

마이크로머시닝 기술



이 응 속

(KIMM 자동화연구부)

- '80 서울대학교 기계설계학과(학사)
- '82 서울대학교 대학원 기계설계학과(석사)
- '82-현재 한국기계연구원 선임연구원



이 성 국

(KIMM 자동화연구부)

- '83.2 아주대학교 기계공학과(학사)
- '85.8 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '85.9-현재 한국기계연구원 선임연구원



황 경 현

(KIMM 자동화연구부)

- '76 서울대학교 기계공학과(학사)
- '78 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '86 Ohio State Univ 응용역학(박사)
- '79-현재 한국기계연구원 책임연구원

1. Micro Machining이란?

지금까지의 산업기술의 발달은 대규모 플랜트의 개발, 대형 기계의 개발등 거대화를 추구해왔다. 그러나, 최근 환경에 대한 의식이 달라지면서 에너지의 소비를 줄이고 공간을 작게 차지하면서 고기능을 갖춘 기계에 대한 필요성이 증대하여 미세화(micronization, microminiaturation)에 대한 연구가 폭 넓게 이루어지고 있다. 이와같이 크기가 micrometer에서 sub-millimeter 단위의 미소부품으로 구성된 고기능의 기계시스템을 마이크로머신(Micro Machine)이라고 하며, 이 용어가 상당히 일반화되어 사용되고 있는 실정이다. 마이크로머신 기술은 머신을 마이크로 환경에 적합시키는 기술의 집합체라 할 수 있으며, 그 요소기술로서는 기반기술, 기능요소기술(장치화기술) 및 시스템화 기술로 나눌 수 있다.

기반기술은 마이크로머신을 제작하기위한 기초적인 요소기술 및 이공학(마이크로이공학), 가공기술, 조립기술, 재료기술, 설계기술, 계측평가기술 등이 포함된다. 장치화기술은 마이크로머신 시스템이 필요로 하는 각종 기능 디바이스의 작동원리 및 구조의 구체화에 관한 기술로서 구동 디바이스기술, 에너지 디바이스기술, 센서 디바이스기술, 전자 디바이스기술로서 구성된다. 시스템화기술은 마이크로 시스템의 구축 및 운용에 관한 기술의 집합으로 복합화기술(인터페이스기술, 인터그레이션기술), 통신, 계측기술등으로 구성된다.

그러나 이와같은 기술분류는 재래기술의 틀로부터 구성한 것으로 각 요소기술의 역할분담은

아직 확실히 되어 있지 않다. 예를들어 가공기술(기반기술)의 하나인 반도체 제조공정 응용기술은 원료가스로부터 박막상의 재료를 만드는 공정 및 회생층 에칭과 간단한 조립과정이 모여서 하나의 기술을 구성하므로 가공, 재료 및 조립이 일체화된 기술이다. 이처럼 여러가지 종류의 요소기술이 일체화 되거나 재구성 되는 경우는 앞으로의 연구개발과정에서 많이 나올 것으로 예상된다.

이와같이 마이크로 머신의 개발에는 이를 구성하기 위한 미세부품을 제작하는 기술이 필요하며, 이러한 미세가공기술을 통틀어 Micro Machining Technology라고 할 수 있다. 일반적으로 마이크로 부품의 가공 및 마이크로 시스템의 제작에는 반도체 공정기술을 응용한 방법이 주로 연구되어

왔다. 이 기술은 마스크 패턴의 전사에 의한 가공 기술이기 때문에 매우 미세한 가공이 가능하고, 대량생산가능, 가공과 조립이 동시에 진행되는 등의 우수한 특징이 있다. 그러나, 미세부품의 치수가 조금 큰 경우에는 가공하기 힘들고 제작된 부품의 구조가 평면적으로 한정되어 3차원 형상부품의 가공에는 적용이 어렵다.

표1은 마이크로 머신의 가공에 알맞은 여러가지 미세가공법의 종류와 특징을 나타낸다. 이러한 가공법에 대해 가공치수와 가공단위의 정리해보면 그림 1과 같이 마이크로 머신의 부품 치수에 따라 Sub-millimeter System(1mm~100 μ m), Micrometer System(100 μ m~1 μ m), Nano-meter System(1 μ m이하)로 나눌 수 있다.

표 1. 미세가공법의 종류

가 공 법	개 요 및 주요특징
반도체 프로세스	<ul style="list-style-type: none"> • 광 리소그래피와 에칭/포텐셜을 조합한 가공법 • Sub-assembly와 Batch 처리에 의한 양산이 가능 • 분해능 소, 가공속도 소, 피삭재 : 단결정 실리콘 • 문제점 : 3차원적 구조물의 제작
LIGA 프로세스	<ul style="list-style-type: none"> • Deep X-Ray Lithography, 전기도금, Mold를 조합한 가공법 • 고 Aspect ratio의 부품제작, 금형에 의한 대량생산가능 • 분해능 소, 가공속도 소, 피삭재 : X선 Resist • 문제점 : X 선 발생장치가 거대
비임 가공	<ul style="list-style-type: none"> • 레이저, 전자, 이온등의 Beam에 의한 직접 혹은 어시스트 가공 • Maskless로 가공, 3차원형상으로 가공가능
방전가공	<ul style="list-style-type: none"> • 와이어 방전연삭과 型彫방전가공을 조합한 가공법 • 금속재료를 자유로이 3차원 형상으로 가공가능 • 분해능 中, 가공속도 中~小, 피삭재 : 금속일반 • 문제점 : 비전도성재료의 가공, 표면조도
광 조형	<ul style="list-style-type: none"> • 레이저 빔을 이용하여 광경화수지를 국소적으로 고체화시키는 성형법 • 임의의 3차원 형상 제작, 양산이 가능 • 분해능 中, 가공속도 中, 피삭재 : 광경화성수지 • 문제점 : 표면조도
사출 성형	<ul style="list-style-type: none"> • 열경화수지, 분체 혼입 수지등을 금형에 주입, 고체화시키는 성형법 • 3차원형상의 제작, 대량생산이 가능
기계 가공	<ul style="list-style-type: none"> • 공구에 의해 기계적으로 제거하는 가공법 • 임의의 3차원 형상으로 제작 가능 • 분해능 中~小, 가공속도 大~中, 피삭재 : 모든 금속, 플라스틱, 세라믹등 • 문제점 : 가공력, 미세가공공구
기 타	<ul style="list-style-type: none"> • 전해 가공법, 이온주입, STM가공법 등

