

MEMS 기술과 정밀기계산업

나경환*, 박훈재*, 오수익**, 이응숙***, 조남선*

한국생산기술연구원*, 서울대학교 기계설계학과**, 한국기계연구원***

요 약

초소형의 전자 부품, 의료기기 및 광부품 등의 핵심부품들에 관한 산업계와 소비자의 욕구에 발맞추어 과학 기술의 진보가 요구되고 있다. 전통적인 금속 가공 방법과 MEMS와 같은 미세 부품 성형 방법의 중간적인 형태의 Milli-Structure 생산 기술은 근간의 추이에 발맞추어 차세대 국가경쟁력 강화를 위한 핵심기술로 주목받고 있다. 본 논문에서는 미세 부품 성형에 관련하여 국외 개발 동향을 검토하고 국내의 연구 상황을 본 연구팀의 연구를 위주로 하여 미세 소성 가공과 미세 기계 가공으로 분류하여 검토해 보기로 한다.

I. 서 론

20세기가 제품의 대형화, 통합화의 시대였다면, 21세기는 소형화 내지는 극미세화의 시대라고 예견되고 있다. 제품의 소형화, 고직접화, 고용량화 등을 추구하는 미, 일등의 기술 선진국들은 미세부품 제조를 위한 성형 기술을 핵심기술로 설정하여 국운을 걸고 기술 개발에 매진하고 있다.

핵심요소부품 중에서 구동 특성을 갖는 mm 단위의 미소 기구물(Kinematic Milli Structure)은 제품의 경박·소형화의 핵심요소라고 판단되며, 이 분야의 기술력이 궁극적으로 차세대

상품의 경쟁력을 좌우할 것으로 예상된다. 이러한 측면에서 국내는 물론 선진국에서도 오래 전부터 초소형부품의 생산기술에 관련한 연구가 진행되어 왔다. 이 기술 분야 중 하나인 MEMS에 대한 집중적인 연구 및 가시적인 결과가 실제 산업적으로 일부 응용되고 있다. MEMS 기술은 마스크 패턴의 전사에 의한 가공 기술로서, 매우 미세한 가공과 대량생산이 가능하며 가공과 조립을 병행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 미세구조물(Micro-Pump, Micro-Reactor, Micro-Motor 등)에 관하여, 현재의 MEMS 기술은 Kinematic-Milli-Structure가 요구되는 분야의 일부에 극히 제한적으로 응용되고 있으며(주로 LIGA 공정을 이용함), 다양한 3차원 형상의 기구물에 적용하기 위하여 최근 집중적인 연구가 수행되고 있다.

따라서 최근 일본을 비롯한 일부 선진국에서는 전통적인 가공방식에 의한 기술개발에 대해 관심이 크게 증가하고 있으며, 일부 미세 기계 가공의 경우 서브 마이크론의 정밀도와 1mm 이하의 치수로 가공, 제작할 수 있는 전용공작기계류의 개발에 힘입어 3차원 미세 형상을 성형할 수 있는 수준에 이르렀다. 결국 일본의 Camcorder 등 가전, 통신 관련제품 가격경쟁력의 핵심은 이러한 미세 형상을 생산할 수 있는 기술력에 있다고 할 수 있다.^[1]

그러나 KMS(Kinematic-Milli-Structure) 부품의 경제성 있는 생산기술 즉 기계가공 방식이 아닌 소성 가공 분야는 많은 기술적인 어려움으로 인해 선진국에서조차 거의 연구가 진행되지 않은 미개척 기술개발분야로서, 일본의 경우도

최근에서야 관련연구가 시작되고 있다.

이러한 미세 성형기술에 의한 KMS부품의 대량생산방식은 기술개발의 위험도가 매우 큼에도 불구하고, 성형가공방식이 지니는 고유의 특성으로 인해 최근 일본, 독일 등지에서 정부차원에서 연구개발투자가 크게 증가하고 있다. 이러한 KMS관련기술이 선진국조차 초보적인 기술개발 단계인 점을 고려할 때 이들 미세 성형에 대한 기술개발 투자는 매우 시기 적절하다고 판단된다. 지금까지의 국내 거의 대부분의 기술개발이 선진기술의 모방이나 이전에 의한 방식으로 이루어진 것이라고 볼 때 향후 독자적인 기술개발에 의한 기술선점효과 및 산업으로의 파급효과는 매우 클 것으로 확신하며, 차세대 상품의 실질적인 제품경쟁력 확보차원에서 이 분야의 기술개발은 매우 중요하다고 판단된다.

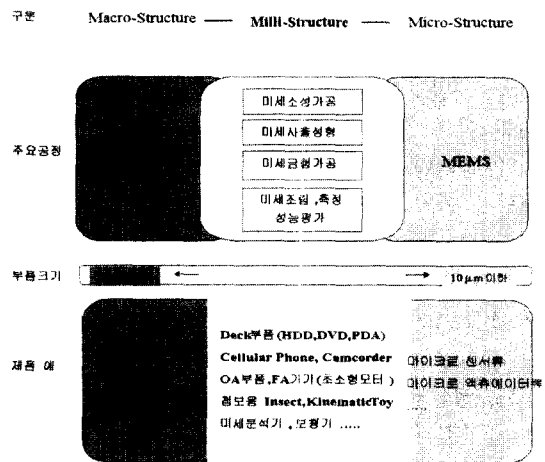
우리 나라가 21세기에 세계시장을 주도해야할 제품으로는 휴대형 통신단말기, PDA, Palmtop PC, 각종 저장기기 등 전자정보기기분야의 제품이 가장 유망한 것으로 예측되고 있다. 그러나, 이러한 분야의 제품경쟁력을 제고하기 위하여서는, milli-structure형 부품을 양산할 수 있는 독자적이고 우월적인 기술의 확보가 반드시 필요하다.

II. Milli-Structure의 정의

일반적으로 형상의 크기를 초소형, 중형, 대형 등으로 구분하나 명확한 정의는 없다. 다만, 이러한 것은 [Å]에서 [mm]의 10^8 의 공간적 치수범위와 [fs]에서 [s]의 10^{15} 의 시간적 크기를 갖고 있는 영역에 있고, 구조적으로 Micro, Milli, Macro의 영역에 있다고 볼 수는 있다.

