

## 광 부품 조립을 위한 마이크로 조립 시스템

강현재\*, 김상민, 남궁영우, 김병규 (한국과학기술연구원 마이크로시스템연구센터)

### Microassembly System for the assembly of photonic components

H. J. Kang\*, S. M. Kim, Y. W. NamGung, B. Kim (Microsystem Research, KIST)

#### ABSTRACT

In this paper, a microassembly system based on hybrid manipulation schemes is proposed and applied to the assembly of a photonic component. In order to achieve both high precision and dexterity in microassembly, we propose a hybrid microassembly system with sensory feedbacks of vision and force. This system consists of the distributed 6-DOF micromanipulation units, the stereo microscope, and haptic interface for the force feedback-based microassembly. A hybrid assembly method, which combines the vision-based microassembly and the scaled teleoperated microassembly with force feedback, is proposed. The feasibility of the proposed method is investigated via experimental studies for assembling micro opto-electrical components. Experimental results show that the hybrid microassembly system is feasible for applications to the assembly of photonic components in the commercial market with better flexibility and efficiency.

Key Words : Microassembly, hybrid manipulation, fine alignment, force feedback, vision.

#### 1. 서론

근래에 들어 잉크젯 프린터 헤드와 가속도계, Optical MEMS 와 같은 상용 MEMS 시장이 급속도로 증가하고 있다. 이와 같은 MEMS 부품들은 일체화된 구조로 가공 되기 때문에 조립 작업이 필요하지 않다. 그러나, 하드디스크의 헤드와, optical fiber assemblies, 센서, RF switches/filters 와 같은 MEMS 부품일 경우에는 정밀 조립 작업이 필요하다. 현재 이와 같은 마이크로 시스템들은 조립의 어려움으로 수동 조립 또는 반 자동 조립 공정으로 조립을 하고 있다.

또한, MEMS 부품 조립을 위한 마이크로 조립 시스템에서 조립의 신속성과 안정성을 향상 시키는 연구에 대한 잠재성은 몇몇 문헌에서 언급하고 있으며<sup>(1,3,5,7)</sup>, 일부의 연구 그룹에서는 MEMS 부품 조립의 신속성과 안정성을 추구하는 조립 시스템을 개발하고 있다<sup>(4,8)</sup>. 비전 정보를 이용하여 조립 공정을 수행하는 “MINIMAN”이라고 불리는 조립 시스템의 개발과<sup>(2)</sup>, 원격 조종 조립 작업을 기반으로 한 3 자유도 마이크로 조립 시스템의 개발이 이들의 예들이다<sup>(4)</sup>.

본 논문에서는 위의 연구 경향과 같이 MEMS 부품 조립의 신속성과 안정성 향상을 위한 하이브리드 조립 기법을 기반한 마이크로 조립 시스템을 제안한다. 여기서 하이브리드 조립 기법이란, 조립 공정의 신속성 향상을 위한 자동 조립 기법과 안정성 향상을 위한 원격 조종 조립 기법을 융합한 조립 기법으로써, 각 조립 기법의 장점을 이용하는 것을 말한다.

광 통신 시장의 급속한 성장으로 광 통신 부품 조립의 필요성이 증가함에 따라서 본 연구에서는 그림 1 과 같은 광 통신 부품중의 하나인 980nm laser pump 모듈을 위한 조립 시스템을 개발하고, 본 연구에서 제안하는 하이브리드 조립 기법을 검증한다.

광 통신 시장의 급속한 성장으로 광 통신 부품 조립의 필요성이 증가함에 따라서 본 연구에서는 그림 1 과 같은 광 통신 부품중의 하나인 980nm laser pump 모듈을 위한 조립 시스템을 개발하고, 본 연구에서 제안하는 하이브리드 조립 기법을 검증한다.

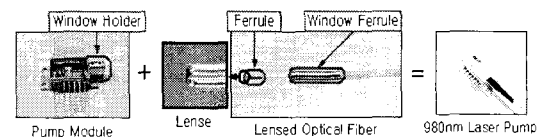


Fig. 1. Opto-electrical component: 980 nm Laser Pump.

#### 2. 광 부품 조립 공정

980nm Laser Pump 모듈의 조립 공정은 그림 2 와 같다. 본 연구에서는 수동 공정으로 이루어지는 “Supply fiber ferrule”와 “Adjust Lensed fiber angle” 을

위한 하이브리드 조립 기법을 이용한 마이크로 조립 시스템을 개발하고자 한다.

