

## 무인 FA를 위한 플렉시블 그리퍼 설계에 관한 연구

### A Study on Design of Flexible Gripper for Unmanned FA

김현근<sup>1</sup>, 김기복<sup>2</sup>, 김태관<sup>3</sup>

Hyun-Gun Kim, Gi-Bok Kim, Tae-Kwan Kim

#### 〈Abstract〉

In this paper, we propose a new approach to design and control a smart gripper of robot system. A control method for flexible grasping a object in partially unknown environment was proposed, where a proximate sensor detecting the distance between the fingertip and object was used. Based on the proximate sensor signal the finger motion controller could plan the grasping process divided in three phases. The first step is scanning process which two first joints were moved to mid-position of the detected range by a state-variable feedback position controller, after the scanning was finished. The contact force of fingertip was then controlled using the detection sensor of the servo controller for finger joint control. The proposed grasping planning was tested on rectangular bar.

*Keywords : Flexible, Joint Control, Grasping Control, Smart Gripper, Tactile Sensors, Proximate Sensor, Unmanned Factory Automation*

---

1. 정회원, 교신저자, (주)S&T중공업  
2. 정회원, 르노삼성자동차  
3. 정회원, (주)티앤지

1. Corresponding Author, S&T Dynamics Co., Ltd  
E-mail : skawhr660@hanmail.net  
2. Renault Samsung Motors Co., Ltd  
3. Tng Co., Ltd

## 1. 서 론

무인FA의 핵심기술의 응용분야에서 미지의 주변 환경에 대한 정보를 얻기 위하여 사용할 수 있는 센서는 비전 시스템, 초음파 센서, 근접 센서 등을 들 수 있다. 그러나 비전 시스템이나 초음파 센서 등은 고가이며, 또한 설치하는데 공간이 필요하다. 따라서 대부분은 자동이동차량 또는 로봇 팔 등의 충분한 설치공간이 있는 고가의 장비에 장착되어 넓은 작업 영역에 대해서 운전이 장애가 되는 방해물을 피하는 데 사용된다. 반면에 근접 센서는 영상인식 시스템이나 적외선센서에 비해 소형으로 감지 영역이 좁아 로봇 그리퍼(Gripper) 등에 장착되어 이의 충돌 방지 또는 그리퍼가 잡아야 할 작업물체에 대한 정보를 얻는데 이용되었다.

90년대 이후 인간의 손가락과 유사한 형태의 손가락으로 이루어진 로봇 손에 대한 연구가 진행되어 많은 연구가 수정되었다. 이와 같은 로봇 그리퍼의 부품 파지에 관한 연구는 다음과 같이 정의할 수 있다[1].

우선 파지할 부품에 관한 정보 및 놓여진 위치 정보를 비롯한 모든 정보를 알고 있다는 가정하에 수행 할 수 있는 연구이다. 이와 같은 연구에서는 파지 부품 및 위치에 대하여 알고 있는 정보를 이용하여 최적으로 파지할 수 있도록 손가락 제어를 수행할 수 있다. 즉 가장 빠른 시간 내에 적은 파지 충격력으로 안정되게 부품을 파지할 수 있고, 이는 가장 이상적인 파지 방법이다[2]. 그리고 다른 하나의 방법은 파지 부품에 대한 정보 및 놓인 위치 정보 중에서 일부 또는 전부를 모르는 상황에서 파지를 수행하는 연구로써 대부분의 파지가 이에 해당된다.

지금까지 소개된 로봇 손의 파지 동작에 대한 연구들은 부품을 안정되게 파지하거나 미지의 환경에서 부품을 파지하기 위한 동작 계획에 대한 사항이 많았는데 이들은 파지 동작 소요 시간에 대한 사항을 고려하지 않았다. 그리고 손가락에 직접 센서를 부착하여 파지 제어에 이용한 연구로는 손가락 표면에 접촉 센서(Tactile Sensor)를 부착한 경우와 핑거팁 내부에 로드셀을 내장한 연구이다. 접촉 센서를 이용하여 파지 부품의 접촉 부위와 접촉력을 손동작 제어에 이용하는 연구에서는 접촉 센서를 곡면 형태의 좁은 핑거팁에 장착하는 것과 접촉 센서의 다중 아날로그 출력 신호의 처리 문제뿐 아니라 접촉 전에는 어떠한 정보도 얻을 수 없다[3].