여기에서 서술하고자 하는 미세 부품은 크기 수[mm]의 공간적 개념을 갖는 Milli structure의 범위에 있다고 본다. 이러한 Milli structure는 Camcorder의 Deck 부품이나, DVD의 Optical Head처럼, 수 mm의 크기에 수 μm 의

정밀도를 갖는 기계요소부품 또는 그것들의 조립체를 지칭하는 것으로서, 일반적 기계구성품의 크기인 수십 mm 이상의 Macro structure와 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술에 의한 submillimeter 크기의 Micro structure에 대응되는 개념이다. Milli-structure는 그 내부에 μm 단위의 미세 구조물을 포함하며, 특정 목적을 수행하기 위하여 정보 및 물질의 전달, 작동 및 취급이 가능하도록 일정한 정도 이상의 (mm 단위 정도의) 크기를 갖고 있는 작동 가능한 전체 시스템을 의미한다. 본 정의상의 Milli-Structure는 기존의 MEMS 혹은 반도체 기술을 이용하여 가공한 Micro-Structure(초소형 구조물)를 포함하면서도 일정한 크기 이상의 정보전달부, 취급 혹은 작동부, 계측 분석부로 이루어지며, 이러한 전체 시스템의 가공에서는 기존의 여러 가지 기계가공이 사용될 수 있지만, 내부의 초소형 구조물 정도의 생산성과 저렴한 생산 비용 조건을 충족시켜야 한다. 또한 내부의 미세 구조물을 실질적으로 보호할 수 있어야 하며, 외부의 충격 혹은 압력에도 버틸 수 있거나 혹은 내부 미세 구조물에 실질적으로 전달할 수 있어야 한다. <그림 1>은 Milli-Structure와 Micro-Macro Structure와를 구분하여 나타낸다.



<그림 1> Classification of Macro-Milli-Micro Structure.

현재 국내외적으로 기계적 방법 및 반도체 제조 공정을 이용한 미세 가공 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 산업체 응용성을 높이기 위해서 Milli-Structure에 대한 중요성이 매우 커지고 있기에 이 분야에 대한 집중적인 연구 투자가 이루어지기 시작하고 있다. 실제로, 산업자원부가 지원하고 한국생산기술연구원이 주관 기관으로 수행중인 차세대 신기술 개발 사업 과제인 “Milli-Structure 생산기술 개발”은 생산성과 생산 원가를 고려하여 미세 체적 및 박판 성형 등의 미세 소성 가공과 미세 기계 가공, 미세 사출 성형 등을 포함하고 있다.^[2]

III. 해외 기술개발 동향

1. 미세 소성 가공 분야

미세 소성 가공 기술은 생산기술이 뛰어난 일본, 미국 등을 중심으로 개발되어지고 있다. Milli-Structure 부품이나 시스템은 3차원 구동 특성을 갖는 수 mm의 구조물이며, 이러한 구조물을 제작하기 위한 방법 중에서 경제적인 측면을 고려하여 접근하면 미세소성가공 기술이 매우 중요시된다.

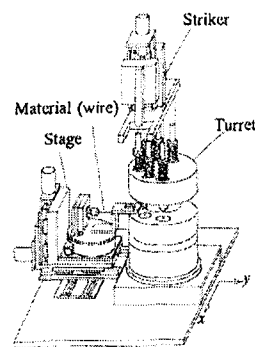
일본의 경우 이러한 기술이 차세대 생산기반 기술임을 인식하고 1990년대 초반부터 연구개발에 매진하고 있다. 즉 매크로 소성가공 기술은 선진국, 개발도상국 등이 모두 개발할 수 있으나 이러한 미세 정밀 소성가공 기술은 특별히 투자하여 개발하면 부가가치가 월등하고 파급효과가 뛰어남을 인지하였던 것이다. 그 한 예로 아직 상용화되지는 않았지만 내시경용 Jaw의 경우, 현재의 기계가공방식에 의해 1개의 생산시간이 수 십분 정도 요구되고 있으나 미세 소성 가공 방식으로 생산공정을 대체할 경우 생산시간은 약 1/10 정도, 생산원가는 약 1/100정도로 낮출 수 있다는 연구결과가 1996년 일본에서 보고되고 있다.^[3] 그외의 개발된 예로는 전자총의 Aperture, 둥근 와이어를 사용하는 미세 프레스가공, Cellular

Phone의 초소형 진동자, 1.2mm의 지름을 갖는 Rolled Wire 생산, Lead Frame 생산과 같은 미세스텝핑 기술 등 많은 연구를 수행하고 있다. 이러한 기술들은 소형의 전자기기, 초소형 특수 비행체 등을 개발하는데 필수적이다. 미세성형기술을 발전시키기 위해서는 정밀금형 가공기술이 필수적으로 요구되며, 일본이 20세기 생산기술을 기반으로 경제를 발전시켰듯이 21세기에든 역시 정밀 생산기술을 가장 중요시하는 정책을 쓰고 있다. 그 일례로 1998년 8월 일본 이화학연구소내의 벤처기업인 차세대가공시스템(주)에 Micro 가공기술교류회를 두고 Micro 가공기술 연구개발체제 및 관련 인프라의 정비에 힘쓰고 있다. 또한 미국의 Milli-Structure 생산기술에서는 컴퓨터로 제어하는 지능형 가공시스템의 개발, 비접촉 측정 장치 개발, 성형한계 극복을 위한 연구, 여타공법을 조합하는 복합성형 기술개발 등 활발한 연구가 정부의 지원아래 체계적으로 진행되어지고 있다.

아래에 해외의 미세소성가공기술의 개발사례를 소개하였다.

1) 미세단조성형에 의한 정밀 의료 핀셋^[3]

의학 정밀 도구의 전형적인 예인 의료 핀셋은 지금까지 정밀 기계가공과 후가공처리로 만들어졌다. 따라서 가공시간이 길어질 뿐만 아니라 단가가 높아지는 단점이 있다. 미세단조성형에 의한 생산은 가공시간 단축, 비용 절감의 효과가 있다. <그림 2>는 일본에서 개발된 장치로 Turret-



<그림 2> Micro-Forging Press.

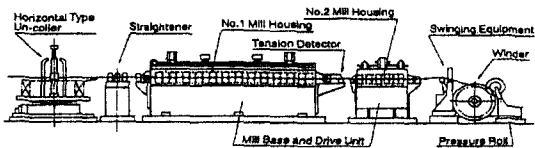
Type의 펀치프레스로 구성되어 있다. 등근 와이어를 재료로 하여 정밀의 의료핀셋이 만들어진다.

