

마이크로 가공 기술

이 글에서는 다양한 마이크로 가공 기술이 초소형, 초정밀 부품의 생산에 활용되고 있으며, 이들의 생산 공정에서 화상 처리를 통한 전수 검사 시스템이 활용되고 있다.

윤성만·전병희

무한경쟁 시대인 21세기에 한국이 국가 경쟁력을 갖추기 위해서는 고부가가치 창출분야인 디지털·바이오·초전도·통신 기술 등의 핵심기술을 확보하여야 한다. 이러한 기술을 확보하기 위해서는 초소형, 초정밀 부품을 만들 수 있는 마이크로 가공 기술이 절실히 필요하다. 마이크로 가공 기술은 그림 1에서 보듯이 주요 기간산업 즉 컴퓨터·반도체, 정보통신·바이오, 전기·전자, 자동차·항공기 등

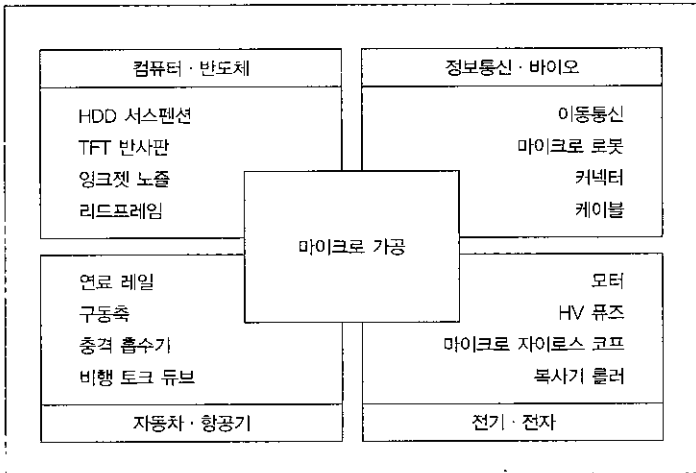
각 분야에 적용 가능한 기반 기술이다.

이러한 마이크로 가공기술 중에서 최근에는 활발하게 연구되고 있고 실제 부품 생산에 활용되고 있는 기술들을 살펴보고, 이들 기술들이 각종 부품의 양산 시스템에 적용될 때 반드시 필요한 화상처리를 통한 전수 검사 시스템을 실제 적용 예를 통해 살펴보면 다음과 같다.

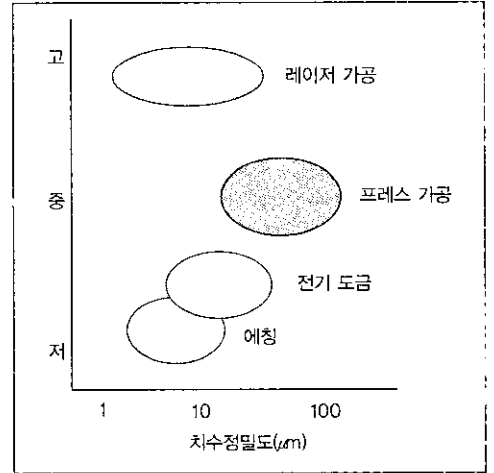
초정밀 가공

초정밀 제품들은 크기가 수~수십 μm 로 가공이 어렵고, 가공 후 취급으로 인한 변형이 발생되기 쉽고, 지그와 픽스처의 제작이 어려운 특징을 지니고 있다. 그리고 다이와 펀치의 위치 오차, 미세한 먼지, 표면 거칠기에 의한 마찰의 영향, 진동, 크기 효과(size effect) 등이 초정밀 제품의 질에 많은 영향을 준다.

