

◆특집◆ 차세대 지능형 Microfactory 시스템 기술

마이크로팩토리 개발동향

박종권*

Technical Trends of Micro Factory

Park Jong Kweon *

Key Words : Micro factory system(마이크로 공장), Micro machine(마이크로 기계), Desk top size, Machining unit(가공유닛), Assembling unit(조립유닛), Transfer unit(반송유닛)

1. 서론

21세기 초두에는 개인의 기호에 맞는 다양한 제품을 그 자리에서 생산 및 제공하는 'On demand product' 라는 새로운 생산시스템이 등장할 것으로 기대된다. 대량생산 및 대량 소비시대가 종언을 맞이하고, 이제부터는 소비현장에 직결된 개별 생산시대로의 전환이 급속히 진행되고 있다. 필요한 사람이, 필요한 때에, 필요한 물건을, 필요한 장소에서, 필요한 수만큼을 생산한다고 하는 개념이 바로 그것인데, 이를 실현하기 위해서는 과거의 공장이라는 개념을 완전히 바꾸는 생산기술이 요구되며, 이것이 바로 마이크로 팩토리이다.

지금까지 산업기술의 기본 구조가 대규모 플랜트, 대형 기계와 비대한 장치기계들로 주종을 이루어 왔고, 그에 따라 여러 가지 문제점들을 노출시켜왔다. 가장 큰 문제로 거대한 기계에서 발생되는 각종 오염물질에 의한 환경오염과, 제작되는 제품에 비해서 상대적으로 비대한 기계의 운용상의 비효율적인 에너지 소비, 그리고 갈수록 고집적, 초소

형화 되어 가는 각종 초정밀 부품에 대한 요구의 증대일 것이다. 현재의 생산·제조 시스템은 가공·조립의 정밀도를 향상시키기 위해 매뉴플레이터 및 이를 지지하는 구조물을 대형화함으로써 강성을 높이고, 자중 및 가공력에 의한 변형에 대응하여 왔다. 이는 소형의 생산시스템을 만들기 위해 필요한 마이크로 레벨의 요소기술(액츄에이터, 센서 등) 및 요소를 만들기 위한 주변기술(초미세가공, 적층화기술)이 미흡하였기 때문이다.

실제로, 시계, 카메라 등의 소형정밀기계는 다수의 Mili-Level의 부품에 의해 구성되지만 이러한 정밀도를 확보하기 위해 상당히 큰 Meter-Level의 동작기계에 의해 만들어지고 있다. 이로 인해 1g의 시계부품을 40cm 반송하는데 필요한 일량은 논리적으로 4mJ임에 비해 실제의 반송 로봇은 75J을 소비하므로 이상적인 에너지의 20,000배를 사용하게 되는 문제가 발생하는 것이다.⁽¹⁾

최근, 동작기계기술의 커다란 조류를 살펴보면 고속지능화, 미세화 기술이 큰 축을 이루고 있지만 특히, 미세가공기술의 부족 등에 의해 기술적인 실현시기를 순연시키고 있는 실정이다. 또한, 원재료의 막대한 소비와 생산부지 확보 등에도 지속적인 난제가 남아 있어 범용부품 대량제조 중심에서 특수부품 주문생산 중심으로의 새로운 패러다임 전환을 위한 기술적 접근이 필요한 시기이다. 아울러 국가 중점기술인 IT, NT, ST를 산업화하는데 필요

* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부 동작기계연구그룹
Tel. 042-868-7116, Fax. 042-868-7180 Email: jkpark@kimm.re.kr
고속지능형 가공시스템 기술 분야에 대한 연구를 수행하고 있으며, 특히, 마이크로 팩토리시스템 기술에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

한 핵심 미세부품의 제작 및 수급계획 등의 원천적인 해소방안과 기술이 준비되어야 한다.

이를 위해 작은 공간내에서 고기능을 갖춘 초소형부품가공 시스템에 대한 사고의 전환이 시급하고, 에너지, 자원, 공간의 절약 관점에서 소형부품의 크기에 맞는 생산 시스템을 실현하기 위한 기술 확립이 필연적이며, Desk top 크기의 마이크로 팩토리 시스템제작을 위한 가공, 조립, 반송, 검사, 제어 기능을 가진 센서, 액츄에이터등의 미소 기능요소 기술 및 시스템화기술의 연구개발이 선행되어야만 한다.