또한 핑거팁 내부의 로드셀을 내장한 연구에서는 로드셀 출력 신호를 이용하여 충격력을 제어하는 연구가 수행되었다. 근접 센서를 로봇에 응용한 연구로는 팔의 끝에 비 접촉시 거리 센서와 6축 F/T 센서(6 Axis Force/Torque Sensor)를 장착하여 접촉 거리의 오차에 의한 입력과 접촉력의 오차에 대한 입력을 조절함으로써 충격력을 감소시킨 연구, 로봇 팔의 충돌회피를 위한 경로 생성에 근접 센서를 이용한 연구 및 핑거팁에 센서를 장착하여 파지에서 충격력을 감소시킨 연구가 보고된바 있다[4].

본 연구는 로봇 손의 파지동작 제어에서 그리퍼팁에 장착된 힘 센서를 이용해 파지 부품의 형상은 알고 있으나 놓여있는 위치를 모르는 경우의 파지에 대한 연구 결과이다. 즉 손가락의 가용 범위 내의 미지의 위치에 형상을 알고 있는 부품이 있을 때 신속하게 두개의 핑거팁을 부품 위치로 대향 이동시켜 부품이 있던 그 위치에서 파지한다.

## 2. 그리퍼 운동학

손가락은 세 개의 조인트와 세 개의 링크로 구성된다. 첫번째 조인트는  $z_b$ 가 회전 중심축이 되고 두 번째와 세 번째 조인트는 각각  $z_2$ 과  $z_3$  축을 중심으로 회전한다. 먼저 손가락의 정방향 기구학 해석(Forward Kinematics)을 하기 위하여 다음의 그림 1과 같이 각 관절에 좌표계를 설정하였다.

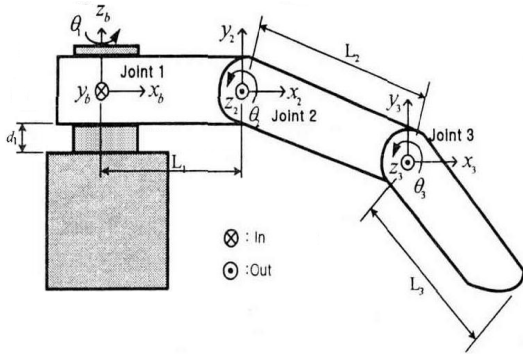


Fig. 1 Schematic Diagram of a Finger

이의 해석을 위해 로봇 기구학을 모델링하는데 많이 사용하는 D-H(Denavit-Hartenberg)표현법을 이용하였다.

링크번호	$a_i$	$\alpha_i$	$d_i$	$\theta_i$
1	$L_1$	$90^\circ$	$d_1$	$\theta_1$
2	$L_1$	$0^\circ$	0	$\theta_2$
3	$L_1$	$0^\circ$	0	$\theta_3$

Table. 1 Link parameter and joint variable

D-H 표기법에서 각 링크 파라미터(Link Parameter)와 조인트 변수(Joint Variable)는 표 1과 같다.

여기서  $a_i$ (Link Length),  $\alpha_i$ (Link Twist),  $d_i$ (Joint Length)는 상수로 링크 파라미터이고,  $\theta_i$ (Joint Angle)은 조인트 변수이다.

