

# Micro-factory 장착형 Vision/ Inspection 시스템 개발

이 글에서는 일반적인 마이크로 팩토리 시스템의 가공, 조립·검사공정에서 사용하기 위해 시도하고 있는 센싱 기술들과 평면 광도파로의 가공을 위한 visual 시스템, 그리고 초음파 진동절삭을 이용한 가공 기술에 대하여 간략하게 언급하고자 한다.

**최** 근 에너지, 공간, 자원의 절약을 위하여 일반 제조 시스템보다 월등히 작은 마이크로 팩토리 시스템은 1990년대 처음 제안된 이후 꾸준히 연구가 진행되고 있으며, 현재 데스크탑 사이즈까지 발전하게 되었다. 마이크로 팩토리는 구성장치와 시스템의 경량 및 소형화로 인해 구동에너지, 시스템의 환경제어에 필요한 에너지를 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 최근 제작되고 있는 포터블타입의 마이크로 팩토리는 제품 가공, 조립, 검사 공정을 데스크탑 내에서 모두 수행할 수 있도록 제작되고 있다.

작은 크기와, 가벼운 무게로 인한 관성력의 감소로 고속, 높은 위치 정밀도를 가지며, 일반적인 제조 시스템에 비해 높은 생산 유연성을 가지고 있어 미래의 제조시스템으로 주목받고 있으며 많은 연구가 진행 중이다. 수 mm 크기의 부품으로 구성된 3차원 구조물의 조립은 숙련된 기술자에 의해 가능할 수도 있지만 마이크로 크기의 부품을 정밀하게 가공, 조립하는 데에는 숙련된 기술자에만 의존할 수 없다. 따라서 마이크로 팩토리 시스템을 이용하여 마이크로 부품을 가공, 조립하기 위해서는 마이크로 단위 이하의

분해능을 가진 측정장비의 사용이 필수적이다. 이와 같이 마이크로 팩토리 시스템은 가공, 조립, 검사공정에서 각 공정에 요구되는 측정을 동시에 수행하는 복합화된 가공기라고 할 수 있다.

## 마이크로 팩토리의 환경 인식 시스템

전기화학적 방법을 사용한 마이크로 기어(micro-gear) 가공 대부분의 마이크로 가공은 소재에서 불필요한 미소부분을 기계적으로 제거하는 방법을 사용하고 있지만, 실제 전기화학적 가

공방법은 전기화학적 반응을 이용하므로 에너지소비가 아주 작아서 마이크로 팩토리 시스템의 가공방법으로 매우 적당하다.

가공장치에서 마이크로 기어 몰드(micro-gear mold)를 가공하기 위해서는 앵커점의 직경, 앵커점과 마이크로 기어 몰드 사이의 거리, 각 기어이빨의 형상을 측정할 수 있는 환경인식장치가 필요하다. 가공된 마이크로 부품은 이송장치에 의해 조립장치로 이송된다. 조립장치는 두 개의 마이크로 암(micro arm), 출딩장치, 고정밀 로터리 스테이지, 조립상태를 감시할 수 있는 검사장치로 구성된다. 조립과정에서는 마이크로 기어 박스(micro-gear box)와 로터리 테이블 사이의 접촉면, 기어박스상의 마이크로 기어의 위치 등을 측정할 수 있는 환경인식장치가 필요하며, 일반적으로 3차원 입체적인 관찰이 주로 사용된다. 이와 같이 마이크로 팩토리는 가공, 조립, 검사 공정에서 다양한 가시장치, 측정센서, 제어시스템을 사용하여 2, 3차원적인 측정과 정밀한 센싱, 측정 및 제어를 동시에 수행하는 복합화된 시스템이다.

