

# MEMS기술 및 정책동향

박장선 | 한국과학기술정보연구원

## 1. MEMS기술의 출현

MEMS(Micro-Electro-Mechanical System)는 일반개념으로 볼 때 제어·검출기능의 반도체 회로기판 위에 구동기능을 갖는 마이크로 기계구조(액추에이터)를 일체화시킨 마이크로시스템이다. 시스템을 구성하는 전기·기계적인 디바이스와 부품·재료들의 복합기술이며, 응용목적에 따라 기술내용을 달리한다.

1970년대 중반 미국 일부대학의 연구진은 반도체 미세가공기술을 응용하여 새로운 개념의 디바이스 개발연구에 착수했다. 트랜지스터를 기반으로 하는 디바이스는 반도체 전자의 움직임을 제어함으로써 전류의 증폭작용이나 스위칭을 하는데 비해, 새로운 연구의 기본적인 발상은 반도체와 같은 기술을 사용하여 미소한 요소를 만들고, 그 기계적 동작을 검출하여 센서로서의 디바이스를 만드는 것이었다. 이러한 연구는 Stanford대학에서 시작하여 California대학(Berkeley), Chicago대학, Michigan대학 등으로 확산되면서 이를 MEMS로 명명했다. 기계공학적인 관점에서 볼 때는 반도체기술을 이용한 미크론 단위의 기어(gear)에 관한 연구보고서가 발표된 1988년을 MEMS의 기원으로 보고 있다.

MEMS기술에 의한 자동차용 압력센서는 MEMS기술의 응용을 태동시키고 가속도센서를 출현시켰다. 이러한 MEMS의 여명기를 지나 1990년대에 MEMS디바이스가 장착된 자이로스코프, 잉크젯프린터 헤드, DLP(Digital Light Processing) 등이 시장에 진출하면서 MEMS기술에 대한 관심이 국제적으로 빠르게 확산되었다.

MEMS의 주요이점은 소형화이다. 소형화의 메리트는 예를 들면, 통신분야에서 높은 공진주파수, 빠른 기계응답 속도, 소비전력감축, 재료의 절약, 낮은 노이즈, 빠른 열응답을 얻을 수 있다. 또 하나의 중요한 메리트는 소형이면서 고기능 디바이스를 만들 수 있다는 점이다. MEMS는 이러한 특성을 미크론환경에서 만들어내는 미소기계류이며, 일반환경과는 다른 물리적 효과(표면장력, 마찰, 점성 등)가 디바이스 동작을 지배한다. 이 기술 분야는 자동차, 고주파통신, 휴대기기, 의료·바이오, 에너지·환경, 항공우주 등 여러 분야에서 새로운 기술적 돌파(breakthrough) 역할을 해줄 가능성을 보여준다.

지금 우리주변에는 모르는 사이에 MEMS기술이 진입하고 있다. 예를 들면, 자동차 압력센서를 비롯하여 에어백용 가속도/각속도센서, 네비게이터용 자이로미터, DLP, PDP, 광통신용 디바이스, 생화학용 분석시스템 등 다양

하다. 그러나 이러한 예는 앞으로 예상되는 광범위한 MEMS 응용분야의 극히 일부에 해당한다. 일부 MEMS제품들의 시장진입이 가시화되고 있지만, 산업의 라이프사이클 관점에서 볼 때 MEMS산업은 분명히 도입초기에 있다. 바로 이점이 주요국의 기술전략상 중요시하고, 국제 MEMS관련 연구 붐이 조성되고 있는 배경이다.

우리나라도 대학을 중심으로 이러한 국제조류에 이미 참여하여 학술적 차원의 연구가 확산되는 추세에 있다.

이 자료는 MEMS와 관련된 국제기술동향을 분석하고 산업화를 촉진시키기 위한 주요국의 대응상황을 다루고 있다.

## 2. MEMS기술개발과 응용동향

### 2.1 MEMS기술

MEMS는 마이크론 스케일의 기계적 디바이스(소자, 부품)를 제작하고 전기회로를 갖는 반도체와 통합(integration)하여 특정기능의 구조체를 만드는 마이크로시스템이다.

MEMS기술은 크게 4개의 범주로 구분된다.

첫째, 최종목표인 시스템 : MEMS인 DMD(Digital Micromirror Device)를 핵심으로 하는 DLP가 그 예이다. 일반적으로 이를 MEMS제품으로 보지만, 엄격하게는 DMD가 MEMS이다.

둘째, 디바이스기술 : MEMS기술에 의해 제작되는 각종 센서, 액추에이터와 이들이 통합된 기능이다. 기능설계가 중요하다.

셋째, 제조기술 : MEMS디바이스를 제작하는데 필요한 요소기술로서 협의의 MEMS기술이다. 반도체가공기술과 중복되는 부분이 있다.

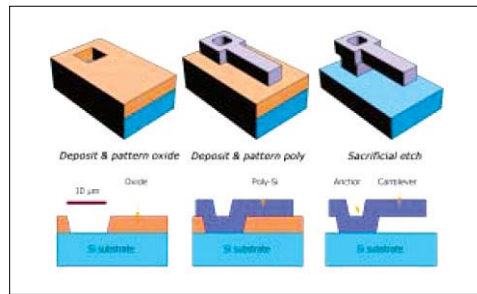
넷째, 디바이스/시스템으로서 MEMS를 최적설계·제작하는데 필요한 시뮬레이션 프로그램 소프트웨어 등 소프트웨어기술이다. MEMS 아이디어를 최적형상화 하여 제품으로 발전시키는 면에서 중요하다.

### 2.2 MEMS제조기술

MEMS는 반도체 가공기술을 기반으로 하고 있지만 기존의 회로 제작기술을 넘는 특수한 제작공정이 필요하다. 이를 토대로 MEMS는 크기, 무게, 전기소모량을 줄이면서 복합·다기능화를 실현하고, 전기적 신호와 기계적 신호가 상호 교류·융합하는 기능을 개발하고 있는 추세이다.

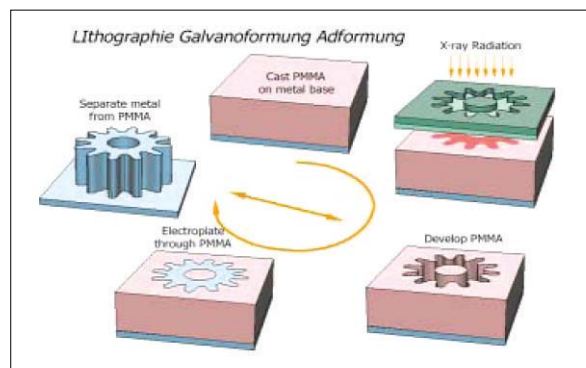
MEMS제작에는 주로 다음과 같은 기술이 이용되고 있다.

