차세대 마이크로팩토리 시스템 기술 개발

박 종 권
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
jkpark@kimm.re.kr

노 승 국
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
cniz@kimm.re.kr

김 병 섭
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
bkim@kimm.re.kr

송 준 엽
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
sjy658@kimm.re.kr

김 찬 봉
(주)바텍
chanbong.kim@vatech.co.kr

1. 서 론

최근들어, 모바일 기기 등 IT 산업, 임플란트, 의료 부품 등의 의료산업과 같이 소형 정밀 부품 및 시스템이 필요한 산업의 발전이 급속도로 진행되고 있다. 이러한 신성장 제품들의 부품은 대게 수십 밀리미터 이하의 크기를 가지면서 높은 정밀도의 복합 형상을 가진 부품으로 이루어져있으며, 이러한 부품의 생산시장 역시 커지고 있음을 알 수 있다.

이러한 소형 정밀 부품의 효율적인 생산을 위해 "마이크로급 초소형 부품의 생산은 이에 적합한 작은 크기의 제조설비로 생산하는 것이 효과적이다." 라는 취지에서 초소형 공장이라는 개념이 도입 되고 있다. 즉, 종래의 제품생산 방식에 비하여 현저히 작은 마이크로급 기구 및 부품을 가공, 조립하기 위해서는 기존의 생산시스템 개념을 초월한 초소형 생산시스템의 적용이 바람직하고, 이를 마이크로화라는 세계적인 추세에 부응하여 마이크로 부품을 제작하는 입장에 주안점을 둔 초소형 공장, 즉, Microfactory이라 칭하고 있다.

마이크로팩토리란 공장 자체 혹은 공장을 구성하는 기계장치 등의 크기가 마이크로급이라는 측면보다는 마이크로급의 생산품을 대상으로 이의 크기에 부합된 최적 사이즈의 가공기계 및 조립장치들로 구성된 초소형 생산공장이라는 의미를 지닌다. 이러한 마이크로 팩토리 시스템은 향후, 인간 각 개인의 프라이버시를 중시하고 기호품을 생활화하는 시대에 대응하여 "필요한 것을, 필요한 만큼만, 필요한 때에, 필요한 장소에서" 생산할 수 있는 효율적인 생산방식이 되는 한편, 에너지와 자원의 절감, 작업공간의 대폭적인 축소, 공장 건축비와 구조재료비의 절감 효과와 같은 잇점을 제공할 수 있을 것으로 기대되며, 구성 기계장치와 기기의 재배치(Reconfiguration)가 용이하여 생산계획의 변화

에 유연하게 대처할 수 있고 이동식으로의 변환이 가능하여 물류 유통비를 절감할 수 있다는 측면에서 우수한 장점을 지닐 것으로 기대되고 있다.

미래에 있어서 이러한 초소형 공장이 보편화된다면 수요자의 주문에 즉각적으로 대응할 수 있는 점포형 공장이나 물류 이동과정에서도 생산할 수 있는 이동식 공장, 그리고 가정내 공장이나 간이 임차형 공장 등으로도 실현될 수 있기 때문에 주 5일 근무체제가 실시되는 환경에서도 생산성을 배가시킬 수 있어 우리나라가 갖추어야 될 미래의 생산 시스템이라고 할 수 있다.

기술적으로 보면, Micro-factory라고 하는 용어의 사용은 크게 두 가지로 접근해 표현할 수 있다. 첫째는 얼마나 미세(정밀)한 가공이 가능할 것인가 라는 "Micro-fabrication (미세가공)"과 둘째는 얼마나 가공/생산 시스템을 소형화·고도화 할 수 있는가 라고 하는 "협의의 Micro-factory, 고집적 소형 생산시스템" 등이다. 이를 단적으로 표현 한다면 "경쾌한(light)하며 신속(agile)한 제조형태"라고 할 수 있다.

본 원고에서는 이러한 마이크로팩토리 기술개발현황에 대하여 최근 국외의 연구동향을 간단히 소개하고, 현재 국내에서 지식경제부의 지원으로 개발되고 있는 차세대 Micro-Factory 시스템 기술개발 연구과제를 중심으로 국내개발 사례 및 결과에 대하여 소개 하도록 하였다.

2. 최근 국외 연구동향

마이크로팩토리(Micro-Factory, Microfactory)를 최근 많은 인기를 끌고 있는 인터넷 백과사전인 위키피디아에는 보면, "마이크로 팩토리란 소형 제품을 생산할 수 있은 소형화된 공장을 의미하며, 1990년 일본의 기계기술 연구소(Mechanical Engineer Laboratory, MEL, 현 AIST)에 의해 제안되었다." 라고 소개되고 있으며, 대부분의 관련 전문가들에게 있어서 공감을 얻고 있는 부분이라 할 수 있다. 즉, 마이크로팩토리의 시초는 일본이라고 할 수 있으며, 일본이 처한 제한적인 공간과 자원, 소형 및 마이크로 제품 생산에 대한 강점과 시장 및 기술적인 요구가 이러한 연구개발의 원동력이라 할 수 있다. 이후, 1990년대 중후반을 거치면서 유럽과 미국 등의 생산기술의 선진국들에서도 활발한 연구개발이 시작되었으며, 2000년대를 넘어서면서는 산업계에 적용되기 시작하고 있다.