위의 표1에 표시한 D-H 파라미터(Parameter)를 이용하여 동차 변환행렬(Homogeneous Transform Matrix)을 구하고 이를 이용하여 정 방향 기구학을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2 + L_3 \cos \theta_1 \cos (\theta_2 + \theta_3) \\ L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + L_3 \sin \theta_1 \cos (\theta_2 + \theta_3) \\ L_2 \sin \theta_2 + L_3 \sin (\theta_2 + \theta_3) \end{bmatrix}$$

위의 식으로부터 역 방향 기구학을 얻을 수 있다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{y_b}{x_b} \right)$$

$$\theta_2 = \text{atan2}(z_b, A) \pm \text{atan2}(k_2, k_1),$$

$$\text{where} \begin{cases} k_1 = L_2 + L_3 \cos \theta_3, k_2 = L_3 \sin \theta_3 \\ A = r \cos (\gamma + \theta_2) \\ r = \sqrt{k_1^2 + k_2^2} \\ \gamma = \text{atan2}(k_2, k_1) \end{cases}$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left( \frac{\nu}{\omega} \right),$$

$$\text{where} \begin{cases} u = x_b \cos \theta_1 + y_b \sin \theta_1 \\ \nu = \pm \sqrt{1 - \omega^2} \\ \omega = \frac{u^2 + z_b - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} \end{cases}$$

### 3. 힘제어 알고리즘

파지는 다음과 같이 세 동작으로 구분하여 진행된다. 첫째는 파지 위치를 정하기 위한 스캐닝 단계이고 두번째는 파지 할 부품에 핑거팁이 접근하는 단계이고 마지막은 파지를 수행하는 단계이다.

파지 위치 결정 동작은 그림2의 핑거 초기 상태와 같이 양 핑거의 조인트2를 최대로 벌린 상태에서 각 핑거팁 면이 평행이 되도록 조인트를 제어하여 센서 신호가 출력되는 상태를 얻는다. 이 상태에서 두개의 핑거 조인트 1을 같은 속도로 이동하면서 조인트 1의 작동 영역 중에서 파지 부품의 최소 및 최종 위치를 확인한 후 그 중간 위치를 조인트 1의 파지 위치로 결정하고 양 핑거의 조인트 1을 파지 위치로 이동시킨다[3].

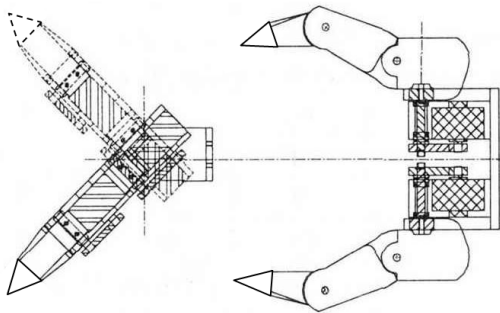


Fig.2 The structure of robot gripper

이 영역에서는 핑거팁에 설치된 반사형 광파이버 센서를 투과형으로 사용하여 핑거팁 사이에 부품이 없을 때는 펄스파가 발생된다.

이 구간에서는 첫번째 동작이 완료된 후에 투과형 센서를 반사형으로 변환시킨 후 양 핑거의 조인트 2를 최대로 움직이면서 조인트 3는 양 핑거의 링크 3가 평행이 되도록 제어한다. 이와 같

은 동작에 의해 핑거팁이 파지 부품의 표면에 5mm이내로 접근하여 반사형 근접 센서의 신호가 출력될 때까지 이송된다. 따라서 파지 부품의 위치에 따라 두 손가락의 정지위치 및 시간이 정해진다[4].

힘 센서는 다음과 같이 두 부분으로 되어있다. 발광 다이오드, 광 트랜지스터 및 제어 회로가 있는 앰프부와 발광 다이오드에서 광원을 받아 센서 헤드까지 전달하는 파이버와 센서 헤드에 반사 또는 직접 전달되어 오는 광원을 광 트랜지스터까지 전달하는 파이버부로 구성되어 있다[5].

