

◆특집◆ 차세대 지능형 Microfactory 시스템 기술

마이크로 팩토리 응용기술  
-마이크로 측정 및 가공 복합화-

이채문\*, 임태순\*, 정우섭\*\*, 이득우\*\*\*

Micro-Measurment and Machining Complexation

Chae Moon Lee\*, Tae Soon Lim\*, Woo Sup Jung\*\* and Deug Woo Lee\*\*\*

**Key Words** : Microsensing(마이크로 센싱), Microfactory(마이크로팩토리), PLC(평면광도파로), Visual system(비전장치), Micromachining(마이크로가공), Environmental recognition device(환경인식장치)

1. 서론

최근 에너지, 공간, 자원의 절약을 위하여 일반 제조시스템보다 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, 검사공정을 데스크탑 내에서 모두 수행할 수 있도록 제작되고 있다. 작은 크기와, 가벼운 무게로 인한 관성력의 감소로 고속, 높은 위치정밀도를 가지며, 일반적인 제조시스템에 비해 높은 생산 유연성을 가지고 있어 미래의 제조시스템으로 주목받고 있으며 많은 연구가 진행중이다. 수 밀리미터 크기의 부품으로 구성된 3차원 구조물의 조립은 숙련

된 기술자에 의해 가능할 수도 있지만 마이크로 크기의 부품을 정밀하게 가공, 조립하는데에는 숙련된 기술자에만 의존할 수 없다. 따라서 마이크로 팩토리 시스템을 이용하여 마이크로부품을 가공, 조립하기 위해서는 마이크로 단위 이하의 분해능을 가진 측정장비의 사용이 필수적이다. 이와 같이 마이크로 팩토리 시스템은 가공, 조립, 검사 공정에서 각 공정에 요구되는 측정을 동시에 수행하는 복합화된 가공기라고 할 수 있다.

본 기사에서는 일반적인 마이크로 팩토리시스템에서 가공, 조립, 검사공정에서 사용하기 위해 현재 시도하고 있는 센싱기술들에 대하여 언급하며, 마이크로 팩토리시스템을 이용하여 광부품에서 많이 사용하고 있는 평면 광도파로의 가공을 위한 visual 시스템과 초음파 진동절삭을 이용한 가공 기술에 대하여 간략하게 언급하고자 한다.

2. 마이크로팩토리의 환경 인식 시스템

2.1 Electrochemical micro-gear machining

대부분의 마이크로 가공은 소재에서 불필요한 미소부분을 기계적으로 제거하는 방법을 사용하고 있지만, 실제 전기화학적 가공방법은 전기화학적 반응을 이용하므로 에너지소비가 아주 작아서 마이크로팩토리 시스템의 가공방법으로 매우 적당하

\* 부산대학교 정밀기계대학원

\*\* ㈜테크맥

\*\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

Tel. 051-510-2465, Fax. 051-514-2982

Email: dwoolee@pusna.ac.kr

고속가공기술, 마이크로가공기술, 3차원 측정시스템 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

다. 전기화학적 공정을 이용하여 micro-gear 를 제조하는 마이크로팩토리시스템에서 가공, 조립공정에 필요한 측정요소들을 Fig. 1 에 나타내었다.

Processing unit 에서 micro-gear mold 를 가공하기 위해서는 앵커점의 직경, 앵커점과 micro-gear mold 사이의 거리, 각 기어이빨의 형상을 측정할 수 있는 환경인식장치가 필요하다. 가공된 마이크로 부품은 transportation unit 에 의해 assembling unit 로 이송된다. Assembling unit 는 두 개의 microarm, 홀딩장치, 고정밀 로타리 스테이지, 조립상태를 감시할 수 있는 inspection unit 로 구성된다. 조립공정에서는 micro-gear box 와 로타리 테이블사이의 접촉면, 기어박스상의 마이크로 기어의 위치등을 측정할 수 있는 환경인식장치가 필요하다. 이와 같은 조립상태를 관찰하기 위해서는 일반적으로 3 차원 입체적인 관찰이 주로 사용된다. 이와 같이 마이크로 팩토리는 가공, 조립, 검사 공정에서 다양한 가시장치, 측정센서, 제어시스템을 사용하여 2, 3 차원적인 측정과 정밀한 센싱, 측정 및 제어를 동시에 수행하는 복합화된 시스템이다.