일본은 1991년에 "Micro Machine Center(29개의 협력회사와 9개의 협력기관으로 구성)"를 설립하면서 통산성 공업기술원 산하의 기계기술연구소(현재는 산업기술총합연구소로 개칭)에서 초소형 기계류와 매니퓰레이터로 구성된 "미소화 부품에 적합한 소형 생산 총합 시스템"인 즉, "Micro Factory(초소형 공장)"의 개념을 제안하여 선보인 것을 시초로 태동시킨 이래, 현재에는 실제적인 측면에서의 에너지 절감, 자원 절감, 생산 제조 공간의 축소 등을 지향하는 한편, 생산 대상물에 유연성 있게 대응할 수 있는 실용적인 "초소형 공장"에 관한 연구를 체계적이고 지속적으로 수행하고 있다.

일본의 AIST에서는 Ecological MEMS Factory라는 제목으로 MEMS 공정을 위한 소형화 장비를 통하여 생산성을 증가시키면서도 에너지의 사용은 1/45, 공간사용은 1/30로 줄일 수 있다는 결과를 최근 발표하였으며, 같은 연구소에는 기계가공, 방전, 전해화학 가공을 동시에 수행할 수 있는 소형 가공기를 개발하기도 하였다.

이러한 연구들이 마이크로팩토리의 개념으로 국가연구

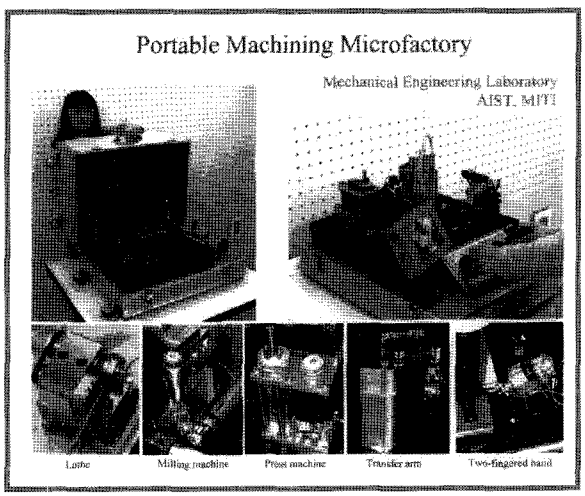


Fig. 1 The first micro factory system developed at AIST, Japan.

소 위주의 개발하였다면, 기업들의 개발 및 실용화도 활발하게 진행중이며, 이중 현재도 왕성하게 활동하고 있는 컨소시움으로는 일본의 東葛·千葉 지역 중소기업 컨소시엄인 데스크탑 팩토리 연구회(Desktop Factory Forum, DTF, http://www.dtf.ne.jp)를 들 수 있다. 본 연구회는 2000년에 13개 기업 및 기관 발족하여 현재는 18개의 참여기관이 활동하고 있으며 마이크로팩토리와 같은 개념을 가지되 실제 산업현장에 적용되는 장비 및 시스템을 개발하고, 참여된 기업들간의 협력을 통해 2010년 1월에는 관련 규격을 제정하기도 하였다. DTF의 개발 제품으로는 200 mm × 200mm 면적의 소형 마이크로 터닝센터와 자동화 공장에서 최소한의 공간을 위한 폭 350mm의 머시닝 셀(TOYOSK사), 데스크탑 복합 가공기 (TAKASHIMA) 등 가공장비와 세정 등 처리 장비, 운송, 전원, 제어장치 등의 핵심 장비 및 모듈의 개발이 이루어지고 있으며, 이를 실제로 해당기업의 생산현장에서 이용하고 있다.

유럽은 전통적으로 생산과 공작기계분야에 선진기술을 보유하고 있는 독일과 마이크로 부품의 가공 제조에 강한 스위스, 프랑스 등을 중심으로 마이크로팩토리 관련 연구 및 개발이 활발히 진행되어 왔다. 특히 소형 부품들의 조립과 관련된 개발이 활발하였으며, 최근 범 유럽 산학연 연구개발과제인 Framework Program 6~7 등에서 관련 연구개발 과제 들이 꾸준히 추진되어왔다.

스위스의 경우는 정부차원의 나노기술 연구개발 프로그램과 연계하여 TopNano21과 같은 Microfactory 관련 기술개발 과제를 지원되고 있으며, 대표적인 예로서는 EPFL, CSEM 등을 중심으로 하여 추진 중인 "Micro-EDM", "Spark Assisted Chemical Engraving" 등의 특수가공 공정기술 개발을 들 수 있으며, 일례로 EPFL에는 초소형의 클린룸환경을 구현하는 챔버 모듈의 조합을 통한 Pocket-Factory를 제안한바 있으며, CESM에서는 조립 및 핸들링