마이크로 팩토리는 공간과 에너지, 원자재의 절감측면에서 전혀 새로운 형태의 제조시스템으로서 가공의 혁명을 불러일으킬 것으로 보인다. 제조시스템의 사이즈는 작아지면 작아질수록 수요자의 요구에 부응할 수 있을 정도로 짧은 시간안에 제품을 제작할 수 있다. 그러므로 마이크로 팩토리에서의 제조디바이스는 작은 크기에 저에너지 소비율, 제조공정의 자동화를 필연적으로 만족시킬 수 있어야만 한다.

2. 마이크로 팩토리의 개요

2.1 마이크로 팩토리의 정의

마이크로 팩토리 시스템(micro factory system)은 “필요한 제품을 필요한 양만큼 원하는 시간에 미세하게 만든다”는 패러다임을 기치로 한 전혀 새로운 방식의 공장을 의미한다.

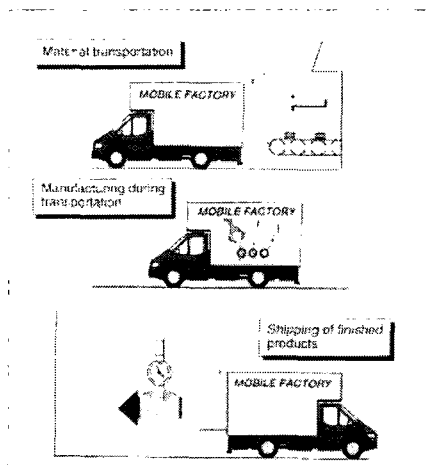


Fig. 1 Diagram of micro factory

마이크로 머신(micro machine)은 Micrometer에서 Sub-millimeter 단위의 미소부품으로 구성된 고기능의 기계시스템을 말하며, 전체 크기는 수 cm에서 수 μ m까지에 이른다. 아울러 이러한 마이크로 머신이 유기적으로 결합된 형태의 총체적인 집합체를 마이크로 팩토리라고 한다.

Fig. 1은 마이크로 팩토리 시스템의 기본 개념도이다. 최근 산업구조의 급변화에 따라 마이크로 팩토리(micro factory)를 트럭안에 설치하고, 이동중에 제품을 생산하여 소요시간을 최소화하고, 미세한 부품을 원하는 양만큼 제작할 수 있는 시스템이다.

2.2 기반기술

마이크로 팩토리 시스템의 효용가치를 극대화하기 위해서 가장 중요한 것은 장치의 크기를 작게 함으로써 에너지 소비율을 획기적으로 감소시키고, 어떠한 장소와 시간에도 가공이 가능한 Desk top 형태가 되어야 하며, 전체적인 시스템의 자동화가 이루어짐으로써 하나의 통합공장으로서의 기능을 해야한다는 점이다. 하지만 이 경우에 시스템의 강성이 약해지고, 정밀도가 떨어질 수 있는 문제점이 있다. 따라서 이러한 제반 문제점들을 해결하기 위해서는 효과적인 에너지 공급기술에서부터 가공, 조립, 반송, 검사기능까지 수행할 수 있는 통합시스템 구축이 필요하며, 세부적으로는 정밀 위치제어 기능을 가진 센서, 소형의 액츄에이터, 매뉴플레이터, 신개념의 구동장치, 미소절삭공구 및 마이크로 비전시스템 등의 미소 기능요소 개발기술과 시스템화기술의 연구가 선행되어야하며, 마이크로 가공에 적합한 주변기술(초미세가공, 적층화기술) 등에 대한 연구가 필요하다.⁽²⁾

2.2.1 마이크로 에너지발전·공급기술

마이크로 팩토리의 큰 장점중에 하나가 기존의 거대한 장치에 비해 에너지소비율을 저감할 수 있다는 점이다. 따라서 이에 관련된 마이크로 전자발전기 및 에너지 공급·응용기술과 고전압 광전변환디바이스를 부착한 전원장치와 컨트롤디바이스의 개발이 필요하다.