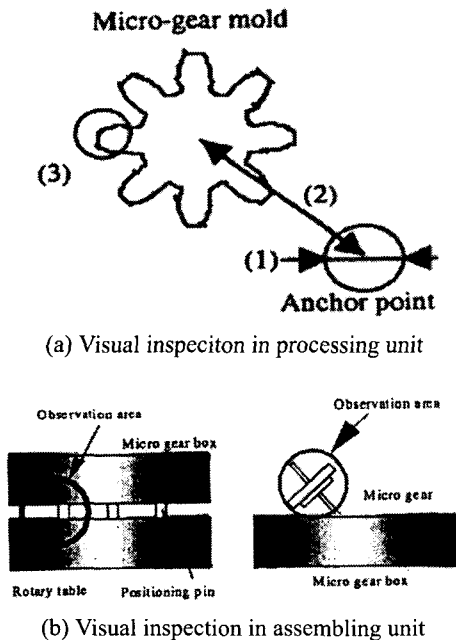


Fig. 1 Visual inspection in microfactory<sup>(11)</sup>

가공공정 및 조립공정에서 Fig. 1 에 나타난 측정요소들을 측정하는 비주얼 장치로 마이크로 스테레오 스코프가 있다. 이 장치는 두개의 이미지 광섬유센서로 물체를 측정하기 때문에 측정하는 영역의 위치가 이동한 것처럼 보이므로 시차메카니즘이 필요하다. Fig. 2 는 입체측정의 원리를 나타낸 것이다. 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 하기위하여 SMA (shape memory ally) 코일 액츄에이터를 사용할 수 있다.

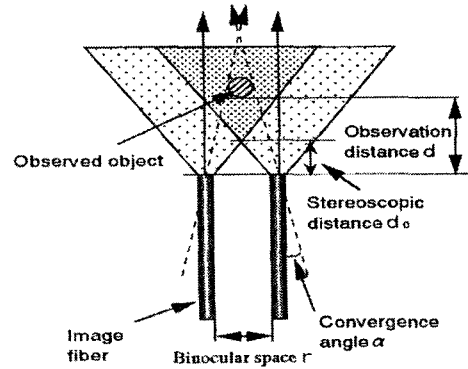


Fig. 2 Principle of stereoscopic observation<sup>(6)</sup>

Fig. 3, 4 는 microstereoscope 와 시차메카니즘을 나타낸 것이다. 제작된 장치의 외경은 2mm 이며 시차메카니즘의 구동은 광학적으로 구동되는 별론 액츄에이터로 작동된다.

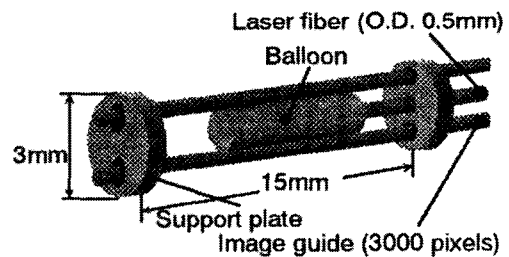


Fig. 3 Stereoscope<sup>(6)</sup>

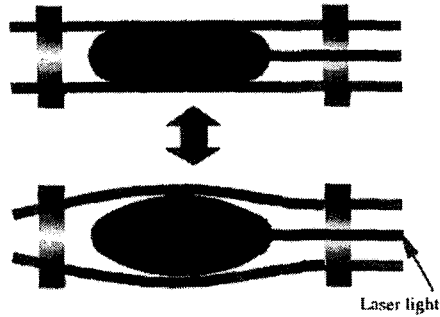


Fig. 4 Parallax mechanism<sup>(6)</sup>

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

Fig. 5 는 tactile sensor 의 단면을 나타낸 것이다. Tactile sensor 는 광섬유, 리버, 0.4mm 금속볼로 구성되어 있다. 광섬유를 통해 전달된 광은 금속볼 표면에서 반사되며, 만약 금속볼이 물체에 접촉하게 되면 금속볼의 이동으로 인해 반사광의 밀도가 변화하게 되며, 이를 측정하여 물체와의 접촉을 판단하게 된다. 이와 같은 센서와 일반적인 화이버스코프, 접촉스코프를 조합하여 마이크로 팩토리 내에서 제조된 마이크로 부품을 측정, 검사할 수 있는 시스템을 만들 수 있다. Fig. 6 은 이와 같은 시스템을 이용하여 측정하는 원리를 나타낸 것이다. Fig. 6 에 나타난 바와 같이 측정 원리는 먼저 시스템이 측정물체에 접근하여 물체와 접촉되면, tactile sensor 가 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 측

