

# 유연성 힌지를 사용한 기구학적 형태의 그리퍼 설계

## Design of the Mechanical Gripper using Flexure Hinge

곽동기\*(한국항공대학교), 이혜진(한국생산기술연구원), 황재혁(한국항공대학교)

### 1. 서 론

21세기는 반도체, 초정밀 가공, 정보기기 분야의 발달로 인하여 서브마이크론 크기의 제품을 요구하게 되었다. 이와 같은 경향은 초미세 광·열 및 기계부품의 핵심부품으로 적용되고 있으며, 최근 관련 제품들의 소형화, 저소비 전력화 추세에 맞추어 경량화, 소형화, 고기능화 되고 있다. 그 결과 기존의 기계적 장치는 만들고자 하는 제품에 비해 수m의 크기로 효율적이지 못하며, 그에 따른 물체를 파지하고 이동하기 위한 Gripper의 크기 역시 이동하고자 하는 대상물에 비해서 상당히 큰 기계적 장치이다. 서브마이크로급 물체를 잡고 이동하기 위한 Gripper에 대해 높은 정밀도의 기술력이 요구되고 있다.

이에 따라 본 논문에서는  $100\ \mu m$  이내의 물체를 파지 및 이송가능하고 마이크로급 Resolution을 갖는 Gripper를 설계하고자 한다. 서브마이크로급 Mechanical Gripper 설계의 주안점은 첫째, 내부적으로 충분한 강성을 지녀야 한다. 둘째, 파지하고자 하는 물체의 종류에 따라 Gripping Force, Grip Gap 조절이 가능해야 한다. 셋째, 외란에 대해 Gripping Force가 유지되어야 한다.

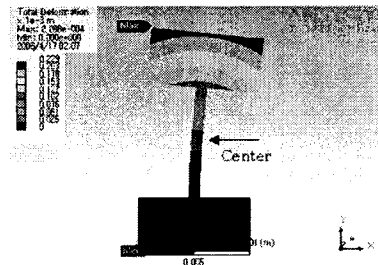
이러한 조건을 만족하는 Mechanical Gripper의 설계는 기존의 메카니즘을 사용하여 마이크로 스케일의 변위를 제어하기가 어렵고, Gripper 제작시 발생하는 가공오차와 조립오차가 Mechanical Gripper의 정밀도 보다 커지는 현상이 발생하게 되며, 특히 제한된 출력범위를 가지는 구동기(PZT)로 인하여 큰변위의 출력을 기대하기 어렵다[10]. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위해서, 제작시 조립오차 및 가공오차를 줄일 수 있고 구조적으로 변위 증폭이 가능한 유연성 힌지 구조물을 사용한 Mechanical

Gripper를 설계하고자 한다. 또한, 그리퍼의 구조설계에 있어서, 기구학적 메카니즘을 제안하고 Flexure Hinge에 의한 증폭메카니즘을 적용하여, Ansys를 이용하여 FEM 해석을 통한 검증작업을 하였다.

### 2. 유연성 힌지의 기구학적 특성파악

#### (1) Right Angle Hinge

일반적으로 많이 활용이 되는 Right angle hinge는 Edge 부분이  $90^\circ$  인 Hinge로 Bending에 변형률이 가장크고 Edge 부분에 집중 Stress가 걸린다. Fig.3은 FEM을 통한 가장 큰 변위를 나타낸 7N에 대한 Total Deformation이다.

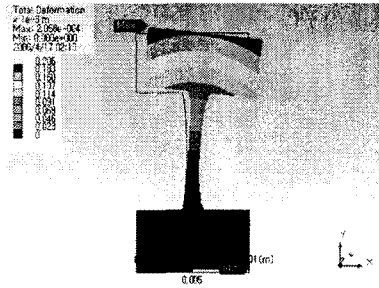


<Fig. 3> Right angle hinge의 total deformation

Table. 2는 항복응력 내에서의 최대응력과 최대변형률을 나타낸다.