2) 다단계 미세시스템핑 공정에 의한 Aperture 전자총 부품의 하나인 아퍼추어는 브라운관(CRT)에 장착되어 전자선을 방출하는 부품으로 자기성을 띄지 않는 금속판재로 성형된다. 이 부품은 트랜스퍼 프레스(transfer press)에 의한 14개의 연속 성형공정을 거쳐 생산되어진다. 먼저 스트립으로부터 블랭킹 공정을 통해 초기소재를 성형한다. 1·2차 드로잉공정, 성형드로잉 공정을 거쳐 아퍼추어 컵형상을 결정하며 이후 트리밍(trimming), 플랜지(flange) 성형공정을 거쳐 여분의 플랜지를 잘라낸 후 엠보싱과 스웨이징 공정을 거쳐 스웨이징부의 두께를 충분히 얇게 하여 이 스웨이징 부에 피어싱(piercing)을 가하고 아이들(idle), 반전, 측면 피어싱 공정을 거친 후 제품이 완성된다. <그림 3>은 성형드로잉 공정을 거친 시편과 최종 제품의 사진이다.



<그림 3> Processed Aperture by Deep Drawing.

3) 미세압연공정에 의한 미세 와이어 제작^[4]
Super Micro Mill은 4개의 Roll Mill Housing으로 구성되어 있으며 최소 직경 1.2mm의 와이어 생산이 가능하다. 직경오차는 $\pm 20\mu\text{m}$ 로 매우 작으며 롤 스탠드 사이에 가이드가 없어 가이드와의 마찰에 의한 표면결함이 나타나지 않는다.



<그림 4> Schematic View of Super Micro Mill.

4) 박판 드로잉과 코이닝의 복합공정에 의한 초소형 진동모터

지금까지 개발된 모터 중 가장 작은 것은 지름 1mm 크기로 일본 세이코엡슨이 만든 것으로 세계 속에서 건전지를 충전시키는 발전기로 사용되어지고 있다. 이러한 초소형 모터의 개발은 최근 전자기기의 소형화, 경량화의 추세에 따라 더욱 박차를 가하고 있다. 특히 개인 휴대폰이나 카메라 등에도 많이 사용되어지며 로봇제어의 필수적인 부품으로 쓰여진다. Cellular Phone의 진동자로 사용되어지는 사각코인형 진동모터의 케이스와 진동 Rotor의 Dynamic Receiver 부품은 Micro-Drawing과 Coining의 복합공정에 의해 만들어진다.

5) 미세 스피닝을 이용한 Ink-Jet nozzle 개발^[5]

1996년 일본에서는 미세 스피닝 공정을 이용하여 Ink-Jet 프린터용 노즐을 개발하였다. 두 개의 스피닝 롤러로 구성된 이 장치는 롤러의 Whirling accuracy는 $0.5\mu\text{m}$, X와 Y축의 position accuracy는 $1.0\mu\text{m}$ 인 초정밀 CNC 미세 스피닝 장치이다. SUS304로 내경 $300\mu\text{m}$, 두께 $8\mu\text{m}$ 의 미세 노즐의 제작을 위해 초기 튜브형 시편의 내부에 초경 맨드렐을 장입하고, Nosing공정과 Tube 스피닝공정을 행하였다. 가공소재의 Softening, Stress relieving 및 Grain size의 제어와 가공속도, 윤활조건 등의 공정변수에 제어를 통해 최적 성형조건을 찾아내어 결함이 없는 Ink-Jet printer용 nozzle을 순수 소성가공 공정으로 개발한 바 있으며, 더욱 미세한 노즐의 개발을 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

6) 기타 미세 체적성형 연구

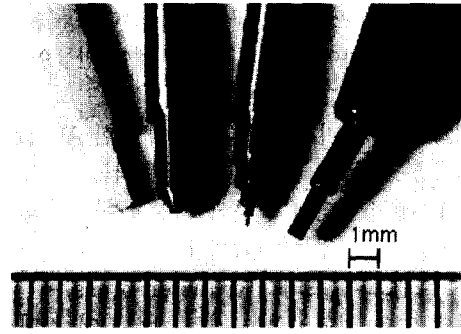
최근 일본에서는 비정질 소재와 초소성 소재를 이용하여 미세 체적성형 가공공법으로 현재까지 도달하지 못했던 마이크로 영역의 정밀도를 갖는 부품을 성공적으로 제작한 연구결과가 보고되고 있다. 1997년에 Gunma대학에서는 이러한 신소재로 새로운 개념의 미세단조장치 및 미세압출장

치를 제작하고 기존의 방전가공으로 금형을 제작하여 이를 통해 Module $10\mu\text{m}$, 피치원 지름 $100\mu\text{m}$ 의 기어를 미세단조공정으로 제작하였으며, 미세압출공정으로는 길이 $500\mu\text{m}$ 까지 압출에 성공하였다.^[6] 이는 미세체적소성가공분야를 통해서도 마이크로 영역 제품의 대량생산이 가능하다는 시금석이 되고 있으며 향후 이 분야는 기존의 MEMS 분야에서는 구현이 어려운 삼차원 부품의 제작에 유용하게 쓰일 전망이다.

2. 미세 기계 가공 분야

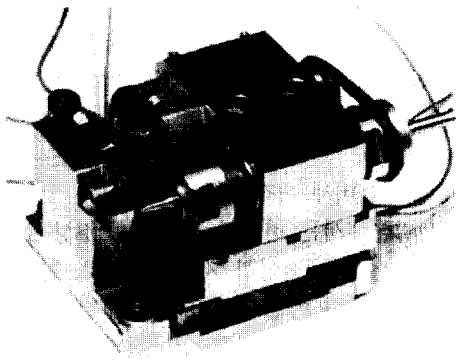
일본은 마이크로 절삭가공 기술 분야에서 세계에서 가장 활발하다고 볼 수 있다. 기계 기술 연구소(MEL)에서는 기존의 축적된 초정밀 기계 가공 기술들을 기반으로 하여 미세 가공기의 새로운 체계 구축을 위한 요소 기술 측면에서 관련 기술 개발을 시도하고 있다. 현재 미소 기능 요소 기술, 에너지 공급 기술, 시스템 제어 기술, 평가 기술 및 총합 시스템 기술 등에 관한 연구들을 수행하고 있으며 마이크로 공장의 실현을 위한 기초 연구를 수행함으로써 <그림 5>와 같은 세계에서 가장 작은 미소 선반을 제작한 바 있다.^[7]

Laminated Piezo Actuator 방식에 의한 XY 구동 유닛과 마이크로 모터에 의한 주축 디바이스 등을 중심으로 제작되었으며, $32\times 25\times 30.5\text{mm}$ 의 초소형화된 사이즈이고 전체 중량은 100g, 주축 디바이스의 구동 용량은 1.5W이다. 보통의

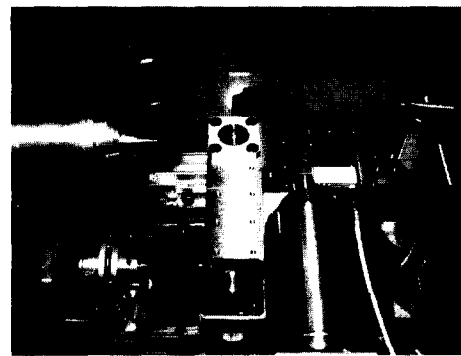


<그림 6> Examples of Micro-Turning.