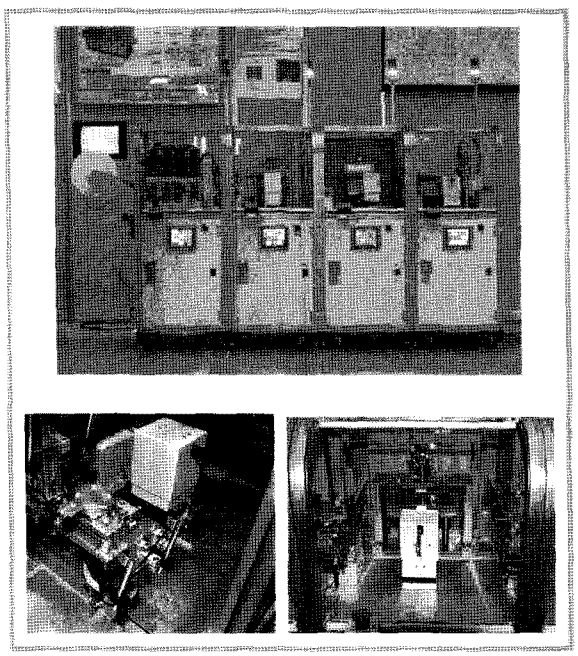
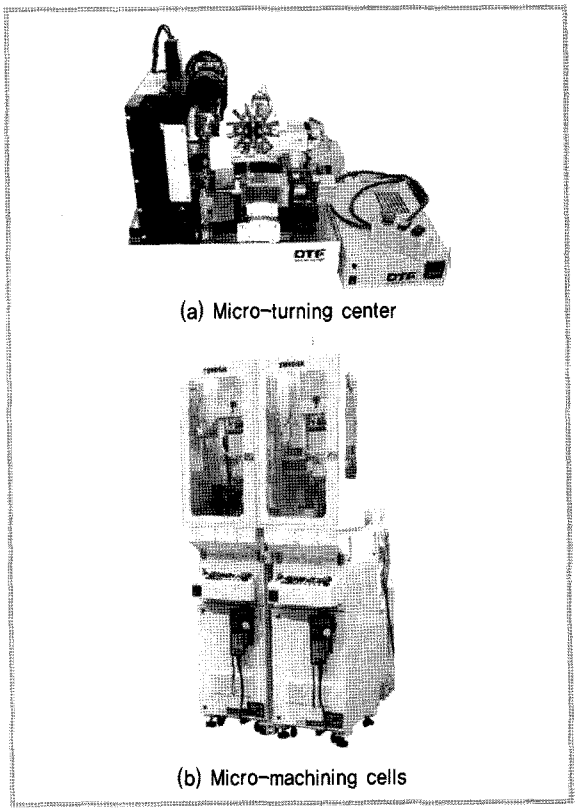


Fig. 2 Desktop microfactory developed by AIST, trasport system and AD process chamber



(a) Micro-turning center

(b) Micro-machining cells

Fig. 3 Products of the participants of Destop-FactoryForum (DTF) in Japan

을 위한 초소형 Micro Delta Robot 을 개발하여 다양한 분야에 적용하고 있다. 특히, 스위스는 오래전부터 축적된 마이크로 기술에 관한 노하우를 활용하여 각종 그리퍼와 핸들러 등 주변장치의 초미세화 기술이 매우 앞서 있는 실정으로서 향후의 Microfactory 시스템 분야에 대하여 선도적인 위치를 차지할 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

독일의 경우는 프라운호퍼 생산기술 · 자동화 연구소(FhG-IPA)가 생산시스템의 소형화에 대하여 적극적으로 연구개발하는 대표적인 연구기관이라고 할 수 있으며, 모듈화를 제안하여 플랫폼, 100mm를 기본 단위로 하는 작업 유닛트와 반송 유닛트, H/W와 S/W의 제어 등을 위주로 규격화한 연계 방식을 지닌 키트를 전제로 하여 임의의 목표에 대응할 수 있는 조립 시스템을 개발 추진 중에 있다. 또한, 시스템의 설계를 위한 시뮬레이션화도 추진할 예정이며, 현재는 바이오 칩과 광학 센서의 조립에 대한 적용화를 진행 중에 있다. 또한 최근에는 하이브리드 가공 시스템의 개발을 목적으로한 ITEG-μ 프로젝트를 진행하고 있다.

핀란드의 탬파레 공대 (Tampere University of Technology)의 자동생산 및 조립 실험실에서는 300mm×200mm×200mm의 박스 모듈로 구성된 마이크로팩토리 시스템을 개발하였다. 개별 모듈은 각각의 전원과 제어기를 포함하여 독립적으로 운용되고 유연하게 재구성이 가능하도록 개발되었으며, 이를 조합하여 의료 임플란트를 생산할 수 있는 초소형의 자동화된 팩토리 시스템을 최근에 소개한 바 있다.

미국은 상대적으로 나노 및 바이오 국방관련 기술에 비하여 생산 관련 연구가 90년대 이후로 정체되어 있었는데, 최근 마이크로가공 및 생산분야에 대한 관심을 집중시키고, 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이의 일환으로 국제 마이크로생산학회 (International Conference on Microamunfacturing, ICOMM)를 2006년부터 매년 개최하고 있으며, 매년 미국 전국은 물론 유럽과 일본 등지에서 관련 연구결과들이 발표되고 있다.