2.2.2 마이크로부품용 고강성 소재개발 및 구조설계기술

현재까지의 공장은 가공, 조립의 정밀도를 향상

시킴을 위해 매뉴플레이터와 구조물을 대형화함으로써 강성, 자중, 가공력에 의한 변형에 대응하여왔다. 그러나, 마이크로 팩토리와 같은 소형의 시스템에서 고강성, 고정밀도를 유지하기 위해서는 마이크로 부품용 고강성 신소재개발기술과 고주파진동 억제제를 위한 고강성 마이크로모터개발, 마이크로 유체시스템 개발기술, 열변형 억제기술 등이 필요하다.

2.2.3 개방형 제어/통신 및 기상계측 기술

시스템과 작업자간의 원활한 의사소통을 위해 IT기술을 융합한 원격 제어기술과 행동형 협조 제어 및 통신기술, 미소 형상/회전 토크/진동 등의 계측 기술, CNC에 기반한 미세 위치제어용 3D형상 가공 제어기술과 더불어 기계와 작업자간의 신뢰있는 인터페이스기술등이 필요하다.

마이크로 로봇틱 시스템은 일반적으로 많은 수의 센서정보(위치, 힘, 비디오이미지 등)를 가지고 있어야 한다. Fig. 2는 시스템의 위치제어를 위한 새로운 형태의 컨트롤러를 보여주고 있다.⁽³⁾ 본 시스템은 새로운 모션컨트롤 알고리즘을 적용하였고, 네트워크를 통한 로봇컨트롤을 위해 http 기반의 인터페이스를 제공한다.

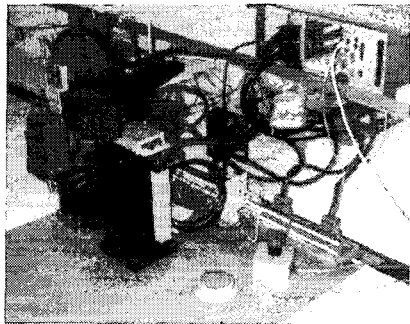


Fig. 2 Sysmelec Autoplace robot with new PC-based controller

2.2.4 마이크로 제거-부가복합 가공기술

초소형의 기계부품은 마이크로 팩토리에서 반드시 필요한 요소이다. 마이크로 팩토리에서는 나노급의 치수정밀도가 필요하고, 기계가 작동되는 동안에 작업물의 직접적인 형태와 작업상황을 관찰할 수 있어야한다. 이를 위해 이미지 핸들 세경화 기술과 미소요소의 정밀 제작을 위한 초미세가공,

적층화기술 그리고 마이크로 가공에 적절한 미세공구의 개발이 필요하다. 그리고, 단지 2D의 홈이나 구멍등을 가공하는 수준에서 탈피하여 여러 가지의 3D 구조물의 제작을 가능하게 해야한다. 가장 주요한 가공법들로는 마이크로 밀링, 화학적 가공, 레이저가공, 마이크로 방전가공 혹은 에칭 등과 같은 방법들이 대안으로 떠오르고 있다. 그러나, 기존의 EDM은 가공소재에 대한 제약이 있었다.

Fig. 3은 Desk top 형태의 ECDM(electro-chemical discharge machining)에 의해 제작되어진 구조물이다.⁽⁴⁾ EDM과 화학적 에칭을 병행한 가공 프로세서는 기존의 EDM이나 레이저 가공보다 더욱 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있다. 이 시스템에서는 스파크 발생기에 의해 유리, 세라믹, 루비, 다이아몬드와 같은 부도체를 가공할 수 있다.

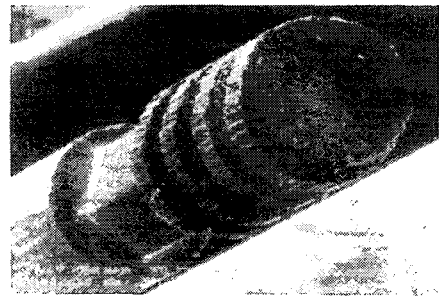


Fig. 3 Example of the 3D micro-electro discharge machining capabilities. Dia : 500 μ m, down to tens of μ m possible