선반에 비하여 크기는 1/50, 중량은 1/10000, 소요동력은 1/1000이라는 특징을 가지고 있다. 이와 같은 미소 선반을 이용하여 직경 2mm의 황동봉을 절삭 가공하여 $1.5\mu\text{m}$ (Rmax)의 가공면 거칠기와 $2.5\mu\text{m}$ 의 진원도를 획득함으로써 일반 선반과 동등 이상의 성능을 발휘할 수 있다는 것을 확인하였다. 최소 직경 $60\mu\text{m}$ 까지의 공작물에 대한 가공이 가능하며 <그림 6>은 아세틸 레진 봉의 가공 예이다. 마이크로 선반을 이용하는 경우의 에너지 소비량을 살펴보면, 마이크로 모터를 사용하므로 일반 선반에 비하여 1/100 정도의 에너지만 소비되며, 어떠한 가공에서라도 실제 절삭가공에 소요되는 에너지 소비량은 전체의 약 5% 정도인 것에 불과하다. 이는 소형 제품 가공 시 대부분의 에너지는 기계가동에 소요되며, 공작기계가 소형화되면 공작기계도 축소될 수 있고, 마이크로 공장은 공기조화에 필요한 에너지



<그림 5> Micro Lathe.



<그림 7> Micro Lathe. (Tokyo Univ.)

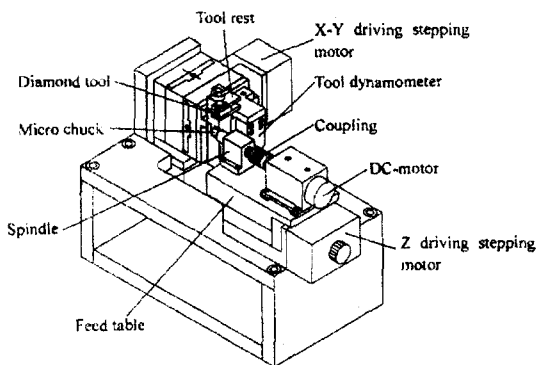
를 절약할 수 있다는 장점을 유추할 수 있다.

일본의 동경대에서는 각종 정보 기기를 구성하는 부품이나 장치가 점차 고밀도화, 초소형화됨에 따라 마이크로 미케니즘의 가공, 제작 및 응용에 관한 연구를 진행중에 있으며, <그림 7>과 같은 최대속도 100,000rpm의 초고속 스피들을 탑재한 마이크로 선반을 시제작하여 직경 10 μ m 정도의 마이크로 구조를 가공하는 실험을 수행 중에 있다.

일본 Kanazawa 대학에서는 Micro lathe turning system을 개발하여 다이아몬드 공구를 이용한 다양한 형상의 Micro Parts 가공기술을 개발하고 있다. <그림 8>. 기계의 크기는 200mm이고, 15,000rpm의 스피들을 장착하여 공작물 직경 0.3mm를 최소 10 μ m까지 가공할 수 있으며, 3방향의 Force Sensor로 절삭력을 측정할 수 있게 하였다.

가공 공구는 직경 0.25mm 봉에 경사각이 0° 또는 60°인 삼각 피라미드형 단결정 다이아몬드 공구를 부착사용하며, 공구대는 회전이 가능하여 facing, forming, taper turning, internal cutting 등 다양한 형태의 절삭에도 적용 가능하도록 되어 있다.

공구동력계는 가공중 3방향의 절삭력을 측정할 수 있도록 0.3mm 평판 위에 스트레인게이지를 부착하는 형식으로 구성되었으며 하중측정 범위는 1mN~1N이다.

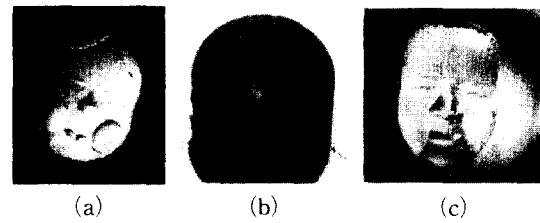


<그림 8> Schematic View of Micro Lathe. (Kanazawa Univ.)

가공 예로는 단결정 다이아몬드 공구로 직경 0.3mm의 황동 wire를 사용하여 직경 200 μ m, 최소직경 10 μ m까지 가공하였으며, 직경 100 μ m 봉의 단면가공, 30 μ m 깊이로 100 μ m 길이의 groove 가공, 직경 120 μ m에 피치 12.5 μ m의 screw 가공 등을 하였고, 표면조도는 모두 1 μ m Rmax 이하를 달성하였다.

일본의 전자 기술 통합 연구소에서는 발전용 고기능 유지 기술 평가 관련 분야 중에서 마이크로 머신의 군제어 기술 및 원격 제어 기술 등에 대하여 연구를 수행중이며, 멀티 마이크로 로봇 및 극미소 전자총을 이용한 3차원 가공 기술 등의 세부 연구 과제를 추진하고 있다

일본의 FANUC사에서 고속 에어 스피들을 탑재하여 새로 개발된 선반형의 초정밀 소형 밀링 머신으로 급속에 대하여 부조형의 조각 방식으로 마이크로 가공한 예를 <그림 9>의 (a)와



<그림 9> (a) CAD Mask ; (b) Micro Machining Sample (Metal) ; (c) Micro Machining Sample (Glass).