또한 센서의 종류로는 1개의 헤드에 발광부와 수광부가 들어 있는 반사형과 발광용 헤드와 수광용 헤드가 분리되어 있는 투과형 센서 등이 있다. 반사형 센서는 헤드에 물체가 접근하여 발광부에서 나오는 광원을 반사시키면 수광부에서 반사된 광원을 받아 광 트랜지스터에 전달함으로써 물체의 접근유무를 알 수 있다. 반면에 투과형 센서는 발광 헤드부와 수광 헤드부가 서로 대향으로 설치되어 물체에 의한 광의 차단 유무를 이용하여 발광부와 수광부 사이에 물체의 존재 유무를 확인한다. 따라서 투과형 센서의 경우는 외부 변화에 의한 작동의 변화가 없으나 반사형 센서의 경우는 접근하는 물체 표면의 성질 즉 표면의 상태, 반사율, 색 및 경사도에 따라 감지거리가 달라질 수 있다[6,7,8].

본 연구에서 사용된 센서는 반사형 센서로 센서 헤드부는 직경이 1.8mm인 튜브에 내경이 0.6mm인 광파이버가 1개 내장되어 있다. 감지거리는 적생 광원을 사용했을 때 최대 50mm이며, 최대 160mm의 감지 거리를 얻을 수 있다.

마지막 구간에서는 두 번째의 동작 결과로 각 핑거팁이 파지 부품의 대칭 표면에서 약 5mm정도 떨어진 상태에서 정지한 후에 양 핑거팁이 동시에 파지부품면을 향하여 전진하여 개루프 방식

의 토크 제어에 의해 파지한다. 이때 조인트 3의 토크에 의한 핑거팁의 파지력은 그림 3의 밸브의 입력에 따른 로테이터 양 챔버의 차압 선도에서 파지 부품에 맞는 차압을 구하고 이에 해당하는 밸브 입력을 미리 정해서 가한다. 따라서 파지 부품의 성질 또는 무게에 따라 접촉력으로 인한 부품의 파손 및 변형 방지는 물론 핑거팁 면의 마모를 줄일 수 있고 또한 부족한 접촉력으로 인한 파지 실패도 방지할 수 있다. 조인트 2에 가하는 제어 입력은 조인트 3의 토크에 로테이터의 마찰력 등을 고려해 10% 정도의 토크를 추가하고 이에 해당하는 제어입력을 그림 3에서 구해 인가한다 [9].

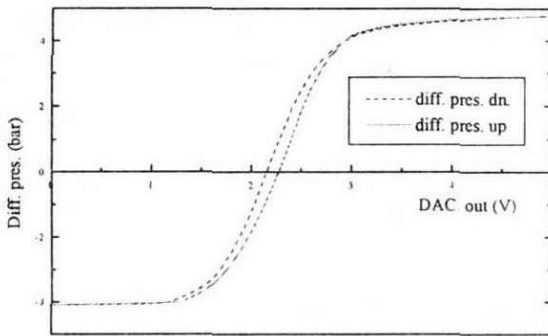


Fig.3 Static Characteristic of Finger Joints System

#### 4. 결과 및 고찰

실험은 파지 부품은 직육면체를 사용했고 각 부품의 위치는 양 핑거 사이의 좌측과 우측에 치우쳐 있는 두 상황에서 힘제어를 수행하였다. 그림 4(a) 및 그림 4(b)는 중앙에 위치한 부품을 파지할 때의 핑거 관절 2의 위치 제어 결과와 접촉력 특성이다.

그림 4(a)에서 조인트 2는 예측한 바와 같이 시작 위치 및 종료 위치가 유사함을 알 수 있고 먼

저 도달한 조인트 1에서의 정지 신호에 의해 노이즈가 발생하며 조인트 2는 도달함과 동시에 힘 제어 동작이 수행됨에 의해 양호한 동작 특성이 나타난다.