- 벌크 미세사공(bulk micromachining)
- 표면 미세가공(surface micromachining)
- 웨이퍼 접합(wafer bonding)
- 증착(PVD, CVD)
- RIE, DRIE(reactive ion etching, deep reactive ion etching)
- LIGA/SLIGA 및 LIGA-like
- 기타(마이크로EDM, 3차원 리소그래피, 레이저 미세가공 등)



자료 : DARPA, "DARPA MEMS Program"

그림 1. 표면 미세가공 프로세스 예



자료 : DARPA, "DARPA MEMS Program"

그림 2. LIGA프로세스에 의한 마이크로기어 제작 예



그림 3. DRIE에 의한 모터의 로터가공 예

기판재료의 경우는 반도체재료(실리콘) 중심에서 그와 관계되는 재료, 폴리머(PDMA, PPMA), 유리, 석영, 금속, 플라스틱, 세라믹 등으로 확대되는 양상이다. 이 경향은 DNA분석을 위한  $\mu$  TAS 등 생화학 분야에서 마이크로 시스템의 MEMS구조용 재료로서 응용되는 추세와 관련이 많다.

최근 MEMS기술개발의 중요한 특징 중의 하나는 센서, 액추에이터 등 단일체 위주의 접근에서 MEMS + MEMS, MEMS + 반도체, MEMS + 나노기술과 같이 기술의 융합을 통한 기능의 복합화를 추구하고 있는 점이다.

이를 반영하듯 2006년 11월 초 Tokyo에서 개최된 제12회 국제마이크로머신·나노기술심포지엄에는 테마를

“나노집적화 MEMS의 이노베이션 창출과 비즈니스 최전선”으로 설정하고 “MEMS/반도체 집적화MEMS” 등의 주제가 발표되었다. 이러한 기술의 융합과 이종디바이스의 결합추세에 따라 패키징문제가 매우 중요한 이슈로 논의되었다. 또한 제조기술은 디바이스 스케일이 더욱 미세화하는 방향으로 접근해가면서 나노기술과의 융합이 새로운 연구과제로 제기되고 있다. 결국은 MEMS와 NEMS(Nano-Electro Mechanical System)가 공존하는 마이크로/나노시스템으로 발전할 가능성이 크다. 이에 따라 MEMS제조기술에서도 기존의 미세가공기술과 함께 새로운 패키징기술, 나노임프린팅기술 등 미세가공기술이 이미 응용되기 시작하고 있다. 표 1은 일본의 NEDO프로젝트에서 MEMS기술로드맵 작성을 위해 정리한 요소기술의 4단계 트리를 보여준다.

표 1. MEMS기술 Tree

분류-1	분류-2	분류-3	분류-4
에칭기술	고정도 · 미세에칭기술	고중횡비 관통공 형성	
		평활벽면형성 deep etching	
		미세형성기술	
		대면적 균일 에칭	
		대면적 나노패턴 가공	
	입체형상 자유가공	3차원표면 가공	
		자유곡면 가공	
나노스케일 기계가공	입체구조상 패턴형성		
	나노프로브 · 에칭가공		
성막기술	고품위 후 · 박막기술	기능성재료 후막형성	후막작성
			국소성막
			잔류응력 저감
다층막 형성			
	고품질화		
	입체형상 막 제조	3차원형상 표면상 제막	
형성기술	나노기능재료의 선택적 형성	나노디바이스재료 제조	
		나노디바이스 조작	
	기능성 표면형성	표면형성기술	
		생화학적 표면형성	
		나노표면 형성	
		인쇄형 표면형성	
	마이크로 프레스성형	나노임프린팅	
마이크로양각			
접합표면 청정화			
패키징기술	접합	고정도 위치결정	대면적 위치결정
			3차원위치결정
			자체조립위치결정
		저온접합	저항접합
			전기손실 저감 접합
			이종재료접합
	비 실리콘재료 접합		

분류-1	분류-2	분류-3	분류-4
패키징기술	접합	저온접합	저 응력 다층접합
			다층기반접합
	패키지	봉합(밀봉)	진공봉합
			내 고온 · 고압 봉합
			차광기술
			방열 패키지
		고도의 패키징기술	고집적화
			나노패키징
	마감기술	트리밍	
		다이싱	
검사 · 평가기술	각종 평가기술	형상측정	형상측정
			막 두께계측
			거칠기 측정
	디바이스 특성평가	진공평가	
		접합평가	
		강도평가	
		시스템 취급량 평가	시스템신뢰성평가
설계 · 해석기술	각종 시뮬레이션기술	고주파 시뮬레이션	
		패키징 최적화기술	
		기구해석	
		프로세스해석	
		각종 데이터베이스	
제조시스템기술	새로운 가공기술	신재료 MEMS가공기술	비 실리콘재료(구조재료)
			세라믹스
	다품종 · 소량 · 에너지절약 · Flexible 제조시스템	Flexible 가공기술	금속
		마이크로 팩토리	

자료 : (株)日鐵技術情報センタ, “MEMS의技術戰略マップの作成に關する調査”, NEDO 2004年度調査報告書, 2005. 2

### 2.3 MEMS설계 · 해석 소프트웨어

현재 MEMS연구 또는 제품개발을 위해 필요한 시뮬레이션 프로그램소프트웨어는 미국기술이 사실상 국제시장을 석권하고 있는 상황이다. 미국기업제품인 CoventorWare™(Coventor사), IntelliSuite™(IntelliSense사), ANSYS가 대표적이며, 프랑스의 MEMS Pro™(MEMSCAP)도 국제적으로 활용도가 높은 소프트웨어이다.

CoventorWare™는 MEMS, 마이크로 유체디바이스 개발에 특화된 설계 · 해석용 소프트웨어로서 MEMS특유의 물리현상에 대한 해석 툴을 제공해준다. 전체 시스템은 ARCHITECT(Top-down방식에 의한 MEMS설계 · 해석기법), DESIGNER(MEMS디바이스 설계에 특화된 3차원모델작성), ANALYSER(MEMS디바이스 특성해석 툴), INTEGRATOR(디바이스 구동부분 관성모멘트 추출, 스프링계수 추출 등), MEMulator(가공프로세스를 시

각화하는 에뮬레이션 소프트웨어)로 구성되고 있다.

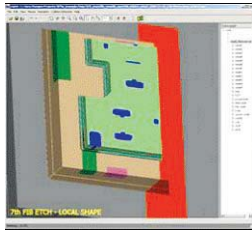


그림 4. CoventorWare의 SEMulator 3D 모델링 (Coventor사)

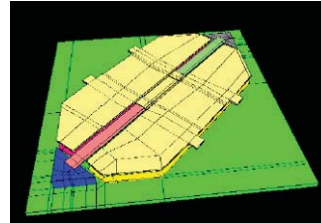


그림 5. 마이크로 반사경 시뮬레이션 (IntelliSense사)

IntelliSuite™는 MEMS디바이스설계, 시뮬레이션 및 최적화를 위한 CAD소프트웨어이다. 전체 시스템은 Process Module (재료DB MEMaterial, 이방성에칭 시뮬레이터 AnisE 등), Analysis Module (열전기기계, 패키징, 압전해석 piezoMEMS, RF-MEMS, Bio-MEMS해석 툴), System Modeling (Analysis Model에 의한 3차원해석 결과로부터 매크로모델 추출) 등으로 구성되며, MEMS디바이스의 설계·개발에서 제조라인에 이르기까지의 코스트견적기능을 제공하는 Economic Modeling도 포함되고 있다.