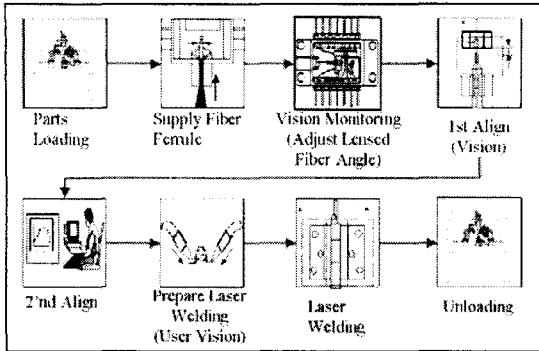


Fig. 2. Pump LD align and welding process.

그림 3에서는 광 부품 조립 공정의 수동 조립 공정과 본 연구에서 제안하는 하이브리드 조립 공정을 비교하고 있다. 하이브리드 조립 공정은 조립 작업의 신속성과 안정성 향상을 위하여 자동 조립과 원격 조종 조립으로 구성 되어 있으며, 본 연구에서는 비전 정보를 이용하여 자동 조립과 원격 조종 조립을 수행한다.

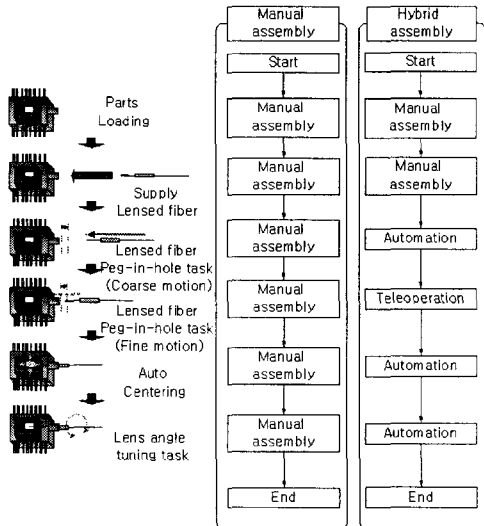


Fig. 3. Assembly process of opto-electrical component

### 3. 마이크로 조립 시스템

#### 3.1 시스템 개요

본 조립 시스템은 하이브리드 조립을 위하여 Master, Slave 로 구성 되어 있으며, 각 부분은 TCP/IP 로 연결 되어 있다. Master 부분은 작업자가 작업을 교시하는 부분으로 햅틱 디바이스와 그래픽 사용자 인터페이스로 구성되어 있으며, Slave 부분

은 조립 작업을 수행하는 부분으로 마이크로 매니플레이터와 마이크로 비전 시스템으로 구성되어 있다. 작업자는 Master 의 그래픽 사용자 인터페이스를 통해서 Slave 에서 수행되고 있는 조립 공정을 입체적으로 모니터링할 수 있으며 다양한 조립 정보를 제공 받는다.

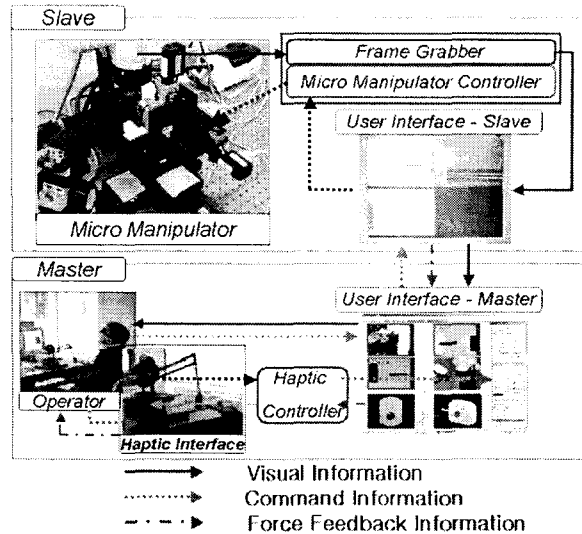
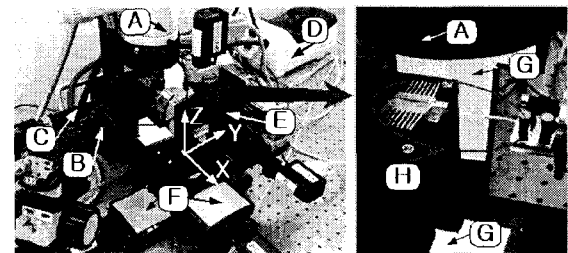


Fig. 4. A schematic of the flexible microassembly system based on hybrid manipulation scheme

#### 3.2 비전 시스템과 마이크로 매니플레이터



A : Optical Stereo Microscope (Top View) E : Fine Motion Stage  
 B : Optical Microscope (Global View) F : Coarse Motion Stage  
 C : Optical Microscope (Lateral View) G : EL Sheet  
 D : Illuminator Source H : Opto-electrical component

Fig. 5. Micropositioning system.