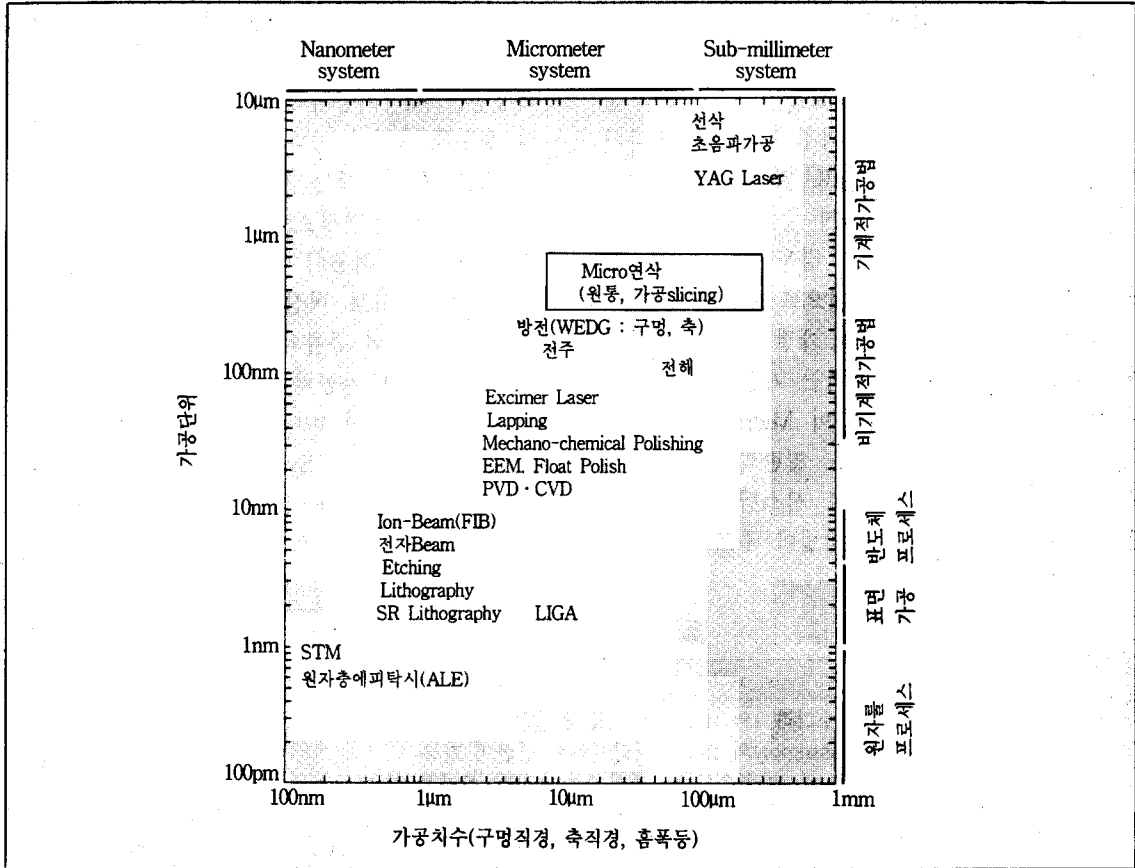


그림 1. 마이크로 머시닝의 체계도[1]

따라서 여기서는 마이크로 머신의 실현을 위한 미소 3차원 형상의 생성방법으로서, 일반적인 가공기술을 연장하여 어디까지 가공가능한지와 새로운 가공기술은 어느 정도 사용가능한지를 명확히 하기위해, 개개의 가공법을 “3차원 미세 형상의 생성”이라는 관점에서 외국의 연구사례를 정리해본다.

2. 3차원 미세 형상 가공기술의 종류와 원리

최근의 3차원 형상가공기술의 연구테마는 초정밀화와 가공물의 미세화이다. 초정밀화는 긴 역사를 가진 절삭, 연삭가공을 중심으로 가공공정의

해명과 재료, 기기 및 공구의 개발등이 적극적으로 이루어졌으며, 가공 프로세스도 취성재료의 절삭, 가공 복합화등 새로운 분야의 연구가 이루어지고 있다.

이와 더불어 각종 제품의 소형화가 진행되어 이의 대표적인 예가 마이크로 머신 기술이다. 마이크로 머신의 미세한 부품의 가공 제작은 대부분 포토리소그라피와 에칭 기술을 기본으로 한 LSI 제작기술을 기초로 하고 있다. 이 방법은 현재까지 많은 기술의 축적에 의해 매우 미세한 형상을 형성할 수 있게 되었고, 마이크로 메카니즘에 구동회로 및 센서회로등의 전자회로등을 동시에 만들어 넣을 수 있는 잇점이 있다. 그러나 이 방법은 2차원적 구조물 이외의 가공은 어렵고 가공깊이에 한계가 있으므로 마이크로 머신에 필요

한 3차원적인 미소구조물의 제작에는 X선 리소그라피, 방전가공, 광조형법 등 새로운 방법이 연구되고 있다.

이와같은 새로운 공정을 포함한 가공기술체계를 표 2와 같이 가공전후의 체적변화로 분류하면 제거가공(체적감소), 부가가공(체적증가), 소성가공, 반응가공(체적불변) 등으로 나눌 수 있다. 이와같은 분류를 바탕으로 각기의 원리와 가공예를 들어 미세가공기술의 체계적인 이해에 도움이 되도록 한다.

2.1. 정밀 절삭에의한 미세 형상 가공

3차원 형상을 자유로이 가공가능한 방법으로서 는 오래전부터 절삭/연삭가공법이 널리 이용된다. 절삭 혹은 연삭가공은 가공력이 커서 미세한 구조물의 가공에는 적합하지 않은 것으로 생각되어 지기 때문에 이러한 방법에 의한 마이크로 가공의 연구에는 혼치않다. 그러나 현재의 정밀절삭, 연삭기술은 정밀운동제어, 계측, 혹은 정밀 가공용 공구의 진보에 의해 서브 마이크론 단위까지 쉽게 가공할 수 있는 수준에 도달하고 있다. 이의 대표적인 예가 단결정 다이아몬드 공구에 의한 반사경 절삭가공기술이다. 표 1에서의 가공법의 비교를 통해서도 알 수 있듯이 정밀 절삭은 비교적 큰 가공속도로 여러가지 재료를 가공할 수 있는 특징이 있는 반면 가공력이 비교적 크다는 점과 미세공구의 제작이 어려운 게 사실이다.

실제 가공예로서는 그림 2와 같이 4자유도 초정밀 가공기에 의한 10 μ m의 極細軸 및 20 μ m 피치의 나사등 여러가지가 있다.[2]