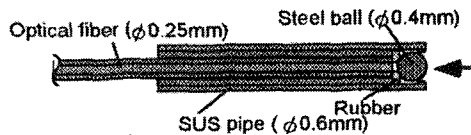


Fig. 5 Cross-sectional view of the tactile sensor<sup>(6)</sup>

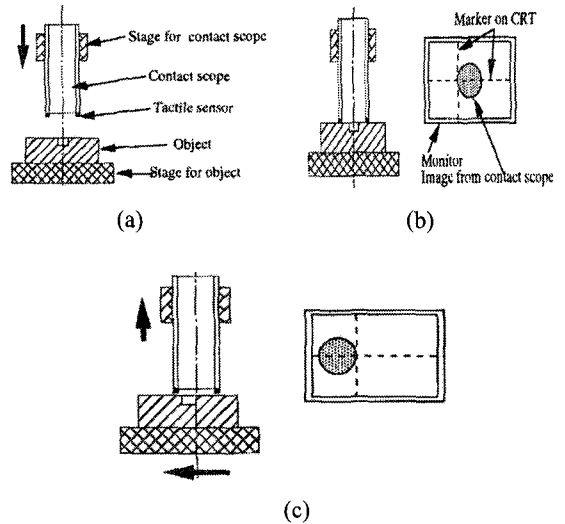


Fig. 6 Principle of measurement<sup>(6)</sup>

측정물체를 측정한다.

Conveyance unit 에서는 가공된 마이크로기어를 조립공정으로 이송하기 위해서 CCD monitor 를 이용하여 부품의 위치를 측정한다.

Fig. 7 은 Conveyance unit 를 나타낸 것이다. 전체 구조는 2 차원 평면상에서 부품 이송을 할 수 있게 되어 있으며 약 1mm<sup>2</sup> 크기의 마이크로 액츄에이터와 영구자석에 의해 이송자가 부품을 이송하도록 설계되었다. 부품 이송중 CCD monitor 는 이송자의 형상이미지를 획득하고 이미지리더에서 이를 계산하여 이송자의 위치를 파악한다. 이송자는 원형의 이미지를 가지고 부품은 이송자의 중앙에 놓이기 때문에 이송자가 부품 이송중 회전하더라도 이송자의 모서리와 부품의 상대위치는 변하지 않는다. 따라서 부품의 정밀한 위치측정 및 제어가 가능하다.

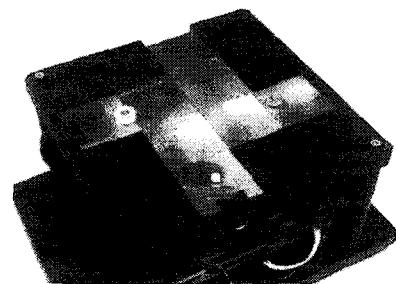


Fig. 7 The conveyance unit<sup>(12)</sup>

## 2.2 Micro-welding

Fig. 8은 레이저를 이용한 micro-welding 시스템을 나타낸 것이다. 이 시스템은 외경 0.35mm, 길이 0.2mm의 리벳을 용접할 수 있다. Micro welding 시스템은 용접봉 이송장치, 조작장치, 조립장치로 구성되어 있다. 이 시스템의 특징은 작업자가 시스템에 장착된 현미경을 통하여 마이크로 매니플레이터를 조작하여 이송과 조립공정에서 적절한 제어를 하고 있다.

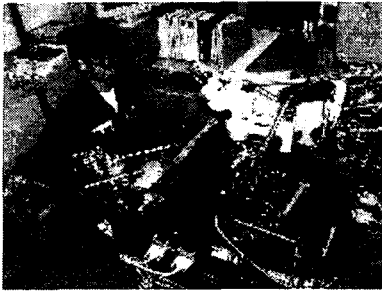


Fig. 8 Micro-welding system<sup>(10)</sup>

## 2.3 Portable microfactory에서의 감시

Fig. 9에 나타난 포터블 타입의 마이크로 팩토리는 마이크로 선반, 마이크로 밀링기, 마이크로 프레스, 조립을 위한 마이크로 핸드로 구성되어 있으며 각각의 장치에 소형 CCD 카메라를 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 CCD 카메라는 단순히 작업자의 눈을 대신하는 역할만을 하기 때문에 위치제어, 부품의 치수측정을 위한 특별한 이미지 프로세싱이 필요하지 않다.

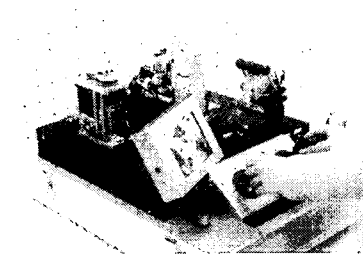


Fig. 9 Portable microfactory<sup>(13)</sup>

## 2.4 평면 광도파로 가공용 Vision system

실리콘 기판상에 광섬유와 같은 재료인 실리콘 카로 광도파로를 형성하는 PLC(Planar Lightwave Circuit)기술 및 발광/수광소자들에 대한 새로운 접합기술이 제시되면서 광집적기술의 급진전이 이루어지고 있다. PLC에 대한 연구는 1970-1980년대 부터 시작되어 빠르게 발전하고 있다.

