kim, I. K. and Lee, S. I., 2012, Multi-Modal Dynamic Analysis of AFM Microcantilevers, Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Annual Autumn Conference.