미국의 경우, 학계의 연구는 마이크로 가공, 기계 설계, 측정 및 보정 등 기초기술에 주로 관점을 가지고 있다면, 오히려 산업계에 관련 전문기업의 설립을 통한 마이크로 가공기의 개발과 상용화가 활발한 편인데, Microlution 사

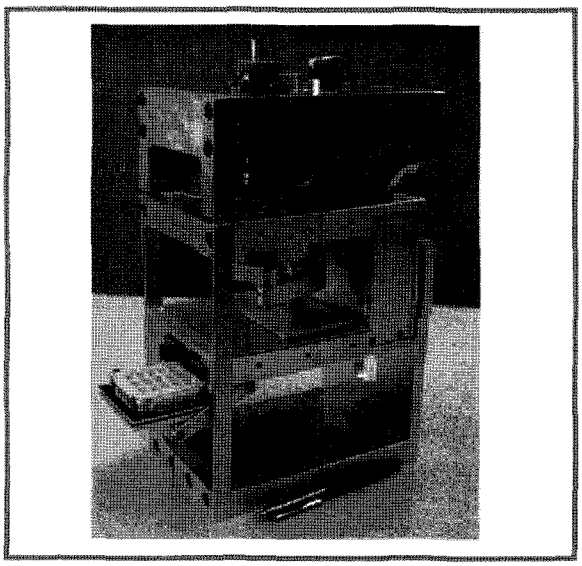


Fig. 4 Pocket-factory module of EPFL, Switzland

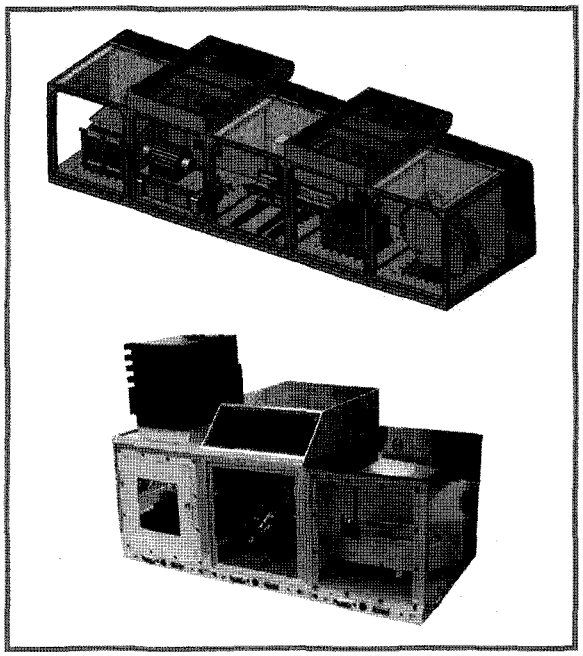


Fig. 5 The concept of microfactory developed by Tampere University of Technology, Finland [4]

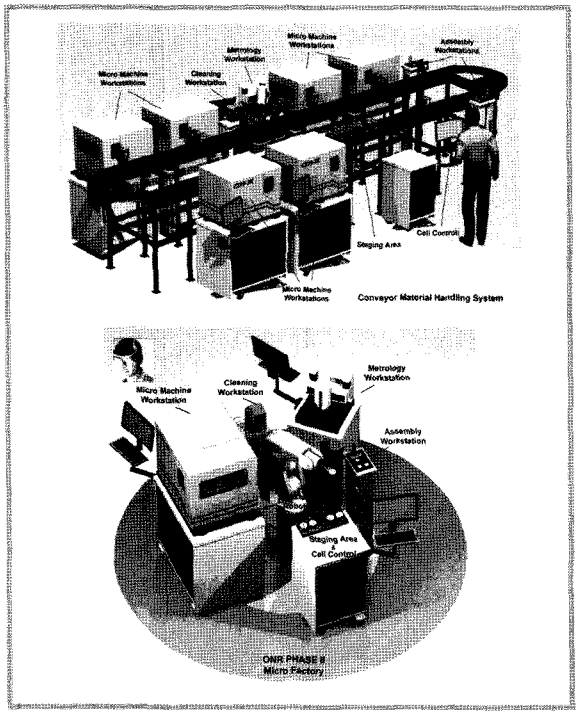


Fig. 6 Microfactory at REALLCO (Rockford Engineering Associates LLC), U.S.

나 Atometric 사와 같이 데스크탑의 최대 5축까지의 마이크로 밀링 가공기를 개발하고 상용화하여 사업 영역을 확대해나가고 있으며, REALLCO (Rockford Engineering Associates LLC)에서는 미해군 연구지원을 통하여 마이크로 가공, 조립, 세정, 측정 모듈을 포함한 시스템을 관련기업과 함께 개발하고 있다.

3. 국내 개발 동향

3.1 연구개발 개요

국내의 경우 2000년대 이전에는 대학을 중심으로 실험실적인 연구가 진행되어 오다가, 마이크로팩토리 시스템에 관심을 가지고 본격적인 연구개발이 진행된 것은 산업자원부 (현 지식경제부)지원으로 2004년 "차세대 Micro-Factory 시스템 기술 개발" 과제가 시초라 할 수 있다. 본

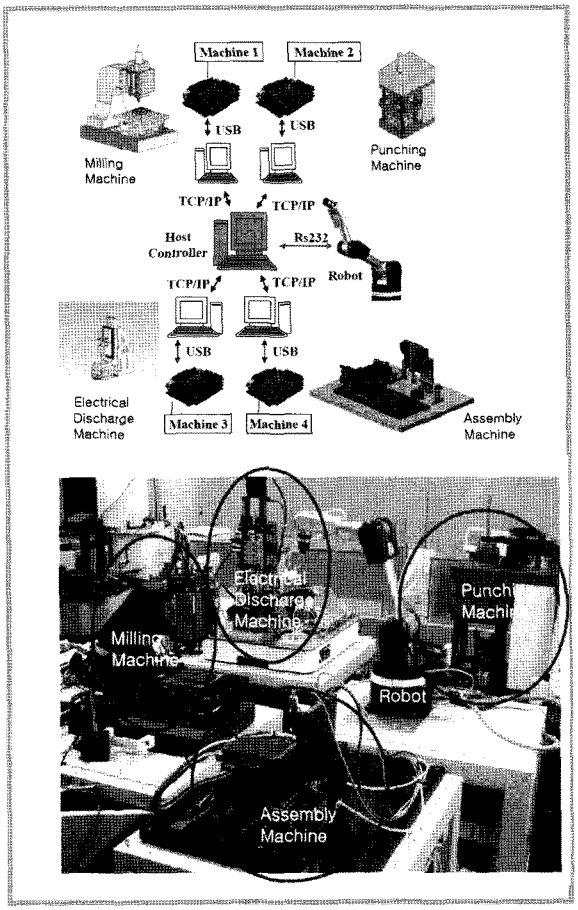


Fig. 7 Microfactory demonstrated in KIMM, Korea [5]