이러한 초정밀 제품을 성형하기 위한 마이크로 가공의 대표적 기술들을 치수정밀도와 생산성의 관점



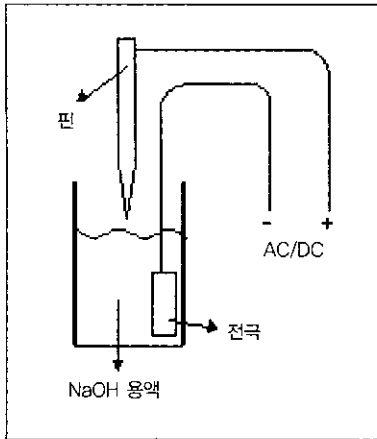
〈그림 1〉 마이크로 가공의 적용 분야



〈그림 2〉 여러가지 마이크로 가공법의 생산성 대 치수정밀도

- 윤성만 / (주)아이애크, 연구소장 / e-mail : broadysm@shinbiro.com
- 전병희 / 인덕대학, 교수 / e-mail : bhjeon@mail.induk.ac.kr

에서 그림 2에 나타내었다. 에칭은 수 μm 정도의 고정밀도



〈그림 3〉 핀 에칭 공정 개략도

가공이 가능한 반면 생산성이 낮고 생산 공정에서의 불량률이 많이 발생한다. 프레스 가공은 수십 μm ~ 수백 μm 정도로 정밀도는 떨어지나 대량 생산에 적합한 장점이 있다. 레이저 가공의 경우에는 치수 정밀도도 높고 생산성도 높아 초정밀 절단, 미세 구멍가공 등의 실공정에 활용되고 있으며 미세 변형, 제품 형상 성형 등에 관해서는 이론적인 연구가 진행되고 있다.

에칭

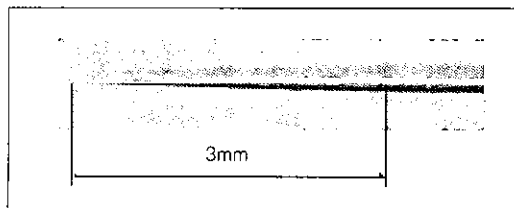
그림 3에 초소형 핀을 에칭을 이용하여 가공하는 공정을 간략히 나타내었다.

이 기술을 활용하면 초소형 핀이나 펀치, 초정밀 가공용 전극 등을 생산할 수 있다. 이 방법으로 생산되는 대표적인 제품으로 반도체 회로 검사용 핀을 들 수 있으며, 직경 80 ~ 200 μm 의 텅스텐 또는 레늄 합금 봉을 가공하여 만들어진다. 회로 검사용 핀의 가공법에는 크게 초정밀 연마기를 이용한 가공과 전해연마(에칭)를 이용한 가공의 두 가지로 나눌 수 있다. 전자의 경

우는 직경이 약 150 μm 이하가 되면 가공하기 힘들며, 특히 중요한 끝단부의 형상이나 치수 정밀도가 떨어져 제품의 품질이 저하된다. 후자의 가공법은 전기분해를 이용하여 가공하는 방법으로 가공 환경에 따라 100 μm 이하의 텅스텐, 또는 레늄 합금 핀도 가공할 수 있다. 그러나 이 방법은 가공온도, 용액 배합비, 전극과 핀 사이의 거리, 전압, 전류, 주파수 등의 변수에 민감하게 반응을 한다. 따라서 정확한 제품을 만들기가 매우 어렵다. 현재 미국과 일본만이 가공을 하고 있으며, 국내에서는 여러 차례 시도가 있었으나, 여러 가지 변수에 대한 조절이 어려워 양산에 실패하였다. 최근에는 한 벤처 기업에서 기술 개발에 성공하여 제품 양산을 준비하고 있으며, 그림 4는 현재 생산되고 있는 회로 검사용 핀의 끝단부를 확대한 모습이다. 이 핀은 미국, 일본에 비해 생산 공정에서의 불량률도 낮고 치수 정밀도도 높은 것이 특징이다.

레이저 가공

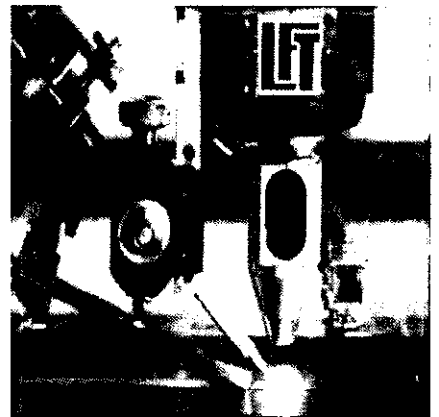
레이저 가공 기술은 국부적인 열 변형을 유도하여 micro bending, cutting, tensioning, straightening, hardening, buckling, forming, local heat forming 등의 방법을 이용하여, 기존의 방법으로는 불가능했던 작업을 가능하게 한다. 선진국의 경우 초소형 로봇 제작, 마이크로머신에 사용되는 각종 부품, 초박판(1 ~ 10 μm)을 이용한 초소형 제



〈그림 4〉 에칭으로 생산된 반도체 회로 검사용 핀

품의 가공에 이 기술을 사용하고 있다. 그림 5에 레이저 성형 기술의 개념도를 나타내었다.