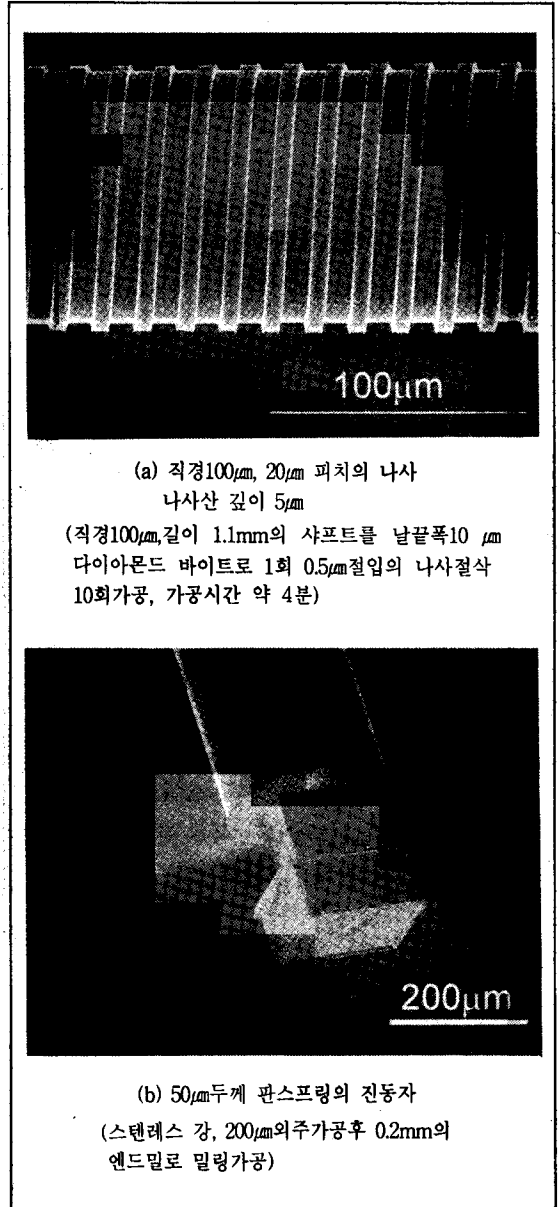


그림 2. 미세 절삭에 의한 가공물의 확대도[2]

표 2. 가공기술의 분류

제거가공 (체적감소)	절삭 연삭가공, 레이저가공, 전자빔가공, 집속빔가공, 방전가공, 전해가공, 에칭, 미생물 이용가공
부가가공(체적증가)	도금, 스퍼터링, 광조형법
소성가공, 반응가공 (체적불변)	마이크로 소성가공, 리소그라피(광, 전자선등)

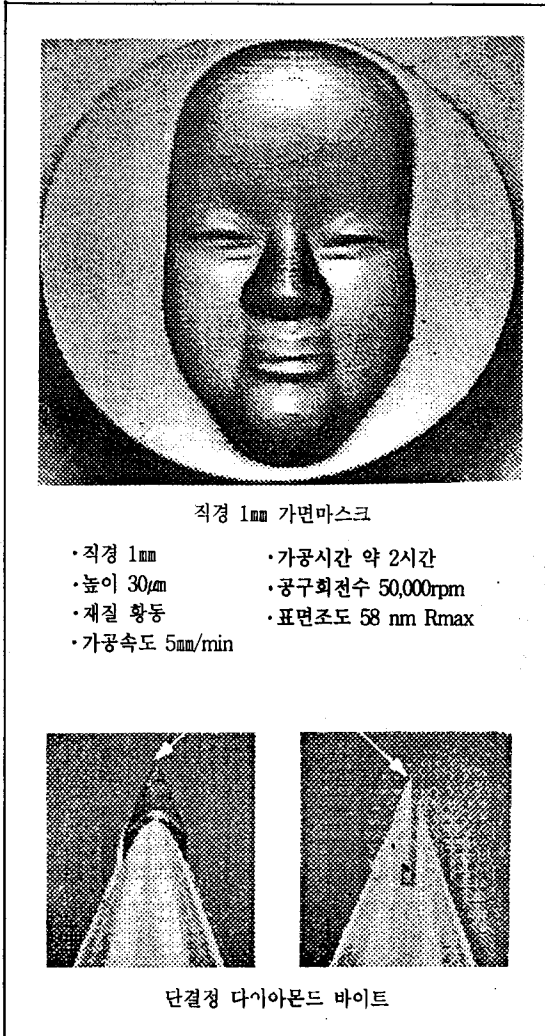


그림 3. 다이아몬드 엔드밀에 의한 3차원 곡면가공예(FANUC LTD.)

그림 3은 정밀 공구 칩, 다이아몬드 Cutting Edge Offset, 경사각의 개선등의 연구결과로 3차원자유곡면의 가공예로서 직경 1mm 의 가면 마스크의 경면가공을 한 예이다 [3].

절삭가공은 가공의 자유도가 높고 여러가지의 재료의 가공이 가능하므로 미세형상의 가공에 유리하나, 에칭이나 방전가공에 비하면 가공력이 크고, 고정밀도의 가공기 및 미세공구의 제작이 힘들고 가공된 미세부품의 조립 수단이 필요하게 된다. 앞으로 보다 미세한 부품의 고능률가공을

위해서는 가공력의 정확한 예측에 의해 공구, 가공기, 가공방법의 검토가 필요할 것으로 생각되며 마이크로 액츄에이터, 센서등의 제작에는 전자회로가 필수적이므로 실리콘 기판상에 전자회로와 기계부품을 동시에 가공하는 방법도 고려해야 한다.

2.2. 연삭에의한 미세 형상 가공

마이크로머신은 실제 움직임이며, 힘을 전달하거나 힘을 받는 기능이 필요하므로 각 부품들은 이러한 힘을 견디기 위한 일정의 강도와 강성을 가져야 한다. 따라서, 그림 1의 서브 밀리미터 부품의 가공에는 절삭, 연삭등의 기계가공법에 의해 충분히 대응가능하다. 특히, 연삭가공법은 가공정밀도 및 표면거칠기가 양호하고 3차원 형상부품의 가공이 비교적 용이하다. 또한, 방전가공이 적용하기어려운 세라믹과 고분자재료등 비전도성재료뿐만아니라 절삭가공이 힘든 초경합금등의 고경도재료의 가공이 가능하므로 재료의 선택폭을 넓힐 수 있다.

한편, 기계 가공법은 전기 화학적 가공법과는 달리 가공에 따른 힘이 작용하므로 가공력에 의해 공작물이 변형, 파괴되는 문제가 발생한다. 그러나 연삭가공은 다수의 스톨입자에 의한 미세 절삭가공이므로 가공력을 충분히 줄일 수 있다.

그림 4는 마이크로 연삭에 의한 가공예를 나타낸다[4]. 탁상소형 정밀 선반에 연삭 및 드릴링 어태치먼트를 장착하여 원통연삭이 가능하게 하여, 플런지 및 트레이스 연삭에 의해 직경 1mm, 길이 50mm의 봉재를 원통형상으로 가공한다. 그림 4(a)는 고속도강을 직경 50 μ m, 길이3mm, 세장비(Aspect ratio) 60으로 가공한 모양이며, 가공가능한 최소 크기는 고속도강의 경우 직경 20 μ m, 길이1.2mm, 초경합금의 경우 직경 25 μ m, 길이0.27mm이다.

그림 4(b)는 기어형상 부품의 가공예로서 축의 직경 200 μ m, 이끝원 직경 500 μ m, 길이4mm이다. 재료는 초경합금이고, 축부의 표면조도는 0.046 μ mRa, 기어부는 0.049 μ mRa이다.