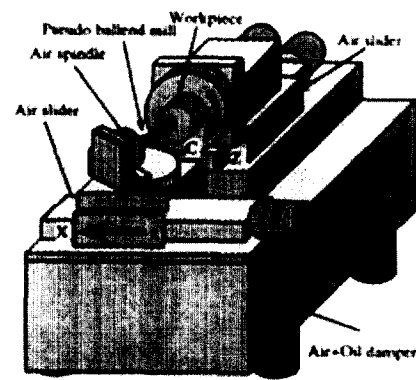


Fig 1 Ultra-precision milling machine

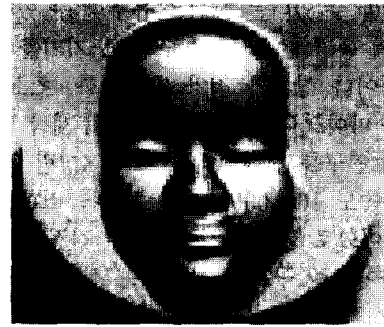
<그림 10> Micro-Milling Machine.

(b)에 나타내었다. <그림 9>의 (a)는 CAD에 의해 작성된 인상이며 <그림 7>의 (b)는 이를 이용하여 금속재에 대하여 가공면 거칠기 77nm (Rmax)를 지니는 직경 3mm 크기의 고품위의 소형 인상 가공을 한 예를 나타내고 있다.

기존의 연구에 의하여 미소 절입량 부가 방식에 의한 연성 제거 모드 방식의 가공으로 취성재를 가공할 수 있다는 보고가 있으나 미소 형상의 가공에 대한 초정밀 3차원 고품위화의 적용은 매우 힘들다고 할 수 있다. 그러나 <그림 10>과 같은 초정밀 밀링 가공기를 활용하여 직경 1mm의 글라스에 대하여 가공면 거칠기 50nm (Rmax)의 고품위를 생성할 수 있으며 <그림 9>의 (c)에 그 예를 나타내었다.^[8]

또한, FANUC사에서는 선삭에서 3차원 형상 가공까지 복합가공이 가능한 ROBO nano Ui의 초정밀 마이크로 머신을 개발하였다<그림 11>. 지금까지 lithography로 제작하기 어려웠던 자유곡면 형상의 회절격자나 비구면 렌즈의 금형을 가공이 가능하게 되었으며, 200mm의 이송거리와 1nm의 분해능을 갖는 Non-friction servo system, 2nm 오차 이내의 이송서보모터트랙을 채용하고 있다. <그림 12>는 이 기계를 사용하여 직경 1mm, 높이 30 μ m의 가면 마스크를 경면 가공한 예이다. 재질은 황동이며 공구회전수는 50,000rpm, 가공속도는 5mm/min으로 약 2시간 가공으로 58nm Rmax의 표면조도를 얻었다.

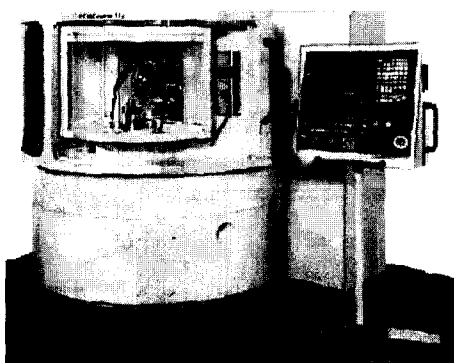
미국 Purdue 대학교에서는 미세 방전 가공 중



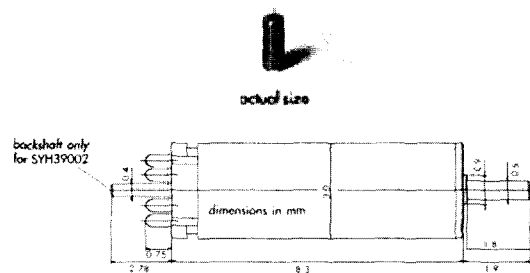
<그림 12> ϕ 1mm Face Mask. (Brass)

정확한 방전상태 진단과 전극 이송제어에 관한 연구가 진행중이며, 미국의 로체스터대에서는 Moore Tool사와 공동으로 미세 연삭 기계를 개발하여 직경 10mm급의 비구면 마이크로 렌즈에 대하여 진원도 1nm급, 가공면 결합층 1-2nm급의 정밀 성형 가공을 수행하고 있다. REMMELE Engineering사에서는 8축 초정밀 소형 선반으로 미소 형상의 부품을 가공하고 있다.^[9] 또 National Jet사에서는 마이크로 드릴링 머신 및 드릴을 개발하여 25 μ m의 구멍을 2.5 μ m의 정밀도로 가공하는데 성공하고 있다.

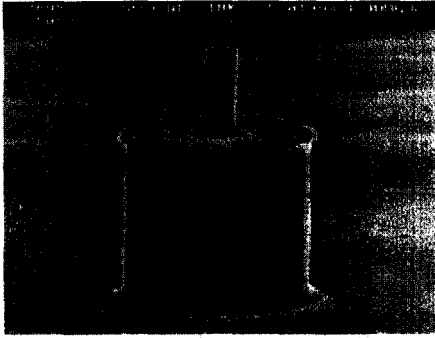
캐나다의 MEMStek Products, LLC에서는 스위스의 RMB Miniature Bearings사와 공동으로 <그림 13>과 같은 DC 마이크로 브러시리스 모터를 개발하여 모터와 기어 트레인 등의 각종 초소형 공작 기계류 부품에 적용할 수 있는



<그림 11> ROBO nano Ui Micro Machine.



<그림 13> Micro DC Motor. (Diameter less than 2mm)



〈그림 14〉 Example of Micro Shaft.

응용 연구를 수행 중에 있다.

독일의 Fraunhofer 연구소에서는 미세 절삭과 밀링 가공을 적용하여 마이크로 구조 요소 부품을 가공 제작하였으며, 초미세 선반을 이용하여 〈그림 14〉와 같은 미세한 축을 가공하였다. 큰 직경은 $50\mu\text{m}$, 작은 직경은 $8\mu\text{m}$ 이며 가공면 거칠기는 약 10nm(Ra) 이다.

스위스의 경우는 전문 제조 업체에서 PCB 보드 및 반도체 관련 제품, 특수 섬유사 제조용 노즐 헤드 등의 초미세 천공 가공을 위한 직경 $100\mu\text{m}$ 이하의 마이크로 드릴을 생산하여 전세계에 고가로 시판하고 있다.