[Table. 2] Right Angle Hinge Ansys 해석결과

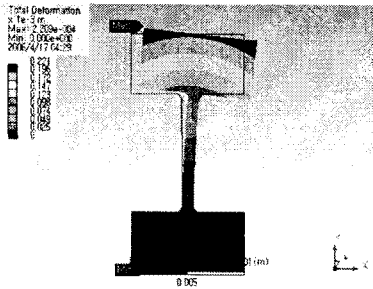
Force (N)	Max. Stress (Mpa)	Max. Deformation ( $\mu m$ )
5	70.4	163
6	84.4	196
7	98.4	229



<Fig. 5> Ellipse hinge

(2)Corner Fillet Hinge

Corner Fillet Hinge는 Edge 부분의 fillet에 따른 다양한 결과가 예상되므로 0.5, 1, 1.5, 2mm로 나누어 해석을 수행 하였다. Fig.4는 fillet 반경 0.5mm의 total deformation이다.



<Fig. 4> Corner fillet hinge total deformation

Table.3은 fillet 반경에 따른 최대응력과 최대변형률을 나타낸다.

[Table. 3] Corner fillet Hinge Ansys 해석결과

Hinge	Force (N)	Max. Stress (Mpa)	Max. Deformation ( $\mu m$ )
Corner-fillet t 0.5mm	6	81.6	189
	7	95.2	221
Corner-fillet t 1mm	6	77.8	172
	7	90.8	200
Corner-fillet t 1.5mm	6	79.5	154
	7	92.7	180
Corner-fillet t 2mm	6	76.3	138
	7	89.1	160

(3)Ellipse Hinge

Ellipse Hinge에 대한 연구는 최근 까지 연구가 이루어 지고 있으며 Corner fillet hinge 와 Circular hinge의 중간 형태이다. Fig.5는 단축의 길이 0.5, 1, 1.5, 2mm에 대한 total deformation이다.

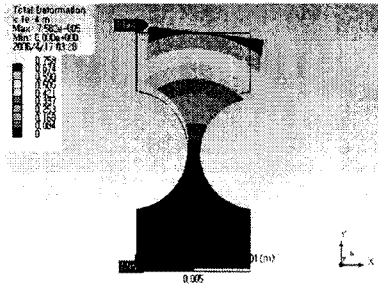
Table. 4는 단축 반경에 따른 Ansys해석 결과를 나타내는데, 단축 반경 0.5mm에 대한 가해진 힘 10N의 결과가 가장 크게 나타나지만 Table.1에 의하면 항복응력이 105N 이므로 문제가 생길 수 있다.

[Table. 4] Ellipse Hinge의 Ansys 해석결과

Hinge	Force (N)	Max. Stress (Mpa)	Max. Deformation ( $\mu m$ )
Ellipse-0.5mm	6	59.6	121
	7	69.5	141
	10	99.3	206
Ellipse-1mm	6	57.1	93.5
	7	66.7	109
	10	95.2	156
Ellipse-1.5mm	6	55.6	79.1
	7	64.9	92.3
	10	92.8	132
Ellipse-2mm	6	56.4	70.3
	7	65.8	82
	10	94	117

(4)Right-Circular Hinge

힘에 의해 Bending이 발생하는 부위가 가장 두껍고, Edge가 1/4 원의 형태의 띄고 있다. Right-circular hinge는 stress가 집중이 되는 edge 부분이 가장 넓기 때문에 stress 분산 효과가 크다. 또한 제작이 가장 용이한 hinge이다.



<Fig. 6> Right-circular hinge

Table. 5는 반경 5mm의 반원에 대한 Ansys 해석결과이다. 최대 항복응력과 최대 변형률이 가장 낮다.