MEMSCAP사의 MEMS Pro™는 MEMS설계지원용 소프트웨어로서 회로시뮬레이터를 기반으로 다른 해석소프트웨어와 인터페이스를 충실히 하여 MEMS디바이스설계·개발을 위한 통합환경을 제공한다. IC설계 CAD인 L-Edit를 중심으로 회로도 에디터와 시뮬레이터를 통합하고 있는데 기능은 CoventorWare™와 IntelliSuite™와 유사하다.

일본의 경우, MEMS연구와 제조를 위한 설계·해석용 소프트웨어를 외국에 의존해 왔다. 자체기술 확보가 절실한 일본은 2004년부터 3개년계획의 NEDO프로젝트로 일본고유의 소프트웨어“MemsONE”을 개발하기 위한 산학연 공동개발사업이 진행중이다.

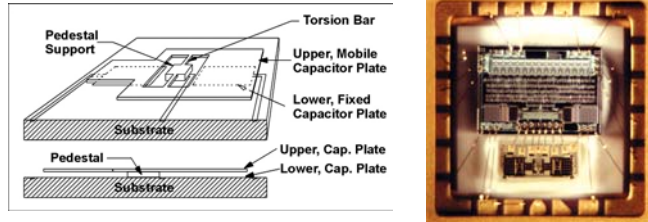
## 2.4 응용분야의 확산

### □ 자동차용 센서MEMS

MEMS응용의 출발은 자동차전자화와 결부되어 있다. 1990년대 초부터 MEMS센서의 시장성이 인식되면서 자동차 전자제어기업을 중심으로 기업의 참여가 증가했다. 특히, 가속도미터(accelerometer)는 주행안전과 관련하여 미국이 1990년대 초부터 상용화에 진입한 대표적 MEMS디바이스다. 주행차량이 다른 물체와 충돌할 때 발생하는 순간가속도를 검지하여 에어백을 작동시키는 MEMS 가속도센서는 이미 국내의 자동차에 탑재가 보편화되고 있는 상품이다. 일본NRI는 자동차용 센서수요가 2004년 약 1,270억 엔, 2010년 약 1,583억 엔 규모로 예측한 바 있다.

최근 자동차안전과 관련하여 관심을 끌고 있는 대표적인 MEMS는 TPMS(Tire Pressure Monitoring System, 타이어압 관리시스템)이다. 이 시스템은 미국 NHTSA(고속도로교통관리국)에 의해 2007년부터 채용을 의무화하도록 하고 있는데, 4륜타이어압과 회전속도정보를 전자제동시스템(ECU)에 무선으로 보내 정보를 내는 시스템이다. 미국 내 차량을 대상으로 2004년부터 의무적으로 도입되기 시작한 TPMS는 2006년 20%, 2007년 70%,

그리고 2008년 이후는 100% 장착을 의무화해야 한다. 미국의 영향으로 유럽과 일본, 한국 등이 이 기술을 이용할 가능성이 크기 때문에 전 세계적으로 2008년까지 연간 1,200~1,500만대의 수요가 발생할 것으로 예상되고 있다.



좌: 가속도센서 구조도, 우: 실물내부구조

그림 6. MEMS Accelerometer 예 (Silicon Designs사)

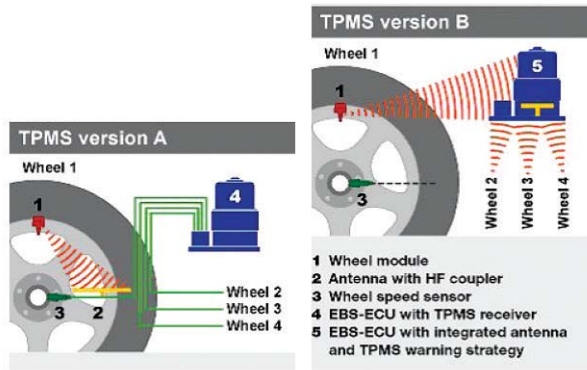


그림 7. TPMS시스템구성 예

### □ 잉크젯 프린터헤드(Inkjet Printer Head)

MEMS초기제품 중의 하나로서 현재 이용되고 있는 컴퓨터프린터의 혁신디바이스이다. 이 제품은 원래 일본의 Canon사가 발상한 것으로 알려졌으나 미국의 HP (Hewlett-Packard)사가 실용화하고 특허를 독점하여 생산해왔다. 현재는 일본의 Canon과 Epson사가 생산에 참여하면서 세계시장을 분점하는 상황이다.

프린터헤드의 기능은 피코리터( $10^{-12} \ell$ ) 스케일의 잉크를 액적으로 하여  $3\mu\text{m}$  이하의 간격으로 인쇄면의 필요한

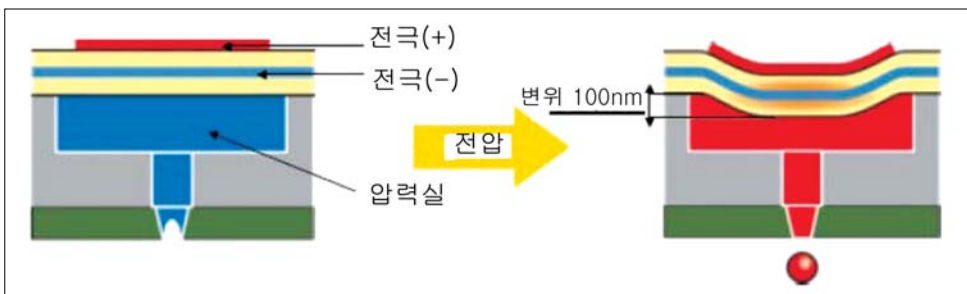


그림 8. Epson방식에 의한 잉크젯 프린터헤드 구조

위치에 간헐적으로 붙어 넣는 것이다. 이 때의 시간간격은 0.2ms 이하이다.

노즐에서 잉크를 내보내는 방식의 차이에서 2개의 잉크젯방식이 있다. Canon-Hewlett방식은 잉크가 분무하기 까지 내압을 높여 가열하고 버블을 발생시킨다. 이 때 발생하는 압력을 사용하여 인쇄 면에 잉크를 분사한다. Epson방식은 압전소자를 이용하여 잉크를 두드려 분사시킨다. 이 방식은 가열·냉각 사이클이 없기 때문에 속도를 높일 수 있다. 프린터헤드의 액체유로는 실리콘에 플라즈마에칭으로 홈 구조를 만들고, 그 위에 유리를 접합하여 유로형상을 구성한다. 노즐은 레이저광을 스캔하여 MEMS기술로 가공하고 있다.