산업 현장에서는 Excimer, CO₂, Nd:YAG 레이저가 일반적으로 사용되고 있으며, 그 중에서도 Excimer 레이저 시스템이 초정밀 레이저 성형 분야에서 가장 많이 사용되고 있다.



〈그림 5〉 레이저 가공의 개념도

미국의 Purdue 대학과 IBM의 연구팀은 마이크로 부품의 비틀림을 레이저 성형을 이용하여 10 nm의 정밀도로 교정하는 시스템을 개발하였다. 이 연구결과는 하드디스크 표면과 양호한 접촉을 보장하기 위하여 자기 디스크 헤드의 비틀림을 교정하는 데 응용될 수 있다. 또한 독일의 LFT 연구소에서는 마이크로 부품을 대상으로 레이저성형에 관한 폭넓은 연구가 진행 중에 있다.

그림 6에서 여러 가지 레이저 성형 예를 볼 수 있는데 레이저의 강도와 조사 시간에 따라 미세한 변형에서부터 제품 형상의 성형, 절단에 이르기까지 다양한 적용을 할 수 있다.

프레스 가공

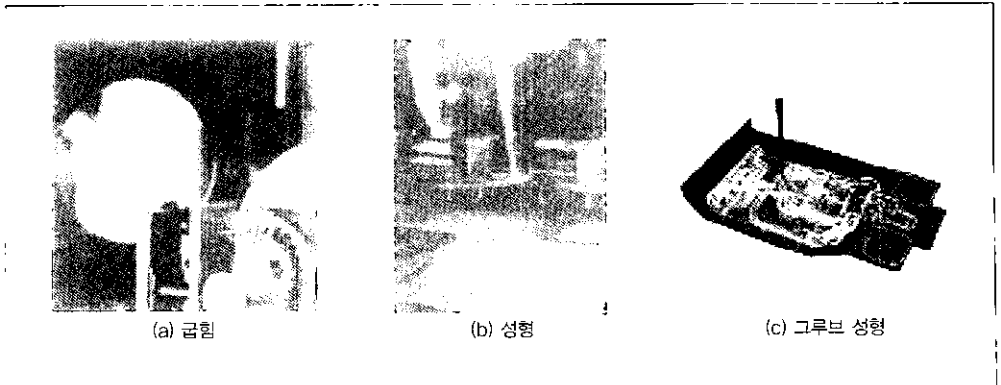
초정밀 가공에 있어 프레스 가공은 그림 7에서 보는 바와 같이 하드디스크의 서스펜션 부품, IC 커넥터, 잉크젯 카트리지 노즐 등과 같은 부품을

수십~수백 μm 의 정밀도로 대량생산하는 공정에 활발히 적용되고 있는 가공 기술이다.

특히 박판 성형과 관련된 두께가 수십 μm ~ 수 mm인 부품의 전단 가공, 블랭킹 가공, 펀칭 가공 등에 활발하게 활용되고 있다.

- 정밀 전단 가공

전단 가공은 상형과 하형, 두 금형을 엇갈리게 배치하고 그 사이에 소재를 위치시켜 전단력에 의해 소재를 절단하는 공정이다. 그런데 기존의 프레스는 용량 및 크기, 이송거리, 반복정도, 직진도 등이 초정밀, 초소형 부품을 가공하기에 부적



<그림 6> 레이저 가공의 적용분야

절하므로 마이크로 미터 단위의 정밀 전단 가공을 위해서는 초정밀 프레스를 사용하여야 한다. 그림 8은 오수익, 전병희 등에 의해 수행되고 있는 미세박판 성형기술 개발 연구에서 제작되고 있는 초정밀 프레스의 형상을 보여준다.

