MEMS 기술개발 현황 및 산업화 계획

이 글에서는 국내외 MEMS 분야의 기술, 인력, 시설, 정보 및 협력체계에 관한 조사분석과 설문조사 그리고 산업별 주요 외부인자 분석과 시나리오 작성 결과를 토대로 수립한 MEMS기술의 산업화 장기발전 계획의 일부를 발초한다.

조 영 호

MEMS 기술 및 산업화 현황

국외 현황

1980년대 중반 본격화된 MEMS 기술은 지난 20 년 동안 자동차에서 전자, 가전, 정보, 통신, 바이오, 항공우주에 이르기까지 거의 전 산업분야에 걸쳐 적용분야가 확대되어 왔다. 지금까지 MEMS 기술의 산업화는 기존제품의 부품대체, 성능향상, 기능확대를 목적으로 추진되어 왔으며, 기술개발 활동은 주로 극소형 센서, 광소자, RF소자, 바이오 소자 등 관련 핵심부품의 가공 및 조립기술 중심으로 진행되어 왔다. 기존 산업분야에서의 MEMS 기술의 적용은 기 성숙된 기계, 전자, 반도체, 소재 기술과의 접목을 통하여 기존 제품의 극소화, 다기능화, 고성능화, 신뢰성 향상, 가격경쟁력 확보를 추구해온 반면, MEMS 기술을 이용한 새로운 제품개발 시도는 주로 광통신 및 바이오 산업분야에서 시도되고 있다. 이러한 새로운 시스템 및 신규제품 기술개발은 모험적인 자본투자를 요하므로 특정기업의 대규모 투자로 이어지기 이전에 대학의 기초연구나 산학연 전문연구집단들 간의 조직적인 역할분담과 종합적인 연계협력을 통하여 추진되고 있다.

MEMS 산업에 관한 국외시장 조사자료(그림 1 참조)는 MEMS 제품의 범위(단위소자, 복합부품, 관련 모듈 혹은 시스템)에 따라 비교적 큰 편차를 보이고 있으나, MEMS 단위소자만을 고려한 최소시장은 2001년도 약 50억 달러에서 2010년도에는 약 200억 달러 수준으로 증가하여 연간 1조 원의 시장 증가율을 나타낼 것으로 전망하고 있다. 현 MEMS 시장은 센서 등 단위소자 시장만을 고려할 때 약 40억~160억 달러 규모이고, MEMS소자를 이용한 제품까지 포함할 경우 약 1,000억 달러 규모이다. 유럽의 NEXUS(Network of Excellence in Multi-functional Micro Systems)에서는 대표적 MEMS 기술 제품인 하드디스크, 잉크젯 프린터, 페이스메이커 등의 시장이 2002년 연간 140억~160억 달러 규모에 이를 것으로 예측되고 있으며, 향후 5 년 이내에 정보 및 바이오 시장의 급속한 성장과 더불어 광 및 바이오 산업에서 완전히 제품의 출현 가능성이 높으며, 이 경우 신규 산업군이 형성되어 세계 시장규모는 급속히 확대될 것으로 예상하고 있다.

국외 MEMS 기술개발과 산업화 활동은 미국, 독일, 일본 등 소위 북미, 유럽, 아시아의 기술강국을 중심으로 분극화되는 현상을 나타내고, 각 지역별 기술개발 및 산업화 추진주체들간의 연계와 전문화가 가속되고 있다. 먼저, 미국의 경우 민군분야에서 MEMS 집적화 기술에 중심을 둔 새로운 기술과 신 산업 발굴을 추구하고 있으며, 연구기관별 역할분담과 전문성 개발, 산학연 기