2005년 잉크젯프린터와 잉크젯복합기 세계시장은 약 90,000천대(1,800억 달러) 규모이다(<http://it.jeita.or.jp>). 최근 일본에서는 반도체표화, 유기EL, 유기TFT 등의 실현과 함께 잉크젯응용 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. NEDO는 2005년부터 3개년계획으로 잉크젯방법에 의한 다층회로기판 제조기술 프로젝트를 추진 중이다.

## □ DMD

DMD(Digital Micromirror Device)는 1990년대 말 미국 TI(Texas Instrument)사에 의해 개발된 광 디바이스이다. 1987년 Larry Hornbeck가 발명한 DLP(Digital Light Processing)를 국방성(DOD) DARPA(Defence Advanced Research Projects Agency)의 장기간에 걸친 과감한 투자(10억 달러) 지원으로 상용화시켰다.

이 제품은 수많은 초소형 반사경으로 광 반사방향을 변화시켜 TV나 프로젝트 등에 사용되는 광 투영기술인 DLP의 핵심 디바이스이다. DMD의 반사경 1개 크기는  $16 \times 16 \mu\text{m}$ , 집적회로 상부에  $16 \mu\text{m}$  각의 알루미늄계 반사경을 40만 ~ 100만개 이상 어레이구조로 배열한 것으로서 응답속도는  $1 \mu\text{s}$  초에서  $\pm 10^\circ$ 의 각도로 회전한다.

DMD는 반사경을 움직이기 위한 전극구조와 가동 반사경부분이 상부에 위치하고, 이를 제어하는 집적회로부분이 하부에 위치하여 일체화시킨 구조로서 반사경을 반복경사지게 하기 위해 Ni(약  $10 \mu\text{m}$ 의 후막형태)로 반사경을 지지한다.

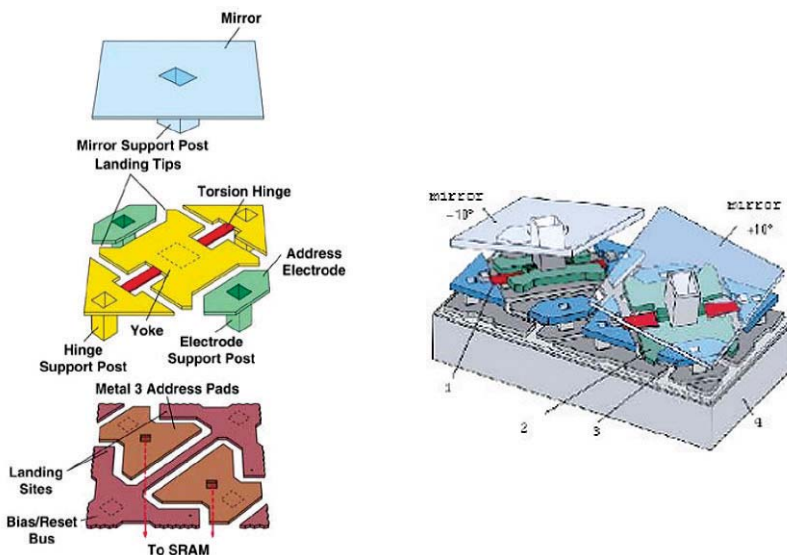
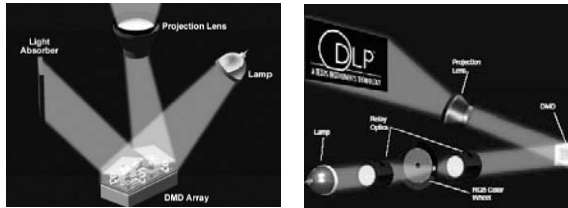


그림 9. DMD구조도(좌)와 조립도면(우)



복잡한 MEMS프로세스를 이용하여 제작하는 DMD는 반도체구조와 일체화시킨 것이 특징으로, MEMS기술의 한 지침을 제시하는 디바이스로 주목을 끌어왔다.

TI가 특허독점하고 있는 DMD내장형 고기능의 소형DLP프로젝터는 1996년 첫 판매가 시작된 이래 근래 급커브의 성장세를 보이면서 2006년 6월에는 1,000만대를 돌파하였다. DMD는 이외에 HDTV, 차세대 리소그래피, DNA검사, 광스위치, 레이저, 현미경, 분광기 등에 응용하기 위한 연구가 진행되고 있다.



주: 오른쪽은 컬러 휠에 의한 투과원판방식  
 그림 10. DMD에 의한 DLP 프로젝션 개념도

주목받고 있는 DMD응용기술로서 미국 Lucent Technologies사가 개발한 세계최초의 통신용 광 스위치 어레이 “LambdaRouter”가 있다. 이 기술은 DMD의 반사경에 의한 광의 진로변경방식을 광 스위치로 응용하기 위한 것으로서 DMD가 반사경이 요동운동인데 비해 반사경을 짐벌(gimbal)구조로 지지하여 2자유도로 운동하는 구조이다. 현재 상용화를 위한 개발이 진행 중이다.

□ RF-MEMS

대용량정보를 고속으로 신호처리하여 전송하는 기기의 개발과 초소형화수요가 민간·군용부분에서 모두 증가 추세이다. 초고속광통신은 이러한 수요를 충족할 수 있는 기술로서 핵심인 GHz( $10^9$ Hz)~THz( $10^{12}$ Hz)대의 고주파(Radio Frequency : RF)기술개발이 국제적으로 치열하게 진행되고 있다. 이 통신시스템을 구성하는 핵심디바이스 중에서 필터, 스위치, 공진기(resonator) 등은 고기능과 초소형화의 메리트에 따라 MEMS기술을 이용한 제품개발이 진행 중이며, 그 성과는 장래 초고속광통신 산업경쟁의 리더십을 결정할 만큼 중요시되고 있다.

일본 NRI(Nomura Research Institute)는 2004~2008년 RF-MEMS수요신장률이 여타 MEMS분야에 비해 가장 높고, 그 이후에는 이 분야가 광(光), 자동차, 환경, 의료 등 다른 MEMS분야에 비해 수요규모 역시 가장 큰 분야가 될 것임을 예측한 바 있다(세계 RF-MEMS시장규모 : 2004년 14억 달러, 2010년 192억 달러, NRD).