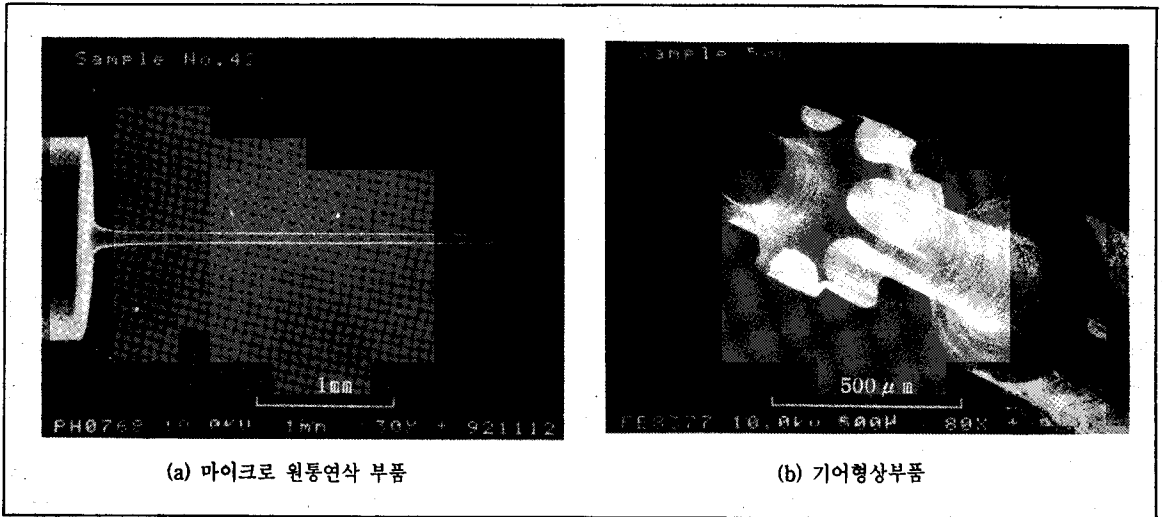


그림 4. 마이크로 연삭가공례(일본 기계기술연구소)

한편, 기계가공은 공작물에 공구의 형상을 전사시키는 원리에 의해 가공이 되므로 여하히 미세형상 가공에 적합한 마이크로 연삭용 다이아몬드 슷들, CBN스�들을 성형하느냐가 문제이며, 절삭가공에서와 마찬가지로 미세가공에 적합한 미세 절입, 이송기능 및 가공력 검출, 접촉확인과 제어가 가능한 기계의 개발이 이루어져야한다.

2.3 미세방전가공에의한 형상 가공

방전가공은 절연액중에서 가공전극(Tool)과 공작물사이에 전압을 가하여 방전불꽃을 일으켜 공작물의 전극에 가까운 부분을 용융비산시켜 제거한다. 공작물의 용융에 의해 간극이 넓어진 만큼 전극을 이송시키며 이와같은 작업의 반복에 의해 최종적으로 가공전극의 형상이 공작물에 전사되어 가공이 이루어지게 된다. 미세방전가공도 같은 원리로서 방전회로의 개선으로 일반적인 경우의 1/100정도, 즉 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{J}$ 까지 방전에너지를 줄여 Sub-micron의 표면조도와 마이크론 단위의 가공정밀도를 달성하고 있다.

마이크로 방전가공의 특징은 가공전극 및 공작물에 걸리는 힘이 작기때문에 가늘거나 얇은 공작물의 가공에도 적용가능하며, 도전성이 좋은 재

료라면 기계적인 경도에 관계없이 가공가능하다. 금속은 물론 소결체 다이아몬드와 같이 결합제라도전성을 가진 것은 가능하고 비저항에 따라 가공의 용이함은 다르지만 실리콘등의 반도체 재료도 가공가능하다. 또한, 방전에너지를 줄임으로서 표면조도 $0.1\mu\text{m}$ 이하의 면을 얻을 수 있다.

통상의 방전가공과 비교하여 마이크로 방전가공에서는 1회의 방전가공에서의 제거량을 최소로 줄여야 하며 이에따라 방전에너지도 줄이지 않으면 안된다. 그러나, 통상의 공작물과 전극은 종류수 혹은 케로신등의 절연성의 액체속에 담겨져 있으므로, 방전불꽃이 튀도록 절연과피를 일으킬 수 있을 정도의 전압은 유지해야 하므로 펄스가 작은 ($1\text{ns} \sim 1\mu\text{m}$) 방전전류를 이용한다. 현재의 반도체에 의한 펄스기술에서는 이 조건을 실현하기 힘들기 때문에 콘덴서의 충방전을 이용한다. 이와같은 회로에서는 충전회로중의 콘덴서 용량의외에 부유용량이 존재한다. 방전에너지를 미소화하는 데는 부유용량을 줄이는 것이 요구되므로 마이크로 방전가공기에는 부유용량을 줄이기위해 금속부품의 사용을 줄이고 세라믹을 많이 사용하고 있다.

마이크로 방전가공의 예는 미소폭의 슬릿가공, 기어금형의 가공, 실리콘의 가공등 여러가지 가공

에 이용된다[5]. 또한, 극저속으로 가이드를 따라 주행하는 금속 와이어를 전극으로 하여 공작물의 회전과 Z축방향 이송으로 가공형상을 생성하는 WEDG(Wire Electro-Discharge Grinding) 가공법이 동경대학에서 개발되었다. WEDG에서는 주행 와이어를 사용하기 때문에 와이어 축의 소모는 무시가능하므로 직경방향에 대하여 고정밀도의 가공이 가능하며 방전영역이 와이어 부분에 한정되므로 가는 직경의 기다란 공작물 가공에 적합하며, NC 제어에 의해 복잡형상의 가공도 가능하다. 그림 5는 WEDG로 가공한 마이크로 핀과 주사바늘이다[6].

앞에서의 WEDG 가공으로 만든 미세 축을 공구로 사용하면 미세 구멍의 가공이 가능하다. 마쓰시다 기술연구소에서 개발한 방전가공기로는 직경 5~300 μm 의 구멍(직경의 3~5배깊이)을 진원도 0.5 μm , 표면조도0.1 μm 의 정밀도로 가공가능하다. 미세구멍의 응용에는 잉크젯트 프린터용 노즐, 유량제어용 오리피스, X선 측정용 핀홀등이다.

미세구멍가공의 증첩에 의해 슬릿 가공이 가능하고, 미세전극을 밀링에서 엔드 밀처럼 사용하면

3차원 형상의 가공도 가능해진다. 또한, 펀치 및 다이의 제작에도 응용되어 미세 프레스가공도 시도되고 있다.

2.4. 에칭에 의한 미세 3차원 구조의 가공 (반도체 제조공정의 응용)

에칭가공은 피가공물의 표면을 화학적, 물리적으로 제거하는 가공이다. 포토리소그래피를 응용하면 미세한 마스크 패턴을 형성가능하므로 미세 가공에 적용가능하다. 특히 경도가 높거나 깨지기 쉬운 재료의 가공이 가능하고 가공 변질층이 거의 없다. 반도체 공정기술의 발달에 따라 고집적 회로의 개발과 더불어 미세화된 경우로서 IC Process(Si process)라고도 불려진다. 이는 단결정 실리콘의 기판상에 전자회로를 집적하는 방법으로서 개발된 기술이다. 단, 3차원 구조체로 가공하는 데는 본질적으로 많은 제약이 있다.