• 조영호 ▌한국과학기술원 기계공학과, 교수 겸 디지털나노구동연구단, 단장 / e-mail : mems@kaist.ac.kr

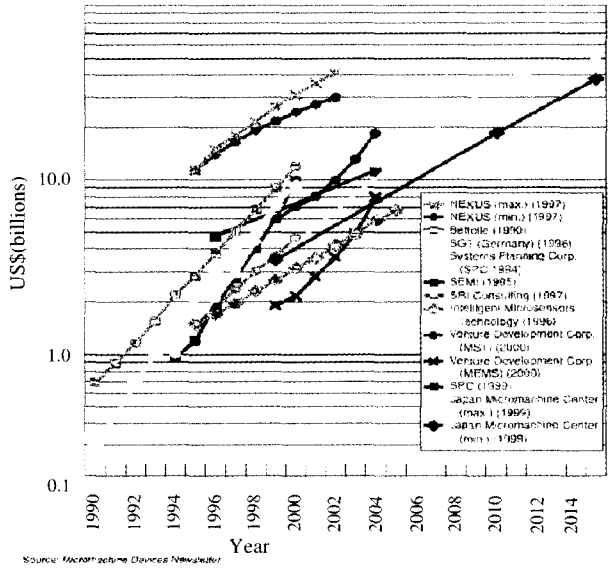


그림 1 MEMS 시장자료

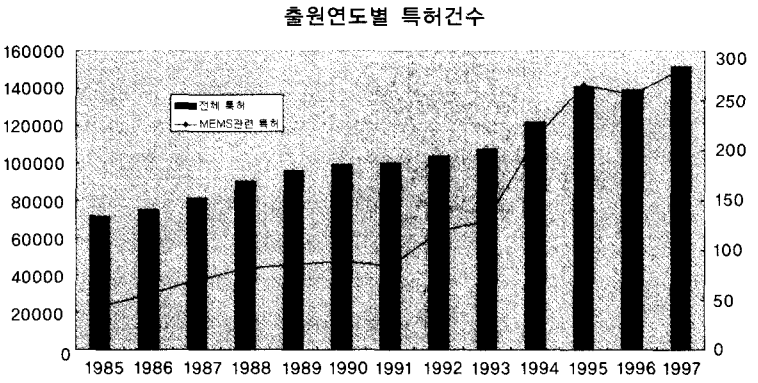
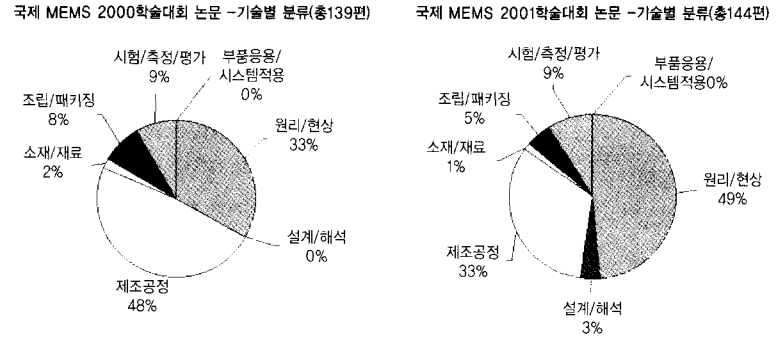


그림 2 미국 전체 등록특허 대비 MEMS 등록특허의 연도별 동향

술연계 형성, 제조공정 및 시험의 표준화 그리고 새로운 벤처 비지니스 모델발굴을 활발히 추진하고 있다. 한편, 독일에서는 유럽 국가간 산업별 산학연 연계군을 형성하여 MEMS 기술의 산업화를 위한 조직적이고 전문적인 기술개발을 추진하고 있으며, 전문화된 비영리 연구소 설치와 MEMS 전문인력 양성을 위한 신설학과 설치를 추진하고 있다. 스위스에서는 EPFL, Neuchatel 대학, ETHZ 등의 대학이 각각 인력양성, 기초연구 및 응용연구 기능을 분담하여 제품개발 기능의 비영리 전문연구소인 CSEM과 연계하여 산업화를 위한 조직적이고 전문적인 기술개발을 추진하고 있다. 특히 EPFL은 2001년 학과를 모두 폐지하고 Microtech-nology, Information tech-nology, Life science and Bio-technology 등의 3대 중점기술분야를 선정하여 각 기술분야 위주의 학제적인 인력양성 프로그램으로 전환함으로써 미래 전략산업분야 전문인력의 집중화를 꾀하고 있다. 끝으로 일본의 경우, 지난 10 년 간 통산성 주도로 전개해온 전통 기계기술의 극소화(miniatured machine) 위주의 기술개발 방향에서 선회하여 최근 실리콘 기술 위주의 MEMS 후속사업을 기획하고 있으며, 유럽과의 연계를 확대함과 동시에 아시아 국가들 중 특히 우리나라의 기술개발 활동을 경계하고 있다.

