

SMA와 유연힌지 구조를 이용한 마이크로 부품 미세 조작용 그립퍼 설계

Design of a Micro Gripper for Micromanipulation of Micro components Using SMA wires and Flexible Hinges

*유창범¹, #경진호², 고병관³, 하영호⁴, 정광조⁵

*C. B. Yoo¹, #J. H. Kyong(jhkyung@kimm.re.kr)², B. G. Ko³, Y. H. Ha⁴, K. J. Jeong⁵

¹ 한국기계연구원 로봇제어팀, ² 한국기계연구원, ³ 한국기계연구원, ⁴ 경남거점로봇센터, ⁵ 한국기계연구원

Key words : PI control, force control, Micro gripper, shape memory alloy wire

1. 개요

마이크로 크기의 물체를 미세 조작하는 데 이용되는 마이크로 그립퍼는 충분한 강성을 갖는 복잡한 유연 힌지 구조로 제작된다.[1] 구동기로는 주로 압전(piezoelectric) 구동기와 형상기억합금(shape memory alloy, SMA)이 일반적으로 사용된다.[1-4] 특히, 형상기억합금은 무게 대비 출력비가 크고 높은 부식 저항을 가져 내환경성이 좋다. 마이크로 그립퍼를 이용하여 물체를 다루는 작업에서는 다양한 외란과 불확실성하에서도 물체에 손상을 주지 않고 미세 조작을 하기 위한 강건한 제어가 요구된다.[5-6]

본 연구에서는 구조가 간단하고 제작이 용이하며 콤팩트 형상의 마이크로 그립퍼를 설계한다. 구동부는 형상기억합금 와이어를 이용한 구조로 설계된다. PI 제어기법을 통해 마이크로 그립퍼의 그립핑 힘 제어 연구를 수행하고, PI 제어 특성 실험을 통하여 그립핑 힘 제어 성능을 검증하고자 한다.

2. 구조 및 동작 원리

본 연구에서 제안된 마이크로 그립퍼의 개념도는 Fig. 1 (a)에 나타난 바와 같고, 실제 제작된 마이크로 그립퍼의 모습을 Fig. 1 (b)에 도시하였다. 제안된 마이크로 그립퍼의 구성은, 집게부(gripping jaw), SMA 와이어(SMA wire), 두개의 유연 힌지부(flexible hinge A, B), 스테인리스 몸체부(stainless body), 스트레인 게이지로 구성된다.

집게부는 끝단이 최대 100 μ m로 열림 동작을 할 수 있도록 설계하였다. 유연 힌지 A는 SMA 와이어의 직선운동을 회전운동으로 변환시켜주는 회전축의 역할을 한다. 또한 스프링 복원력을 제공하여 그립퍼의 열림/닫힘 동작을 위한 구동부로 사용된다. 유연 힌지 B는 유연 힌지 A보다 상대적으로 두께를 작게 하여 대부분의 그립핑 힘이 집중되도록 설계하였다. 또한 유연 힌지 B에 이곳에 스트레인게이지를 부착하여 그리핑 힘(gripping force)을 측정하게 된다. 본 연구에 사용된 SMA 와이어는 Mondo-tronics 사의 Flexinol 100 LT이다.

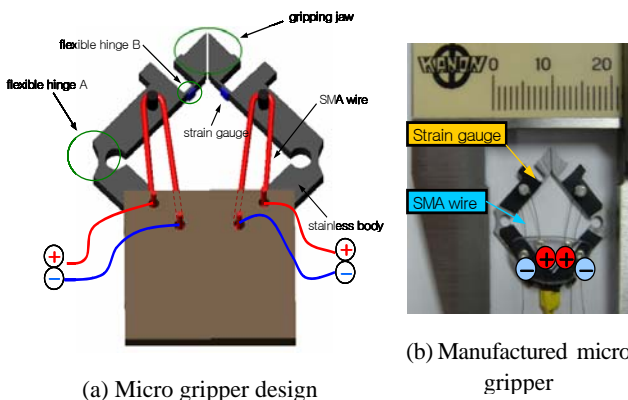
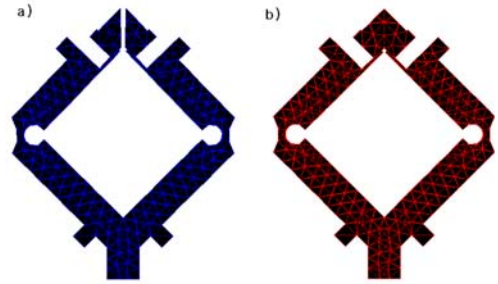


Fig. 1 Micro gripper structure



a)open b)close of Micro gripper
Fig. 2 Microgripper

제안된 그립퍼는 다음과 같은 원리로 동작하게 된다. 먼저, 두개의 SMA 와이어에 전류를 인가하여 동작 점 까지 온도가 올라가면 선이 길이 방향으로 수축하기 시작한다. 그립퍼 양쪽 끝단이, 고정된 SMA 선이 수축함에 따라 그립퍼는 유연 힌지 A를 회전축으로 하여 집게부가 닫히기 시작하면서 닫힘 동작이 이루어진다(Fig. 2 (b)). 두개의 SMA 선에 인가된 전류를 차단하면 선이 서서히 냉각되면서 원래의 길이로 늘어나게 되고, 유연 힌지 A 회전축의 탄성 복원력에 의해 집게부가 열리기 시작하면서 열림 동작을 하게 된다.(Fig. 2 (a)).