그러나, 최근 실리콘과 그 화합물을 가공대상으로 한 마이크로 머시닝기술의 진보에 의해 실리콘 기판상에 복잡한 3차원 형상의 가공이 시도되고

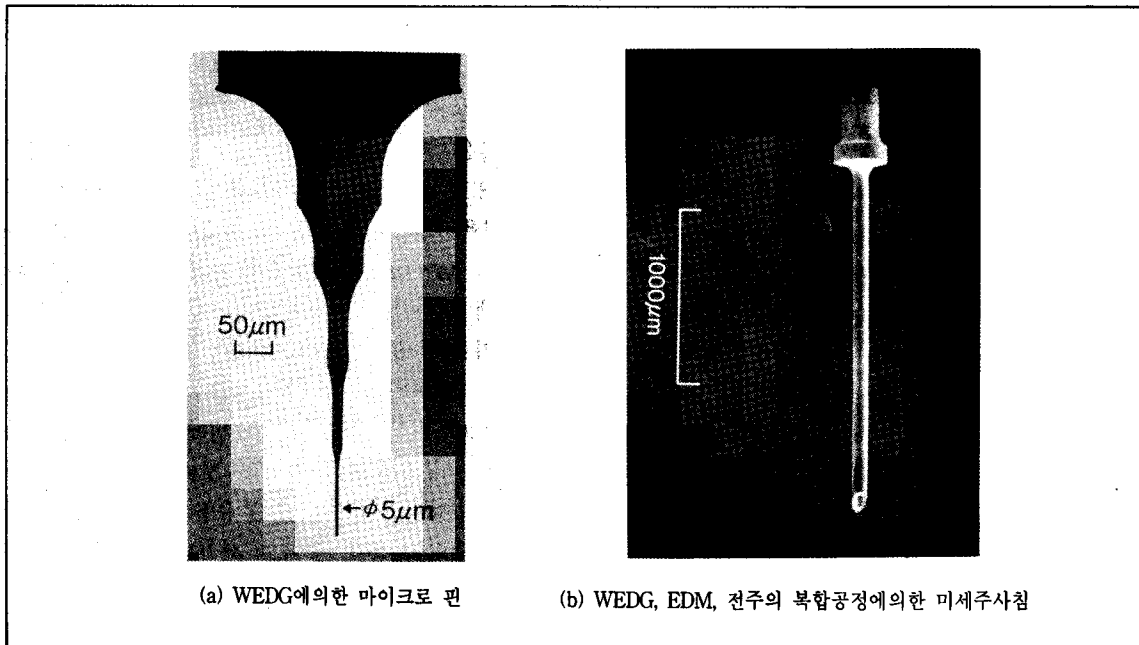


그림 5. WEDG에 의한 가공예(동경대학교 생산기술연구소 Masuzawa Lab.)

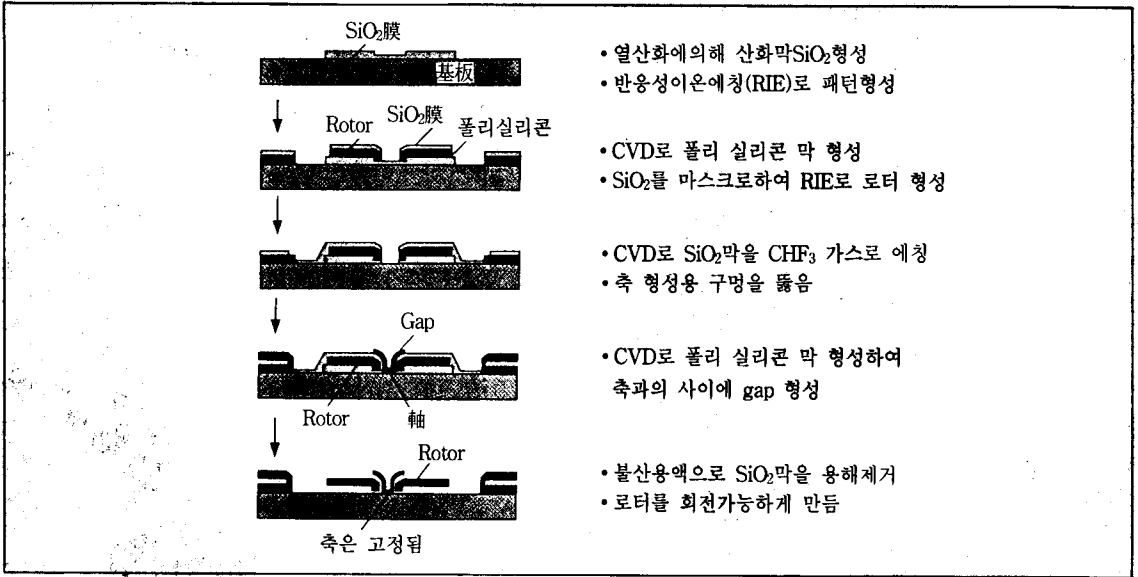


그림 6. Si Process에 의한 기구제작 수순의 예[8]

있다. 이 기술은 압전센서, 가속도센서의 기계구조 분야를 마이크로화하는 기술로서 이용되고 마이크로 모터의 제작에도 이용되었다. 3차원구조의 가공에는 크게 나누어 에칭 특성에만 의존하여 형상을 만드는 방법, 에칭과 포텐셜을 조합한 방법, 복합적인 가공에 의한 3차원형상을 만드는 방법등이 있다[7].

마이크로 머신의 제작에 이용되는 반도체 공정의 기본적인 수순을 로터와 베어링으로 구성되는 기구의 제작을 예로들면 그림 6과 같다.(이 그림에서 레지스트 처리공정의 설명은 생략되었음) 이 방법으로 제작된 부품은 평면도형을 투영한 방식이기 때문에 조립된 기구는 완전한 3차원 구조라기보다는 "2.5차원의 구조"라고 하기도 한다.

Si-process에 의한 기구요소의 제작은 두께 2 μ m 이하의 극히 얇은 부품의 가공에만 적용가능하였고 재료도 실리콘에만 한정되었다. 그 후 파장이 짧은 광(자외선)을 이용하여 두꺼운 레지스트를 고정밀도로 가공하거나 코팅공정의 조합으로 개량한 결과 두꺼운 부품으로 구성된 기구를 다양한 재료로 제작가능하게 되었다.

그림 7은 최근 실리콘 프로세스로 제작한 정전 모터(Electrostatic Micro motor)의 사진이다[9].

로터, 베어링, 고정전극은 니켈이며, 아래의 사진에서 알 수 있듯이 로터와 접촉하는 기판에 다수의 돌기가 형성되어 접촉부에 작용하는 표면력등의 마찰저항을 줄이고자 하였다.