이 프레스는 대칭구조를 가짐으로써 다양한 부품의 성형에 적합하게 설계되었고, 직진도와 반복도를 만족시키기 위해 4 개의 LM(Linear Motion) 가이드를 부착하였다.

정밀 전단가공에 사용되는 금형은 소재를 균일한 힘으로 잡는 것이 필요하고, 전단 가공중에 상형과 하형의 클리어런스가 일정하게 유지

되어야 하므로 일반 금형에 비해 구조가 복잡하다.

정밀 전단 또는 블랭킹은 매우 다양한 부품의 가공에 사용되고 있으며, TFT(Thin Film Transistor) 반사판(reflector)에도 전단가공이 사용된다.

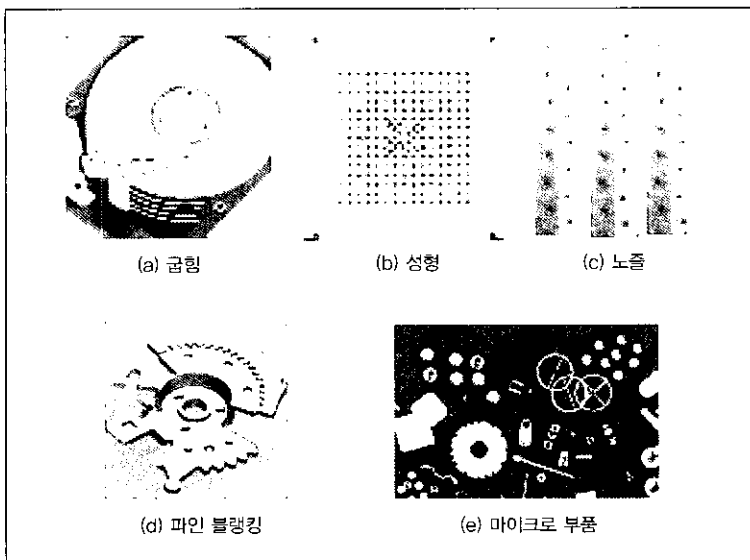
액정 화면은 스스로 빛을 내지 못하고 단순히 광 셔터 작용만 하므로, 문자, 도형, 그래픽 등을 표시하기 위해서는 외부의 빛이 필요한데, 이에 따라 액정 패널 뒤에서 이러한 빛의 공급원으로 backlight를 사용하고, 이 광원용 램프인 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)을 감싸고 있는 반사체를 TFT 반사판이라 한다.

그림 9는 TFT(Thin Film Transistor) Reflector 전단에 사용되는 금형을 보여준다.

- 정밀 펀칭 가공

정밀 펀칭 가공에서는 소재와 금형의 정렬이 매우 중요하므로 소재 및 금형의 위치를 정밀하게 조절할 수 있는 이송 시스템이 필요하다. 또한 치름이 수십 μm 인 펀치와 이를 고정할 그립 시스템도 필요하다. 그림 10은 오수익, 전병희 등에 의해 수행되고 있는 미세박판 성형 기술 개발 연구에서 제작된 정밀 펀칭 프레스의 형상을 보여준다.

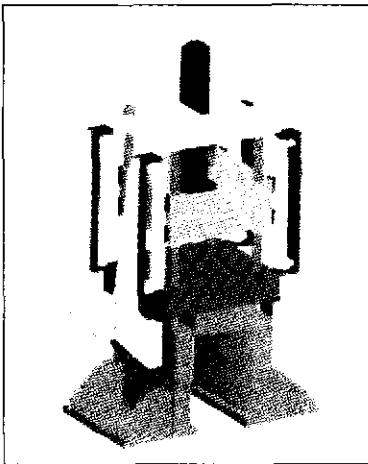
이 프레스는 상하 운동의 직진도를 유지하기 위해 LM 가이드를 장착하



<그림 7> 정밀 프레스 가공의 적용분야

고 있고, 정밀 이송기구와 제어시스템을 장착해 펀치와 금형의 편심 오차를 최소화하도록 설계되었다.