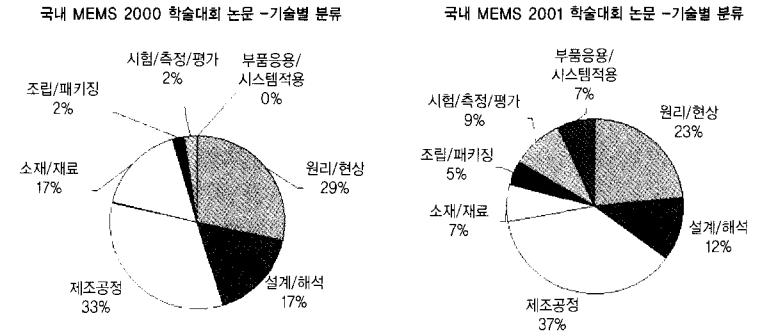
MEMS 특허동향은 그림 2에서 보는바와 같이, 미국 등록특허의 경우 1980년대까지는 MEMS 특허 증가율이 전체 특허 증가율과 비슷한 수준을 보이다가 1991년을 기점으로 MEMS 특허가 전체특허에 비해 폭발적인 증가를 보이고 있으며, 현재 미국특허의 출원국별 건수는 미국(73.9%), 독일(8.7%), 일본(7.4%), 영국(2.3%), 캐나다(1.4%), 스위스(1.2%) 순으로 나타나고 있다.

MEMS 기술동향을 IEEE MEMS Conference에서의 발표논문을 통해 분석해 보기로 한다. IEEE MEMS Conference는 논문 채택률이 평균 40% 정도로 MEMS Conference에서의 학술대회 논문발표가 SCI 학술지 논문게재 보다 더 어려울 정도로 경쟁이 심한 MEMS분야 최상의 학술대회이다. 그림 4에서 도시한 바와 같이, 최근 MEMS 기술동향 중 특징적인 것은, 먼저 최근 제조공정 장비의 개발로 인해 제조공정에 관한 논문이 감소하고 있다는 것이다. 즉 제조공정에 관한 논문수는 2000년에 비하여



(a) 2000년 (b) 2001년

그림 3 국제 MEMS 학술대회 발표논문의 기술별 분류



(a) 2000년 (b) 2001년

그림 4 국내 MEMS 학술대회 발표논문의 기술별 분류

2001년에는 20%정도 감소되었다. 반면, 새로운 아이디어의 창출에 관한 관심이 증대되어 원리 및 현상에 대한 논문이 2001년도의 경우 전체 발표논문의 50%를 차지하고 있다. 이는 MEMS 기술분야 중 제조공정에 대해서는 어느 정도 수준까지 기술개발이 이루어졌음을 의미하는 한편, 새로운 원리 및 현상에 대한 연구 등 창의력 위주의 기술개발이 중시되고 있는 추세이다. 또한 MEMS 기술의 산업화 측면에서 볼 때 원천특허의 창출이 무엇보다 중요하며, 향후 특허 창출을 기대할 수 있는 새로운 원리나 현상에 대한 연구에 가치를 두고 있다.