2.2.5 마이크로 구동기구 개발 및 동력시스템 제작기술

마이크로 머신을 위한 구동장치는 이제까지 커다란 회전 모터를 그대로 소형화하여 과거와 같은 원리로 구동하려는 시도가 왕성했었다. 그러나 최근에는 그대로 축소하는 것만으로는 실용화에 한계가 있기때문에 작은 크기에 적합한 구동방법이 새로이 제안되고 있다. 실제로 일본 오므론에서는 작은 크기에 큰 힘을 내는 신형 액츄에이터를 개발하였다.⁽⁵⁾ 반도체 실리콘의 가열, 팽창에 따른 변형을 이용한 것으로서 홈에 다리를 걸친 구조를 가지며, 다리 부분이 상하로 진동하여 기계적인 힘을 발휘한다. 다리 부분은 폭 0.5mm, 길이 2.5mm, 두께 0.02mm로 표면에 다결정 실리콘으로 박막상의 히

터부를 만들었다. 다리는 양단이 고정되어 있어 히터로 가열하면 팽창하여 상방향으로 젖혀진다. 이 상방향의 힘이 물건을 밀고 들어올리는 작업에 사용된다. 27V의 전압으로 25mA의 전류를 히터에 흘려 가열한 결과, 약 1mm²의 부분이 2g의 물건을 0.025mm의 높이까지 들어올리는 것을 확인하였다.

또한, 도쿄대학에서는 공기압으로 움직이는 소형터빈을 개발하여 다이아몬드 등의 초경 절삭공구를 최고 매분 약 13만회 회전하여 절삭가공하는 기술을 선보이기도 하였다.⁽⁶⁾ 공구의 끝부분은 수평방향으로 1mm, 수직 방향으로 0.4mm의 범위로 움직여, 80nm의 정밀도로 위치를 맞출 수 있고, 가공대가 되는 박판에 0.1 μ m의 정밀도로 엇갈림을 검출할 수 있는 센서를 붙여, 미세 가공시의 위치 조절에 영향을 미치지 않도록 하였다. 실험에서는 엔지니어링 플라스틱을 가공해, 길이가 약 0.5mm, 폭 120 μ m, 깊이가 120 μ m인 홈을 가공하였다.

2.2.6 마이크로 조립·접합 시스템 개발기술

미소 요소의 조립작업을 원활하게 수행하기 위한 마이크로 암(micro arm) 및 마이크로 핸드(micro hand) 개발기술과 마이크로 디바이스 조립용 리모트 컨트롤시스템 기술, 미세 접합기술, 가공물 세팅의 반복성, 재현성확보를 위한 마이크로 그리퍼(Micro Gripper)기술 등이 필요하다.

실제로 파나소닉은 조립공정의 핵심이 되는 마이크로 팔을 제작하였다.⁽⁷⁾ 이는 팔 길이 80mm, 7자유도의 수직 다관절의 로봇으로, 고분해능력 엔코더를 탑재한 양면 구동다층초음파 서브모터를 개발 및 채용해 검출분해능력 3.6초(반경 80mm의 팔앞으로 1.3 μ m에 상당), 위치 결정 정밀도 $\pm 40\mu$ m 이하를 실현하였다고 밝힌바 있다. 이는 단순히 하드웨어의 소형화만으로는 한계가 있으며, 지능화에 의한 자율적이며 고도의 제어기술이 동반되지 않으면 불가능하다.

2.2.7 초정밀 측정·검사시스템 개발기술

제작된 마이크로 요소에 대한 센싱기술개발(micro forces, micro dynamometer, microscopy 등)과 마이크로스코픽 비전시스템 개발, 그리고, 비접촉식 3차원 미소형상 측정·검사 장비개발이 필요하다. 마이크로 측정·검사시스템은 협소한 작업공간에서도 충분히 기능을 발휘하여야 하며,

3. 마이크로 팩토리 개발 동향

3.1 마이크로 운할 부품제작 시스템

마이크로 팩토리 시스템에는 「가공, 조립, 반송, 검사」의 모든 생산공정을 축소하여 하나의 공장으로서의 기능을 하고, 정밀한 가공조립을 가능케 한다. Fig. 4는 초소형(MEZZO) 부품용 마이크로 팩토리를 보여주고 있다.⁽⁸⁾ 시스템의 전체크기는 50cm×70cm이고, 밀링, 선반, 프레스등과 같은 마이크로 머신과 반송유닛, 조립유닛들의 조합에 의해 제작되어진다.