가공공정 및 조립공정에서 측정요소들을 측정하는 비주얼 장치로 마이크로 스테레오 스코프가 있다. 이 장치는 두개의 이미지 광섬유센서로 물체를 측정하기 때문에 측정하는 영역의 위치가 이동한 것처럼 보이므로 시차

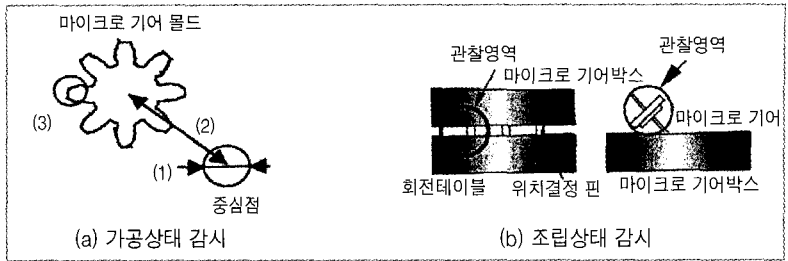


그림 1 micro-gear를 제조하는 마이크로 팩토리 가공, 조립공정 감시

메커니즘이 필요하다. 또한 마이크로 팩토리 시스템과 같이 매우 좁은 공간에서는 광섬유센서를 모든 방향으로 휘어질 수 있도록 하여 작업자가 센서를 전후좌우로 이동시키지 않고도 물체를 측정하고 3D 이미지를 획득할 수 있도록 하기 위하여 SMA (shape memory alloy) 코일 액츄에이터를 사용할 수 있다.

측정 장치의 외경은 2mm이며 시차 메커니즘의 구동은 광학적으로 구동되는 벌룬 액츄에이터로 작동된다.

마이크로 팩토리 와 같은 제한되고 협소한 공간에서

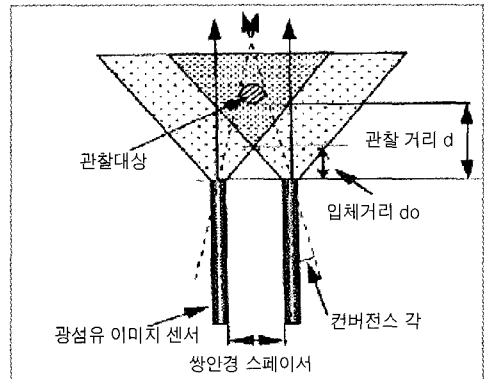


그림 2 입체측정의 원리

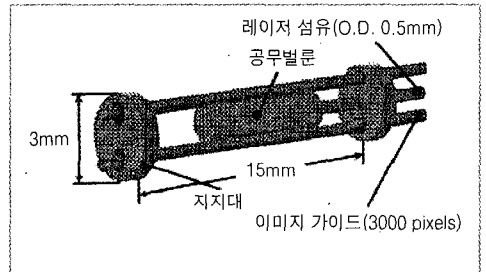


그림 3 마이크로텔레스코프(Micro-telescope)

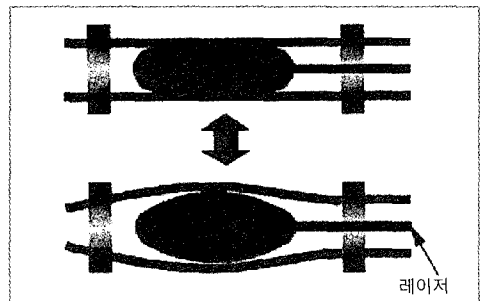


그림 4 시차메커니즘

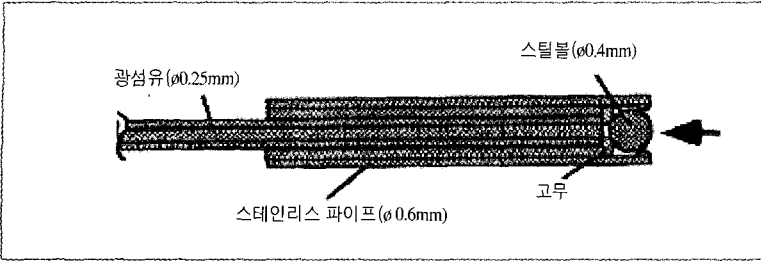


그림 5 접촉센서의 단면

사용되는 장치들의 팁 위치를 탐지하는 것은 매우 중요한 것이다. 만약 장치의 팁이 물체에 접촉하면, 물체와 장치에 모두 피해를 줄 수 있기 때문에 광섬유 접촉센서 (fiber-optic tactile microsensor)를 마이크로스테레오스코프 (microstereoscope)에 장착하여 물체에 접촉되었을 때 측정장치의 진행 단계를 되돌아감으로써 팁과 물체의 충돌을 피할 수 있다.

