

# 마이크로 머니플레이션 시스템상에서의 미세 힘 측정력 향상 Improvement of Micro Force Sensing in Micro Manipulation System

\*구자춘<sup>1</sup>, #최혁렬<sup>1</sup>, 하승화<sup>1</sup>, 최병준<sup>1</sup>, 인용석<sup>1</sup>, P.T Cong<sup>1</sup>, 이상무<sup>2</sup>

\*J.C. Koo<sup>1</sup>, #H. R. Choi<sup>1</sup>(hrchoi@me.skku.ac.kr), S. H. Ha<sup>1</sup>, B. J. Choi<sup>1</sup>, Y.S. Ihn<sup>1</sup>, P.T. Cong<sup>1</sup>, S. M. Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 성균관대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 한국생산기술연구원

Key words; micro manipulation, micro force measurement, strain gauge

## 1. Introduction

현재 초정밀 초소형 기계와 조립시스템의 시장동향을 살펴보면, 지속적으로 제품이 소형화되어 가고 상품들의 기능들이 끊임없이 통합되어 다기능화 되어가고 있는 추세에 있다[1][4]. 미래형 머신을 요구하는 초소형 부품들은 여러 공정과정을 거치면서 만들어지는데 이러한 공정과정은 매우 정밀한 위치의 응답성과 정교하고 복잡한 컨트롤을 통해서 빠른 정렬 공정을 가진 다기능 처리성을 요구하게 되어감에 따라 점점 비용이 증가되어가고 있고 미소공정처리과정 중 조립공정을 수행 시 초소형 도구 즉, 초소형 그립퍼를 물체의 표면 또는 작업물체의 면과의 사이에 정확하게 정렬시키는 등의 복잡하고도 정밀한 작업의 요구가 또한 증대되고 있다. [2].

따라서, 본 논문에서는 저가의 센서를 이용하여 구조적인 변형과 센서의 최적화된 위치구현으로 정밀하고 감도가 매우 높은 예를 들어,  $\mu\text{N}$  또는  $\text{nN}$  단위의 측정이 가능한 힘 측정 프로브를 개발하여 개선하는데 목적이 있다. 그리고 개발된 프로브는 정밀 로봇 시스템에 최종적으로 통합될 예정이다.

이 힘 측정 프로브는 저가의 반도체형 스트레인 게이지를 이용하여 마이크로 혹은 나노 크기의 물체와 접촉시에 발생하는 힘과 위치에 대한 정보를 습득할 수 있도록 구현되었고 보다 감도 높은 결과를 습득하기 위해서 게이지의 위치는 이론적으로 계산하고 유한요소해석 및 실험을 실시함으로써 가장 최적화된 위치에 구현시켰다.

## 2. Force Sensing of Robot Manipulation System

Dual 타입의 반도체형 스트레인 게이지를 사용함으로써 작동시키고자 하는 물체와 접촉하는 텅스텐 팁을 통해서 전달되는 일정 지점에서 작용한 힘을 측정하고 그 때의 위치값을 구현하게 된다.[4][6] 그림 1에서는 스트레인 게이지가 부착되는 위치와 전체적인 구조를 볼 수 있으며, 이에 적용되는 계산식은 다음과 같다. 여기에서  $h$ 는 보의 두께 값을 나타내고,  $E$  값은 탄성계수 값을 나타내며,  $I$ 는 관성모멘트 값을 나타낸다.

$$\epsilon_1 = \frac{M_1 y}{EI} = \frac{h}{2EI} F(x - x_1) \quad (1)$$

$$\epsilon_2 = \frac{M_2 y}{EI} = \frac{h}{2EI} F(x - x_2) \quad (2)$$

(1)과 (2)식에 의해서 각 위치상의 변형률값이 구해지고 이 값은 다음과 같은 식으로 유도되어 최종적으로 적용된 힘과 거리 값을 계산할 수 있다.