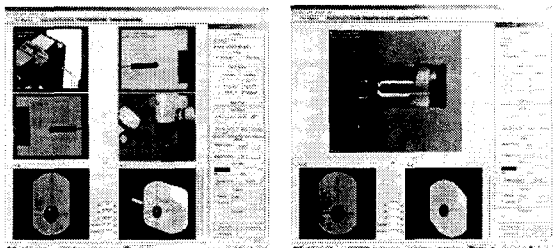
마이크로 비전 시스템은 그림 5 와 같이 Top View, Global View, Lateral View 로 구성되어 있으며.. Top View 와 Lateral View 는 광 부품 조립 작업의 3 차원 영상 정보를 획득하고, Global View 는 전 조립 공정을 작업자에게 제공한다.

광 부품을 조립하기 위해서 본 연구에서는 2 자유도의 Coarse Motion 스테이지와 4 자유도의 Fine Motion 스테이지로 마이크로 매니플레이터를 구현

하였다. Coarse Motion 스테이지는 8um의 resolution을 갖는 Linear Stage로 2축을 구성하였으며, Fine Motion 스테이지는 0.04um의 resolution을 갖는 3축의 스테이지와 0.03 degree의 resolution을 갖는 rotation stage로 구성하였다.

### 3.3 그래픽 사용자 인터페이스

작업자에게 조립 공정의 다양한 정보를 제공하기 위하여 지능형 사용자 인터페이스 개념을 이용하여<sup>(6)</sup> 그래픽 사용자 인터페이스를 다. 그림 6은 본 연구에서 개발한 그래픽 사용자 인터페이스로 마이크로 비전 시스템에서 얻은 비전 정보를 작업자에게 제공할 뿐만 아니라 3차원 가상 공간을 구현함으로써 조립 작업의 효율을 높인다. 또한 작업자는 조립 작업에 필요한 다양한 지시를 그래픽 사용자 인터페이스로 한다.



a) Fiber alignment. b) Angle tuning process.

Fig. 6. User interface for hybrid manipulation .

## 4. 조립 전략

### 4.1 비전 정보를 이용한 자동 조립

본 연구에서는 광 부품 자동 이송과 optical fiber의 각도 조종과 같은 조립 공정이 명확하고, 작업자의 개입이 필요하지 않는 조립 공정에 대해서는 비전 정보를 이용한 자동 조립을 수행함으로써 조립의 신속성을 높였다.

#### 4.1.1 광 부품 자동 이송

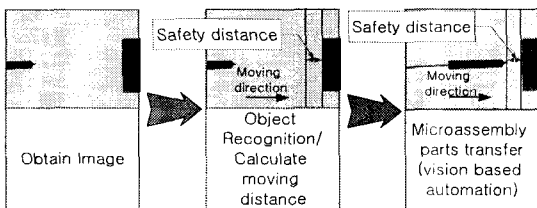


Fig. 7. Vision-based automation for optical fiber transfer

그림 7은 비전 정보를 이용하여 광 부품의 자

동 이송 공정을 보여 주고 있다. 본 공정은 마이크로 비전 시스템으로 얻은 영상 정보에서 optical fiber와 window holder를 인식한 후, 각 부품간의 거리를 계산하여 optical fiber를 각 부품간의 충돌이 일어나지 않는 안전거리까지 자동으로 이송하는 공정이다.

#### 4.1.2 Optical Fiber의 각도 자동 조정

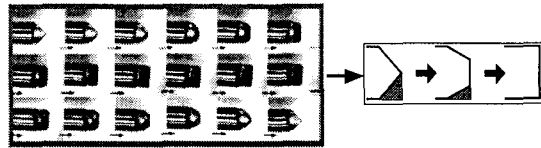


Fig. 8. The change of the triangular area of lens

Optical fiber의 각도는 광 전송률에 많은 영향을 미치는 요소이며, 그림 8은 optical fiber가 회전함에 따른 lens 하단부의 면적이 변화를 보여 주고 있다. lens 하단부의 면적이 최소가 될 때 광 전송률이 가장 좋게 되기 때문에, 본 연구에서는 lens 하단부의 면적으로서 광 전송률이 최대가 되도록 optical fiber의 회전 각도를 조정한다. Lens의 하단부의 면적은 그림 9와 같은 요소를 사용하며, 식은 (1)과 같다.