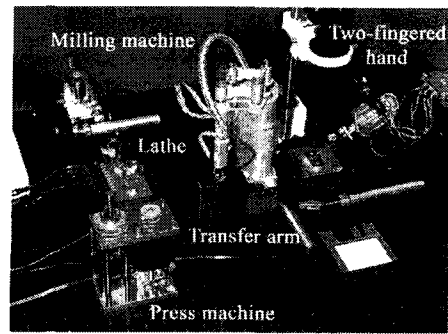


Fig. 4 Desktop type machining micro factory

각각의 마이크로 머신들은 다음과 같은 특성을 가진다.

마이크로 밀링머신(micro milling machine)의 전체크기는 119×119×102mm이고, 36W의 스핀들 모터출력과 3mm의 직경을 가진 생크에 의해 곡면가공, 드릴링작업이 가능하다.

마이크로 선반(micro lathe)은 32×25×30.5mm의 크기를 가지고, 1.5W의 출력을 낼 수 있다. 이 선반의 가공공차는 1.5 μ m에 가공면의 거칠기는 2.5 μ m정도이다.

마이크로 프레스(micro press)의 전체 크기는 110×66×170mm이며, 프레스 하중이 3kN, 다이를 세팅할 수 있는 스트로크가 30×40×52mm로 초소형 부품에 대해 펀칭과 벤딩작업을 수행할 수 있다.

그리고, 마이크로 트랜스퍼 암(micro transfer arm)은 전체 높이 200mm에 최대 암(arm)의 길이는 100mm이며, 3자유도 운동과 1개의 수직회전축을 가진다. 수평방향으로의 위치결정도가 20 μ m이고,

멀티조인트와 수평링크의 조합으로 넓은 영역에 대해 작업을 수행할 수 있다.

Fig. 5는 직경 48mm에 길이가 65mm로서 3개의 피에조 액츄에이터(PZT actuator)를 사용하여 100×100×30 μ m의 작업영역에서 1 μ m이하의 분해능이 가능하기 때문에 초정밀 부품의 조립, 분해 작업에 용이하다.

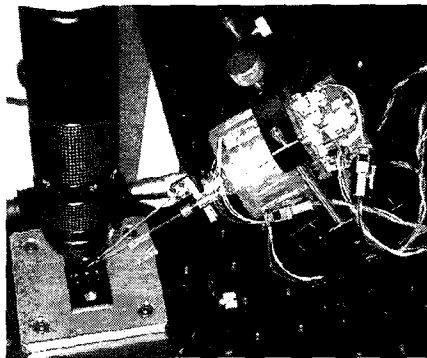


Fig. 5 Micro two fingered hand

Fig. 6은 운할장치에 쓰이는 디바이스들을 마이크로 팩토리로 가공한 것이다. 로터리 축(rotary shaft)은 마이크로 선반에 의해 가공되었고, 케이스(outer case)는 마이크로 밀링머신의 밀링작업과 드릴링작업에 의해 제작되었으며, 탑 커버(top cover)는 마이크로 프레스의 펀칭작업에 의해 가공되었다. 그리고, 제작된 모든 디바이스들은 마이크로 트랜스퍼 암에 의해 어셈블링 파트로 반송되어 Two fingered hand에 의해 조립되어 하나의 완성품을 제작하였다.