연구과제는 한국기계연구원(연구책임자 박종권 박사)을 중심으로, 한국생산기술연구원, 연세대학교, 부산대학교 등 국내 9개 대학이 주관기관으로 참여하고, 미국, 일본, 핀란드의 5개 외국기관을 포함한 19개 연구소 및 대학이 참여하여 마이크로팩토리를 구성하기 위한 마이크로 절삭가공, 방전 및 전해 특수가공, 마이크로 성형, 마이크로 조립, 마이크로 측정 등 5가지의 기본 모듈과 기술의 개발을 수행하였으며, 이를 통해 다양한 핵심 공정 및 장비에 대한 원천요소 기술 및 시스템 기술에 대한 연구개발이 이루어졌다. 1단계 3년의 연구결과로 2007년에는 한국최초의 마이크로팩토리가 시연되었는데, 이는 마이크로 펌프의 가공 및 조립을 위하여, 상기의 5가지의 모듈을 약 500mm × 600mm

의 면적을 갖는 개별의 모듈로 구축하고, 로봇을 이용한 자동화 구성을 통해 마이크로 펌프의 가공 및 조립을 수행하도록 구성되었다. 수직형 마이크로 밀링의 경우, 폴리머 재질의 마이크로 펌프 판의 형상을 가공하여, 기존의 MEMS 공정을 대체하였으며, 데스크탑 성형 가공기는 50㎛ 박판 Diaphragm을 펀칭하며, 이때 발생되는 버를 제거하기 위하여 마이크로 EDM 가공을 수행하였다. 최종적으로 비젼을 통한 정렬기능 포함한 조립 시스템에서 조립하는 구성을 취하였다. 각각의 제어는 PC 기반 제어기를 통해 구동되며, 네트웍을 통해 각 장비와 프로세스를 제어하도록 구성되었다.

3.2 현장 적용형 마이크로팩토리 및 핵심 모듈 개발

2단계에서는 1단계 3년동안 개발된 기본기술을 바탕으로 현장에 적용할 수 있는 마이크로 팩토리 시스템과 이를 위한 개별 모듈 장비의 개발을 추진하였다. 현장 적용형 마이크로 팩토리 시스템으로는 우선 바이오/의료 분야의 BT 마이크로 팩토리로, 치과 병원 등에서 임플란트의 보철물을 바로 스캔하고 의사가 S/W를 통해 형상을 생성하고 가공할 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발된 가공기는 책상 위에 올릴 수 있을 정도의 작은 크기를 가지고 있어, 일반 치과병원 등에서 적용이 가능하고, 환자의 대기시간을 크게 줄일 수 있게 되며, 2개의 가공 스핀들과 보철물을 취부하여 회전시키는 부분으로 구성되며, 스캔을 통해 얻은 데이터에서 CAM 데이터를 생성하는 S/W를 통합하여 개발하였다. IT 분야를 위해서는 휴대폰에 사용되는 카메라 렌즈모듈의 조립을 위한 장비를 개발하였으며, 현재의 조립장비에 비하여 차지하는 면적이 1/34로, 기존장비에 비하여 단일장비의 처리시간은 길지만, 단위면적당 생산성이 8배 이상 향상이 가능하다 . 또한 이러한 마이크로 팩토리의 구성을 위한 저에너지 데스크탑 성형 장비와 마이크로 밀링과 전해 가공을 융합할 수 있는 데스크탑 복합 가공기, 광학을 이용한 3차원 형상과 나노급 측정이 가능한 측정시스템이 개발되었으며, 시스템 및 모듈 개발을 위한 30만 rpm급 초소형 고속 스핀들 및 소형 정밀 이송계, 형상기억합금

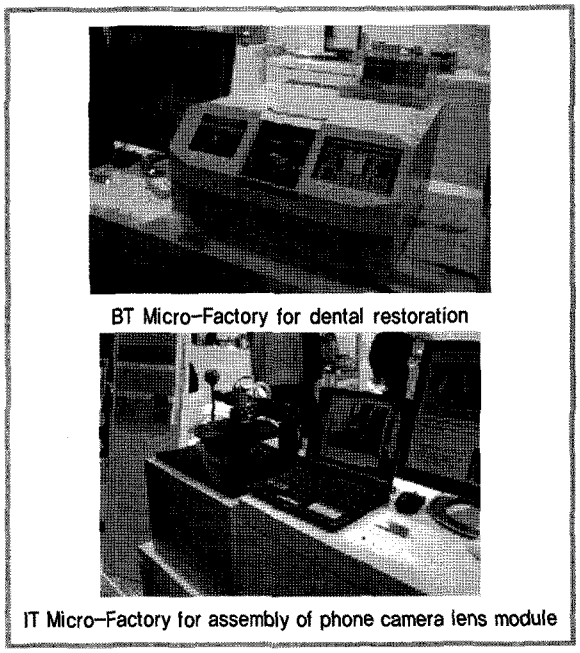


Fig. 8 IT and BT Micro-Factory on Hannover-Messe 2009

기반 클램핑 장치 등 차세대 요소의 개발이 같이 진행되었다.