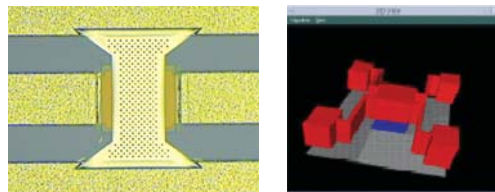


그림 11. RF-MEMS 병렬 스위치모형(좌)과 3차원모델(우)

□  $\mu$  - TAS

$\mu$ -TAS(micro Total Analysis System)은 DNA, RNA, 단백질, 세포 등을 연구하고 산업적으로 응용하기 위한

틀로서, 바이오, 의료, 화학, 기계, 전자, 재료의 융합기술이다. MEMS디바이스들로 구성되는 이 마이크로 분석시스템들은 생명공학에서 혁명적 성과를 창출할 수 있을 것으로 기대하고 관련연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

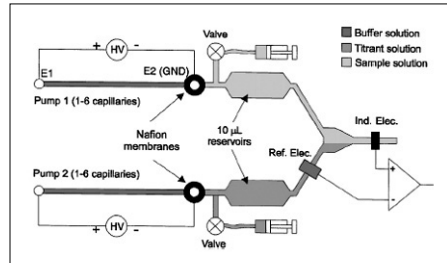


그림 12.  $\mu$ -TAS의 구조 예 : 나노 부피정량분석용

$\mu$ -TAS는 시약과 생체분자를 마이크로집적시스템 내로 이송하고, 혼합하고 분리·분석하는 마이크로기계구조이다. 유체와 입자(미크론/나노스케일) 핸들링, 샘플준비, 분리, 증폭, 리액터와 믹서, 마이크로펌프/밸브, 검출 등이 핵심기술 또는 유닛이다. 이러한 시스템은 마이크로유로(micro channel)로 이뤄지며 마이크로유체디바이스를 위한 미세가공기술이 핵심으로서 MEMS기술에 의해 개발가능성을 열어가고 있다. 마이크로구조의 재료는 실리콘에서 점차 유리, 석영, 광학구조성능을 갖는 유리(예: FOTURAN), 폴리머(PDMS, PMMA)로 이행하고 있다.

1990년대부터 Lab-on-a Chip과 같은 관련기술이 개발 응용되어 일부 상용화단계에 있으며, 미국과 유럽의 여러 벤처기업들(예: Caliper Technologies사, Nagogen사, PharmSeq사 등)이 이미  $\mu$ -TAS의 기업화를 위해 투자하고 있다. 그러나 전반적으로 볼 때 아직은 국제적으로 경쟁적인 연구단계에 있다. 최근의 자료를 보면, 일본의 경우, 2006년경부터 수요가 발생하여 2010년에는 약 1,000억엔의 폭발적 수요증가현상을 보일 것으로 예측한 바 있다(JATIS).

국내 일부대학과 연구기관들도 이러한 국제조류에 활발히 참여하고 있다. 지난 11월 Tokyo에서 개최된 제10회 국제 $\mu$ -TAS학술회의( $\mu$ TAS2006)에서는 모두 524건의 논문이 발표되었다. 이 중 국내연구원이 발표한 논문은 41건이었다.

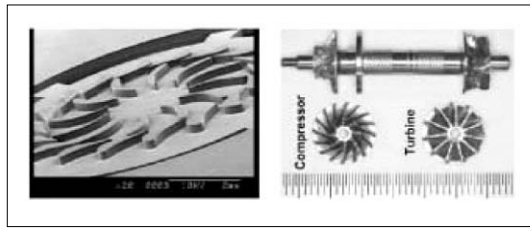
## □ Power MEMS

2002년도 IEEE의 국제MEMS학술회의(MEMS2002)는 Power MEMS를 IEEE의 독립된 분과로 채택하여 연구논문을 발표하기 시작하였다. 이것은 초소형 무인운반체, 소형휴대기기, 노트북PC, 소형계산기, 휴머노이드 로봇 등의 동력원으로서 유망한 전력공급원을 MEMS미세가공기술에 의해 실현하기 위한 연구가 확대되는데 따른 것이다.

마이크로연료전지는 이미 시장도입기에 진입하고 있는 단계이며, 마이크로가스터빈엔진 등 열-전력변환시스템은 주요국들이 경쟁적 연구개발단계에 있다.

DARPA와 ARO(Army Research Office)가 지원한 MIT주도의 “마이크로가스터빈엔진(MGTE) 개발 프로젝트”는 MEMS가공기술을 이용하여 가공된 컴프레서, 터빈, 연소기, 발전기로 구성되는 가스터빈발전기로부터 초소형의 콤팩트한 동력원(발전시스템)을 개발하는 것이 목표이며 이미 성공적 실증시험을 거쳤다. 이 MGTE는 터빈블레이드 휠 직경이 4mm, 연소시스템은 디바이스 크기가  $2.1 \times 2.1 \times 0.38$ cm, 6개의 실리콘웨이퍼로 결속된

구조이다.



주) 휠 직경 : 좌 5mm, 우 10mm

그림 13. MEMS에 의한 2차원 가스터빈 휠(좌 : MIT) 및 기계기공에 의한 3차원 가스터빈 휠(Tohoku대학)

일본 역시 Tokyo대학이 총괄하는 산학연구진이 NEDO프로젝트로 터빈 휠 사이즈 8mm의 UMG(T Ultra Micro Gas turbine) 개발을 추진해왔다. 로봇을 비롯한 이동체의 동력원개발이 타깃이다. 이 프로젝트에서 MIT연구진이 참여하는 한 팀은 2차원의 MEMS가공방식을 도입하고, Tohoku대학이 주도하는 다른 한 팀은 3차원 기계가공방식을 채택하여 개발하고 있다. 터빈엔진의 효율면에서는 블레이드의 기계가공방식이 MEMS가공방식을 앞선 것으로 보고하고 있다.

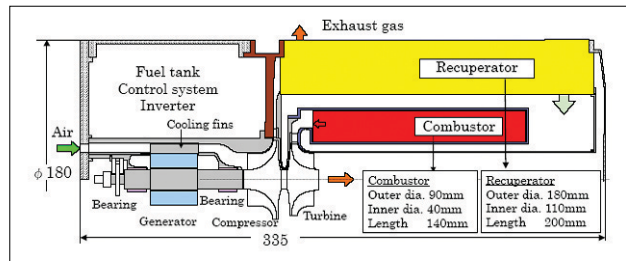


그림 14. 일본의 UMG 개념설계도

## 2.5 MEMS시장수요

NEXUS(EU Commission이 유럽의 MEMS/MST의 연구개발 촉진을 위해 설립한 조사기관)는 세계마이크로시스템(MEMS/MST) 시장규모를 2002년 380억 달러, 2005년 650억 달러로 예측한 바 있다. 연평균성장률 20%로 전망한 이 예측자료를 기초로 할 경우, 2010년에는 1,000억 달러를 상회한다.

일본 Nomura연구소의 세계MEMS시장규모 예측치는 2004년 약 420억 달러, 2010년 약 900억 달러규모이다.

MEMS디바이스 분야별로 보면, 현재는 자동차분야(주로 센서MEMS)가 30% 이상으로 가장 큰 점유율을 보이고 있으나 그 성장은 완만한 반면에(2010년 점유율 17%), 초고속·대용량통신을 뒷받침하는 RF-MEMS와 Optical MEMS(또는 MOEMS) 등 IT분야와 DLP 등 디지털 광학기기분야가 시장을 리드할 것으로 전망하고 있다(2010년 점유율 : 50% 상회). 또한, 바이오/의료MEMS는 미국과 EU를 중심으로 급성장할 것으로 전망되고 있다(2010년 점유율 약 20%). 의료기기·분석측정기기 등 정밀기기분야도 중요한 MEMS응용 분야이다.