제안된 그립퍼의 열림과 닫힘 동작을 통해 물체를 집게 되면, 유연 힌지 A보다 상대적으로 두께가 얇은 유연 힌지 B부분에서 응력집중이 발생하게 되어 대부분의 그립핑 힘(gripping force)이 이곳에 전달되게 된다. 따라서 유연 힌지 B부분에 설치한 스트레인 게이지를 통해 그립핑 힘을 측정할 수 있게 된다.

3. 요소부품 특성 실험

제작된 마이크로 그립퍼 시스템의 요소부품인 그립퍼 몸체, SMA 와이어, 스트레인 게이지들의 특성을 규명하고자 한다.

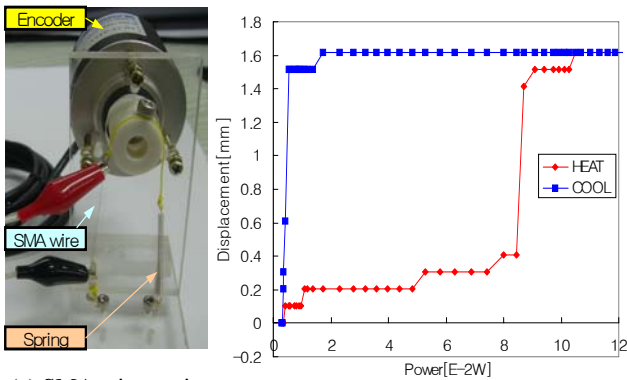
SMA 와이어는 열을 받으면 수축하게 되고 냉각되면 원래의 길이로 회복된다. 이러한 특성을 알아보기 위해 Fig. 3(a)와 같은 엔코더와, 스프링을 이용한 측정 장치를 제작하여 SMA 와이어의 특성실험을 수행하였다. 사용된 엔코더는 Autonics 사의 ENB-600-3-1 모델을 사용하였으며, 엔코더 회전 각도에 따른 SMA 와이어의 길이 변화량은 다음 식과 같이 계산된다.

$$\Delta l = r \cdot \theta = \frac{\pi D}{600} \times \text{encoder count} \quad (1)$$

여기서 D 는 엔코더의 회전 직경, 600은 엔코더가 1회전 당 발생시키는 총 펄스 수이다. 실험에 사용된 SMA 와이어의 길이는 34mm이고, 저항은 6.4 Ω 이다. 실험 결과는 Fig. 3(b)에 나타내었으며, SMA 와이어의 가열과 냉각에 따른 히스테리시스 가 상당히 큰 폭으로 발생하는 것을 볼 수 있다.

제작된 마이크로 그립퍼의 그립핑 힘은 유연힌지부 B에 설치된 스트레인 게이지를 이용하여 측정하게 된다. 실험으로 구한 그립핑 힘과 스트레인의 calibration 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 스트레인 게이지 및 스트레인 앰프는 각각 KYOWA 사의 KSN-2-120-E5-11과 DPM-712B 제품을 사용하였다. Fig. 4의 결과

를 통해 작용된 힘이 증가될수록 변형률도 선형적으로 증가되는 것을 확인할 수 있다.



(a) SMA wire strain test (b) Result of SMA wire strain test
Fig. 3 SMA wire strain test

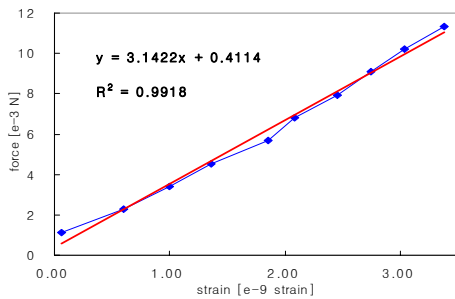


Fig. 4 Force sensor calibration chart of strain vs. force

4. 제어기 설계 및 성능 실험

마이크로 그립퍼는 적절한 그립핑 힘을 인가하여 작업을 수행할 수 있어야 하므로 그립핑 힘 제어기의 설계가 요구된다. 제어기 구조가 간단하고, 선형 시스템 제어에 널리 이용되는 PI 제어기를 본 마이크로 그립퍼 시스템에 적용하였다.