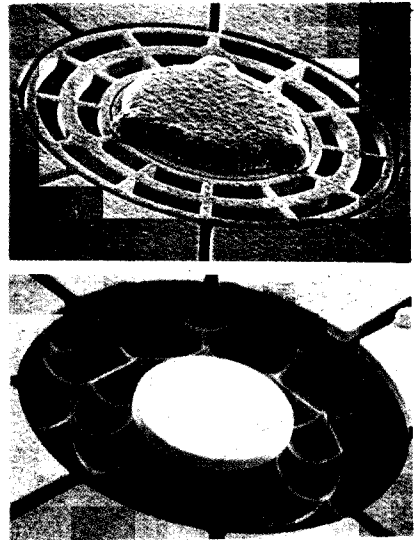


그림 7. 정전기로 움직이는 마이크로 모터(동경대학교 생산기술연구소 Fujita Lab.)
(직경 100 μ m, 두께 7 μ m, 1분간 최고 10,000회전, 아래의 사진은 로터를 제거한 사진)

2.5. 전주 및 전사에 의한 형상가공 (LIGA)

앞에서의 실리콘 프로세스는 미세가공이 가능하며 간단한 조립도 할 수 있으며 반도체 회로와의 복합화가 가능하다는 잇점이 있어 마이크로머신 가공기술의 주역이라고도 할 수 있다. 그러나, 약점으로는 너무 얇고 힘이 없다는 점이다. 모터의 경우를 예를 들자면 직경의 머리털정도이지만 두께는 직경의 1/100정도이므로 비교적 큰 힘에 견디거나 힘을 내기가 힘들다. 또한 모터의 회전부분은 극히 작지만 전원 및 제어회로는 수천배이상으로 크다.

따라서, 이와같은 문제를 해결하는 수단으로 생각할 수 있는 것이 LIGA Process, 미세방전가공, 광조형법, 기계가공등을 들 수 있다.

LIGA(Lithographie Galvanoformung Abformung) Process는 독일의 칼스루에 원자력연구소(KfK)에서 개발된 기술이다. 애초에는 미세한 구조체를 제작하고자한 것이 아니고 방사선 동위원소의 분리용 노즐의 제작을 위해 개발된 기술이다. 이 방법은 싱크로트론 방사광(SR광)의 커다란 설비를 필요로 하므로 어렵고 고급의 첨단기술로 인식되지만 원리는 실리콘 프로세스와 같이 단순하고 기본적으로는 인쇄기술과 동일하다.

두꺼운 구조체를 만들려면 우선 감광성수지(PMMA를 많이 이용)를 수백 마이크론 이상 두껍게 도포하고 빛을 쬐인다. 광원은 밝기(輝度)와指向性을 가져야 하므로 전자를 고속으로 원운동시킬 때 발생하는 방사선(X선)을 이용한다. 이를 현상하면 아주 작으면서도 두꺼운 구조체, 즉 High Aspect Ratio의 미소구조체가 가능하다.

그 다음에 이 구조체의 Replica를 만든다. 점토와 석고가 아닌 전기코팅(전주 Galvanoformung)로 니켈등의 반전Replica를 만든다. 필요에 따라서 이것을 금형으로하여 수지의 사출성형등의 가공(Abformung)을 한다.

LIGA법으로는 High Aspect Ratio의 구조체가 제작가능하다는 점과 실리콘이외의 재료도 가공

가능하다는 잇점이 있으나, 결점으로서 전기 코팅 및 성형기술은 제외하고라도 SR光은 高價인 점이며, 아직 완전한 3차원 형상은 얻을 수 없다는 점이다. 잇점을 최대한 살려 광학소자, 필터, 프린터용 노즐, 가속도 센서등이 실용화 되고 있으며, 그림 8은 LIGA에 의한 마이크로 커넥터 어레이의 모습이며 80 μ m의 피치로 130개의 Pole로 구성되어 있다[10].

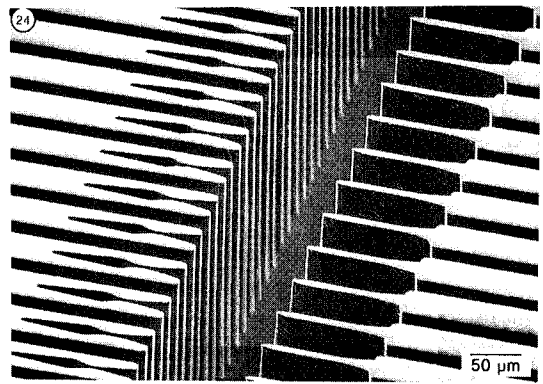


그림 8. Micro Connector Array (Micro Parts 사:독일)
 Process : X-ray lithography, electroplating
 Material : Nickel
 Pitch : 80 μ m, Structural Height : 180 μ m

2.6. 광조형법에 의한 형상가공

빛을 받으면 그 부분이 중합반응을 일으켜 액상에서 고체로 경화하는 감광성수지(광경화 폴리머)를 원료로 하여 여기에 레이저 빔 및 집속광을 쬐여 구조체를 만드는 방법을 광조형법이라고 한다. 이전부터 CAD 모델의 제작등에 응용되어 왔고, 수지를 경화시키기 위한 광원으로는 He-Cd Laser등의 자외선 레이저 및 水銀燈이 사용되는 경우가 많고, 광원으로부터의 빔을 이용하여 수지에 형상을 그리는 방법은 스캐닝에 의해 2차원 형상을 얻은 뒤에, 이를 적층하여 원하는 3차원형상 구조를 형성한다. 이 방법에 의한 빔 주사방법, 수지의 경화과정 및 경화형상의 해석, 적층방법,

제작된 3차원 모델의 형상등에 대해서는 많은 연구개발사례가 보고되고 있다[11].

광조형법으로 제작가능한 최소치수 및 정밀도는 광 빔의 직경 및 固化層의 두께등에 영향을 받지만, 최근에는 100 μm 이하의 구조, 가동부를 가진 구조도 등장하였으며, 액상의 폴리머에 세라믹 및 금속의 분말을 집어넣어 재질의 다양화를 시도하고 있다. 광조형법은 기본적으로 단품생산이므로, 이 방법으로 만든 수지의 구조체를 금형으로 하여 대량생산하고자 하는 시도도 있다.

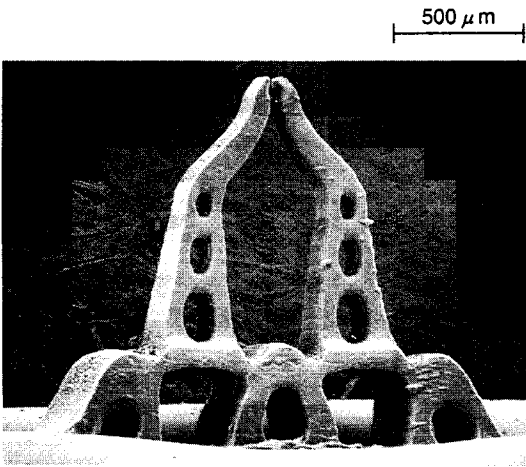


그림 9. 가시광경화성수지와 아르곤 레이저를 이용한 고분해능광조형법으로 만든 Gripper (수직방향의 가공분해능을 10 μm 까지 높여 복잡한 형상을 충실히 가공가능, 기판내에는 압전액츄에이터를 집어넣어 Arm 선단을 개폐가능)[12]

2.7. 집속 빔 가공에의한 형상 가공

광, 전자, 이온등의 가는 에너지 빔을 재료표면에 쬐어 국소적으로 가공하는 방법을 빔가공법이라고 부른다. 넓은 의미로서 방전가공과 광조형가공도 포함되며, 빔의 종류에 따라 분류하는 방법외에 가공원리에 따라 분류하면 에너지 빔에 의해 고체 표면 및 그 근방에서의 화학적 반응을 촉진시키는 방법과 에너지에 의해 표면을 기계적 혹은 열적으로 제거하는 방법으로 나눌 수 있다.