정밀 펀칭 가공은 잉크젯 카트리지의 노즐 가공, MLB(Multi Layer Board) 등의 구멍 가공에 사용되며 가공하는 구멍의 크기가 작아질수



〈그림 8〉 마이크로 가공용 프레스

록 드릴링을 대응해서 레이저 가공과 함께 그 사용 범위를 넓혀가고 있다.

코일링 가공

정밀 코일링 가공은 마이크로 서스펜션의 가장 핵심적인 구성 요소의 하나인 초소형 정밀 스프링의 생산에 활용된다. 이러한 가공법으로 지름이 십수 μm 인 원선을 지름과 피치가 각각 수십 μm 인 스프링 형태의 형상으로 가공한다.

현재 전병희, 윤성만, 이종길 등에 의해 초소형 캡슐형 내시경의 서스펜션 및 수축·신장기구에 적용될 초소형 고탄성 코일 스프링을 생산하는 성형 공정으로 활용되고 있다. 그림 11은 정밀 코일링 가공으로 성형된 초소형 스프링으로 지름

31 μm 의 텅스텐 와이어를 연속 방식으로 권선하여 내부 지름 56 μm , 피치 53 μm 로 성형한 것이다.

Micro-VIS (Micro Vision Inspection System)

초소형 제품은 제품의 단가에 비하여 부품의 가격이 저렴하고, 불량 발생 시 그 피해가 크므로 선진외국에서는 막대한 연구비를 투입하여 전수검사 장비 개발에 박차를 가하고 있다. 특히, CD ROM, DVD Pick Up Suspension, 반도체검사장비, Ink Jet Printer Suspension, 초정밀 Filament 등에 대한 생산된 제품의 품질 검사가 매우 중요하다. 이러한 초정밀 부품의 크기는 수 μm 에서 수십 μm 로 단순히 고배율로 확대하여 검사하는 방법을 적용하기 어렵다. 따라서 이러한 부품을 양산하기 위해서는 화상처리(Image Processing) 기법을 이용하여 세밀화, 고속화된 전수검사 장비의 사용이 필요하다.

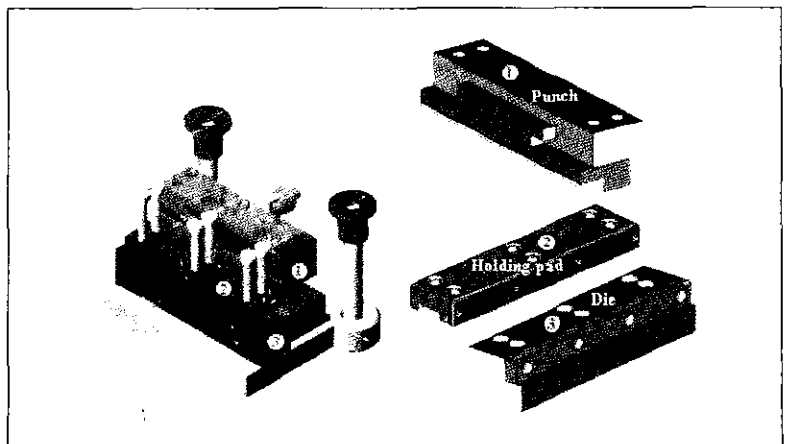
각종 전자제품의 서스펜션으로 사용되고 있는 초정밀 초소형 스프링의 경우 약 50 μm 정도의 굵기로

가늘게 가공하여, 이를 코일 형태로 권선화하여 사용하고 있다. 그림 12는 초소형 스프링 형상으로 몰리브덴 코어에 텅스텐코일을 권선한 것이다. 권선된 코일의 피치는 균일하여야 하나 현재는 전수검사 시 전체를 검사하지 못하고 임의의 세부분에 대해 검사를 수행되고 있다. 이러한 경우에 검사에서 제외된 부분에 불량이 발생하여도 확인이 불가능하다.