식(1)에서 n은 lens 윤곽선을 이루고 있는 pixel의 개수를 나타내고 있으며, C(i)는 i번째 pixel의 y축 좌표 값을 나타내고 있다.

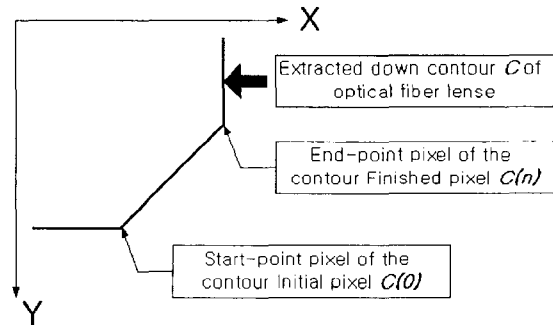


Fig. 9. Parameters to calculate the triangular area of lens.

$$Area = \sum_{i=1}^n (C(0) - C(i)) \dots\dots\dots (1)$$

Lens 하단부의 면적 값의 변화율은 면적 값이 최소가 될 때 보다 최대가 될 때 크기 때문에 본 연구에서는 lens 하단부의 면적이 최대가 되는 부분이 되도록 optical fiber의 각도를 조정한 후, 90도 회전 시켰다.

#### 4.2 비전 정보를 이용한 원격 조종 조립

광 부품 조립 공정 중 “Supply fiber ferrule” 공정은 광 부품의 파손이 있고 작업자의 다 자유도 교시가 필요하기 때문에 본 연구에서는 조립의 안정성을 위하여 비전 정보를 이용한 원격 조종으로 조립 작업으로 “Supply fiber ferrule” 공정을 수행하였다.

##### 4.2.1 비전 정보를 이용한 비례 상수 조립

원격 조종 작업 시 작업자가 움직이는 햅틱 디바이스의 변위와 마이크로 매니퓰레이터의 움직임의 비율인 비례 상수는 원격 조종 조립 작업 시 중요한 요소로써, 비례 상수가 낮으면 작업의 속도는 빠르지만, 작업자의 손 떨림과 같은 노이즈가 조립 작업에 그대로 반영된다. 반면, 비례 상수가 높으면 작업의 속도가 늦지만 작업의 노이즈를 제거할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 비례 상수를 동적으로 조정함으로써 원격 조종 조립 작업의 효율을 높였다.

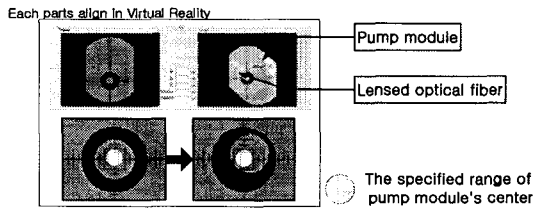


Fig. 10. Concept of vision-based scale factor tuning.

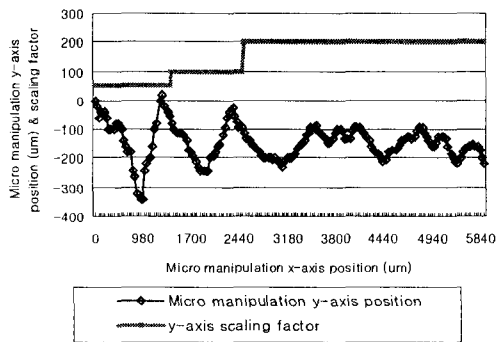


Fig. 11. Experimental result of vision-based scale factor tuning.

그림 10 은 비전 정보를 이용한 비례상수를 자동 조정하는 알고리즘의 개념을 보여주고 있다. 비전 시스템에서 얻은 영상 정보를 기반으로 가상 환경을 구현한 후, 가상 환경에서 optical fiber 가 window holder 의 hole 의 중심에서 일정 범위에 들어왔다가 나갈 경우 그래픽 사용자 인터페이스는 비례 상수를 두 배로 증가시킨다. 그림 11 은 이러

한 비전 정보를 이용한 동적 비례 상수 조정의 결과를 보여주고 있다. Optical fiber 의 삽입 작업이 이루어짐에 따라 비례 상수는 동적으로 증가하고 마이크로 매니퓰레이터의 움직임은 window holder 의 hole 중심에서 일정 범위 안에 수렴하는 것을 볼 수 있다.