국내 현황

국내 MEMS 기술개발은 국가적 차원에서의 대형과제를 통해 지원되고 있다. 먼저 1995년 개시된 G7 MEMS 기술개발사업(주관부처 : 산업자원부, 협조부처 : 과학기술부)은 기반기술 과제와 제품기술 과제로 구성되어 있으며, 그동안 국내 MEMS 저변확대와 기술기반 조성에 기여하였다. 제품기술 과제로는 가속도계, 압력센서, 자이로 등 단위 감지소자 개발과 반사형 대화면용 정전구동 미소거울, 잉크젯프린터 헤드, HDD 헤드 등 단위 구동소자 개발 그리고 광송수신 모듈, RF 소자 등 복합기능소자 개발을 포함하고 있으며, 기반기술 과제는 실리콘 표면미세가공, 미세방전가공, 고에너지 레이저 가공, 미세접합공정, 자기변형박막, 에너지변환 기술, MEMS설계시스템 등 미세가공기술과 소재기술 그리고 설계해석도구 개발에 중점을 두고 있다. 1999년 말에 시작된 프론티어사업인 지능형 마이크로시스템 기술개발사업(주관부처 : 과학기술부)은 자율주행 내시경과 마이크로 PDA 개발을 위한 시스템 기술 위주의 개발을 추진하고 있으며, 관련 개발대상 시스템 기술에 비해 MEMS 기술의 비중이 의외로 높지 않은 편이다. 그 외 MEMS 관련 국책사업으로는 산업자원부가 주관하는 시설인프라 구축사업인 초소형정밀기계공동연구기반구축사업을 비롯하여, 차세대 기술개발사업인 산업용 초소형 Protein Chip System의 대량생산 기술개발, 차세대생물산업핵심기술개발, 차세대 무선통신용 트랜시버시스템 개발 등을 들 수 있으며, 과학기술부가 주관하는 단위사업으로는 창의적연구진흥사업 디지털나노구동연구단 등을 들 수 있다. 그 외에도 정부출연연구소별 기관고유사업 등을 통해 MEMS 기술개발이 활발히 전개되고 있다.

우리 학회를 비롯하여 국내 네 개 학회가 연합하여 주관하는 한국 MEMS 학술대회 발표논문을 기술별로 분석하면 그림 5와 같

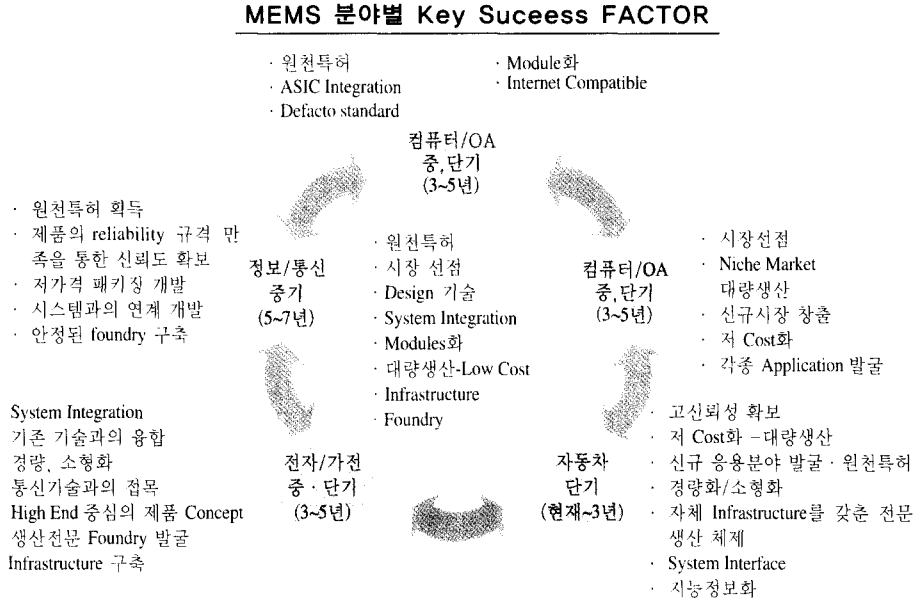


그림 5 MEMS 산업분야별 주요 성공요인

다. 국제 IEEE MEMS 학술대회(그림 4 참조)의 경우와 비교하면, 국내 학술발표는 아직도 제조공정에 대한 논문이 대부분(전체의 30~40%)을 차지하고 있으며, 2000년에 비해 2001년에는 오히려 증가되었다. 또한 MEMS 기술의 산업화 측면에서 볼 때 원리 및 현상 발굴을 위한 창의력 있는 연구의 강화가 필요하다.

그림 5는 MEMS 산업분야별 주요 성공요인을 분석한 결과를 도시한 것으로서 모든 산업분야에 공통적으로 나타나는 핵심요소로서는 독창적인 원천특허와 설계기술, 산업화를 위한 시스템 집적화 기술, 시장선점과 저가 대량생산 및 공정인프라 확보 등을 들 수 있다.