[Table. 5] Right-circular hinge의 Ansys해석결과

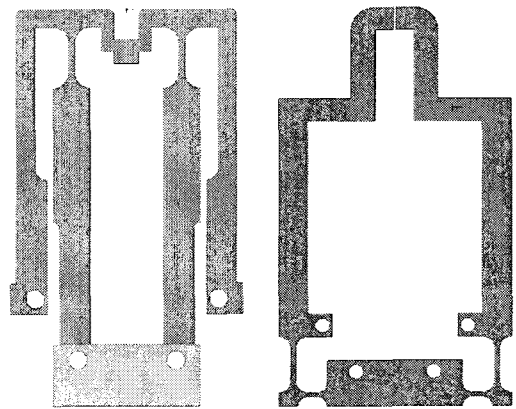
Force (N)	Max. Stress (Mpa)	Max. Deformation ( $\mu m$ )
5	43	38
6	52	45
7	61	53
10	87	75.8

### 2.1 Flexure Hinge의 해석결과 분석

Mechanical griper는 물체를 잡고 이송하기 위해서는 어느정도의 강성과 내구성이 보장되어야 한다. Right-angle hinge는 가장 변위 증폭률이 크지만 외부의 힘에 의한 응력이 가장 크기에 적합하지가 않다. Corner-fillet hinge와 Ellipse hinge는 Ansys 해석결과 Right-angle hinge와 Right-circular hinge의 중간특징을 지닌 hinges로 mechanical gripper에 적합한 강성과 내구성을 지니지만 수cm의 gripper에 적용될 hinge는 수mm이므로 가공시 오차가 gripper의 정밀도에 영향을 줄 정도로 상당히 크다. 따라서 가공오차가 가장 작고, 강성과 내구성이 좋은 Right-angle hinge를 사용하여 mechanical gripper를 설계하고자 한다. 또한 Right-circular hinge은 가해준 힘에 비해 최대 변형률이 작지만 다중 hinge 구조를 이용하여 극복이 가능하다고 생각한다.

### 3. Mechanical Gripper의 설계 및 해석

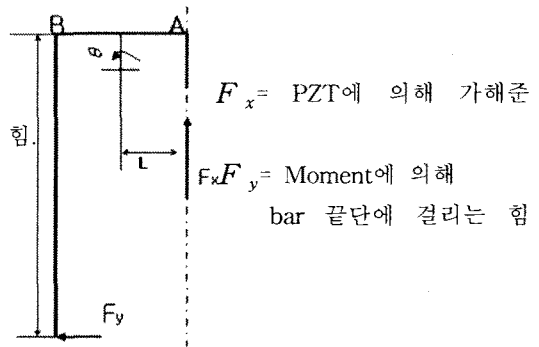
### 3.1 Mechanical Gripper의 설계



(a)Amplifier Part (b)Operation Part

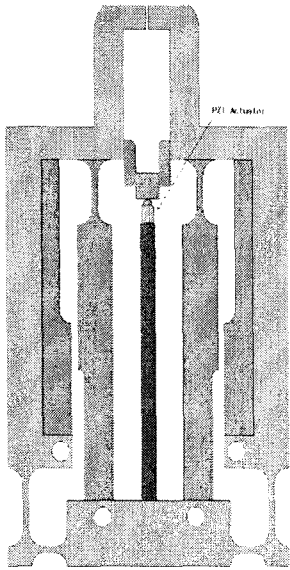
<Fig. 7> Gripper의 파트별 분해도

Fig. 7 (a)은 PZT Actuator가 장착되는 증폭부로서 Right-circular hinge 2개를 사용하였으며, 가운데 축을 중심으로 대칭의 구조를 지닌다. Fig.7 (a)에 나타난 Hole은 2개의 파트를 연결하기 위한 나사구멍이다. Fig.7 (b)는 물체를 잡기위한 grip 부분으로 grip의 간격은 450  $\mu m$ 이다. 가운데 축을 중심으로 대칭의 구조를 지니며 Right-circular hinge 4개를 사용한 다중 hinge구조이다.



<Fig. 8> Amplifier part의 가하학적 모델링

Fig.8은 Amplifier part의 절반에 대한 기하학적 모델링을 나타낸다. PZT에 의해 가해진 힘  $F_x$ 에 의해 hinge에 모멘트  $\theta$ 가 걸리고, hinge와 연결된 bar 끝단의 hole 부분에 힘  $F_y$ 가 생긴다.