국가/지역별 MEMS제품시장수요는 현재 미국이 약 55%, 유럽과 아시아가 각각 22% 수준이지만, EU의 MST 관련프로젝트와 실용화추진, 일본의 MEMS산업신장, 한국과 중국·대만의 MEMS산업진출 전망 등에 따라 미국

의 비율은 점차 감소하고, 유럽과 아시아의 비중은 증가할 전망이다(Frost & Sullivan).

또한 기존의 MEMS기업 외에 신형기업들이 각 분야마다 매년 급속히 증가하고 있는 추세이다.

### 3. 주요국의 MEMS기술정책

#### 3.1 미국의 독주

미국은 MEMS기술과 산업화에서 선도적 위치에 있다. 자동차분야의 각종 센서를 비롯하여 잉크젯 프린터헤드, 자이로미터, DLP 등 MEMS디바이스를 탑재하고 있는 많은 제품의 원천기술은 미국이 보유하고 있다.

이러한 상황은 1980년대 이후 미국이 새로운 기술혁신 잠재력을 가진 MEMS에 일찍 도전한 결과이기도 하지만, 군사기술에 대한 마이크로시스템기술의 유용성 때문에 1990년대 후반부터 과감하게 추진한 DARPA의 MEMS 프로그램이 중요한 선도역할을 했다. 이 프로그램은 국방응용이 주 목적이지만, DARPA프로그램에 참여하는 대학과 연구기관, 기업을 통해 MEMS기술의 이노베이션을 지속적으로 유지·확산시킨 특징이 있다. 이 프로그램의 R&D이니셔티브는 주로 대학의 센서/액추에이터와 마이크로시스템 연구센터가 가지고 있다.

지금까지 미국정부가 추진해온 MEMS R&D예산 내에서 가장 중요한 비중을 차지하고 있는 DARPA MEMS프로그램은 첨단 MEMS디바이스와 MEMS가공프로세스의 R&D프로젝트를 포함하며, 대부분의 프로젝트가 혁신적인 시스템개념을 실현하기 위한 목표를 가지고 있다. 이 프로젝트의 영역은 ①유체센싱, 제어, 운반 ②데이터저장, ③광 및 영상, ④관성기구, ⑤고주파부품과 통신, ⑥센서 및 액추에이터 네트워크 또는 병렬시스템 등이다. 여기에 마이크로시스템 연구조직을 가지고 있는 주요대학들과 기업들이 대거 참여하고 있다.

미국은 이 외에도 NIST의 ATP(Advanced Technology Program)를 비롯하여 NSF, NIH, DOE 등 정부기관의 각종 R&D프로그램 속에 정보통신, 의료/바이오, 정밀기기, 자동차, 환경, 항공우주분야 응용을 위한 MEMS/MST의 기반연구 과제를 반영하고 있다.

#### 3.2 유럽의 도전

유럽은 미국에 비해 MEMS연구의 후발위치에 있다. 그러나 1990년대 중반 이래 역내 각국별로 MEMS연구를 독자적으로 수행하고 있는 것과는 별도로 EU차원에서 MST(Micro Systems Technologies) 개념의 마이크로시스템개발을 위한 프로그램을 활발히 추진하고 있다.

EU위원회의 R&D프로그램인 FP6(제6차 Framework Programme, 2002~2006년)에는 “Component and Microsystem” 영역에 MEMS연구과제를 반영시키고 있다(예산 : 2억 1,800만유로). RF-MEMS, Si-MEMS, MEMS기술을 이용한 디스플레이용 플라스틱기술, 의료용 MEMS가 주요테마이다.

FP6의 MEMS관련 연구개발이 마이크로시스템기술의 일부로 시행하고 있는데 비해, EUREKA프로그램의 EURIMUS는 압력센서, 자이로미터, 프린터헤드 등 여러 분야의 MEMS개발을 위해 재료, 디자인, 시뮬레이션, 제조, 패키징·조립/시험에 걸친 기반기술과 산업화에 초점을 두고 있는 주요 MEMS개발프로그램이다. 제2기 EURIMUS(2003~2008년)에는 향후 크게 성장이 기대되는 Bio-MEMS 등의 새로운 시장개척을 위한 기술력향상과 응용능력개발에 전략적 목표를 두고 있다(예산 약 5억유로).

프랑스는 EU공동의 MEMS프로그램에서 주도적 위치에 있다. 프랑스의 MEMSCAP사 제품인 MEMS Pro는

MEMS설계시뮬레이션용으로서 국제적인 상품으로 잘 알려져 있다. 또한 유럽의 MEMS설계·제조를 위한 파운드리 서비스는 프랑스의 LETI 등이 중심이 되어 유럽네트워크를 구성하고 있다.

프랑스를 포함하여 독일, 영국, 스위스, 스웨덴, 노르웨이, 네덜란드, 이탈리아 등이 EU의 MEMS R&D 프로그램에 적극 참여하고 있는 국가들이다.

### 3.3 일본의 추격

20세기 후반 일본은 기계와 전자기술의 접목에 의한 제품의 “경박단소”를 통해 강력한 국제경쟁력을 보유하고 세계시장을 석권했다. 그만큼 마이크로기술경쟁력은 자타가 인정하는 세계정상수준이다. 1980년대 후반 미국이 MEMS연구에 착수하고, 마이크로전자에 비중을 둔 유럽이 MST프로그램을 추진하자 일본은 이에 대응하여 1991년부터 10년간 국가대형R&D사업으로 “마이크로머신 기술개발프로젝트”를 추진시켰다. 미국과 유럽이 반도체/전자를 베이스로 한 액추에이터의 통합기술이라면 일본은 마이크로기계가공방식으로 접근하였다.

일본의 마이크로머신 프로젝트는 기술적으로 성공하였으나 기업화로 확산하는 데는 성공하지 못한 것으로 평가된다.

2000년대에 진입하여 MEMS제품의 수요증가와 마이크로나노기술의 기술혁신전망이 뚜렷이 부각됨에 따라 일본정부는 MEMS를 국가적인 전략기술로 선정하여 개발계획을 추진하고 있다.

일본이 1990년대에 마이크로시스템 관련 기술개발에서 마이크로머신 프로젝트에 초점을 두고 있었다 하더라도 세계최초로 잉크젯프린터헤드, 카본나노튜브의 과학적 원리를 탐색해낸 저력에서 알 수 있듯이 MEMS를 비롯한 마이크로/나노시스템 기술개발자력은 미국과 EU에 근접하는 수준이었다고 볼 수 있다.

이를 배경으로 일본정부는 2002년 이후 MEMS산업의 인프라를 위한 “MEMS 프로젝트”를 추진하여 설계·가공을 서비스하는 파운드리 서비스체제를 조성해 왔다. 또한 외국에 의존하고 있는 MEMS소프트웨어의 자립을 목표로 “MEMS용 설계·해석지원시스템개발” 프로젝트를 추진 중이다(2004~2006년). 여기서 개발된 소프트웨어(MemsONE으로 명명)의 일부는 비즈니스를 위한 현장적용테스트 과정을 거치고 있다.