국내 MEMS 전문인력 현황

현재 국내 MEMS 인력은 약 400명 수준으로 전공별로 볼 때 전자(43%), 재료(19%), 기계(18%), 화학/화공(9%), 물리(7%), 생물(4%) 순으로 구성되어 있다. 최근 국내 19개 MEMS 연구기관을 대상으로 실시한 설문조사에 의하면, 2010년까지 전체 MEMS 인력의 수요는 약 1,000~2,000 명 수준으로 연평균 약 100~200여 명의 MEMS 인력의 수요가 예상되며, 전공별로 볼 때 특히 물리 및 생물 분야의 전문지식을 겸비한 인력의 수요가 증가하고 있다.

한편 국내 약 10여 개의 대학에서 배출되는 MEMS 신규인력은 연간 60여 명(석사 40여 명, 박사 20여 명)에 지나지 않으며, 신규인력의 전공별 구성은 전자 57%, 기계 33%, 재료 10% 등으로 구성되어 있다. 이는 국내 MEMS 신규 인력 수요가 매년 100 ~200여 명인 점을 감안하면 국내 대학의 MEMS 인력양성의 규모의 증대나 새로운 교육프로그램의 설치를 통하여 전자, 재료, 기계와 물리, 생물, 화학/화공 등과의 학제간 교육의 필요성이 요구되고 있다.

현재 국내 20개 기관 중 91% 및 74%가 각각 국외 및 국내 MEMS 인력의 신규영입에 어려움을 겪고 있으며, 기존 기관에 있는 MEMS 인력(약 380 명)의 31%가 MEMS 기술관련 재교육을 필요로 하고 있으며, 특히 전자, 재료, 기계 전공의 인력들의 물리, 생물, 화학/화공 분야의 기초교육이 요구되고 있다.

MEMS 공정시설 현황

국외 현황

국외 기술선진국에서는 대개 독립법인 형태의 전문화된 공정시설 인프라 구축을 통해 산업화 공통비용 및 진입장벽 저감과 기술인력 저변확대 등 기술개발 환경을 육성해 오고 있다. 미국의 경우, MCNC, MOSIS, SUMMIT 등 한시적 정부투자를 기반으로 한 전문 공정시설 인프라를 구축하여 운영해 왔으며, 이중 MCNC는 성공적으로 성장하여 Cronos라는 이름으로 민영화되었다. 최근 Standard MEMS, SONY America 등 MEMS Design House 및 공정개발 전문회사가 설립되고 있으며, MEMS

Exchange Program 등을 통해 미국 내 MEMS 시설 및 기술정보 인프라를 연계하고 있다. 독일 역시 IMM, IMIT, IMT 등 공정시설 인프라를 갖춘 비영리 MEMS 전문기관을 설립하여 산업체 공정시설 인프라와의 연계를 통해 조직적이고 전문적인 산업화 기술개발을 추진하고 있으며, NEXUS를 통한 유럽 국가간 산업별 기술개발 군을 조직 산학연 인프라 연계를 꾀하고 있다. 한편, 스위스는 CSEM, Neuchatel, EPFL 등에 산업, 연구, 교육용 공정시설 인프라를 각각 구축하였으며, 이 중 CSEM은 비영리 전문연구기관으로 최근 공정시설 부문과 시험분석장비 부문을 성공적으로 발전시켜 민영화하였다. 끝으로 일본은 기존 산업체의 자체 기술개발 투자와 대학-기업간의 강한 산학연계를 통해 기술개발 활동을 강화하고 있다. 최근 벤처설립을 장려하고 있으나, 경직된 사회시스템과 전문 인프라 부족으로 크게 활성화 되지 못하고 있으며, 이러한 공정시설 인프라의 약세를 보완하기 위하여 일본 내 산학간 연계와 유럽 등 국외 인프라와 협력을 강화하고 있다.