PLC 가공 기술의 어려움 중 하나는 PLC 칩의 단말부분이 코어섬유들과 접합할 수 있도록 V-groove를 가공하는 것이다. Fig. 10은 평면 광도파로의 구조를 간단히 나타낸 것이다. Fig. 10에서 보듯이 미세한 V-groove를 기계절삭을 이용하여 가공하기 위해서는 PLC 코어의 중심에 절삭공구를 정확히 위치시키는 기술이 매우 중요하다.

㈜테크맥에서는 dicing saw를 이용한 평면 광도파로 접합부 가공시스템을 개발중이다.

Fig. 11은 개발된 가공 시스템을 나타낸 것이다. PLC 코어의 중심좌표를 정확히 측정하기 위해서 CCD 카메라를 이용한 Vision system을 장착하였으며, 시스템 사양은 분해능이 0.1 μm, CCD 분해능이 640X480 픽셀, 600 배의 확대비율을 가지고 있다. Fig. 11에서 보듯이 PLC를 PZT 정밀 스테이지 위에 설치하고 CCD 카메라를 이용하여 PLC 코어

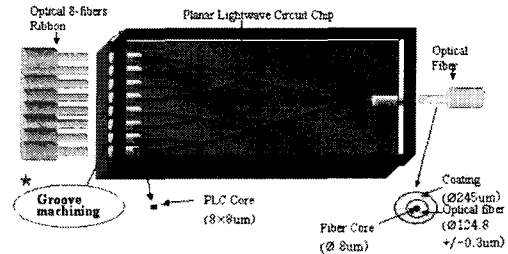


Fig. 10 Structure of planar lightwave circuit

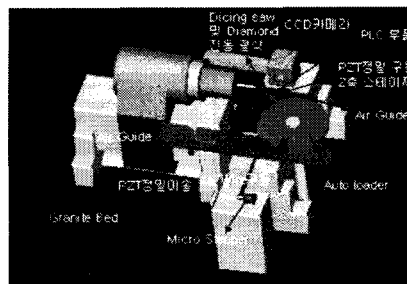


Fig. 11 V-groove for PLC machining system

의 형상을 이미지의 형태로 획득한다. 획득된 PLC 코어의 이미지를 그래픽 처리기술을 이용하여 2 차원 좌표값으로 환산하고, 계산된 좌표값을 통해 dicing saw 의 가공위치를 제어하 FU 최종적으로 V-groove 를 가공하는 것이다.

### 2.5 초음파 진동절삭

현재 미세가공에 사용되고 있는 방법들에는 LIGA(Lithographie Galvanoformung Abformung), 레이저, 에칭을 이용한 방법들이 있으나 LIGA 는 대형, 고가의 장비가 필요하다는 단점이 있으며 레이저를 이용한 방법은 레이저의 빛에너지가 열에너지로 전환되면서 재료를 용융함으로써 표면정도를 얻기가 어려우며 에칭은 환경오염, 화학반응 제어의 어려움으로 형성정밀도에 문제가 있어 최근 절삭에 의한 미세가공기술에 대하여 활발한 연구가 진행중이다. 앞에서 언급한 평면 광도파로 비전 시스템에 적용하여 PLC 접속부에 미세 V-groove 가공을 하기 위한 한 방법으로 초음파 진동절삭에 대하여 간단히 언급한다.

#### 2.5.1 진동 절삭 가공 시스템

본 시스템의 구성은 공구에 초음파 진동을 발생시킬 수 있는 장치와 x, y, z 이송시스템, PC-NC 기반 수치제어 시스템으로 구성되어 있다. x, y 이송시스템은 z 축과 진동시스템을 이송하며 공기 정압 안내면 및 스텝모터로 구성되어 있으며 z 축은 LM(Linear Motion)가이드로 제작되었다. Fig. 12 는 제작된 진동절삭 가공 시스템을 나타낸 것이다.