$$F = \frac{2EI}{h(x_2 - x_1)} (\epsilon_1 - \epsilon_2) \quad (3)$$

$$x = x_1 + \frac{\epsilon_1}{(\epsilon_1 - \epsilon_2)} (x_2 - x_1) \quad (4)$$

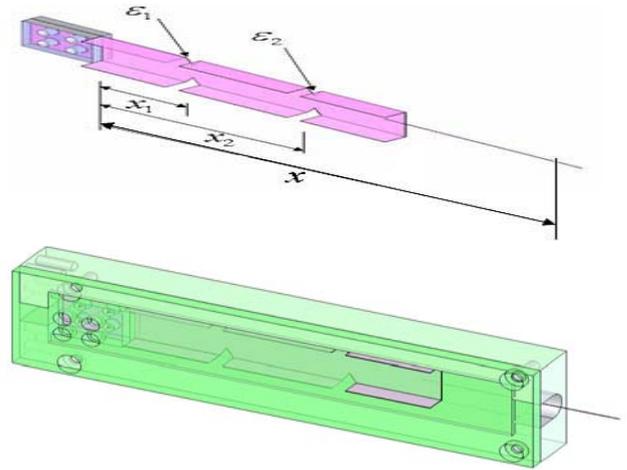


Fig. 1 Schematics for micro force sensing with semiconductor strain gauge

그림 1의 구조는 외부로부터 작용하는 요인들에 대하여 영향을 최소화하고 각 위치상에 부착되어있는 반도체형 게이지로부터 측정할 때에 감도를 극대화시킬 수 있도록 고려되어 제작되었다. 즉, 이는 게이지가 부착되는 센서 플레이트가 매우 얇고(0.1mm) 쉽게 구부러지는 성질을 가지고 있어서 구조적으로 발생하는 진동 및 여러 외부 요인들은 센서에 많은 영향을 끼치게 된다. 그리고 이는 부착된 센서의 위치에 따라서 달라지게 되는데 예를 들어, 임의의 지점에 힘을 가했을 때 발생하는 변형률은 게이지의 위치에 따라서 달라진다. 따라서, 임의의 힘을 정밀하게 측정할 수 있는 최적화된 위치구현은 매우 중요하고 이를 구현시키는 것은 시스템의 안정화와 감도 및 출력값의 정확성을 극대화시킬 수 있으므로 미세측정용 센서를 개발하고 개선하는데 있어서 매우 중요하다. 이 위치는 1D 상에서 Euler-Bernoulli 식을 통해서 보의 횡축진동 동역학을 해석하고 이를 공간상 모델의 상태방정식에 적용시켜 보의 끝에 가한 일정량의 힘을 측정하는 최적화된 위치값을 유도하여 구현하였다.[5] 이를 최종적으로 3D 상태에서의 가장 최적화된 위치값을 찾아 현재의 센서에 확대 적용시켰다. 또한 전달함수를 이용하여 시스템이 안정된 구간상에서의 측정할 수 있는 위치를 구현하였고 이는 그림 2와 같이 ANSYS 구조해석프로그램 및 실험을 통해서 증명하였다.

위의 개발된 센서는 현재 진행중인 high precision robot manipulation system에 통합되고 있으며, 4 자유도를 가지는 초정밀 시스템의 스테이지상에 마이크로 비전을 통해서 인식된 물체에 대한 정보와 센싱시스템으로 측정된 정보가 혼합되어 예상위치로 정확히 위치시키는데 기여하게 된다. 이와 같은 시스템은 그림 3에 나타나 있다.

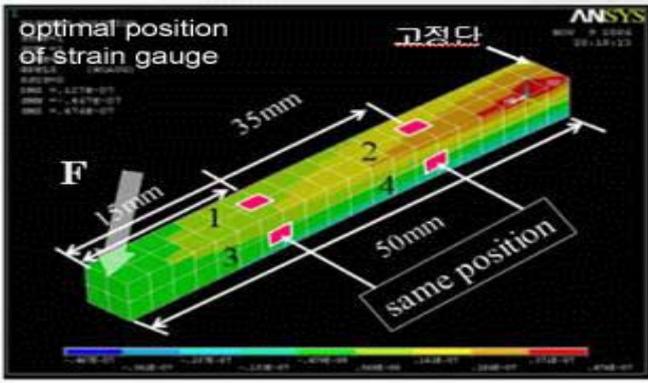


Fig. 2 Optimal position of strain gauge for 3D measurement

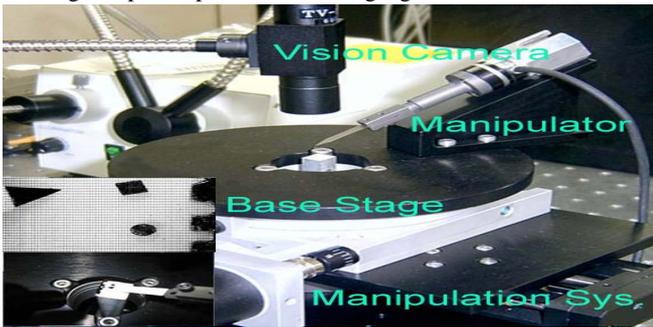


Fig. 3 Integrated manipulation system

### 3. Experiment

위의 센싱 시스템은 다음과 같은 경로로 최종 데이터를 확인하게 되는데, 우선 두 개의 스트레인 게이지로부터 측정된 신호값은 자체 제작된 OP-Amp 를 거쳐 신호가 증폭되고, 이 값은 NI 社의 DAQ 보드를 통해서 PC 상으로 전달되어 구현되어진 알고리즘을 통해 최종적으로 GUI 형태로 최종값을 확인하게 된다. 측정된 신호값은 노이즈를 포함하고 있어 FFT 분석을 통해 이 값을 해석하고 OP-Amp 상에 수개의 Low Pass Filter 를 구현하여 노이즈를 제거하였다. 또한 상위 개발된 구조에서 컷팅 역할을 할 수 있도록 커버를 제작 함으로서 외부로부터 작용하는 영향을 최소화시켰다. 현재 사용하고 있는 반도체형 스트레인 게이지는 Kyowa 社의 KSN-2-120-E5 타입을 사용하고 있으며, 반도체형 게이지는 일반적으로 사용하고 있는 foil 타입의 게이지에 비해서 게이지 팩터값이 크기 때문에 sensitivity 가 우수하여, 작은 힘을 측정하는데 있어서 보다 효과적이라고 할 수 있다[3]. 하지만, sensitivity 가 커지는 만큼 작은 힘이나 주변 상황에 의해서 영향을 쉽게 받게 되고 스트레인 게이지를 붙이는 과정에서 눈으로 확인할 수 없는 게이지의 압착상태 및 본드의 양 등은 실제의 신호값에 큰 영향을 미친다.