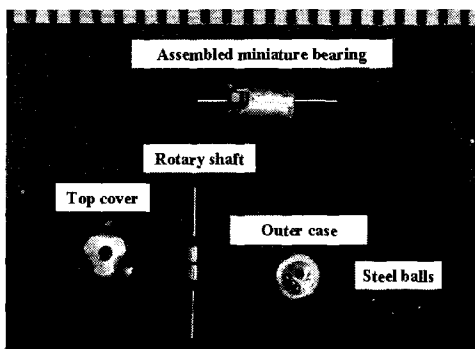


Fig. 6 Fabricated products

3.2 마이크로 전해가공용 마이크로팩토리

Fig. 7은 마이크로 전해가공을 수행하기 위해 제작된 Micro factory시스템을 보여주고 있다.⁽⁹⁾

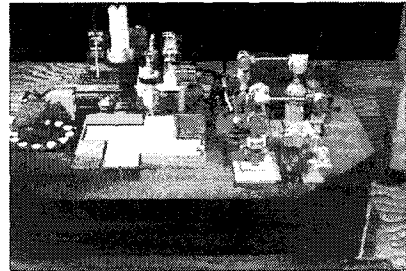


Fig. 7 The micro factory system

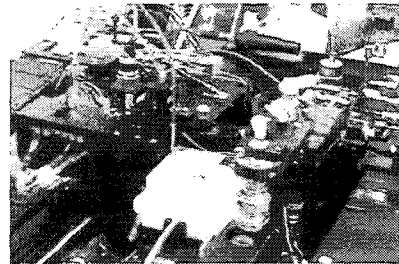


Fig. 8 The working unit

Fig. 8의 가공유닛에서는 가공용제 내의 가공 전극과 피삭재의 사이에 적당한 전압을 걸어 에칭과 도금을 하여 미소한 부품을 만드는 유니트이다. 여기서 가공에 필요한 에너지소모가 작기 때문에 기계의 강성을 높게 할 필요가 없고, 가공유닛의 크기를 작게 할 수 있다.



Fig. 9 The transfer unit

Fig. 9의 반송 유니트에서는 1mm크기의 전자석이 나열된 구조로, 각각의 전자석에 적당한 전압을

인가함으로써 반송자를 임의의 장소까지 이동시킬 수 있는 장치이다.

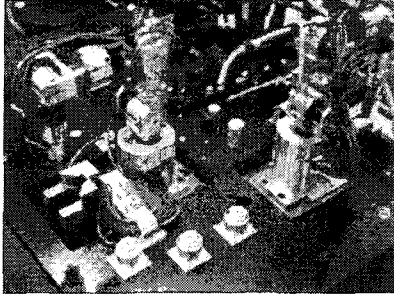


Fig. 10 The assembling unit

Fig. 10의 조립 유니트에서는 소형의 모터에 의해 구동되는 다관절형의 마이크로 암(micro arm)에 슬롯을 설치하여 정밀한 조립작업을 가능케 한다. 검사 유니트에서는 가공전후와 조립전후에 가공물의 상태를 검사하는 장치가 탑재되어 있고, 이러한 모든 가공·반송·조립·검사 유니트의 총체적이고 유기적인 동작들에 의해 완제품을 생산하는 체계를 가지고 있다.

3.3 기어제작용 마이크로 팩토리 시스템

Fig. 11은 기어를 제작하기 위한 마이크로 팩토리의 사진이다.⁽¹⁰⁾

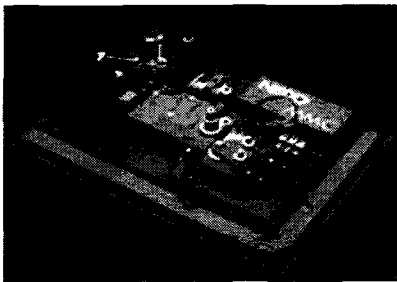


Fig. 11 The image of the micro factory system

이 시스템은 전해가공을 할 수 있는 가공유니트와 어셈블링 유니트, 컨베이어 유니트 등으로 구성되어 있다. 본 시스템은 Desk Top 크기로, 수 그램의 작은 부품들을 제작하고 있다. 절삭공구가 가공품에 접촉하고 있는 기계적인 가공에서는 공구마모와 같은 문제가 발생하지만, 전해가공이나 방전가공과 같이 공구와 제품의 접촉이 없는 제조공정은

상대적으로 작은 부품을 안정적으로 제조할 수 있다.

가공품으로는 수백 μm 의 크기를 가진 기어를 가진 기어 트레인을 제작하였다. 가장 먼저 가공유니트에서 기어가 가공되어지고, 부품들은 컨베이어 유니트에 의해 어셈블링 유니트로 반송된다. 그리고, 다른 부품들은 별도의 저장창고에서 컨베이어 유니트에 의해 어셈블링 유니트로 반송되어진다. 그 다음으로 마이크로 암이 이러한 부품들을 조립한다.

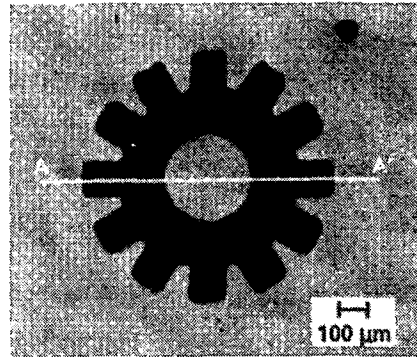


Fig. 12 Micro gear pattern fabricated on chromium substrate

본 시스템의 분해능은 $20\mu\text{m}$ 이고, 가공스트로크는 $5\text{mm}\times 5\text{mm}^2$ 이며, 깊이방향으로는 $300\mu\text{m}$ 의 스트로크를 가진다.