이러한 연구개발 결과로 다양한 시제품이 개발되었으며, 올 2009년 4월달에는 독일 하노버에서 열리는 산업박람회(Hannover Messe 2009)에 BT 및 IT 마이크로 팩토리용 시작품을 출품하기도 하였다.

3.3 BT Microfactory의 실용화 개발 현황

현재 본 사업은 3단계 사업으로 추진중이며, 실제 현장에서 적용될 수있는 마이크로팩토리 시스템 개발을 위하여 기존의 6개의 세부연구과제를 3개로 압축하여, 마이크로 팩토리 실용화 시스템 개발에 집중하도록 하였다. 일단 BT Micro-Factory 부분은 지난 단계에서 개발된 보철물 가공기 시스템을 실용화하고, 여기에 환자의 구강구조에 맞추어 제작되는 환자맞춤형 지대주(Custom abutment)의 가공이 가능한 마이크로 다축 가공 시스템과 지대주 및 보철물의 통합 설계 시스템을 구축하여, 기존의 수개월이 걸리는 임플란트 시술과정에 있어서, 측정과 가공에 의한 공정

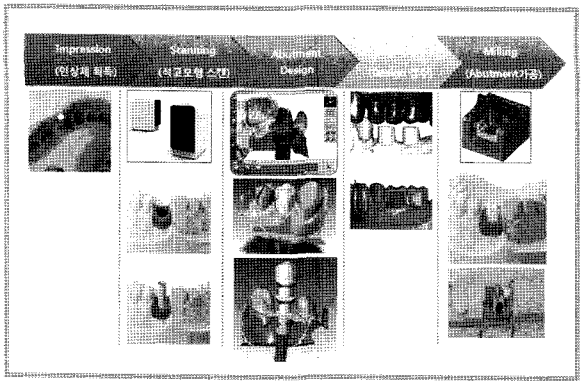


Fig. 9 BT Micro-Factory system concept using CA

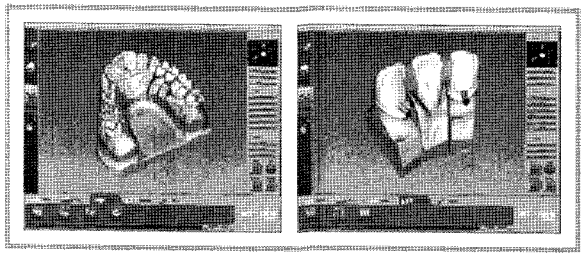


Fig. 10 Dental CAD/CAM S/W for BT-Micro-Factory

을 최소화하여 하루 만에 시술이 가능한 One-day clinic을 구현하도록 하는 것을 목표로 하고 있다.

이를 위해 주로 티타늄 합금 및 세라믹으로 제조되는 지대주의 5축 가공이 가능한 가공기를 설계/개발하고 있으며, Custom abutment의 설계 및 보철물을 포함한 교합 시뮬레이션 소프트웨어, 난삭재인 Custom abutment 의 가공 최적화 기술과 Fixture와의 접합도 평가 분석을 통한 상품화기술을 개발하고 있다. 다음의 그림은 개발된 BT-Factory용 CAD/CAM S/W 화면을 나타내고 있다.

3.4 IT Microfactory 기술 개발

IT 분야에 있어서는 다양해지는 폰카메라 렌즈모듈의 모델 수요를 충족하면서, 공간을 최소화하면서도 생산성을 극대화할 수 있는 조립시스템의 실용화 개발을 추진하고 있다. 특히, 폰카메라의 해상도가 증가하고, 자동초점(AF) 기능과 같은 기능이 요구되면서, 렌즈모듈의 성능에 대한