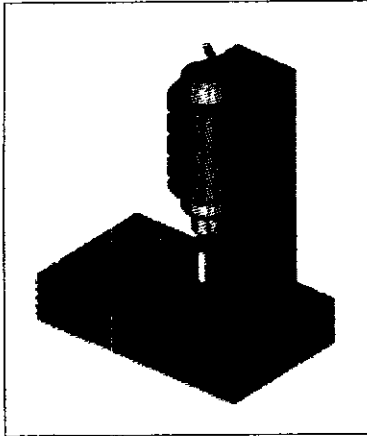
마이크로 시스템용 서스펜션 검사 시스템

전병희, 김학준 등에 의해 마이크로 시스템의 서스펜션 시스템에 사용되는 초소형 스프링을 화상처리 기법을 이용하여 전수검사 하는 장비가 개발되고 있다. 지름 31 μm , 피치 56 μm , 내부 지름 53 μm 의 초소형 스프링을 화상처리를 통해 피치 간격과 균일성, 전체 길이, 코일 부분의 길이, 양 끝단의 연결부의 방향성 등을 검사하게 된다.

이 경우 검사 대상물의 세장비가 매우 크므로 고성능 카메라를 사용하여야 한다. 또한 그림 13에서 보는 것과 같이 이송기(feeder), 선택기(selector), 그리고 적절한 화상



〈그림 9〉 마이크로 전단용 금형 세트



〈그림 10〉 마이크로 편칭용 프레스

처리를 위한 조명 시스템 등으로 검사 시스템이 이루어지는데 소형스프링 이송 장치에 있어 소형스프링의 이송 속도의 조절이 중요하다.

조명 시스템은 기초 화상의 품질에 매우 중요한 역할을 끼치는데 고출력 단파장 스트로브를 이용한 산란형 배경 조명 장치(a diffused back lighting)가 사용된다. 조명은 CCD 센서에 짧은 시간 동안 고출력 스트로브 라이트를 노출함으로써 소형스프링의 화상을 잡아낸다.

필라멘트 초기 코일 검사 시스템

전구에 사용되는 필라멘트는 1차 및 2차 코일링을 통해 가공되는데 전병희, 김학준, 표창률 등은 1차 코일링된 초기 코일을 화상처리 기법을 통해 검사하는 시스템을 개발중이다. 필라멘트는 그림 14와 같이 텅스텐 와이어를 몰리브덴 와이어에 1차 코일링 하고 이를 다시 2차 코일링 한 후 용해 및 열처리 공정을 거쳐 생산하고 있다.

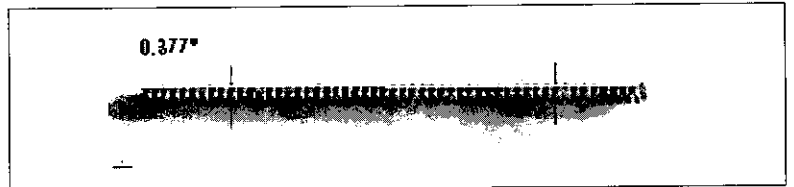
필라멘트의 수명은 2차 코일의 균일성과 밀접한 관련이 있고, 2차 코일의 균일성은 다시 1차 코일의 균일성과 밀접한 관계가 있으므로, 이 시스템은 품질에 가장 영향을 많

이 미치는 1차 공정을 검사하여 제품의 신뢰도를 높이는데 중요한 역할을 하게 된다.

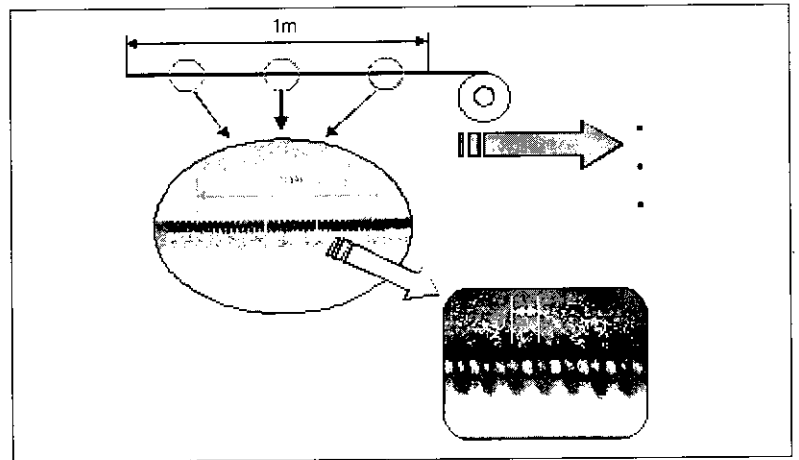
검사 시스템은 매우 치밀한 초기 코일의 피치를 연속적으로 검사하여 피치가 변화하거나 비균일하게 변동되면, 불량 초기 코일을 제거하