Fig. 12는 예칭가공된 기어의 형상을 보여주고 있다. 마이크로 기어의 크기는 $800\mu\text{m}$ 에 두께는 $10\mu\text{m}$ 이며, 크롬 회로기판 위에서 제작되어졌다. XY스테이지는 $50\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 이송을 가지고, 약 1.5시간의 작업시간이 소요되었다.

3.4 마이크로 광학부품 제작시스템

올림프사에서서는 광학부품을 제조할 수 있는 포터블타입의 마이크로 팩토리를 선보였다.⁽¹¹⁾

Fig. 13은 마이크로 광학부품을 조립할 수 있는 시스템이다. 마이크로 머신의 광학 성능을 배가시키기 위해 고정밀 부품과 렌즈를 채택하고 자동화된 조립시스템을 제작하였다. 본 시스템에서는 외경이 1mm 인 렌즈를 조립할 수 있는데, 전체 시스템의 크기가 $500\times 350\text{mm}$ 에 불과하며, Desk top 형태의 포터블 타입이다.

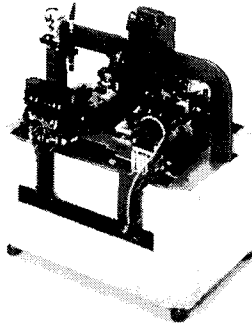


Fig. 13 Assembly system for micro optical Products

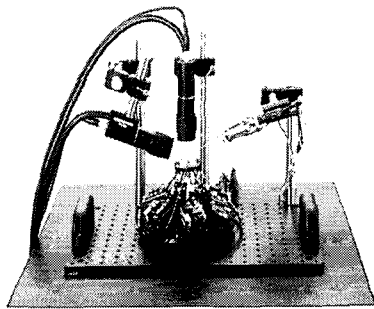


Fig. 14 Microparts teleoperation system

Fig. 14는 마이크로 광학부품을 조립하기 위한 원격조립시스템이다. 본 시스템에는 초정밀 마이크로스코프가 채용되고 있는데, 주로 마이크로접합과 검사시에 사용되고 있다. 이 시스템에는 초정밀 마이크로스코프, 수평 링크 마이크로 매뉴플레이터, 그리고 수평 링크 스테이지 등의 세 가지 주요한 요소로 구성되어 있다.

3.5 Desk top 형태의 화학공장

최근 일본에서는 책상위에 올려놓을 수 있을 정도의 작은 화학공장을 실현하여,⁽¹²⁾ 실리콘 기판상에 미세한 유로나 반응장치를 집적, 여러 가지 화학물질을 반응시키는 "미소화학공장"에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 미소화학공장에서는 환자의 증상에 맞는 의약품을 의사가 직접 책상 위에서 신속하게 제조할 수 있다. 또한, 상점에서 피부나 땀 성분을 분석한 다음, 개개인의 신체 상황에 맞춘 화장품이나 영양 드링크를 합성하는 것도 가

능해질 것이다. 이외에도 환경중의 유해물질 분석에 사용한다면 검사시약의 양을 줄일 수 있기 때문에 분석에 따르는 폐액을 줄일 수 있는 이점도 있다.

4. 결론

현시대는 대량생산·소비에서부터 다품종소량으로 급속히 제조형태가 변모하고 있고, 개성시대의 새로운 생산 시스템에 대한 기대가 커지고 있다. 현재의 공장과 같은 거대한 생산시스템이 아니라, 사용자의 수요를 그 자리에서 반영하여 생산하는 작은 공장으로서의 마이크로 팩토리라고 하는 개념이 필요하게 되었다.

최근 국내에서는 자동차, 반도체, 기계, 전자 등 주력기간산업의 경쟁력을 끌어올리기 위해 지대한 관심을 가지고 막대한 물적, 인적자원을 투자할 계획인 한편, 관련 정부 부처에서는 향후 주력해야 할 10대 전략 기술 분야 중에 해당될 수 있는 한 과제로서 "차세대 지능형 마이크로 팩토리 시스템 기술 개발"을 선정하였고 이를 토대로 진보된 해당 기술의 자립적인 확보를 위한 산,학,연의 체계적인 연구 진행을 곧 착수하게 될 것으로 예측된다.