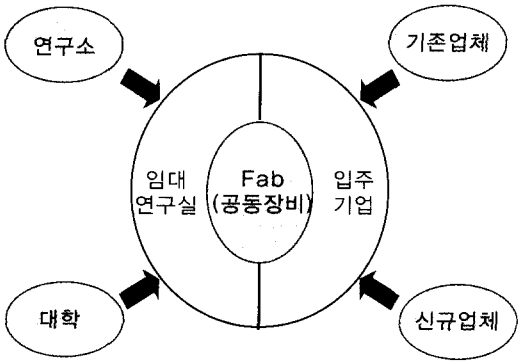


그림 6 독립적인 MEMS 공정시설 인프라의 구조 및 기능

국내 현황

현재 국내 MEMS 공정시설 보유기관은 약 26 개 정도이며, 도합 2,754 평의 청정실을 보유하고 있다. 또한 2002년 이후 국내 일곱 개 기관과 여덟 개 기관이 총 1,023 평의 MEMS 청정실을 신설 및 추가 설치할 계획을 갖고 있다. 국내 많은 기관이 나름대로 MEMS 시설 장비를 갖추고 있으나, 자체 제작이 가능한 기관은 두 개 기관(전체 기관의 6%)에 불과할 정도로 외부공정 의존도가 높으며, 현재 50% 이상의 기관이 전체 공정 중 50% 이상을 외부시설에 의존하고 있으며, 전체 연구원의 45% 정도가 50% 이상의 공정을 외부기관을 이용하여 수행하고 있는 실정이다.

또한 많은 연구자들이 MEMS 공정시설의 부재를 연구개발 시 최대 장애요인으로 지적하고 있으며, 이러한 공정시설에 소요되는 투자비용이 신규 산업 형성 및 벤처 설립에 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 국내 연구자들이 MEMS 소자 또는 제품을 개발하는 과정에서 겪는 애로사항은 사용 가능한 장비 및 시설의 부족(53%), 공정 전문가 혹은 전담자의 부족(26%) 그리고 장비의 유지·관리 및 공정 조건의 불안정(20%) 등을 들고 있다. 한편 외부 공정시설을 이용할 경우, 공정소요 비용(2%)에 부담을 느끼는 것보다 오히려 공정변형 및 융통성 부족(44%), 공정 소요시간 과다(27%), 공정의 정확성 및 신뢰성 부족(14%), 기밀유지 공란(12%) 등으로 인해 더 큰 어려움을 겪고 있다.

국내 인프라의 부족으로 국외 인프라를 사용할 경우에는 기술보안 및 공정기술 확보 측면에서 어려움이 발생한다. 따라서 국내 산업환경 및 대외 경쟁력 확보와 신규 및 기존 산업육성 차원에서 볼 때, 국내 MEMS 시설공정 인프라의 구축은 매우 중요하고도 시급한 사안이며, MEMS기술의 산업화 공통비용 절감과 진입장벽 저하, 그리고 기술확산 및 저변확대를 위하여서는 정부지원 혹은 민관합작 형태의 전문화된 비영리 MEMS 공정시설 인프라(그림 6 참조)의 설립이 요구되고 있다

MEMS 정보교류 및 연계 현황

MEMS 산업별 주요 성공요소(그림 5 참조)에서 보는 바와 같이 기술개발 개시 이전에 특허 및 기술정보 분석을 통해 기술개발 목표와 아이디어를 검증하는 것이 매우 중요하다. 이에 국외 기술선진국에서는 MEMS 관련 정보기관의 설립과 정보 수집, 기술확산 및 산업화 활동을 적극 지원하고 있다. 미국의 경우 ATIP과

ETIP, 유럽의 경우 NEXUS 등에서는 기술조사, 전문가 인터뷰, 기술 교류회 등을 통하여 정보를 수집하고 이를 체계적으로 보급하여, 기술개발의 중복투자 방지 등 기술투자의 효율성을 증대시키고 있다.

국내는 MEMS 관련 16 개 기업체의 약 70%가 현재 MEMS 관련 정보 전담 부서를 운영하거나 2003년 이내에 설립할 계획을 가지고 있으나, 국내 연구기관간의 MEMS 정보수집 및 관리체계의 연계가 없어 시간과 경비의 중복투자가 발생하고 있다. 따라서 MEMS 정보의 상시 수집 및 제공을 전담하는 비영리 기구를 공동으로 구성하여, 관련 정보의 질과 획득방법의 경제성 향상을 꾀함이 필요하다.