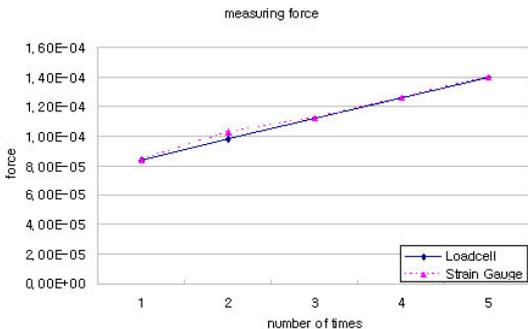


Fig. 4 Force measurement

따라서, 저울과 현미경 및 각종 정밀도구를 이용하여 발생될 수 있는 오차를 최소화할 수 있도록 노력했다. 계

다가 주변의 영향으로 인하여 실제의 신호값에 여러 형태로 나타나는 노이즈가 같이 발생되어 이를 안정화시키기 위해 부가적으로 여러 보호시스템을 추가했다. 또한, 이외에 발생하는 값에 대한 오차를 극복하기 위해서 교정작업을 실시했고 이를 통해 센서가 측정할 수 있는 안정적인 영역을 설정해 이 이상의 힘이 작용하지 않도록 그림 1의 프로토타입에 이 점을 고려해 디자인했다. 그림 4는 측정 결과값을 보여주고 있는데 데이터를 살펴보면, 로드셀의 데이터를 기준으로 거의 선형화된 데이터를 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 하지만, 여기에서 나타낸 힘의 최소화 값은 로드셀의 범위 내에서 측정된 값이고, 현재의 측정 센서는 이보다 매우 작은 힘을 측정할 수 있다. 또한 같이 측정된 거리값은 1.5%오차율의 범위내에서 측정되었다.

### 4. Conclusion

본 논문의 목적은 실시간으로 마이크로 매니플레이션이 가능한 로봇 시스템에 임베드되어 수  $\mu\text{N}$ 의 힘을 측정할 수 있는 마이크로/나노 측정 시스템을 개발 함으로서, 이를 기반으로 보다 정확하고 정밀하게 제어함으로써 목표된 위치상에 정확히 위치시키는데 기여하게 될 것이다. 현재의 시스템은 외란에 보다 강인하고 resolution 이 높은 측정 시스템을 갖추기 위해 계속 성능을 향상시키고 있고, Vision 을 기반으로 위치정보를 인식하고 각기 다른 물체를 인식할 수 있는 형상 알고리즘을 개발했다. 향후 우리의 시스템은 Vision 으로부터의 정보와 힘 측정 시스템의 정보를 실시간 피드백하여 수 nm 의 분해능을 갖는 매니플레이션 시스템을 갖출 예정에 있으며, 센서로부터 실시간 피드백된 정보들을 이용하여 일정 형상의 미세 부품을 정렬 및 조립할 수 있는 정밀 매니플레이션 시스템을 구축할 예정이다.

### 후기

본 연구는 산업자원부 성장동력 증기거점/차세대 신기술개발사업의 일환인 “지능형 극 초정밀 생산로봇 기술 개발”의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Y. Shen, N. Xi, and W. J. Li, “Force-guided assembly of micro mirrors,” International Conference on Intelligent Robots and System, Vol. 3, pp. 2149-2145, 2003.
2. E. Winder, Y. Shen, N. Xi, W. Sheng, U. C. Wejiniya, and A. Pomeroy, “Optimal Control Based Active Force Sensing System for Micromanipulation,” Proc. IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 402-407, 2005.
3. Strain gauge technology ed. By A. L. Window and G. S. Holister. London : Applied Science, 1982.
4. B. J. Choi, S. H. Ryu, S.H. Ha, T. C. Cong, J. C. Koo, S. D. Park, S. L. Lee, and H. R. Choi “Development of Multi-axial Mcrro Force Measurement Method for Electronic Device Assembly,” SCIE-ICASE International Joint Conference, pp. 1380~1384, 2006.
5. A. Bicchi, A. Caiti and D. Prattichizzo, “Optimal design of dynamic multi-axis force/torque sensor,” Proceedings of the 38<sup>th</sup>, Conference on Decision and Control, Phoenix, Arizona USA, December 1999.
6. G. S. Kim and H. D. Lee, “Development of a six-axis force/moment sensor and its control system for an intelligent robot’s gripper,” Institute of Physics Publishing, Measurement Science and Technology, 2003.