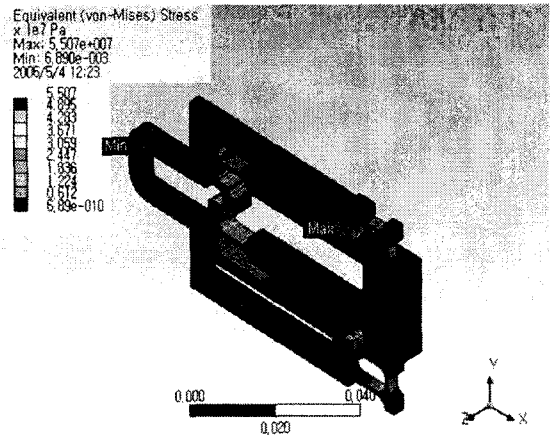


<Fig.8> Mechanical Gripper

Fig.8은 Amplifier part, Operation part를 결합하고 PZT Actuator를 부착한 모습이다. Mechanical gripper의 크기는 가로 48mm, 세로 87mm이다. Grip Gap은  $450 \mu m$ 이다. 구동부인 PZT Actuator의 resonance frequency는 35khz, Stiffness  $12 N/\mu m$ 이다. 상당히 응답속도가 빠르고 분해능이 좋기 때문에 정밀 제어에 적합한 Actuator이다.

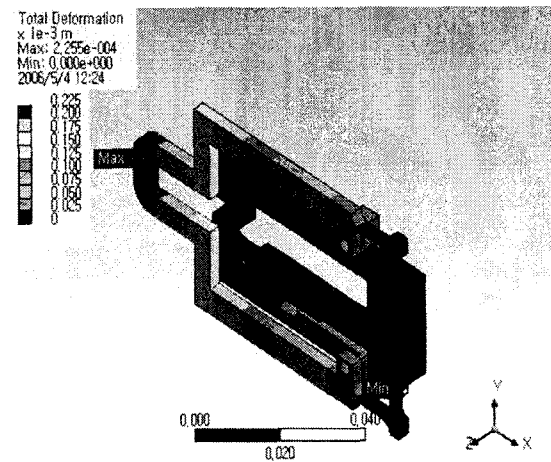
### 3.2 Mechanical Gripper의 FEM 해석

Gripper의 재질은 Al 6005-T1로 하였으며 PZT의 최대 Stroke인  $20 \mu m$ 의 변위를 amplifier part에 주었다. gripper의 아랫부분은 고정을 시키고 Ansys 해석을 수행하였다.



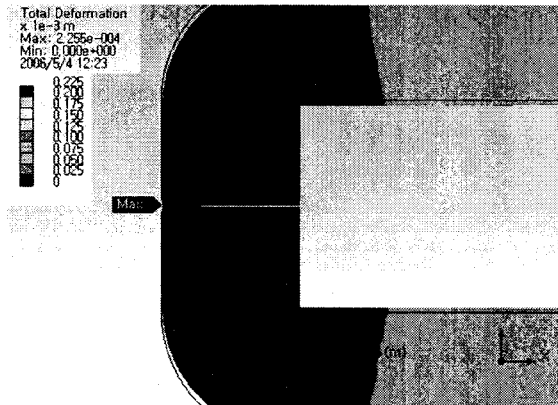
<Fig. 9> Mechanical gripper의 Von-Mises Stress

Fig.9는 Von-Mises 해석 결과를 나타낸다. Al 6005-T1의 항복응력은 105Mpa이다. 본 해석을 통해서 연결부위에서 55Mpa의 최대응력이 걸리었다. 구조적으로 안정한 시스템임을 확인 하였다.



<Fig. 10> Mechanical gripper의 Total deformation

Fig.10은 Total 변형률을 나타낸 것으로써 물체를 잡고자 하는 Grip 끝단으로 갈수록 변위의 증폭이 일어 났음을 알 수 있다. Fig.11은 Grip의 끝단의 총변위량이  $225 \mu m$ 이동 했음을 보여준다.