접촉센서는 광섬유, 러버, 0.4mm 금속볼로 구성되어 있다. 광섬유를 통해 전달된 광은 금속볼 표면에서 반사되며, 만약 금속볼이 물체에 접촉하게 되면 금속볼의 이동으로 인해 반사광

의 밀도가 변화하게 되며 이를 측정하여 물체와의 접촉을 판단하게 된다. 이와 같은 센서와 일반적인 화이바스코프, 접촉스코프를 조합하여 마이크로팩토리 내에서 제조된 마이크로 부품을 측정, 검사할 수 있는 시스템을 만들 수 있다. 측정 원리는 먼저 시스템이 측정물체에 접근하여 물체와 접촉되면, 접촉센서가 작동하여 시스템을 정지시킨다. 이때 원거리 이미지 대신 근거리 이미지를 획득할 수 있다. 다음으로 시스템을 수 마이크로미터 위로 이동시키고 측정물체 밑의 스테이지가 측정하기 적당한 위치로 이동하며 이미지를 획득하여 측정물체를 측정한다.

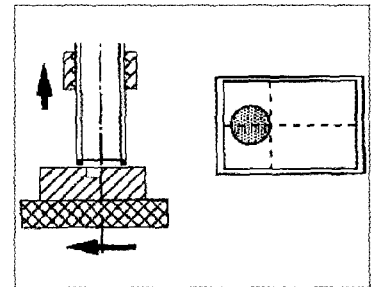
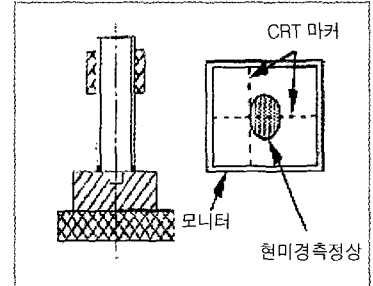
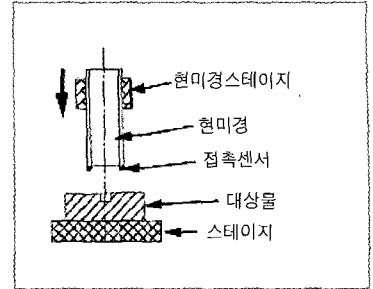


그림 6 마이크로팩토리 내에서 제조된 마이크로 부품을 측정, 검사할 수 있는 시스템을 이용하여 측정하는 원리

이송 컨베이어장치에서는 가공된 마이크로기어를 조립공정으로

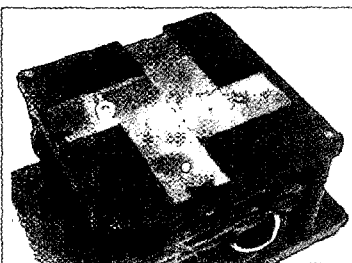


그림 7 이송 컨베이어장치

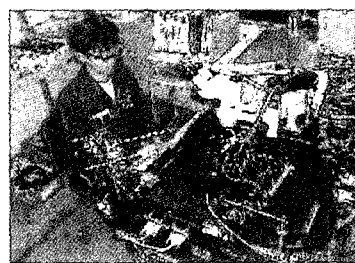


그림 8 마이크로 용접 시스템

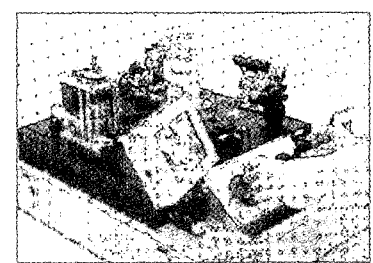


그림 9 포터블 마이크로 팩토리

마이크로 부품 제조에 있어서 기존의 제조시스템은 과도한 에너지, 공간, 자원을 소비하고 있으며 이를 개선하고자 마이크로 팩토리 시스템이 제안되었다. 하지만 미세한 부품을 가공하기 위해서는 부품가공을 위한 정밀한 위치제어가 요구된다.