또 하나의 중요한 MEMS관련 사업으로서 앞으로 MEMS기술에 대한 연구개발 경쟁력을 세계정상 수준으로 이끌기 위한 “고집적·복합 MEMS제조기술개발 프로젝트”가 있다. 2006~2008년에 추진되는 이 NEDO프로젝트는 MEMS디바이스 수요의 증가에 대비하고(2010년 일본의 MEMS시장규모: 1,35조 엔), ①MEMS-나노기능의 복합기술, ②MEMS-반도체 일체 형성기술, ③MEMS-MEMS고집적 결합기술, ④고집적·복합MEMS지식 데이터베이스개발로 구성되어 있다. 기획보고서는 세부기술지표별 연구내용과 2015년까지 달성하고자 하는 개발목표를 제시하고 있다.

### 3.4 한국의 잠재력

국내에서는 1995년부터 7년간 “초소형 정밀기계 기술개발사업”이 국가R&D프로젝트로 추진된 바 있다. 이 프로젝트는 MEMS와 MST, Micro Machine 등 마이크로시스템관련기술의 국제적 R&D이슈에 대응한 것으로서 국내 마이크로시스템기술개발의 기반을 조성했다는 점에서 긍정적으로 평가할 수 있는 사업이다. 또, 1999년 이후 국책연구사업으로 추진되어온 “지능형 마이크로시스템연구 프로젝트” 역시 특정기술(초소형 내시경)에 초점을 두고 있지만 MEMS를 비롯한 마이크로시스템분야의 국내연구개발 잠재력을 성장시키는데 기여해 왔다고 평가된

다.

최근에 국내MEMS연구개발 활동이 활발한 양상을 보이고 있다. 2000년을 전후하여 여러 대학과 연구기관이 MEMS Lab.을 운영하고, 일부 대기업연구소도 특정분야의 MEMS기술그룹을 구성하였다. 1999년 4월에는 대한전기학회·대한기계학회·한국센서학회·한국정밀공학회가 공동으로 “제1회 MEMS학술대회”를 개최한 이래 2006년 제8회의 연구논문발표가 이어지고 있다. 최근 정부지원 프로젝트에는 MEMS관련 연구테마가 비교적 많이 반영되고 있는 추세이다. 이러한 MEMS관련 연구결과에 따라 국제학술회의에서 발표되는 국내연구자들의 논문 수는 상위국가그룹에 위치한다.

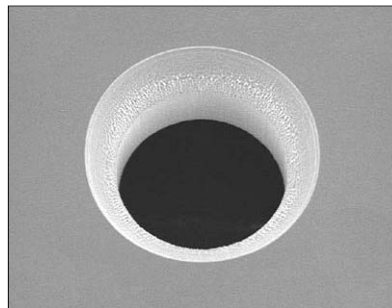
비교적 활발히 이뤄지고 있는 MEMS관련연구 활동에 비해 MEMS산업에 필요한 하부구조가 거의 형성되어 있지 못한 점이 선진국과 비교할 때 중요한 갭이라 할 수 있다. 이러한 산업인프라가 형성되지 못한 상황에서도 Curie Lab., Microwise(대우전자), MEMSware, M2N, MicroSolution, MFluidics, Intellimicrons, Digital Bio Technology사 등 신설기업들이 MEMS사업에 참여하여 새로운 산업의 기초를 만들어가고 있다.

#### 4. MEMS Foundry 서비스

외국의 반도체산업에서는 제품설계나 제조(제작)를 주문받아 서비스해주는 형태의 파운드리 서비스 기업군이 형성되어 있다. 현재 세계 반도체의 16%가 파운드리에서 생산되고 있고(수량 기준), 2010년까지는 30%에 달할 것이라는 전망이다. 이러한 파운드리의 배경에는 제조에 필요한 설비투자가 매우 고가이고 또한 매우 높은 가동률을 필요로 하기 때문에 기업의 독자적 설비투자가 어려운 구조라는데 있다.

MEMS는 특유의 기술·장비가 필요하지만 반도체와 공통되는 기술·장비가 많다. 따라서 반도체와 유사한 이러한 MEMS의 생산구조로 인해 외국의 MEMS산업은 초기부터 파운드리 서비스산업 형태를 취하고 정부가 이를 적극 조성하고 있다. 이는, 특히, 중소/벤처기업의 MEMS사업참여를 위해 반드시 필요한 인프라이기 때문이다.

일반적으로 MEMS파운드리는 MEMS아이디어를 실현시키기 위한 서비스로서 설계전문, 설계+제조전문, 제조서비스전문 등으로 구분할 수 있다. 이 조직들(일반으로 회사)은 전문적인 인력과 설비를 보유하고 MEMS와 관련된 디자인, 시뮬레이션, 프로세스개발, 프로토타이핑, 제조, 시험, 패키징 등을 서비스한다.



주) 미국 IMT사가 가공 서비스한 직경 $26\mu\text{m}$ 의 노즐

그림 15. 잉크젯 프린터헤드 노즐 공

## □ 미국

미국은 1990년대에 이미 이러한 파운드리 서비스체제를 조성했다. DOD DARPA MEMS프로그램을 일찍 출발시킨 미국은 이 프로그램에 참여한 대학과 기업의 MEMS설계·가공을 위한 인프라가 어느 국가보다 구조적 우위에 있었다.

이를 바탕으로 미국은 R&D프로그램결과의 산업화촉진을 위해 파운드리 서비스체제인 MEMS Exchange를 출범시켰다. 약 50개의 개인파운드리(대학을 포함)가 MEMS Exchange에 참여 중에 있으며, 이들은 서비스네트워크를 구성하고 있다. 또한 약 500개의 MEMS관련 대학, 연구기관, 벤처기업, 일반기업들이 여기에 고객으로 참여한다. 외국수요자도 참여가 가능하다.

## □ EU

EU는 유럽통합 이후 범 유럽차원에서 MEMS파운드리 서비스네트워크가 비교적 잘 조성되어 왔다. Europractice MST 프로그램은 MEMS/MST에 참여하는 유럽공동체 기업들의 사업진출과 경쟁력향상을 위한 중요한 역할을 해왔다. 이 프로그램은 파운드리 서비스를 포함하는 여러 기술지원 프로젝트로 구성되고 있고, 특히 중소/벤처기업의 지원에 중점을 두고 있다는 점이 특징이다.

이 프로그램을 위한 기술응용과 서비스체제는 2006년 6월 현재 12개의 디자인하우스, 7개의 전문센터(Competence Center), 5개의 파운드리로 구성되어 있고, 이들은 프로그램 내에서 MST-Design, LICOM+, MEDIC, MOEMS, INTEGRAM, MEMSOI 등의 단위사업을 통해 각국의 관련 지원조직체(기업, 대학, 연구기관)의 참여로 운영된다. Europractice MST프로그램에 의한 파운드리 서비스는 프랑스의 LETI가 거점이 되어 각 국가의 파운드리 조직이 네트워크를 형성·운영하는 체제이다. 파운드리 서비스는 외국에도 제공된다.