IV. 국내 기술 개발 동향

1. 미세 소성 가공 분야

우리나라의 경우 미세소성가공 기술개발은 초기 단계이다. 미세부품을 성형하기 위한 금형은 거의 일본으로부터의 수입에 의존하고 있어 부품 기술 자립에 큰 어려움이 있음은 물론이고 독자적인 제품기술의 개발에도 제한적인 수밖에 없는 실정이다. 현재까지 전자총의 Aperture, 핸드폰에 사용되어지는 초소형 진동자에 필요한 부품, 반도체의 리드 프레임 등 다소간의 개발실적은 있으나 대부분의 설계기술은 외국에서 도입되어지며, 부분적인 기술 또한 컴퓨터나 자동화된 설계시스템을 갖추지 못하고 있어, 다단계의 성형

공정을 거쳐 생산되는 복잡한 형상의 제품을 개발하는 경우 시행착오로 인한 시간소비 및 단가 상승을 초래하고 있다.

이에 우리 나라에서는 미세 부품 기술 개발을 위하여 1999년 12월부터 산업자원부에서 차세대 신기술 개발사업 가운데 Milli-Structure 생산 기술개발 사업을 추진하고 있다. 이 과제중 미세 소성 가공 기술과 관련된 연구로 '미세박판성형 기술개발' 과제와 '미세체적성형기술개발' 과제가 있다.

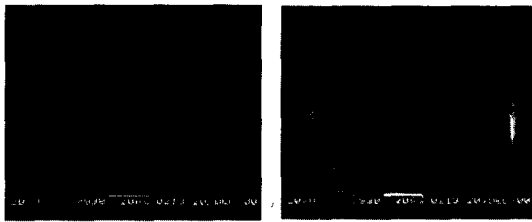
1) 미세 박판 성형 기술¹¹⁾

서울대학교 정밀기계설계공동연구소에서 주관하고 있는 미세박판성형기술개발 과제에서는 미세박판재의 정밀소성가공장치와 미세정밀 Stamping 공정기술, 미세정밀 Punching 기구, Burr 발생 억제 및 제거기술을 연구하고 있다. 이 중에서도, 과제 수행을 통하여 제작한 미세 펀칭 프레스의 모습을 〈그림 15〉에 나타내었다.

개발된 미세 펀칭 프레스는 스트리퍼와 펀치홀더의 진직도 $0.001\text{mm}/20\text{mm}$ 정도의 정밀한 상대운동을 가능하게 하기 위해서 THK-LM 가이드 두 개를 병렬 사용한다. 또한, 스트리퍼 구멍과 펀치홀더 구멍의 동심성은 조립공차 $\pm 10\mu\text{m}$ 이내에서 맞출 수 있고 설계된 펀치는 조립 공차에 의해 파손되지 않음을 입증할 수 있다. 스트리퍼 구멍과 다이구멍의 동심성을 이용한 능동적인 위치 맞춤 방안을 고안하였는데 이것은, 반사율이 매우 좋은 거울과 비전 시스템, 그리고



〈그림 15〉 Micro-Punching Press.



(a) Topview of Punched Hole (b) Bottomview of Punched Hole

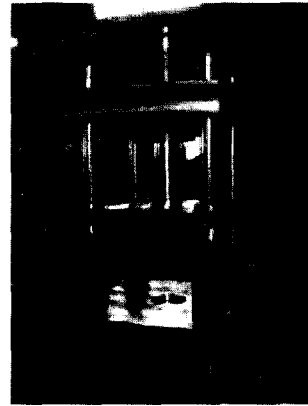
<그림 16> Punched Hole :
(a) Topview of Punched Hole ;
(b) Bottomview of Punched Hole.

정밀 이송 기구를 사용하여 가능하다. 이때, 정밀 x, y, z 이송장치에 의한 다이의 움직임은 반복정도 $\pm 0.1\mu\text{m}$, 절대정도 $+5\mu\text{m}$ 이내에서 제어할 수 있고, 펀치의 움직임은 반복정도 $\pm 1.3\mu\text{m}$, 절대정도 $\pm 10\mu\text{m}$ 이내에서 제어할 수 있다. 제작된 미세 펀칭 프레스에 직경 $100\mu\text{m}$ 의 펀치와 직경 $110\mu\text{m}$ 의 다이를 이용하여, 두께 $100\mu\text{m}$ 의 황동 박판에 펀칭을 하였을 때의 구멍의 윗면과 밑면을 <그림 16>에 나타내었다. 이와 같은 미세 펀칭 기술은 향후 잉크젯 프린터의 노즐 플레이트를 성형하는 데 기반 기술로서 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

2) 미세 체적 성형 기술 개발^[11]

한국생산기술연구원 주관의 미세체적성형기술 개발 과제에서는 미세 체적물의 단조/압출 기술, 미세 체적성형공정 해석기술, 미세체적 성형용 재료이용기술을 연구하고 있다. 그 중에서 극세선 압출을 위하여 제작된 미세 압출 프레스를 <그림 17>에 나타내었다.

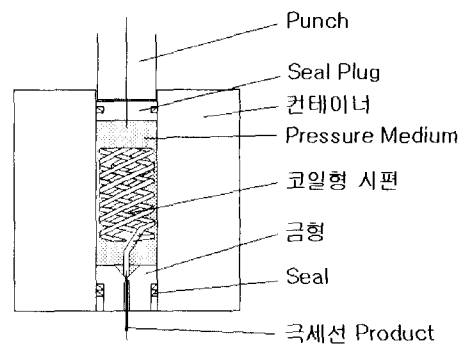
제작된 미세 압출프레스는 정수압 압출 방식을 이용하였다. 정수압 압출 방식은 압력전달매체로 인해 소재와 용기내벽, 소재와 금형 사이의 마찰이 최소화되어 압출압력은 소재의 길이와 무관하며 따라서 비교적 긴 소재의 압출이 가능한 장점을 가지고 있다. 개발된 미세 압출용 프레스는 극세선 압출 특히 미세 튜브 압출에 적합하도록 유압구동의 주 실린더를 관통하여 맨드렐을 독립적으로 구동시킬 수 있는 이중구동형식의 수직형



<그림 17> Milli-Extrusion Press

프레스이다. 프레스의 설계기준은 컨테이너 내경을 30mm내외로 할 때, 압출온도를 고려한 최대 압출압력을 12,000bar로 설정하여 이 때 소요되는 압축력 90톤급으로 최대가압하중을 설정하였으며, 압출기 램의 속도는 최대 25mm/sec까지 가능하게 하였다. 정수압 압출기의 핵심부라 할 수 있는 컨테이너부는 구조적, 기능적으로 가장 선진화된 기술인 강선적층방식을 채택하여 제작되었다.