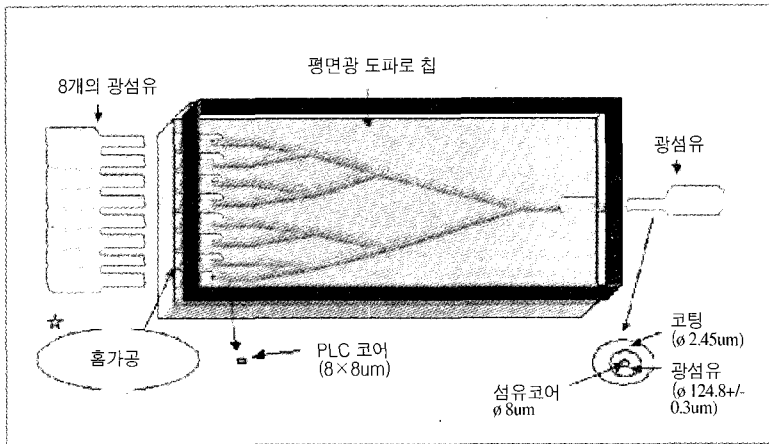


그림 10 평면 광도파로의 구조를 간단히 나타낸 것

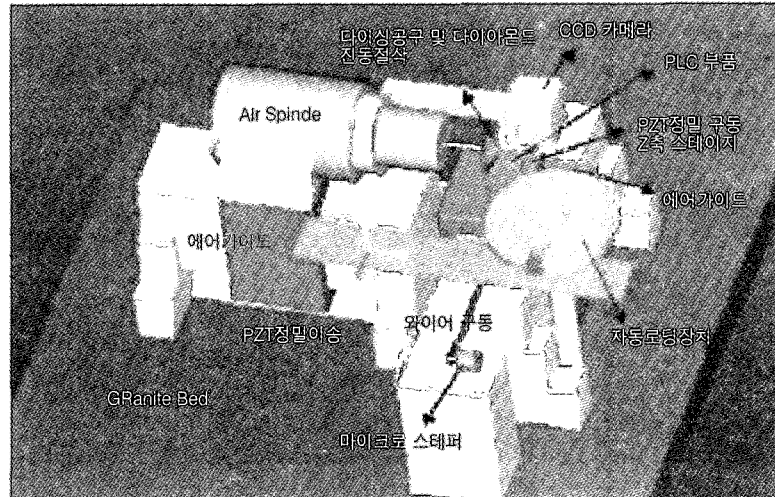


그림 11 (주)테크맥에서 개발한 가공 시스템

이송하기 위해서 CCD 감시를 이용하여 부품의 위치를 측정한다. 전체구조는 2차원 평면상에서 부품 이송을 할 수 있게 되어 있으며 약 1mm<sup>2</sup> 크기의 마이크로 액추에이터와 영구자석에 의해 이송자가 부품을 이송하도록 설계되었다. 부품 이송중 CCD 감시는 이송자의 형상이미지를 획득하고 이미지리더에서 이를 계산하여 이송자의 위치를 파악한다. 이송자는 원형의 이미지를 가지고 부품은 이송자의 중앙에 놓이기 때문에 이송자가 부품 이송 중 회전하더라도 이송자의 모서리와 부품의 상대위치는 변하지 않는다. 따라서 부품의 정밀한 위치측정 및 제어가 가능하다.

### 마이크로 용접(micro-welding)

이 시스템은 외경 0.35mm, 길이 0.2mm의 리벳을 용접할 수 있다. 마이크로 용접 시스템은 용접봉 이송장치, 조작장치, 조립장치로 구성되어 있다. 이 시스템의 특징은 작업자가 시스템에 장착된 현미경을 통하여 마이크로 매니플레이터를 조작하여 이송과 조립공정에서 적절한 제어를 할 수 있다는 점이다.