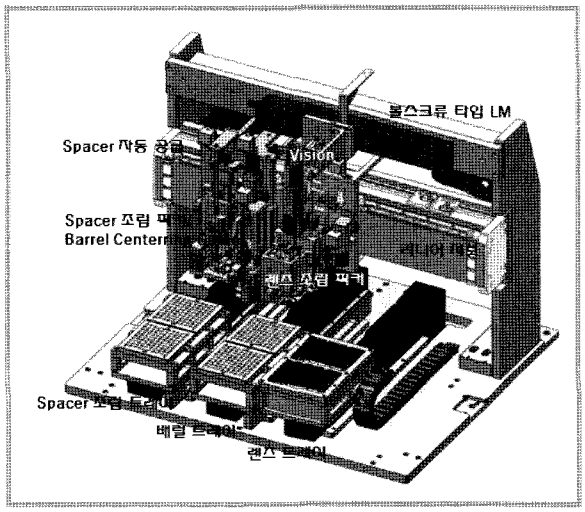


Fig. 11 Assembly machine cell for phone camera lens module

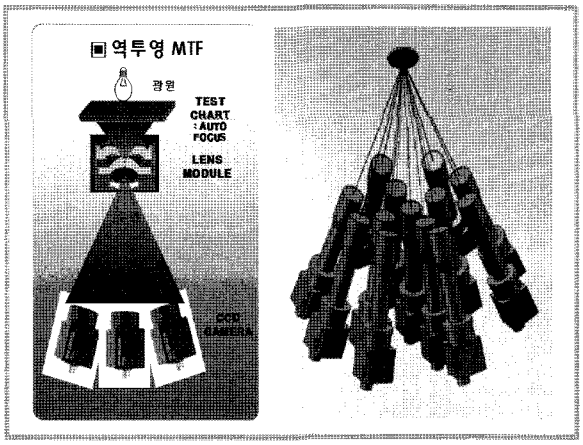


Fig. 12 Inverse projection MTF measurement system

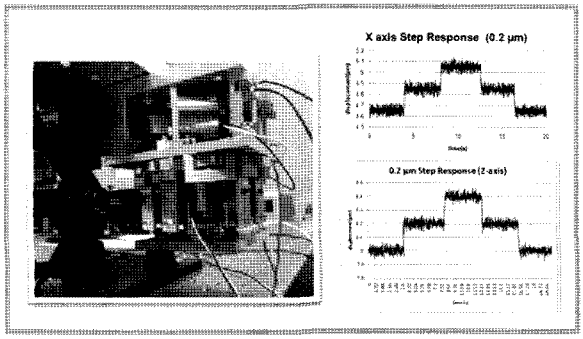


Fig. 13 6-DOF aligning stage prototype and positioning test

기준도 계속 높아지고 있다. 예를 들어, 렌즈의 사출시 재료의 유동에 따른 방향성정렬을 고려한 조립, 한개의 모듈에서 개별렌즈 및 스페이서 등의 조립 부품의 증가, 조립 생산성과 대상 부품의 변화에 따라 구성을 변경할 수 있는 유연성과 기존의 장비 대비 우수한 생산성을 위해 최적화된 레이아웃 등의 기술이 개발되고 있다. 다음의 그림은 이러한 렌즈조립을 위해 설계된 조립 시스템의 1 cell의 구성도를 나타내고 있으며, 장비당 4 cell 구성을 통해서 Tact time 3초 이내, 기존장비 대비 Scale down 45%의 구현이 가능하다.

또한, 렌즈의 조립시 정렬을 위해서 최소한의 공간에서 렌즈의 방향성을 측정, 검사할 수 있도록 13개의 CCD 카메라를 이용한 역투형 MTF 측정 장치를 개발하고 적용하였다. 렌즈의 조립과 핸들링을 위하여 다양한 부품에 적용이 가능한 Picker 를 설계 하였으며, Voice Coil 액튜에이터를 이용한 6자유도의 미세한 이동을 통해 정렬이 가능한 6자유도 정렬 스테이지를 개발하였다.

3.5 첨단요소기술 개발

이러한 마이크로팩토리 시스템의 구성을 위해서는 기존의 요소들을 활용할 수 없는 경우가 많으며, 특히 미래의 시스템을 위해서는 핵심 첨단요소의 개발이 필요하다. 이에 따라, 마이이크로 다축 운동요소, 초고속 마이크로 스핀들, 공구, 공작물 등의 지능화 요소 등의 개발이 동시에 진행되고 있다. 개발되고 있는 기술들을 요약하면 Fig. 14와 같다.