<그림 18>에 극세선 압출의 개념도를 나타내었다. 극세선의 경우 수십 μm 의 선재를 얻기 위해서는 압출비 10,000 정도의 단면감소가 이루어져야 하며, 초기시편의 직경은 수 mm이어야 한다. 이를 직선 시편으로 하였을 때 단위 lot가 큰 제품을 얻기 위해서는 시편의 길이가 매우 길어야 하고 이를 만족시키기 위해서는 길이가 긴



<그림 18> Schematic View of Milli-Extrusion.

컨테이너를 갖춘 압출장비가 요구되는데 이는 현실적으로 실현이 불가능하다. 따라서 정수압 압출만의 특성을 활용하여 코일형의 빌렛을 이용한다. 향후, 제작된 미세 압출 프레스를 이용한 의료용 극세선 및 초탄성합금 미세 튜브의 압출 실험 연구를 계속함으로써, 미세 압출 기술의 향상이 전망된다.

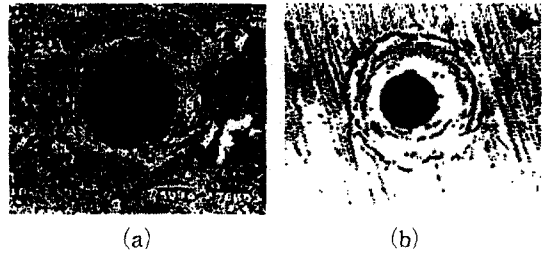
2. 미세 기계 가공 분야¹²⁾

종래의 초정밀 절삭 가공 기술로는 소재의 고품위 가공면을 달성할 수 있지만 선반을 이용한 실제적인 초미세 부품화로의 적용 예는 그다지 많지 않다. 따라서 초정밀 가공기 상에서 단결정 다이아몬드 바이트를 이용한 밀링 가공을 수행하여 3차원 형상의 초정밀 마이크로 부품을 생산하기 위한 관련 연구가 진행 중에 있다.

국내의 경우에는 한국기계연구원에서 직경 50-100 μm 의 마이크로 드릴을 제조할 수 있는 공정 및 평가 기술에 관한 연구를 수행하는 한편, 스테핑 모터를 적용한 전용 가공 시스템을 활용하여 박판에 대한 고세장비의 천공 실험을 수행하고 있다.

<그림 19>는 KIMM과 참여기업이 공동개발한 마이크로 드릴링 시스템을 보여주고 있으며, <그림 20>은 이 시스템을 적용하여 직경 100 μm 및 50 μm 의 마이크로 구멍을 가공한 모습이다.

또한 한국기계연구원에서는 초정밀 경면 절삭 가공기술개발의 일환으로 <그림 21>과 같은 초정밀 경면 가공기를 개발하였으며, 각종 재료 및 제

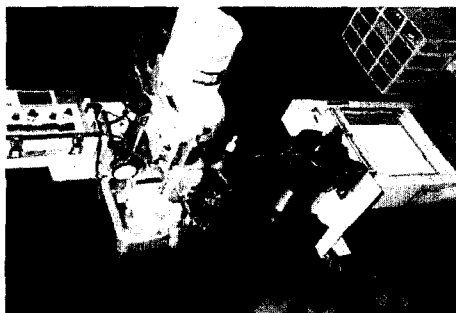


<그림 20> Drilling Example: (a) Diameter 100 μm ; (b) Diameter 50 μm .

품형상의 경면 가공기술개발에 대한 연구를 수행하였다. 개발된 초정밀 경면 가공기를 이용하여 0.3mm 피치의 미세한 그루브를 가진 프레넬 렌즈 금형을 가공하였으며, 이때 미세 인선 다이아몬드 공구의 날끝 반경은 10 μm 및 1.5 μm 로 하였다.

이와 더불어 최근 한국기계연구원에서는 차세대 신기술개발 사업의 일환으로 초소형 부품 즉, Milli-Structure용의 미세 부품 개발하기 위한 미세 금형 가공 기술에 대한 연구를 진행하고 있다.¹²⁾

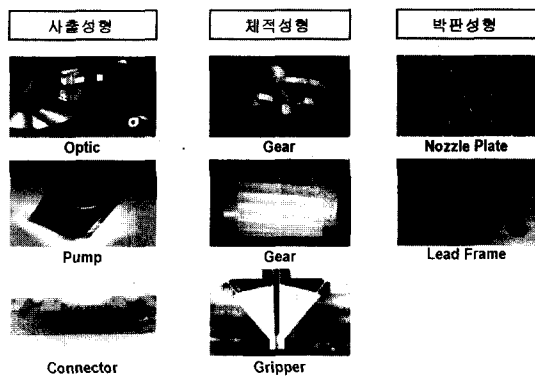
제품의 크기는 수 mm 이하이면서 형상정밀도는 1미크론 이하의 초미세 정밀부품을 대상으로 하여 현재 범용의 미세 가공 기술보다는 한 단계 작으면서 MEMS에 의한 것보다는 조금 큰 치수로서 기계적인 강도를 가지는 크기의 부품 혹은 금형을 가공할 수 있는 새로운 가공기술을 구현하고자 한다. 따라서, 기존의 공정을 개선하여 극미세 가공 기술을 개발함과 동시에 새로운 가공



<그림 19> Micro-Drilling System.



<그림 21> Ultra Precision Machine. (KIMM)



〈그림 22〉 Examples of Micro-Machining.

메카니즘에 의한 가공 공정의 개발도 검토하고 있다.

가공기술의 종류는 절연삭, 미세 방전 및 전해 가공, 초음파가공, 레이저가공, 미세 드릴링 및 밀링기술을 비롯하여 기계화학적 복합가공 등이 있으며, 평면, 구멍, 그루브, Cavity 등의 미세 금형 형상 가공의 단위 공정 기술을 개발한다.

가공기로는 기존의 초정밀 가공기를 활용하여 〈그림 22〉와 같은 대표적인 미세 부품의 성형에 응용할 수 있는 기존의 미세 절연삭가공, 방전가공, 전해가공과 새로운 화학 기계적인 방법에 의한 미세제거기술을 개발하며, 금형의 경면가공을 위하여 전기점성 유체에 의한 연마기술을 개발할 예정이며, 제거가공에 의한 가공 이외에 적층에 의한 금형제작기술도 개발할 예정이다.