<Fig. 11> Grip 끝단의 변위를 확대한 모습

### 3.3 Mechanical Gripper의 해석 결과 분석

Right-circular hinge를 사용하여 설계된 Mechanical gripper는 PZT Actuator에 의해 가해진 20  $\mu m$ 의 변화량을 225  $\mu m$ 로 증폭을 하였다.(위·아래 대칭구조) 약 11.25배의 증폭 효과를 얻을 수 있었다. 구조의 크기가 조금더 커지거나, PZT Actuator의 변위량이 좀더 크다면 증폭 효과는 좀더 커질 것으로 예상이 된다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 유연성 힌지를 사용한 효과적인 정밀제어가 가능한 기구학적 gripper에 대한 설계 및 해석에 대해 연구하였다. Flexure Hinge는 Joint 역할과 동시에 탄성복원력을 가지고 있어 기존의 링크(Link)구조물에 Flexure Hinge를 사용한다면 좀더 유용할 것이다.

마이크로급 Corner fillet hinge, Ellipse는 제작시의 난해함으로 보편적으로 사용되는 Flexure hinge는 아니다. 따라서 본 연구에서는 Right-circular hinge를 사용하여 기구학적 그리퍼를 설계하였다. Amplifier Part는 2개의 Circular hinge와 2개의 1/2 Circular hinge를 사용하여 PZT Actuator에 의해 구동이 된다. Operation part는 4개의 Circular hinge를 사용하여 구동부로부터 얻은 모멘트에 의한 힘  $F_y$ 에 의해 gripper가 작동이 된다. Ansys 해석을 통하여 얻은 Mechanical Gripper의 결과는 본 연구에서 원하는 225  $\mu m$ 의 변위 증폭이

이루어 졌으며 구조의 안정성도 판별이 되었다. 향후 설계된 그리퍼의 제작시에 일어날수 있는 가공오차를 줄이고, amplifier part와 operation part의 연결시에 twist가 걸리지 않도록 연결을 하는 것이 중요하다. 또한 Gripping Force를 측정하기 위한 strain gage의 부착 및 피드백을 위한 controller에 대한 연구가 수행되어야 하겠다.

### 후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 표준화기술개발사업 중 한국생산기술연구원이 주관하고 있는 “나노 및 마이크로막형 소재의 마이크로 인장 특성 표준 시험평가 기술 개발”과제결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] Wei Xu and Tim King "Flexure hinges for piezoactuator displacement amplifiers: flexibility, accuracy, and stress considerations." *prec Eng*, 19:4-10, 1996
- [2] Tim King and Wei Xu "The design and characteristics of piezomotors using flexure-hinged displacement amplifiers." *Robotics and autonomous Systems* 19 (1996) 189-197
- [3] 정규원, 정영빈 "PZT 구동기를 이용한 초정밀 마이크로 스테이지 개발" *Journal of Industrial Science and Technology Institute* Vol. 18, No. 1 pp27-33, July 2004
- [4] Z.W.Jiang and S.Chonan "Development of Soft-Handling Gripper Driven by Piezoceramic Stack" *Dep. of Mechatronics and Pre.Eng, Tohoku Univ. Sendai, Miyagi* 980-77, Japan
- [5] 김희국, 윤성식, 박주영, 김태룡 "과지공구 메카니즘의 기구학적 최적설계" 대한기계학회 1995년 춘계학술대회논문집(I) pp. 925-930
- [6] Stuart T. Smith, Vivek G. Badami, Jami

- S. Dale, and Ying Xu "Elliptical flexure hinges" Rev. Sci. Instrum. 68(3), March 1997
- [7] J. M. Paros and L. Weisbord "How to design Flexure Hinge" Machine Design 1965, 37, 151-156
- [8] Huibao Chen, Ping Sun "The Design of Two-layer Flexible Hinge Milli-gripper" 7th International Symposium on Micro Machine and Human Science, 1996 IEEE
- [10] 양희철, 이승섭, 박범석, 신호준, 한창수 "초정밀 메뉴플레이션을 위한 Flexure hinge 밀리그리퍼설계 및 제안에 관한 연구" 2002년도 기계관련 산학연 연합심포지엄(대한기계학회편)