### 포터블 타입의 마이크로 팩토리(portable micro-factory)에서의 감시

포터블 타입 마이크로 팩토리는 마이크로 선반, 마이크로 밀링기, 마이크로 프레스, 조립을

위한 마이크로 핸드로 구성되어 있으며 각각의 장치에 소형 CCD카메라를 장착하여 액정모니터를 통해 작업자가 눈으로 각 공정작업을 제어하면서 공정을 수행하도록 되어 있다. 이와 같은 시스템은 정밀한 부품가공과 조립에는 적당하지 않으나 숙련된 작업자에 의해 간단한 시스템 구조로도 정밀한 작업을 할 수 있다는 장점이 있다. 각 장치에 장착된 CCD카메라는 단순히 작업자의 눈을 대신하는 역할만을 하기 때문에 위치제어, 부품의 치수 측정을 위한 특별한 이미지 프로세싱이 필요하지 않다

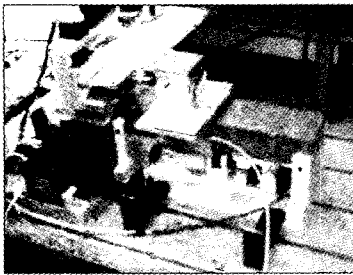


그림 12 제작된 진동접삭 가공 시스템

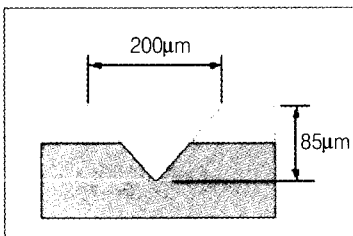


그림 13 가공할 평면 광도파로의 형상

마이크로 팩토리 시스템은 마이크로 가공뿐 아니라 마이크로 측정을 위한 마이크로 감시 시스템(micro visual system) 측정 기술을 통합한 복합화된 시스템 구성이 필요하다.

**평면 광도파를 이용한 가공용 가시화 시스템**

실리콘 기판상에 광섬유와 같은 재료인 실리카로 광도파로를 형성하는 PLC(Planar Light wave Circuit)기술 및 발광/수광소자들에 대한 새로운 접합기술이 제시되면서 광집적기술의 급진전이 이루어지고 있다. PLC에 대한 연구는 1970~1980년대

부터 시작되어 빠르게 발전하고 있다.

PLC가공 기술의 어려움 중 하나는 PLC칩의 단말 부분이 코어 섬유들과 접합할 수 있도록 V-groove를 가공하는 것이다. 미세한 V-groove를 기계절삭을 이용하여 가공하기 위해서는 PLC 코어의 중심에 절삭공구를 정확히 위치시키는 기술이 매우