고 공정 관리자에게 경고를 주게 된다. 초기 코일은 일련의 활차를 통해 이송되어 항상 고주파로 진동을 하고 직경이 매우 작으므로 코일의 미세 피치를 분석하기 위해서는 크게 확대하여 검사하여야 한다.

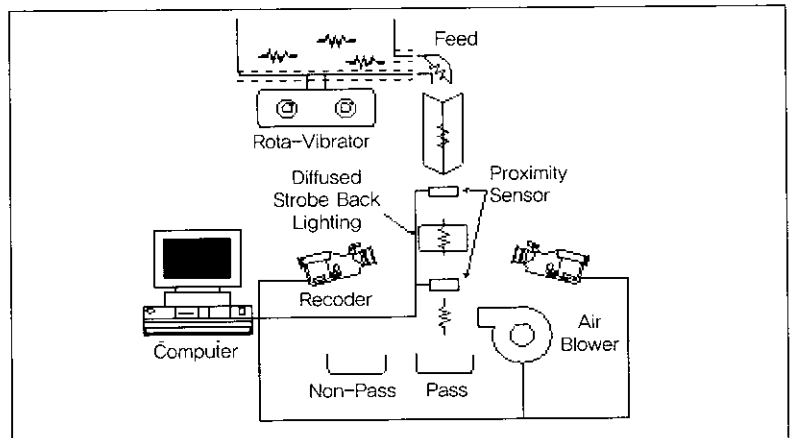
필라멘트 와이어의 직경은 3 μm



〈그림 11〉 정밀 코일링으로 제조된 마이크로 스프링



〈그림 12〉 마이크로 스프링의 검사



〈그림 13〉 마이크로 스프링의 시각 검사 시스템

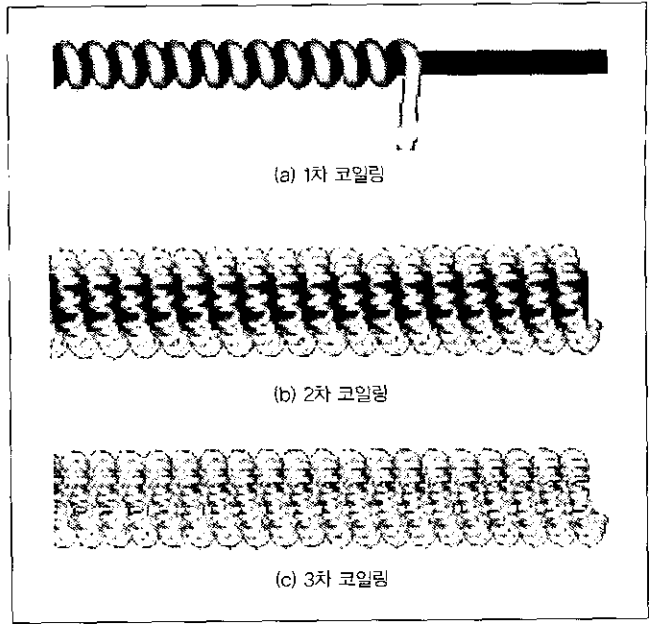
이므로 광학렌즈를 통해 확대되게 되면 선명한 초점의 코일 화상을 얻는 것은 매우 어렵다. 그래서 고출력 단파장 스트로브 조명을 사용하며, 자동 초점 조절기능을 사용하여 선명한 화상을 얻을 수 있다. 일단 초점 조절이 잘 된 초기 코일의 화상을 얻으면, 일련의 화상 처리 연산을 통해 미세 피치 자체와 이송 중의 미세 피치의 변화 등에 대한 정보를 추출할 수 있다. 또한 검사 기록을 생성함으로써 초기 코일의 품질, 소형스프링의 품질 및 수명과의 상관 관계를 분석하고 조절할 수 있게 된다.