##### 4.2.2 비전 정보를 이용한 Sound and Force Feedback

###### Collision Decision

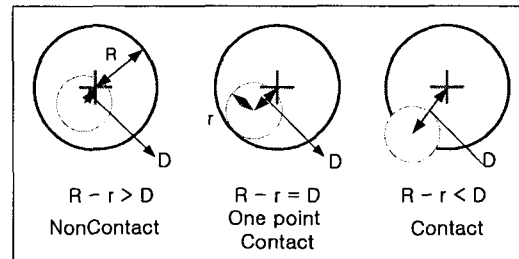


Fig. 12. Vision-based sound and force feedback flowchart.

본 연구에서는 원격 조종 조립 작업의 안정성을 높이기 위하여 비전 정보를 이용한 sound 와 Force feedback 알고리즘을 개발하였다. 비전 시스템에서 얻은 영상 정보와 각 부품의 기하학적인 정보를 이용하여 가상 환경을 구현한 후, 가상 환경에서 각 부품의 충돌 정보를 그림 12 와 같이 검출한다. 사용자 인터페이스는 Optical fiber 와 Window holder 의 hole 이 한 점에서 접촉하면 작업자에게 sound feedback 로 경고 메시지를 제공하고, 두 점 접촉일 경우에는 작업자에게 force feedback 을 제공함으로써 부품의 파손을 막고, 원격 조종 조립 작업의 안정성을 높인다.

## 5. 결과

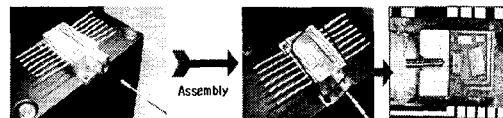


Fig. 13. Experimental result

본 논문에서는 광 부품 수동 조립 공정을 위한 하이브리드 조립 기법을 기반한 마이크로 조립 시스템을 구현하였으며, 실제 조립 작업을 수행함으로써 하이브리드 조립 기법을 검증하였다. 마이크로 매니퓰레이터와 3 차원 조립 정보를 얻기 위한 비전 시스템, 하이브리드 조립 기법을 사용한 그래픽 사용자 인터페이스를 개발하였으며, 조립 작업

의 효율성과 신뢰성 증가를 위하여 비전 정보를 이용한 자동 조립 공정과 원격 조종 조립 공정의 방법을 개발하였다. 기존의 수동 조립일 경우 1 개월 이상의 숙련자가 10 분 이상이 소요되지만, 본 시스템을 사용하면 비숙련자도 1 일 정도 훈련을 하면 5 분 이내에 작업을 완성한다.

본 연구의 마이크로 조립 시스템은 광 부품 뿐만 아니라 일반 마이크로 부품을 조립뿐만 아니라 바이오 매니퓰레이터 시스템으로 응용이 가능할 것으로 기대된다.

### 후 기

본 연구는 과학 기술부 21 세기 프론티어 연구 개발 사업인 지능형 마이크로 시스템 개발 사업 (<http://www.microsystem.re.kr>)의 연구비 지원을 받아 수행되었음 ; 과제협약번호 MS-02-324-01.

### 참고문헌

1. N. Ando, P. Korondi, H. Hashimoto, "Development of micromanipulator and haptic interface for networked micromanipulation," IEEE/ASEM Transactions on Mechatronics, vol. 6, no. 4, pp. 417-427, 2001.
2. S. Fahlbusch, S. Fatikow, J. Seyfried and A. Buerkle, "Flexible microrobotic system MINIMAN: design, actuation principle and control," Proceeding IEEE/ASEM International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 156-161, 1999.
3. T. Fukuda and F. Arai, "Prototyping design and automation of micro/nano manipulation system," Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 192-197, 2000.
4. D. H. Kim, K. Y. Kim, and K. Kim, "A micro manipulation system based on teleoperation techniques," Proceedings of 32nd International Symposium on Robotics (ISR2001), 2001.
5. D. Popa, B. H. Kang, J. Sin, and J. Zou, "Reconfigurable micro-assembly system for photonics applications," Proceedings of 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1495-1500, 2002.
6. E. H. Song, D. H. Kim, K. Kim, and J. Lee, "Intelligent user interface for teleoperated microassembly" Proceedings of the 2001 International Conference on Control, Automation and System, pp. 784-788, 2001.
7. G. Yang, J. A. Gains and B. J. Nelson, "A flexible experimental workcell for efficient and reliable wafer-level 3D micro-assembly." Proceedings of 2001 IEEE

International Conference on Robotics and Automation, pp. 133-138, 2001.

8. W. Zesch and R. S. Fearing, "Alignment of microparts using force controlled pushing," Proceedings of 1998 SPIE Conference on Microrobotics and Micromanipulation, 1998.