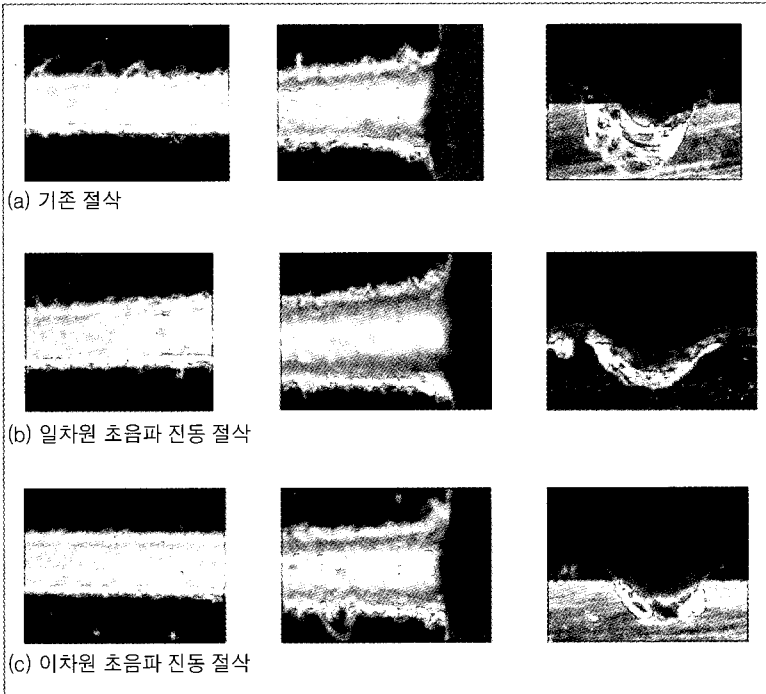


그림 14 PLC접속부의 가공결과

중요하다.

(주)테크맥에서는 다이싱 쏘우(dicing saw)를 이용한 평면 광도파로 접합부 가공시스템을 개발 중이다.

PLC코어의 중심좌표를 정확히 측정하기 위해서 CCD 카메라를 이용한 감시 시스템을 장착하였으며, 시스템 사양은 분해능이  $0.1\mu\text{m}$ , CCD 분해능이  $640 \times 480$ 픽셀, 600배의 확대비율을 가지고 있다. PLC를 PZT정밀스테이지 위에 설치하고 CCD카메라를 이용하여 PLC코어의 형상을 이미지의 형태로 획득한다. 획득된 PLC코어의 이미지를 그 래픽 처리기술을 이용하여 2차원 좌표값으로 환산하고, 계산된 좌표값을 통해 다이싱 쏘우(dicing saw)의 가공위치를 제어하여 최종적으로 V-groove를 가공하는 것이다.

#### 초음파 진동절삭

현재 미세가공에 사용되고 있는 방법들에는 LIGA(Lithographie Galvanofornung Abformung), 레이저, 에칭을 이용한 방법들이 있

으나 LIGA는 대형, 고가의 장비가 필요하다는 단점이 있으며 레이저를 이용한 방법은 레이저의 빛에너지가 열에너지로 전환되어 재료를 용융함으로써 표면정도를 얻기가 어려운 단점이 있다. 그리고 에칭은 환경오염, 화학반응 제어의 어려움으로 형상정밀도에 문제가 있어 최근 절삭에 의한 미세가공기술에 대하여 활발한 연구가 진행 중이다. 앞에서 언급한 평면 광도파로 비전 시스템에 적용하여 PLC 접속부에 미세 V-groove 가공을 하기 위한 한 방법으로 초음파 진동절삭에 대하여 간단히 언급한다.

#### 1) 진동 절삭가공 시스템

본 시스템의 구성은 공구에 초음파 진동을 발생시킬 수 있는 장치와 x, y, z 이송시스템, PC-NC기반 수치제어 시스템으로 구성되어 있다. x, y이송시스템은 z축과 진동시스템을 이송하며 공기 정압 안내면 및 스텝모터로 구성되어 있으며 z축은 LM(Linear Motion)가이드로 제작되었다.

#### 2) 실험 방법

이송속도  $0.1\text{m}/\text{min}$ , 일반절삭, 1차원 초음파 진동절삭, 2차원 초음파 진동절삭을 절입깊이  $5\mu\text{m} \sim 85\mu\text{m}$ 까지 가공실험을 하였다. 툴은 다이아몬드를 사용하였고, 진동수는  $19.25\text{kHz}$ 이며, 가공은 PLC(Planar Lightwave Circuit)상에서 이루어졌다.

#### 3) 실험 결과

평면 광도파로 가공의 경우 일반절삭, 1차원, 2차원 진동 절삭 모두 공구 진입부분에서 재료가 깨어짐이 있었다. 그로 인해 시작 부분에서의 폭이 넓어져 있음을 알 수 있다.

평면 광도파로는 서로 다른 재료가 적층이 된 광부품이기 때문에 레이저로 가공할 경우 규소(Si)와 이산화규소( $\text{SiO}_2$ )의 용융으로 인해 문제가 발생할 수 있다. 하지만 기계절삭의 경우 재료의 가공으로 인한 변질층 발생을 줄일 수 있기 때문에 미세가공에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.