체계적인 통합 시스템의 개발을 위해서는 Fig. 15에 나타난 바와 같은 요소 기술들이 병행되어 연구 개발될 필요가 있으며, 당 연구원의 경우는 보 유중인 해당 관련 기술과 예비 연구를 통한 결과들을 토대로 하여 핵심적인 수행 역할을 할 준비를 하고 있다.

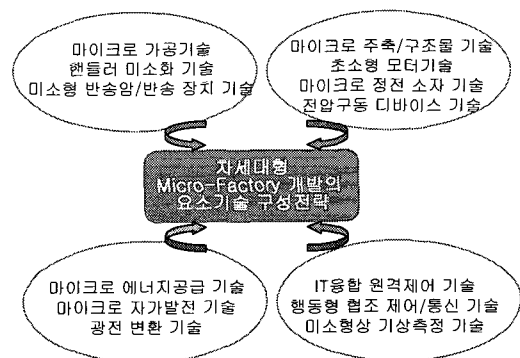


Fig. 15 Elemental technology related to development of micro-factory

초정밀 요소부품의 증대가 뚜렷한 현 상황에서 공간과 에너지, 원자재의 절감측면에서 전혀 새로운 형태의 제조시스템인 마이크로 팩토리는 제조업에 혁명을 불러일으킬 것으로 보인다. 제조시스템의 사이즈는 작아지면 작아질수록 수요자의 요구에 부응할 수 있을 정도로 짧은 시간안에 제품을 제작할 수 있다. 이를 위해서는 마이크로 팩토리 제조 디바이스가 소형화, 에너지 소비율의 감소, 제조공정의 자동화를 필연적으로 만족시킬 수 있어야만 한다.

아울러, 어떠한 장소에서 무엇을 생산할 것인지에 대한 명확한 목적을 설정하는 것이 중요하다. 단지 현재의 기계를 소형화하는 것이 아니라 생산하고자 하는 제품에 부합되는 시스템의 구축이 필요하다.

공작기계산업은 모든 산업기계의 모체가 되고 그 정점에 위치함으로써 국가산업경쟁력의 근간이 된다. 그리고, 공작기계산업에서 경쟁력을 갖지 못한 나라는 선진국이 된 예가 동서고금을 통하여 찾아볼 수 없을 정도로 매우 중요한 산업이라고 할 수 있다. 미래산업을 주도하고, 산업 전반에 파급효과가 큰 지식집약적 기술의 일환인 "Micro factory 시스템"에 대한 기술 개발은 국가 경쟁력 제고를 위한 핵심 기술임이 분명하다.

참고문헌

1. 이응숙, 이성국, 황경현, "마이크로머시닝 기술," 기계와 재료, 제7권, 제4호, 1995.
2. International Workshop on Microfactories, 2002, (<http://www.ri.cmu.edu/events/iwmfo2/home.html>).
3. M. Honegger, A. Codourey, "High-Performance Control Software for Microfactories and Robotics," Swiss Center for Electronics and Microtechnology, Scientific Report 2001.
4. Hannes Bleuler, Reymond Clavel, Jean-Marc Breguet, Hans Langen, and Yves Bellouard, "Applications of microrobotics and microhandling," RIKEN Review, No. 36, 2001.
5. 오므론. MPark/KITECH (<http://www.machinenow.co.kr>).
6. 佃村洋太郎, 中尾政之助, 도쿄대학.
7. 파나소닉. "마이크로팩토리,마이크로 머신," MPark /KITECH. (<http://www.machinenow.co.kr>).
8. Nozomu Misima, Ministry of International Trade and Industry, Mechanical Engineering Laboratory.
9. 古田 一吉, "마이크로加工·組立用試作システム," ナノテクノロジーのすべて, 工業調査會, pp. 270-272.
10. Masayuki Suda, Kazuyoshi Furata, Toshihiko Sakuhara, Tatsuaki Akata, The Microfactory System Using Electrochemical Machining, Galvanotechnik, 2000.
11. Olympus Optical Co. Ltd, NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization).
12. 올림프스 광학공업, 오므론(<http://www.olympus.co.jp/special/Olp/info/>).