## □ 일본

미국과 EU보다는 늦은 2002년 NEDO의 "MEMS Project"가 시행되면서 조성되기 시작한 일본의 MEMS 파운드리 체제는 짧은 기간 내에 서비스산업으로 형성되어가고 있다. 이미 세계정상수준인 반도체장비 생산능력과 미세가공기술, 정밀특정기술 등이 존재하고, 정부가 적극적으로 MEMS산업발전을 추구하고 있다는 점에서 일본의 파운드리 서비스는 빠른 발전이 예상된다.

NEDO지원기관인 MMC(Micro Machine Center)의 파운드리서비스산업위원회(FSIC)는 일본 MEMS 파운드리 서비스체제를 실제로 총괄리드하고 있다. FSIC는 또한 일본형 MEMS소프트웨어인 MemsONE개발에 협력하면서 파운드리 서비스와 MemsONE을 융합시키는 역할도 수행한다.

현재 FSIC회원사로서 MEMS파운드리 서비스에 참여하고 있는 기업은 10개(ULVAC, OKI, Omron, Olympus, NanodesTM, HITACHI제작소, Fujikura, Matsushita전공, Mizuho정보총(연), Nihon Unisys Excelution)이며, 정부연구기관인 산업기술총합연구소(AIST)가 준회원으로 참여중이다. 이들 회사 중의 일부(주로 반도체기업)는 자사의 파운드리 서비스도 겸하고 있다.

## 5. 국내 MEMS기술 대응방향

현재 미국, 유럽, 일본 등 주요국에서는 각종 센서류, 광 디바이스, RF-MEMS,  $\mu$ -TAS 등 MEMS디바이스의 실용화가 진행되고 있고, 자동차, 정보통신, 광학기기, 의료/바이오, 에너지/환경, 항공우주 등 많은 분야의 단위제품과 시스템에 MEMS의 도입수요가 증가추세이다. 특히, 일본은 MEMS분야를 '제2의 반도체산업'으로 전략적 목표를 설정하고 최근 연구개발과 실용화정책 비중을 확대시키고 있다.

MEMS는 타 분야에 비해 우리나라가 선진국과의 연구시간 갭이 비교적 짧을 뿐만 아니라 개발경쟁이 가능한 잠재력을 갖추고 있는 한 분야이다. 이러한 잠재력을 응용과 산업화로 발전시키기 위한 국가적 대응이 필요한 시점이다.

첫째, 국가적인 MEMS R&D전략을 세우는 것이 바람직하다. 우선 MEMS기술로드맵을 작성하고, 중점과제와 목표를 설정하여 통합된 우리나라의 MEMS개발계획을 완성할 필요가 있다.

둘째, MEMS산업을 촉진하기 위해 MEMS파운드리 서비스체제를 빠른 기간 내에 조성하기 위한 정책검토가 필요할 것으로 판단된다. 중소/벤처기업의 MEMS사업진출을 촉진하기 위해서 파운드리는 중요하다. MEMS산업의 수준은 장래 MEMS의 국제경쟁력을 좌우하게 될 것이기 때문이다.

셋째, 국가MEMS R&D와 산업전략을 위한 조사연구전담조직을 보유할 필요가 있다. EU의 NEXUS, 일본의 MMC와 같이 이 조직에서 MEMS기술 Roadmap작성, 시장수요분석, 기술/산업전략 강구, 파운드리 서비스산업의 조성지원 등 주요역할을 수행하도록 한다. 현재 일본NEDO의 MEMS기술·산업발전전략을 위한 치밀한 조사·기획을 배울 필요가 있다.

### ❖ 참고 문헌

- [1] 박장선, "MEMS기술동향", 한국과학기술정보연구원 기술동향분석보고서, 2004. 11
- [2] 박장선, "MEMS연구개발동향", 한국과학기술정보연구원 기술정보분석보고서, 2005. 12
- [3] Micro Machine Center, "Innovations on Nanotech/Integrated MEMS and Forerunners of MEMS Business", Proceedings of the 12th International Micromachine/Nanotech Symposium in Tokyo, Nov. 2006
- [4] NEXUS, "Market Analysis for MEMS and Microsystems III 2005-2009"
- [5] EU Commission, "Europractice Microsystems Annual Report 2003", June 2004.
- [6] W. C. Tang (DARPA), "MEMS Program at DARPA"
- [7] R. T. Howe et al., "WTEC Panel on Microsystems Research in Japan", Final Report Sponsored by NSF, Sep. 2003
- [8] D. Dudley et al., "Emerging Digital Micromirror Device (DMD) Applications", DLPTM Products New Applications, Texas Instruments, Inc., 2003
- [9] O.T. Guenat et al., "Fabrication and application of a micro total analysis system ( $\mu$ -TAS) suited for continuous volumetric nanotitrations", Sensors and Actuators B 72 p.273-282, 2001



- [10] (株)日鐵技術情報センター, “MEMS産業の將來展望に係る技術開發戰略に關する調査”, 2005年度 NEDO 調査委託成果報告書, 2006. 3
- [11] 財團法人マイクロマシンセンター外, “MEMS用設計・解析支援システム開發プロジェクト”, 2005年度 NEDO委託業務成果報告書, 2006. 3
- [12] Ozawa Sarl, “歐州におけるMEMS・ロボット開發の動向等調査報告書”, NEDO (バリ事務所委託) 2005年度調査報告書, 2006. 5
- [13] (株)日鐵技術情報センタ, “MEMSの技術戰略マップの作成に關する調査”, NEDO 2004年度調査報告書, 2005. 2
- [14] 東京大學, “超小型ガスタービン實用化先導研究”, NEDO 2003年度 國際共同研究提案公募事業 成果報告書, 2004. 3
- [15] [http://www.tij.co.jp/news/sc/2006/scj\\_06\\_047.htm](http://www.tij.co.jp/news/sc/2006/scj_06_047.htm)
- [16] <http://mems.ida.org/darparamems.html>
- [17] <http://fsic.mmc.or.jp/>
- [18] <http://www.mmc.or.jp/mems-one/>
- [19] <http://www.intellisensesoftware.com/intellisuite/Isuite-Overview.html>
- [20] <http://www.darpa.mil/MTO/RADPrograms.html>
- [21] [http://www.coventor.com/SEMulator3D\\_DFM.html](http://www.coventor.com/SEMulator3D_DFM.html)
- [22] <http://www.conferences.jp/microtas2006/index4.html>



박 장 선

· 한국과학기술정보연구원 전문연구위원  
· 관심분야 : 마이크로시스템(MEMS, MST, Micromachine) 기술동향분석,  
Technology Transfer 및 Technological Innovation 정책분석  
· E-mail : jangseon@kisti.re.kr