이중, 기존의 운동요소에 능동요소를 결합하고, 단축 보다는 다축의 구동이 동시에 이루어질 수 있는 첨단요소의

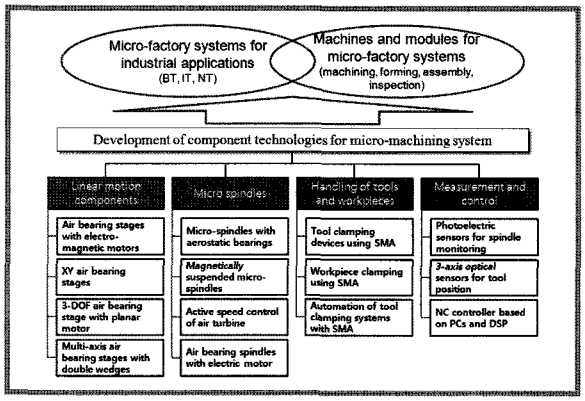


Fig. 14 Development topics of component technologies for micro-factory

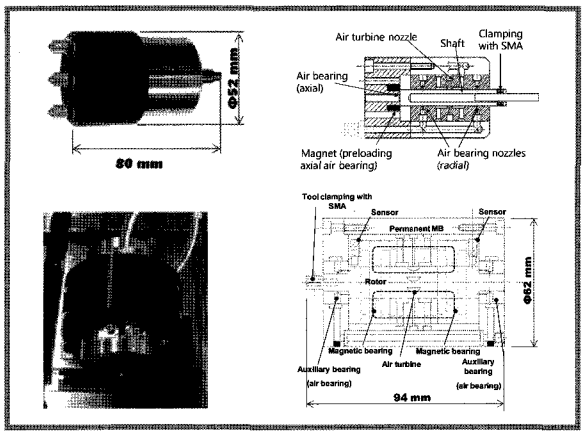


Fig. 15 Micro spindles using air bearings and magnetic bearings

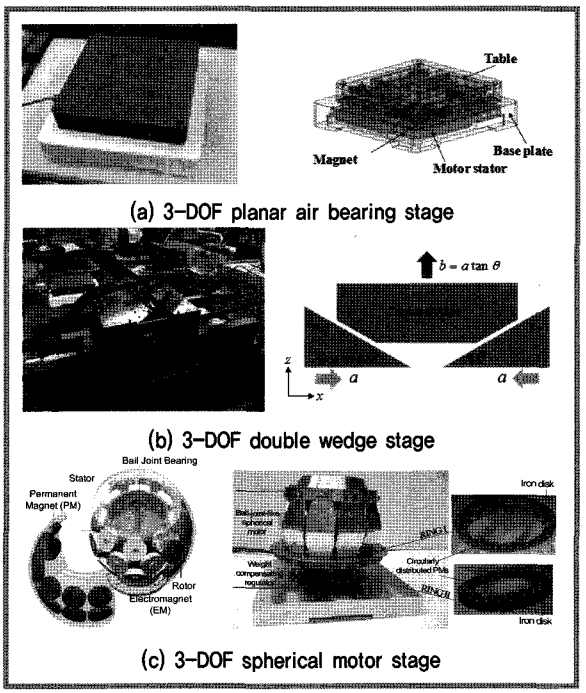


Fig. 16 Multi-axis miniature precision motion stage system

개발을 추진하고 있으며 능동자기베어링을 이용한 초소형 스핀들, 공기베어링 및 평면 모터를 이용한 평면 스테이지, 다축 구동이 가능한 더블 웨지형 스테이지 및 구형 모터를 응용한 다자유도 틸팅 스테이지를 개발하였다. 소형 공구 및 공작물의 정밀한 클램핑을 위하여 형상기억합금을 적용한 클램핑 장치를 개발하였으며, 이미 다수의 논문 및 특허를 발표하여, 차기의 마이크로 팩토리 시스템 개발의 기반으로 적용될 수 있도록 개발하였다.

4. 결 론

본 원고에서는 마이크로팩토리 시스템에 대한 외국의 개발 현황과, 국내에서 추진 중인 개발 현황 및 결과에 대해 소개하였다. 고비용 사회로 전환되어가고 있는 국내 및 선진국의 현 상황에서, 생산시스템에 들어가는 에너지, 공간, 자원의 최소화를 위한 생산성 극대화에 대한 노력은 앞으로 더욱 중요해질 것으로 예측되며, 마이크로팩토리에 대한 관심이 학계에서 산업계로 전이되고 있는 상황으로, 이를 뒷받침할 수 있는 다양한 기술의 개발이 지속되어야 할 것으로 예측된다. 특히, 모바일 전자기기의 증가, 나노기술 관련 신산업의 출현, 바이오 메디컬 산업의 발전에 따른 첨단 마이크로 부품 수요의 증가는 이의 생산을 위한 첨단 생산시스템의 효율화 뿐 아니라, 기술의 보안문제, 생산시설의 환경 변화 등을 요구하게 된다. 국내의 마이크로팩토리 기술은 이제 산업계로의 도입기에 들어서있다고 판단되며, 앞으로도 많은 적용분야가 생성됨과 동시에 기존의 생산시설의 변화도 일어날 것으로 예측된다.

전통적으로 일본은 기술력을 바탕으로 한 소형화에 선도적인 역할을 해왔으며, 미국은 가공을 중심으로 한 원천기술, 유럽은 조립과 바이오분야의 강점을 가진 시스템 개발을 하는 상황에서, 반도체, 전자 부분 산업에 있어서 강점을 가지고 있는 한국에서는 관련 산업의 적용분야 확대와 함께, 원천 요소기술의 확보 및 핵심 장비 모듈의 개발이 지속적으로 추진될 필요가 있다.

참 고 문 헌

(1) Kussul, E. M., Rachkovskij, D. A., Baidyk, T. N. and Talayev,S. A., 1996, "Micromechanical engineering: a basis for the low-cost manufacturing of mechanical microdevices using microequipment," J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 5, pp. 410-425

(2) Okazaki, Y., Mishima, N. and Ashida, K., 2004, "Microfactory - concept, history, and developments," J. of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 126 No. 4, pp.837-844

(3) Okazaki,Y., Hiraida, M. and Endo, C., 2009, "Activities of DTF Research Consortium - Industrial Applications of Microfactory Phulosophy by Private Sectors -," Proceedings of 5th International Workshop on Microfactory Technology.

(4) Heikkila, R., Huttuned, A., Voula, A. and Tuokko, R., 2008, "A Microfactory Concept for Laser-Assisted Manufacturing of Personlized Implants," Proc. Of 6th Int. Workshop on Microfactories, IWMF2008.

(5) Park, J.-K., 2009, 2nd Phase Report of Micro-Factory System Technology Development of Next-Generation, Ministry of Knowledge and Economy.

(6) Kim, C. B. and Kim, J. D. 2010, "Development of an Effective BT Micro-Factory System for Manufacturing Dental Restorations," Proc. of 7th Int. Workshop on Microfactories, IWMF2010, pp. 346-351

(7) Lee, C., Song, J., Ha, T., Lee, J. and Kim, C., 2010, "Development of Module Type Assembly Machine for Pnone Camera Lens Module," Proc. of KSMTE Autumn Meeting, pp. 34-37

(8) Park, J.-K., Ro, S.-K., Kim, B.-S., Shin, W.-C. and Lee, H.-H., 2010, "Precision Component Technologies for Microfactory Systems Developed at KIMM," Int. J. of Automation Technology, Vol. 4, No. 2, pp. 127-137.