맺음말

MEMS 분야의 장기발전을 위해서는 기술개발, 인력양성, 시설구축, 정보교류에 관하여 국가적 차원에서의 민관 결집을 도모하고, 2010년대 IT, BT, NT분야에서의 MEMS 산업화와 국가경쟁력 우위확보를 목표로 한 종합적인 기술개발사업 추진과 산업별 전문기술군 형성, 그리고 이에 필요한 공통하부구조 구축이 요구된다.

먼저 MEMS 기술개발을 위해서는 MEMS 핵심부품 개발에서 모듈 및 시스템 구성에 이르기까지 제품화에 필요한 전주기적 기술개발 체계와 기술특화 전략수립이 필요하며, 산업분야별 산학연 기술군 형성을 통한 기관별 역할분담과 전문화가 요구된다. 향후 MEMS 기술개발은 나노기술(NT)에서 획득되는 새로운 과학적 지식을 공학적으로 구현함으로써, 정보기술(IT) 및 바이오기술(BT) 분야에서의 응용제품 개발과 기술발현에서 상품화까지의 시간단축을 꾀하는 것이 향후 산업화의 관건이 될 것이다.

MEMS 전문인력 양성 측면에서는 먼저 다수 학과간의 공동 기술개발사업 지원을 통하여 다분야간 학제적 교육기회 제공과 학제적 배경을 가진 신규인력 양성을 유도하고, 기존 학과 및 교육기관들간의 전국적인 연계를 통해 기존인력의 종합적인 재교육 기구를 설립함이 바람직하다.

MEMS 공정시설 인프라는 민관 공동투자 형태의 전문화된 비영리 독립법인으로 설립함이 바람직하며, 민간의 수요가 많으나, 특정 기업이나 소규모 벤처들의 투자가 어려운 만큼 정부가 적극적으로 참여하여 산업화 진입장벽 저감과 신규 벤처육성 그리고 산업체간 연계활성화 기반을 조성할 필요가 있다.

또한 MEMS 산업화 기술지원과 국내외 정보수집과 보급을 담당할 종합정보 기구를 조직함으로써 국내 관련 부처와 기관간의 정보교류와 공유를 활성화하고, 민관 기술개발 계획수립과 단계별 검증보완에 객관적 자료를 제공하며, 지속적이고 전문적인 고급정보의 경제적 관리를 통하여 국가 차원에서 기술, 인력, 시설정보의 상시 수집, 관리 및 보급의 체계화 유지가 필요하다.

끝으로 MEMS 기술의 산업화 장기발전을 위해서는 기술개발, 인력양성, 시설구축 및 정보교류 사업들 간의 상호 연계구축과 국내 산학연관의 역량을 총 결집하는 것이 무엇보다 요구된다.

후기

이 글은 MEMS 산업화 장기발전계획 수립을 위한 기획사업(2000. 10.~2001. 11.) 결과의 일부를 소개한 것으로, 주관부처인 산업자원부와 협조부처인 과학기술부, 그리고 전자부품연구원의 사업비 지원으로 수행되었다. 본 기획사업에 참여한 총 24 명의 국내 산학연관 기술, 특허, 정책 전문가들과 관련 설문조사에 응하여 준 50여 개의 국내기관, 그리고 400여 명의 국내 연구자들의 노고에 감사드린다. 또한 공청회 개최에 도움을 주신 산업자원부(김경수), 중소기업청(송재빈), 특허청(정성창, 정연우), 삼성종합기술원(송기무), LG전자기술원(부종욱, 박제균), 전자부품연구원(신상모), KTB Network(조내형) 그리고 후속사업 기획에 도움을 주신 에어택(이인제), M2N(황규호)과 관련 벤처기업 대표들께 감사의 뜻을 표하며, 끝으로 기획사업에 수고를 다하여 준 KAIST 직원들과 연구원들, 그리고 본 MEMS 테마기획을 위해 수고하신 우리 학회 여러분들께 고마운 마음을 전한다.