光 빔에 의한 미세가공법으로는 광조형법외에 반응가스(SiH₄)분위기 중에 Si 웨이퍼를 놓고 표면에 레이저 빔을 비추어 국소적으로 실리콘 결정을 성장시켜 미소구조체를 만드는 방법도 있다. 또한, 엑시머 레이저를 이용한 재료가공은 저온 프로세스로서 다른 레이저에 비해 열변형이 거의 없고 밴드 폭이 좁아 정밀 가공에 적합하다. 국내에서도 엑시머 레이저를 이용한 미세 가공의 연구가 이루어져 10 μm 의 슬릿 가공이 가능하다.

전자빔에 의한 가공법으로는 미세가공법으로 극히 작은 전자총을 제작하여 이 전자총에서 나오는 전자빔으로 3차원 미세 구조체를 가공하는 연구도 진행되고 있다.

이온빔에 의한 가공에는 FIB(집속이온빔)가 많이 이용되고, 여러가지 원자의 이온빔을 발사하여 재료의 성질을 국부적으로 바꾸는 연구도 진행되고 있다[13].

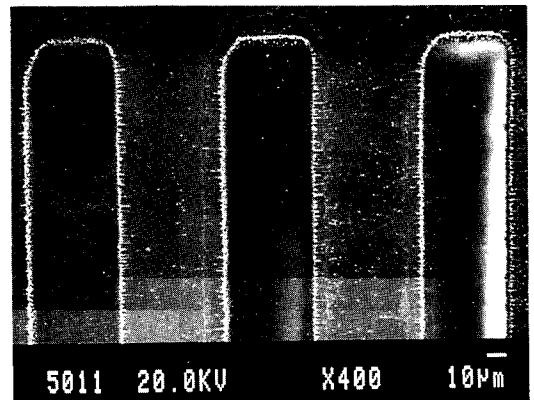


그림 10. 엑시머레이저이용 슬릿가공(한국기계연구원 가공기술그룹)

3. 예상활용분야

마이크로머신의 개발에 관한 연구는 세계각지에서 MEMS, MST등 각기 다른 말로 표현하면서도 활발히 실용화를 위한 연구가 이루어지고 있다. 마이크로 머신이란 말은 일본에서 사용하기 시작한 말인 만큼 일본에서의 이 분야의 연구는

반도체 제작기술을 바탕으로한 구미와는 달리 기계전자기술을 기초로하여 실제 움직일 수 있는 초소형 기계의 제작을 목표로 열심히 움직이고 있다. 따라서, 마이크로 머시닝의 실제 활용 가능한 분야를 살펴보기위해 일본의 경우를 예로들어 본다.

일본 통상산업성공업기술원 산업과학기술개발제도 프로젝트 "마이크로머신 기술의 연구개발"은平成3년(1991년)에 시작하여, 금년으로 5년제에 들어섰다. 프로젝트 연구개발의 대상으로서는 (1)발전플랜트의 보수, 수리 (2)생체의 진단 치료, (3) 생산설비의 소형화를 들수 있다.

예를 들면, 플랜트 메인テナンス 분야에서는, 재래의 기술로는 곤란한 복잡한 그리고 좁은 배관등의 내외검사, 보수작업을 협소한 부분을 이동하면서 자율적으로 고도의 작업을 수행하는 미소기계요소로 구성되는 고기능 유지보수 시스템등으로 가능하게 되고 위험한 작업공간에서의 인간의 작업을 대신하게된다.

의료복지 분야에서는 마이크로머신 기술에 의한 Catheter등의 개발이 고도진단, 치료시스템을 실현하고, 검사 치료에 있어서 인체의 손상을 줄여 수술후 치료기간의 단축 및 의료비 감소를 가져올 수 있다.

한편, Micro Factory분야에서는 가공 조립 검사 기기의 마이크로화에 의해 에너지 소비를 극히 줄일 수 있고, 자원과 공간을 절약할 수 있는 생산 시스템을 실현한다.

이와같이 본 프로젝트의 추진에 의해 실현하는 마이크로머신 기술의 체계화는 기계 시스템등의 초소형, 고기능화를 통해 에너지 및 자원절약의 사회요구에 맞는 산업구조 및 사회 생활의 실현에 크게 공헌할 것으로 예상하고 있다.

제1기의 프로젝트 연구개발의 개요는 다음과 같다[14].

3.1 발전시설용 고기능 메인テナンス 기술개발

대형발전시설에서는, 안전과 유지보수비의 경비

절감을 위해, 열교환기 및 배관계 등을 분해하지 않고 복잡하고 좁은 곳에서의 이상부분의 진단 및 보수가 가능한 고기능 유지보수 시스템의 요구가 높아지고 있다. 따라서, 본 프로젝트에서는 발전 플랜트등의 복잡한 기기내의 협소부대를 이동하면서, 자율적으로 고도의 작업을 수행하는 미소기능요소로 구성되는 기계(마이크로 머신)시스템을 실현하기 위한 기술의 확립을 최종목표로 하며, 제 1기 계획의 5년에서는 마이크로 머신의 기본적 구성 요소에 관한 기술의 확립을 목표로 센서, 액츄에이터등의 미소요소기술, 에너지 공급 기술, 시스템화기술 및 토탈 시스템기술의 연구개발을 한다.

3.2 마이크로 팩토리 기술개발

본 과제는 생산대상물의 크기에 맞춘 새로운 생산시스템의 개념구축과 그의 유용성을 실증하기 위한 기술확립을 목적으로한다.

현재의 생산/제조 시스템은 가공·조립의 위치정밀도를 높이기위해 매뉴플레이터 및 이를 지지하는 구조물을 대형화함에 의해 강성을 높이고 자중 및 가공력에 의한 변형에 대응하고 있다. 이는 조그만 생산 시스템을 만들기 위해 필요한 마이크로 레벨의 요소기술(액츄에이터, 센서등) 및 요소를 만들기 위한 주변기술(초미세가공, 적층화 기술)이 없기 때문이다. 그 결과 특히 소형의 공업제품의 경우 생산대상물(부품)에 대한 생산 시스템이 상대적으로 너무 크게되어 에너지, 공간, 경비의 면에서 낭비가 크다. 예를들면, 시계 카메라등의 소형정밀기계는 다수의 밀리 레벨의 부품에 의해 구성되지만 이러한 정밀도를 확보하기 위해 상당히 큰 Meter 단위의 공작기계에 의해 만들어지고 있다. 이로인해 1g의 시계부품을 40cm반송하는 데 필요한 일량은 논리적으로 4mJ임에 비해 실제의 반송로봇은 75J을 소비하므로 이상적인 에너지의 2만배를 사용하는 문제가 있다. 따라서, 에너지, 자원, 스페이스의 절약 관점에서 매우 효율적인 소형부품의 크기에 맞는 생산

시스템(Micro Factory)을 실현하기 위한 기술확립을 최종목표로하고 Desk Top-Size의 Micro Factory 시스템을 가상하여 가공, 조립, 반송, 검사기능, 제어기능을 가진 센서, 액츄에이터등의 미소 기능요소 기술 및 시스템화기술의 연구개발을 하고 있다.