반도체 회로 검사용 핀 검사 시스템
반도체 회로 검사 장비용 핀 및 잉크젯 카트리지 헤드의 노즐 가공용 펀치의 검사 장비가 국제 공동 연구로 전병희, 김학준, Daniel Choi에 의해 진행되고 있다.

이들 제품은 전해연마를 이용하여 생산되는데 전해연마로 제조한 제품은 불량률이 높으므로 이를 초

기에 찾아내어 초소형 반도체 부품 검사 및 잉크젯 카트리지의 구멍가공시 제품 및 금형의 파손을 방지하는데 목적이 있으며 측정하는 항목은 다음과 같다.

- 핀의 직직도($1\mu\text{m}$ 이내)
 - 핀의 테이퍼 각도
 - 핀의 직경(측정 오차 $1\mu\text{m}$ 이내)
 - 핀 끝부분의 형상
- 이를 위하여 화상 처리 프로그램, 이송 장치, 조명장치, 불량품 추출 시스템의 개발이 진행중이다.
초소형, 초정밀 부품의 생산에 적

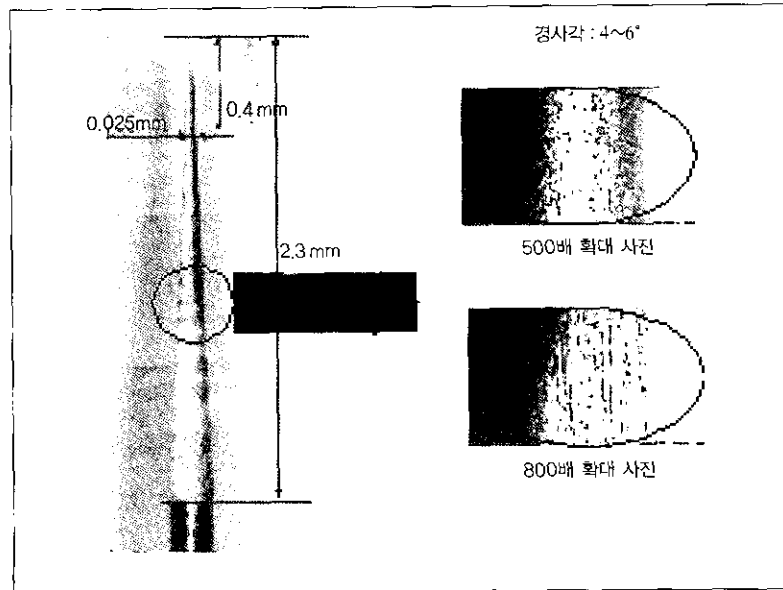


〈그림 14〉 필라멘트 제조 공정

용되고 있고 현재 연구되고 있는 마이크로 가공 기술들과, 화상 처리를 이용한 전수 검사 시스템에 관한 적용 예를 살펴보았다.

마이크로 가공기술은 기존의 가공 범위와 다른 초소형, 초정밀 부품을 그 가공의 대상으로 하고 있으므로 기존의 장비가 아닌 새로운 개념의 장비 및 금형, 가공 재료, 청정 환경 등을 요구하기도 한다. 또한 어느 한 가공법만이 아닌 여러 대안 공정이 있을 수 있고, 필요시 여러 가공법을 복합적으로 사용해야 할 필요도 있다. 그리고 고급 기술들만 개발할 필요한 것이 아니고, 기존에 보편화된 기술들과 고급 기술들을 잘 결합하여 사용할 필요가 있다.

우리나라의 경우 전기, 전자, 통신과 관련된 초소형, 초정밀 부품의 경우, 생산 기술의 부족으로 대부분을 미국, 일본 등 외국에서 수입하고 있는 실정인데, 마이크로 가공 기술에 관해 더 활발한 연구가 이루어져서, 생산 기술의 자립과 함께 초소형, 초정밀 부품의 수입대체 및 수출을 통한 국가 경쟁력의 확보가 필요하다.



〈그림 15〉 반도체 회로 검사용 핀의 형상