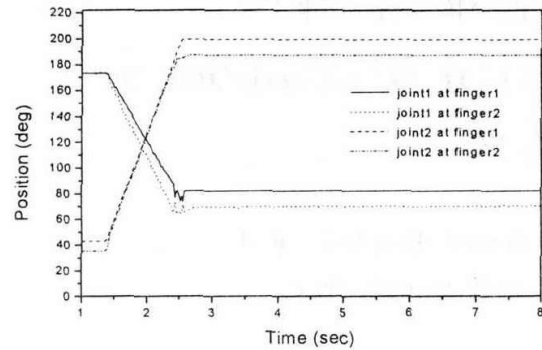


Fig. 4(a) The Output in Neutral Position

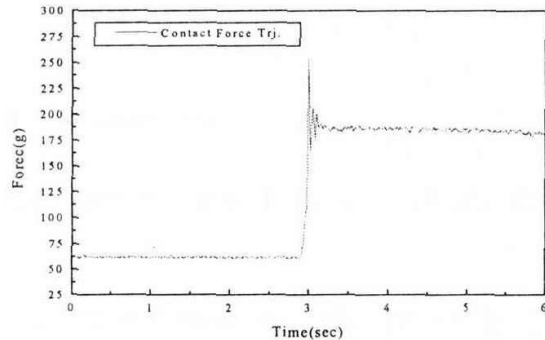


Fig. 4(b) Contact Force value in Neutral Position

이때의 파지력은 그림 4(b)와 같이 130그램 정도이며 그림에서 초기의 60그램은 센서의 오프셋량이다.

#### 5. 결론

본 연구는 알려진 정보로 인해 형상을 어느

정도 알 수 있는 상태에서 2차원의 위치를 모르는 부품을 놓여진 위치에 안전되게 파지할 수 있는 유연로봇 그리퍼의 힘 제어방법을 제안하였다. 이때 각 핑거의 조인트 1의 이동 방향에서의 부품 위치를 구하기 위해 장착된 적외선센서를 사용하였고, 조인트 2방향에서의 부품 위치를 알기 위해 부착된 적외선센서를 이용하였다. 또한 부품을 일정한 파지력으로 파지하기 위해 사용된 공압 밸브의 특성을 이용하여 오픈루프 방식의 그리퍼 파지력 제어에 관한 연구를 수행하였다.

파지 실험은 종이로 된 직육면체를 이용하여 수행했으며 그때의 파지력을 측정하기 위해 같은 크기의 센서를 이용하였다. 실험 결과에서 위치와 무관한 양호한 힘 제어성능을 확인 했으며 센서를 이용한 접촉력 확인 시험에서는 파지 동작에서 결정되는 방향과 힘의 크기에 대응하여 물체를 적절히 파지함을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] Rajko Tomovic, George A. Bekey and Walter J. Karplus, "A Strategy for Grasp Synthesis with Multifingered Robot Hands," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 83-89, 1987.
- [2] Jeffrey Kerr and Bernad Roth, "Special Grasping Configurations with Dexterous Hands," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1361-1367, 1986.
- [3] Li-Ren Lin and Han-Pang Huang, "Mechanism Design of a New Multifingered Robot hand," Proc. Int. IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 1471-1476, 1996.
- [4] 심병균, 정양근, 박인만, 황원준, 강연욱, 한성현, "로봇 핸드핑거의 파지제어에 관한 연구," 한국산업응용학회 저널논문, Vol. 16, No. 4, pp. 141-145. 2013.
- [5] D. J. Balek and R. B. Kelley, "Using Gripper Mounted Infrared Proximity Sensors for Robot Feednack Control," Proc, Int. IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 282-287, 1985.
- [6] S. C. Jacobsen, E. K. Iversen, D. F. Knutti, R. T. Johnson and K. B. Biggers, "Design of the UTAH/M.I.T Dextrous Hand," Proc. Int IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 1520-1532. 1986.
- [7] B. Espiau and J. Y. Catros, "Use of Optical Reflectance Sensors in Robotics Applications," IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, Vol. SMC-10, No. 12, pp. 903-912, 1980.
- [8] Edward C. and Vladimir L. "Motion Planning for Rbot Arm Manipulator with Proximity Sensing," Proc. Int. IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 740-745, 1988.
- [9] Robert, D. H, Nicolas, P., Prasand, A., Imin, K. and Mark, R. C., "Grasping MANipulation and Control with Tactile Sensing," Proc. Int. IEEE Conf. on Robotics and Automation, pp. 1258-1263, 1990.