3.3. 의료 응용 마이크로 기술의 연구개발

본 연구 개발에는 體空내에서의 진단, 치료를 하는 마이크로 머신 시스템을 실현하는데 필요한 요소기술의 개발을 목표로 한다. 구체적으로는 체공내진단시스템으로서 뇌혈진단 치료용 고기능마이크로 Catheter를 프로젝트의 대상으로 이를 실현하는 데 필요한 3가지 요소기술개발을 한다.

① 촉각 센싱기술 : 혈관내벽의 Catheter선단 접촉 상황을 검출하기위한 마이크로 혈압, 촉각센서와 검출신호를 Catheter 조작자에 제시하는 감각 전달기구의 개발을 하고 있다.

② 레이저 응용 치료기술 : 혈관내 병변부의 진단, 치료에 사용되는 마이크로 레이저와 센서를

탑재한 마이크로 레이저 개발 및 Micro Catheter의 개발을 함.

③ 혈압, 혈류센서기술 : Micro Catheter의 선단에 탑재하는 혈압, 혈류 센서의 연구개발을 한다.

3.4. 가공조립기술 분야의 연구개발 성과

마이크로한 부품을 가공, 핸들링, 조립을 하기 위한 종래의 기술에서는 대응하기 힘들므로 신규의 가공 조립 기술의 개발을 하고 있다. 표3에 프로젝트로 수행하고 있는 가공조립기술을 정리하였다.

4. 앞으로의 기술개발 방향

마이크로 머신의 연구개발에있어서 기능요소부품의 치수가 미크론단위로 되면 표면력이 점성, 트라이블리지, Contamination등의 문제가 재래기계시스템과는 현저히 다르므로 마이크로 머신의 특유한 현상에 대응가능한 신제어법을 포함한 새로운 개념의 기계시스템이 필요하게 된다. 여기서

표 3. 가공조립기술

	고기능Maintenance	Micro Factory	의료응용
재 료	금속, 세라믹, 반도체, 수지		
제거가공	비구면미소광학면가공기술, 마이크로MIM기술, 초음파진동연삭기술, 3차원미세방전기공기술, PZT박판가공기술, 고속 Dry Etching 기술, 광에너지빔여기소자 분리·배선기술, 실리콘미세가공기술, 압전박막미세가공기술	3차원형상전사기술, Image bundle 細徑化기술, 마이크로전해가공기술, 마이크로광가공기술	엑시머레이저가공기술
부가가공	원통박막자성형기술, 流路표면修飾기술, 압전성박막製作기술, 무용력막생성기술, 형상기억합금박막성형기술	박막영구자석제작기술	이온어시스트 蒸着電鑄기술
복합가공	미세홈성형기술, 원통면막가공기술, 입체회생층생성·에칭기술, Shell body형성기술, 3차원권선기술, 압전박막적층기술, 미소금형연마기술, 박막다층필름가공기술, 고밀도적층코일형성기술, 미세압전세라믹제작기술, 고밀도관통전극형성기술, Deep Etch X-ray lithography기술	복합마이크로 초정밀 가공기술 습식3차원가공기술	Catheter성형기술
조립, 접합	이종재료 접합기술, 탈착가능접합기술, 프리 어셈블기술(원통적층기술)	미세 접합기술	

분자론적인 고찰도 필요하다. 더욱이 측정 평가법에 있어서 극미소 물리량의 측정법, 재료에 있어서의 다결정 재료의 입경의 영향 및 단결정재료의 기계적 특성의 이방성도 마이크로 머신의 특유의 문제점으로 들 수 있다. 이를 위해 초소형기계의 개발을 위해서는 기반기술, 기능 디바이스기술, 시스템화기술에 관해 마이크로 특유의 연구개발이 필요하다.

마이크로 머시닝기술은 이의 기반기술에 속하는 것으로 몇가지의 미세가공법에 대해 소개를 하였다. 그 이외에도 다수의 유망한 가공법이 있으며 앞으로도 생겨날 가능성이 있다. 그리고, 각 가공법은 사용목적에 따라 장점과 단점에 해당될 수 있는 특성이 있다. 앞에서의 실리콘 프로세스는 미세가공이 가능하며 간단한 조립도 할 수 있으며 반도체 회로와의 복합화가 가능하다는 잇점이 있어 마이크로 머신 가공기술의 주역이라고도 할 수 있다. 그러나, 약점으로는 너무 얇고 힘을 견디기 힘들어 기계적 강도와 내구성이 요구되며, 3차원적 형상의 가공이 힘들다는 점이다.

따라서, 이와같은 문제를 해결하는 수단으로 생각할 수 있는 것이 LIGA Process, 미세방전기공, 광조형법, 기계가공등 여러가지 가공법의 장점을 조합한 가공기술의 개발이 필요할 것으로 생각되어지고 앞으로도 미세가공법의 발굴과 육성, 복합화가 이 분야에서의 중요한 과제가 될 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] K.Okano, T.Waida, T.Suto, J.Mizuno and T. Kobayashi, "Micro Grinding of Micromachine Parts, Proc. Int. ABTEC (Abrasive Technology) Conf., Seoul, (Nov.1993) 100
- [2] Y. Yamagata, T. Higuchi, "精密切削による微細形状創成", 精密工學會誌, Vol.61. No.10, 1995, pp1361-1364
- [3] K. Sawada, "Super precision micro machining technology of actuator parts", Proceedings of The 1st Intl. Micromachine machine symposium, November 1-2, 1995, (Tokyo), pp119-122
- [4] T. Waida, K. Okano, "研削によるMicro形状創成", 精密工學會誌, Vol.61. No.10, 1995, pp 1365-1368
- [5] T. Sato, "Micro 放電加工による形状創成", 精密工學會誌, Vol.61. No.10, 1995, pp1369-1372
- [6] 동경대학 생산기술연구소 마이크로 메카트로닉스 연구그룹 T. Mazuzawa 연구실 자료
- [7] K. Sato, "エッチングによる微細な3次元構造體の加工", 精密工學會誌, Vol.61. No.10, 1995 pp1373-1376
- [8] 마이크로マシン, published by Micro Machine Center (Japan), No. 8. 1994
- [9] 동경대학 생산기술연구소 마이크로 메카트로닉스 연구그룹 H. Fujita 연구실 자료
- [10] A Rognert, J Eicher, D Münchmeyer, R-P Peters and J Mohr, "The LIGA Technique what are the new opportunities", J. Micromech. Microeng. 2 (1992) 133-140.
- [11] K. Yamaguchi, T. Nakamoto, "光造形法による形状創成", 精密工學會誌, Vol.61. No.10, 1995, pp1385-1388
- [12] 마이크로マシン, published by Micro Machine Center (Japan), No. 10. 1995
- [13] I. Miyamoto, S. Kiyohara, "集束ビーム加工による形状創成", 精密工學會誌, Vol.61. No.10, 1995, pp1377-1380
- [14] T. Hatori, "Recent results of the national project MICRO MACHINE TECHNOLOGY", Proceedings of The 1st Intl. Micromachine machine symposium, November 1-2, 1995, (Tokyo), pp101-106