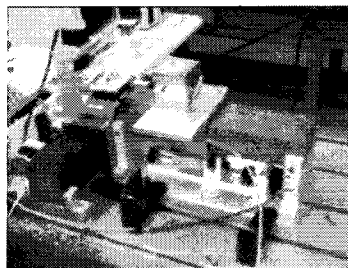


Fig. 12 Machining system for vibration cutting

#### 2.5.2 실험방법

이송속도 0.1m/min, 일반절삭, 1 차원 초음파 진동절삭, 2 차원 초음파 진동절삭을 절입깊이 5  $\mu\text{m}$

~85  $\mu\text{m}$ 까지 가공 실험을 하였다. Fig. 13 은 가공할 평면 광도파로의 형상을 나타낸 것이다. Table. 1 은 실험조건을 나타낸 것이다.

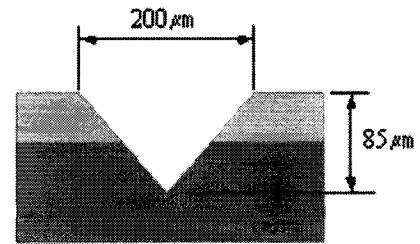


Fig. 13 Dimension of the groove

Table 1 Experimental conditions

Workpiece	PLC(planar lightwave circuit)
Tool	Diamond
Cutting speed	0.1m/min
Frequency	19.25kHz
Depth of cut	5 $\mu\text{m}$
Cutting fluid	water

#### 2.5.3 실험 결과

평면 광도파로 가공의 경우 일반절삭, 1 차원, 2 차원 진동 절삭 모두 공구 진입부분에서 재료가 깨어짐이 있었다. 그로 인해 시작 부분에서의 폭이 넓어져 있음을 알 수 있다. Fig. 14 는 PLC 접속부의 가공결과를 나타낸 것이다.



Fig. 14-(a) Conventional cutting



Fig. 14-(b) 1 dimensional ultrasonic vibration cutting



Fig. 14-(c) 2 dimensional ultrasonic vibration cutting

평면 광도파로는 서로 다른 재료가 적층이 된 광부품이기 때문에 레이저로 가공할 경우 규소(Si)와 이산화규소(SiO<sub>2</sub>)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.

### 3. 결론

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 요구되며, 가공된 부품을 조립, 검사하기 위해서는 마이크로 단위 이하의 측정이 가능해야 한다. 따라서 마이크로 팩토리 시스템은 마이크로 가공뿐 아니라 마이크로 측정을 위한 Micro visual system 등 측정 기술을 통합한 복합화된 시스템 구성이 필요하다.

### 참고문헌

1. K. Furuta, Y. Ishikawa, Y. Mikuriya, and Y. Takahashi, "The microfactory system in national R&D project of MITI," Workshop on Microfactory(IWMF'98), Japan, pp. 193-196, 1998.
2. N. Kawahara, T. Suto, T. Hirano, T. Kitahara, N. Ooyama, and T. Ataka, "Microfactories; new applications of micromachining technology to the manufacture of small products," Technical papers, Microsystem Technologies, pp. 37-41, 1997.
3. K. Furuta, "Experimental Processing and Assembling System (Microfactory)," Proceedings of the Fifth International Micromachine Symposium, pp. 173-177, 1999.
4. T. Kitafara, K. Ashida, M. Tanaka, Y. Ishikawa, and N. Oyama, "Microfactory and Microlathe," IWMF'98, pp. 1-8, 1998.
5. Hosotani, K., Maeda, S., Tohyama, O., and Ito, H., "Fiberscope-type environmental monitoring devices with binocular parallax accommodation mechanism for stereoscopic observation," Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, pp. 400-405, 1997.
6. O. Tohyama, S. Maeda, "Environmental recognition devices," Sensors and Actuators, Vol. 64, pp. 198-204, 2000.
7. Yasunori, S., Takeshi, O., "An in-situ incremental microforming system for three-dimensional shell structures of foil materials," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 113, pp. 636-640, 2001.
8. K. Ishii, M. Nakao, H. Amano, and Y. Hatamura, "Concept and Realization of Micro Mechanical Manufacturing System," IWMF'98, pp. 27-32, 1998.
9. Kazuhiro, T., Yoshikazu, M., and Yuichi, I., "Micro sensor developments in Japan," Sensor Review, Vol. 19, pp. 37-42, 1999.
10. Haruo, O., "Micro-assembly system," Technical report, Corporate R.D Center, Olympus Optical CO.LTD.
11. Pedro J.E., "Microassembly 5(Supporting Technologies)," 2<sup>nd</sup> International Workshop on Microfactories, Fribourg, Switzerland, 2000.
12. Tatsuaki, A., "The Experimental Microfactory system in Japanese National R&D project," Seiko Instruments Inc..
13. Makoto, T., "Development of desktop machining microfactory," RIKEN Review, No. 34, pp. 46-49, 2001.