V. 결 론

제품의 경박단소화 및 고직접화 추세에 따라서, 부품의 크기를 작게 만드는 것이 핵심 기술로 대두되고 있다. 본 논문에서는 기술 선진국들의 미세 성형 기술 개발 상황을 분석하고, 국내의 연구 동향을 정리해 보았다. 특히, 미세 구조 부품의 성형에 적합한 Milli-Structure 생산 기술의 분야 가운데에서, 미세 소성 성형과 미세 기계 가공에 관한 국내 연구 개발 상황을 알아 보았다.

Milli-Structure 생산 기술은 실리콘을 소재로 하는 MEMS 기술과 더불어, 금속 재료와 플라스틱 등의 재료의 미세 성형에 적용될 수 있어서, 현재는 기술 개발 정도가 선진국에 미치지 못하고 있지만 그 연구의 진척이 국내의 침체된 제조업계에 큰 활력을 불어넣을 수 있는 분야라고 판단된다. 미세 기계 가공 분야는 공구의 개발, 각종 재료에 대한 대응 등으로 광, 전자, 기계산업의 요구에 따른 기능성 부품 및 마이크로 금형등에 대한 정밀 가공에 크게 이바지할 것으로 예상되며, 특히 미세 소성 가공 분야는 소성가공방식이 지니는 대량생산의 장점을 유지할 수 있어서 그 활용이 크게 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Kubota, "Trends in Fine Mechanism Products", Toshiba Review, Vol. 51, No. 7
- [2] 조남선 외, "Milli-Structure 생산기술개발", 1차년도 보고서, 산업자원부, 8월, 2000
- [3] I. Aoki, T. Takahashi, H. Ueno and T. Higuchi, "Development of Three-Dimensional Microcomponent Forming Press Machine", J. of the JSTP, Vol. 37, No. 430, 1996, pp. 1199-1206
- [4] K. Kuroda, K. Nakasuji, Y. Imamura and C. Hayashi, "Development of Features of Super Micro Mill", J. of JSTP, Vol. 38, No. 440. 1997, pp. 834-838
- [5] M. Saito, "Micro-spinning Technology for Tubular Products", Proc. The 5th Int. Conference on Technology of Plasticity, Vol. 2, October, 1996, pp. 553-556
- [6] Y. Saotome, "Microforming and Fabrication of Micromachines with Amor-

phous Alloys”, Proc. The 3rd Int. Micro machine Symposium, October, 1997

- [7] Y. Yamagata, “Three Dimensional Micro Fabrication by Precision Cutting Technique”, Riken Symposium, Vol. 5, pp. 48-51, 1999
- [8] Y. Takeuchi, M. Nishie, K. Sawada and T. Sata, “Machining of Micro Parts by Ultra-precision Milling Machine”, JSPE, Vol. 62, No. 8, 1996
- [9] M. Mehregany and Y. C. Tai, “Surface Micromachined Mechanics and Micromotors”, J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 1, No. 2, pp. 73-85, June, 1991
- [10] 오수익 외, “미세박판성형기술개발”, 1차년도 보고서, 산업자원부, 8월, 2000
- [11] 나경환 외, “미세체적성형기술개발”, 1차년도 보고서, 산업자원부, 8월, 2000
- [12] 이용숙 외, “미세금형가공기술개발”, 1차년도 보고서, 산업자원부, 8월, 2000

저자 소개



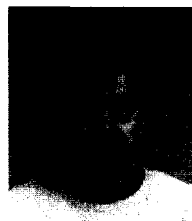
羅璟煥

1957년 10월 2일생, 1980년 2월 한양대학교 기계공학 학사, 1982년 2월 한국과학기술원 생산공학 석사, 1989년 2월 한국과학기술원 생산공학 박사, 1982년 3월 ~1983년 8월 : 과학기술부 기계 사무관, 1983년 8월~1989년 10월 KIST, 선임연구원, 1994년 1월~1995년 1월 일본기계기술연구소 객원연구원, 1999년 1월~현재 : 한국소성가공학회 단조분과위원장, 1989년 11월~현재 : 한국생산기술연구원 수석연구원, <주관심 분야 : 미세 성형, 점진 성형, 시스템 통합, 소성 가공 및 설계>



趙南宣

1948년 9월 24일생, 1976년 2월 고려대학교 기계공학 학사, 1980년 2월 한국과학기술원 생산공학 석사, 1983년 2월 한국과학기술원 생산공학 박사, 1976년 6월~1978년 8월 : 국방과학원, 1983년 9월~1989년 12월 : KIST 책임연구원, 1989년 12월~현재 : 한국생산기술연구원 수석연구원, <주관심 분야 : 미세 성형, 소성 가공 및 설계, 청정 생산 시스템>



朴勳載

1962년 3월 28일생, 1985년 2월 연세대학교 기계공학 학사, 1987년 2월 한국과학기술원 생산공학 석사, 1997년 2월 한국과학기술원 생산공학 박사, 1987년 3월 ~1990년 2월 : KIST 연구원, 1990년 3월~1994년 2월 : 한국생산기술연구원 연구원, 1994년 3월~현재 : 한국생산기술연구원 선임연구원, <주관심 분야 : 미세 성형, 정수압 압출, 점진 성형>



吳洙益

1945년 5월 1일생, 1968년 2월 서울대학교 기계공학 학사, 1970년 2월 서울대학교 기계공학 석사, 1976년 3월 Univ. of California, Berkeley 기계공학 박사, 1968년 3월~1972년 2월 : KIST, Metal Forming Lab. 연구원, 1972년 1월~1976년 3월 : Univ. of California, Berkeley, 기계공학과, research assistant, 1976년 4월~1979년 3월 : Univ. of California, Berkeley, 기계공학과, research engineer, 1979년 4월~1991년 10월 : Battelle Columbus Division, Columbus, Ohio. Research Leader (1986-1991), Senior Research Scientist (1984~1986), Principal Research Scientist (1982~1984), Research Scientist (1979~1982), 1985년 7월~1992년 6월 : Ohio state University, adjunct professor, 1991년 10월~1992년 8월 : Scientific Forming Technology Co, 사장, 1997년 3월~1998년 2월 : 한국소성가공학회, 회장, 1992년 3월~현재 : 서울대학교, 기계설계학과 교수, <주관심 분야 : 소성가공, 유한요소해석, 미세성형기술>



李應淑

1958년 2월 27일생, 1980년 2월 서울대학교 기계설계학 학사, 1982년 2년 서울대학교 기계설계학 석사, 1997년 2년 한국과학기술원 기계공학 박사, 1982년 3월~2001년 현재 : 한국기계연구원 자동화연구부 정밀 가공그룹, <주관심 분야 : 초정밀가공, 초미세가공, CMP>