

초소형 부품의 조작을 위한 마이크로 매니플레이션 시스템 설계

Design of a Micromanipulation System for a Micro Particle

인용석¹, *#구자춘¹, 하승화¹, 최혁렬¹ 이상무²

Y. S. Ihn¹, *#J. C. Koo¹(jckoo@skku.edu), S. H. Ha¹, H. R. Choi¹, S. M. Lee²

¹성균관대학교 기계공학과, ²한국생산기술연구원

Key words : Micromanipulation, Graspless, Pushing

1. 서론

최근 들어 IT 부품의 조립 공정이 고집적화, 초소형화 추세에 따라 IT 제품의 제작 공정에 있어서 초소형 부품의 정밀 조작이 가능한 초정밀 로봇 시스템의 개발이 요구되고 있다. 초정밀 로봇 시스템의 파급 분야는 상당히 넓다. 예를 들어, Photo Lithography의 한계를 극복하기 위한 방안으로 개발되고 있는 Nano Imprinting와 TFT LCD Filter 그리고 광통신을 위한 Optical Fiber Alignments 등이 있다.

이처럼 초소형 부품을 다루는 초정밀 로봇 시스템은 다음과 같은 세 가지 중요한 기술로 구성된다. 첫째는 Feedback 시스템으로 자동화된 초정밀 로봇 시스템을 구축하기 위해 사용된다. 보통 시스템과 물체의 위치정보를 파악하기 위한 Visual Feedback과 물체의 접촉정보를 확인하게 되는 Force Feedback 시스템으로 구분할 수 있다. Carnegie Mellon University의 Metin Sitti는 현미경을 이용하여 구 형태의 4.5 μ m Polystyrene 위치정보를 이용하여 자동화된 시스템을 구축하였고,[1] Michigan State University의 Ning Xi는 200nm의 Latex를 대상으로 Force Feedback 시스템을 이용한 연은 접촉정보를 기반으로 자동화된 시스템을 구축하였다.[2]

다음으로는 대상물을 직접적으로 조작하게 되는 Manipulation 시스템이다 Manipulation 시스템은 방식에 따라 두 가지로 구분할 수 있다. 대상물을 쥐는 방법(Grasp)과 그 이외의 방법(Graspless)으로 구분할 수 있는데 이것은 대상물을 쥐는 방법(Grasp)은 대상물을 쉽게 조작할 수 있는 장점이 있는 반면 Gripper의 제작이 어렵고 깨지기 쉬운 대상물에는 적용하기가 힘들다는 단점이 있다. 그리고 쥐는 방법(Grasp) 이외의 방법(Graspless)으로는 보통 미는 방식이 대부분으로 이것은 대상물의 조작이 어려운 반면에 Manipulator를 AFM Probe와 같은 것을 이용하여 쉽게 구할 수 있고 세포와 같은 대상물에도 적용할 수 있다는 장점이 있다. Berkeley University의 R.S Fearing은 핀셋 형태의 Manipulator 및 Gripper를 제작하여 물체를 쥐는 방법으로 물체의 Rolling, Pick and Place, Aligning 및 조립을 수행하였으며,[3] IRIS의 B.J. Nelson의 경우에는 MEMS 공정을 이용하여 5~200 μ m 크기의 대상물을 조작할 수 있는 Actuator를 포함한 1cm 이하 크기의 Gripper를 제작하였다.[4] 위에서 언급한 Metin Sitti의 경우에는 AFM Probe를 이용하여 미는 방법(Graspless, Pushing)을 이용하였다.[1]

마지막으로 두 가지 시스템을 통합 및 제어하는 시스템 Integration 기술이다. 시스템 Integration에서는 실시간 제어가 중요한 부분인데 이것은 Feedback 시스템을 위한 효과적인 알고리즘의 개발과 더불어 시스템의 하드웨어의 선택에도 세심한 고려가 필요하다.

앞서 언급한 바와 같이 현재 Manipulation 시스템에 대하여 많은 연구가 진행 중에 있으나 조작 대상물에 대하여 단 방향으로만 접근하여 조작하는 경우가 대부분이다. 하지만 대상물의 효과적인 조작을 위해서는 여러 방향으로 접근하는 Manipulation 시스템이 요구된다. 그래서 본 논문에서는 조작 대상물에 대하여 여러 방향에서 접근하기 위한 효과적인 자유도 선정 및 Manipulation 시스템의 설계 기술에 대해 이야기 해보자 한다.

2. 시스템 요구사항

보통 초정밀 로봇 시스템의 Manipulation 시스템은 대상물을 조작하기 위한 x,y 방향의 자유도의 조작 대상물과의 높이를 조정할 수 있는 z 방향의 자유도가 사용된다. 하지만 여러 방향에서 접근 가능한 Manipulation 시스템을 구축하기 위해서는 회전 자유도가 필수적이다. 그러나 조작 대상물의 크기가 수십 Micro 수준인 초정밀 로봇 시스템에서는 Manipulator의 끝단이 정확히 회전 스테이지 중심에 위치하여야 한다. 하지만 시스템의 가공오차만 고려하여도 Manipulator의 끝단이 정확히 회전 스테이지 중심에 위치하는 건 불가능한 일이다. 그러므로 Manipulator의 끝단이 정확히 회전 중심에 위치할 수 있도록 Calibration할 수 있는 여유 자유도가 필수적이다. 그러므로 Manipulation 시스템은 회전 스테이지를 중심으로 위쪽에 정밀 Calibration 시스템이 필요하며 회전 스테이지 아래쪽으로는 대상물을 조작할 수 있는 시스템이 필요하다.