본 연구에서 제안된 마이크로 그립퍼 시스템의 구동기인 SMA 와이어는 가열과 냉각 시에 Fig. 3(b)에서 보았던 것과 같이 상당히 큰 히스테리시스를 갖고 있다. 이로 인해 제어 실험 시 오버슈트가 발생하면 시스템이 불안정해 질 수가 있다. 따라서 힘 제어 시 오버 슈트가 발생하지 않는 제어기의 게인을 설정한다.

Fig. 4를 바탕으로 그립핑 힘 및 스트레인의 선형 영역에서 기준이 되는 그립핑 힘을 $8.47 \times 10^{-3} N$ 으로 설정하고 비례 이득(Proportional gain, P)을 변화시켜 가면서 실험을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 비례이득이 증가할수록 오름 시간(rising time)과 정상상태 오차가 감소한다. 하지만 비례이득이 일정 크기(P=4.0)를 벗어나면 시스템이 불안정해 진다.

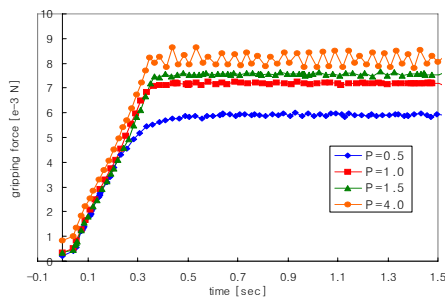


Fig. 5 Proportional control

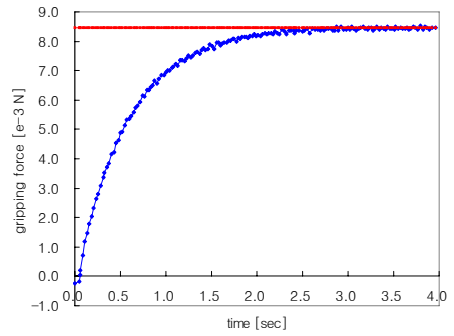


Fig. 6 Proportional-Integrate control

시스템의 정상상태 오차는 적분제어를 통해 간단히 해결할 수 있다. 적분이득(Integrate gain, I)을 적절히 조정하면서 페루프 시스템의 계단응답(step response) 실험을 수행하였고, 이러한 반복 실험을 통해 찾은 최적의 응답을 Fig. 6에 나타내었다. 이때의 비례이득 및 적분이득은 각각 $P=1.3$, $I=0.01$ 이다.

5. 결론

본 연구에서는 구조와 형상이 간단하고 제작이 용이한 마이크로 그립퍼 시스템을 형상기억합금 와이어를 사용하여 설계하였다.

설계된 마이크로 그립퍼의 그립핑 힘 제어를 수행하기에 앞서 그립퍼를 구성하는 SMA 와이어, SMA 와이어 구동 앰프, 스트레인지지와 같은 주요 구성 요소부품들의 특성을 실험을 통해 규명하였고, 그 결과를 바탕으로 그립핑 힘 제어기를 설계 및 제작하였다. 또한 가열과 냉각 시 큰 히스테리시스를 갖는 SMA 와이어의 특징을 고려하여 오버슈트가 없으면서 가장 빠른 응답을 갖는 PI 제어기의 각 이득 값을 시행착오법을 통해 결정하였다.

앞으로 그립핑 힘의 작동영역을 확대하기 위한 그립핑 힘 비선형 제어기에 대한 연구가 계속적으로 필요하며, 마이크로 그립퍼 시스템을 요구 작업 공간에 쉽게 설치 가능하도록 모듈화하는 연구가 수행될 예정이다.

참고문헌

1. J. Speich, M. Goldfarb, A compliant-mechanism -based three degree-of-freedom manipulator for small-scale manipulation, *Robotica* 18 (2000) 95-104.
2. S.K. Nah, Zhong Z. "Design of micro robots with microgrippers for manipulation of micro-parts", The 3rd International Conference on Experimental Mechanics (ICEM 2004), Singapore, 29 November-1 December 2004. Paper A05-6, pp. 1-6.
3. P. Krulevitch, A.P. Lee, P.B. Ramsey, J.C. Trevino, J. Hamilton, M.A. Northrup, Thin film shape memory alloy microactuators, *J. Microelectromech. Syst.* 5 (4) (1996) 270-282.
4. M. Kohl, B. Krevet, E. Just, SMA microgripper system, *Sens. Actuators A* 97-98 (2002) 646-652.
5. S.B. Choi, Y.M. Han, J.H. Kim, C.C. Cheong, Force tracking control of a flexible gripper featuring shape memory alloy actuators, *Mechatronics* 11 (2001) 677-690.
6. Keith A. Williams, George T.-C. Chiu, Robert J. Bernhard, Nonlinear control of a shape memory alloy adaptive tuned vibration absorber, *Journal of Sound and Vibration* 288 (2005) 1131-1155.