또한 대상물을 정밀하게 조작하기 위해서는 Piezo 기반의 시스템이 필수적인데 보통 Piezo 스테이지의 구동범위는 100 μ m 이하이므로 대상물을 광범위하게 조작하기에 어려운 점이 있다. 그러므로 대상물을 조작할 수 있는 자유도는 넓은 범위로 Manipulator의 끝단을 이동시킬 수 있는 시스템과 정밀하게 대상물을 조작할 수 있는 시스템을 이용하여 듀얼 스테이지의 구성이 필요하다.

그리고 수십 Micro 수준의 물체를 조작할 때 Manipulator 끝단과 조작 대상물의 Stiction이 발생하게 되는데 Stiction의 원인이 되는 힘으로는 반 데르 발스, 정전기 그리고 모세관 효과로써 이를 해결하기 위해서 Michigan State University의 Xiaobo Tan은 Manipulator 끝단과 조작대상물의 관계를 JKR 접촉 이론을 사용하여 모델링 하였으며 Manipulator의 미세 진동을 이용하여 Stiction 현상을 시뮬레이션 하였다. 이것을 Manipulation 시스템에 적용하기 위해서는 고 주파수로 작동할 수 있는 z 방향의 Piezo 스테이지 시스템이 필요하다.[5][6]

3. 시스템 구축

Manipulation 시스템을 구축하기 위해서 Physic Instrument(PI)의 스테이지를 이용하였다. 회전 스테이지로는 3.5 μ rad의 기본 구동 크기를 가지고 있는 Motor 방식의 M-038.DG를 사용하였으며 회전 스테이지 아래에는 50nm의 기본 구동 크기를 가지는 Motor 방식의 M-112.1DG를 두 개를 사용하여 x, y 축으로 Manipulator 끝단을 이송할 수 있다. 또한 회전 스테이지 상부에도 같은 스테이지 두 개를 사용하여 Manipulator 끝단을 회전 스테이지 중심을 Calibration할 수 있는 시스템을 구성하였다. 그리고 대상물을 정밀하게 조작하기 위해서 최상부에 2nm 크기로 구동되는 Piezo 방식의 P-611.2S를 사용하려 듀얼 시스템을 구축하였다. 또한 Manipulator의 미세진동을 위해서 같은 Piezo 방식의 P-611.ZS를 사용하였다. 그리고 전체적인 Manipulation 시스템을 z 방향으로 조절할 수 있도록 Motor 방식의 M-451.DG를 사용하였다. 마지막으로 전체적인 시스템의 구축은 바닥 가진 영향을 최대한 억제하기 위하여 Newport사의 방진 테이블 위에 설치하였다.



Fig. 1 Manipulation 시스템 모델링

4. 결론

초정밀 로봇 시스템의 구축을 위한 Manipulation 시스템의 요구사항을 살펴보았으며 이것을 만족하기 위한 Manipulation System 을 Fig. 1 과 같이 구축하였다. 구축된 시스템은 조작대상물에 여러 방향으로 접근 할 수 있으며 대상물의 광범위 정밀 조작을 위해서 Manipulator 끝 단은 Motor 와 Piezo 방식을 이용한 듀얼 스테이지 방식으로 구동되며 향후 Stiction 현상까지 제어 가능하도록 Manipulator 의 미세진동도 가능하게 하였다. 현재 Manipulation 시스템 과 Microscope 를 이용한 Visual Feedback 시스템을 사용하여 Graspless Pushing Micromanipulation 시스템을 구축 중에 있다.

후기

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

참고문헌

1. Cagdas Denizel Onal, and Metin Sitti, “Visual Servoing-Based Autonomous 2-D Manipulation of Microparticle Using a Nanoprobe,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.15, No. , pp. 842-852, September 2007.
2. Guangyong Li, Ning Xi, Mengmeng Yu, and Wai-Keung Fung, “Development of Augmented Reality System for AFM-Based Nanomanipulation,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.9, No. 2, pp. 358-365, June 2004.
3. E. Shimada, J.A. Thompson, J. Yan, R.J. Wood, and R.S. Fearing, “Prototyping Millirobots using Dexterous Microassembly and Folding, Symposium on Microrobotics,” ASME Int. Mechanical Engineering Cong. and Exp., DSC-Vol. 69-2, pp. 933-940, November. 5-10, 2000, Orlando, FL.
4. F. Beyeler, A. Neild, S. Oberti, D.J. Bell, Y. Sun, J. Dual, and B.J. Nelson, “Monolithically fabricated microgripper with integrated force sensor for manipulating microobjects and biological cells aligned in an ultrasonic field,” J. Microelectromech. Syst., vol. 7, no. 15, 2007.
5. R.S. Fearing, “Survey of sticking effects for micro parts handling,” Proceedings of the 1995 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Pittsburgh, PA, August, 1995.
6. Yang Fang, and Xiaobo Tan, “A Dynamic JKR Model with Application to Vibrational Release in Micromanipulation,” Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Beijing, China, October 2006.