

## 부품조립 및 핸들링을 위한 말단효과장치의 정밀 그리핑 제어에 관한 연구

### A study on Precise Grasping Control of End-Effector for Parts Assembling and Handling

하언태<sup>1</sup>, 성기원<sup>2</sup>, 강언욱<sup>3</sup>

Un-Tae Ha<sup>1</sup>, Ki-Won Sung<sup>2</sup>, Eun-Wook Kang<sup>3</sup>

#### 〈Abstract〉

In this paper, we propose a new precise control technology of robotic gripper for assembling and handling of part. When a robot manipulator interacts mechanically with its environment to perform tasks such as assembly or edge-finishing, the end-effector is thereby constrained by the environment. Therefore grasping force control is very important, since it increases safety due to monitoring of contact force. A comparison of various force control architecture is reported. Different force control methods can often be configured to achieve similar results for a given task, and the choice of control algorithm depends strongly on the application or on the characteristics of a particular robot.

In the research, the adjustable gripping force can be controlled and improved the accuracy using the artificial intelligence techniques.

*Keywords : Precise Grasping control, End-Effector, Parts Assembling & Handling, Precise Control*

---

1 정회원, 주저자 (주) 미래기술연구소  
E-mail : euntha@hanmail.net

2 정회원, 교신저자, 환화테크윈(주)

3. 정회원, 교신저자, (주)유비트론

1, Dept. of Future Technology Institute Co., Ltd.

2, Corresponding Author, Hanwha Techwin co., Ltd.

3, Corresponding Author, Ubitron co., Ltd.

## 1. 서 론

최근에는, IT기술의 급속한 발달로 인하여, 저가형으로 실용적이면서도 성능이 우수한 마이크로 프로세서가 대량 공급되고, 컴퓨터 및 제어기술이 고도화되면서 단순 반복 작업의 인간 노동 대체를 벗어나서 고도의 인공지능과 지능적 반복 학습기술의 융합으로 자율적으로 일을 실행할 수 있는 지능기술로 발전되고 있다[1][2].

이와 같은 추세에 따라 로봇 제어 기술도 종래의 단순제어방식에서 탈피하여 각종센서를 이용함으로써 점차 지능화되고 있으며, 지시 데이터를 수시로 변경요 반복시켜 실행시키는 프로그램 제어방식이 채택되고 있다[3][4].

현재에는 단순히 로봇 그리퍼가 임의의 물체의 존재 여부를 감지할 수 있는 기능과, 이와 같은 물체를 파지 가능한 상태인지의 여부를 인식하는 기술 상태에 머물고 있고, 위치제어 또는 속도제어 등과 같은 부분의 연구에 주로 편중되어 있다. 그러나, 추후에는 로봇 매니플레이터의 고 정밀화, 소형화가 요구되고 있으며, 다양한 환경 하에서 미지의 형상을 갖는 물체를 파지해야 하는 경우가 많을 것으로 생각된다[5][6].

수직다관절 매니플레이터가 자유공간 상에서 운동을 할 때에는 위치제어에 의하여 동작되지만 매니플레이터의 그리퍼가 주변 환경의 임의의 물체에 접촉하게 되면 매니플레이터의 핑거는 위치제어 뿐 아니라 힘 제어를 동시에 수행해야 하는 하이브리드제어 방식에 의하여 동작되어야 한다 [7][8].

본 연구에서 이용한 수직다관절 다관절로봇의 매니플레이터 그리퍼의 핑거는 2개로 구성되어 있기 때문에 원형의 물체를 파지하는 데에는 적합하지 않아, 매니플레이터의 그리퍼를 파지하는 데에 안정성을 기하 하였으며, 이와 같이 파지하였

을 때의 파지력 측정은 힘센서로 측정되고 힘센서에서 나온 신호를 컴퓨터와 인터페이스 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 그리퍼 구조분석

로봇은 기계적 동작을 조절하는 조절기, 조절기의 동력연결 장치를 구동하는 구동장치, 제어와 프로그램의 저장 및 실행을 하는 컴퓨터를 포함하는 제어기 등 크게 3부분으로 나눌 수 있다[3][4].

본 연구에서는 핑거의 특성에 관한 고찰으로써, 핑거의 하드웨어에는 기계장치, 구동부, 각종 센서 등으로 이루어져 있으며 파지의 힘 제어 및 특성 연구를 위하여 구동부의 제어용 모터와 센서 등을 고찰하였다[3][5].

#### 1) 구동 모터의 특성.

수직다관절 로봇의 구동원으로는 일반적으로 6개의 DC모터가 사용된다. 큰 동력이나, 위치제어에 높은 정밀도가 요구되는 곳에는 유압모터나 서보모터가 사용되지만 스텝모터는 Open-loop 방식의 비교적 간단한 회로로 모터의 소형화가 쉽고 그에 비하여 정확한 각도제어나 위치제어가 가능한 장점이 있다. 그림1은 스텝모터를 구동시키기 위한 기본회로이다.  $C_1 C_2 C_3 C_4$ 의 Tr입력에 Bias가 있어야 Vcc에 의한 전류가 흐르게 된다. 스텝모터의 동작은 고정자와 회전자 위치 사이에 작용하는 힘에 의하여 설명되며 이 토크는 자기력의 관점에서 식이 유도된다.

Fig. 2는 DC모터의 신호 흐름도이고 그림3에서 자기력 F는 식(1)과 같다.

$$F = dW_m/dx \quad (1)$$

여기서,  $W_m$ 은 A극과 B치의 공간에 축적 되는 자기에너지이며, 자계의 세기를  $H[A/m]$ , 자속밀도를  $B[T]$ , 공기의 투자율을  $\mu_o[H/m]$ , 공극의 체적을  $V[m^2]$ 로 하면 식(2)와 같다

$$W_m = \frac{1}{2}MHV = \frac{1}{2\mu_o}B^2V[J] \quad (2)$$

따라서 자기력 F는 식(3)과 같이 표시된다.

$$F = \mu_o H \frac{dH}{dx} V = \frac{1}{\mu_o} B \frac{dB}{dx} V[N] \quad (3)$$

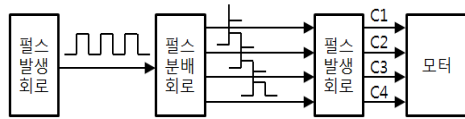


Fig. 1 The signal flow chart of motor driving circuit

자기력이 H나 B의 크기뿐만 아니라, 각각의 순간적인 변화분  $dH/dx$ 나  $dB/dx$ 와의 적(積)으로 표시된다는 것을 알 수 있다. 따라서 자기 에너지가 변위 x에 대하여 일정할 경우에는  $dW_m/dx = 0$  이 되면 자기력은 발생하지 않는다[6].

DC모터의 자기력을 구체적으로 설명하기 위하여 VR형 스텝모터의 모델을 설정하고, 고정자 자극의 권수를 N으로 하고 전류 I가 흘렀을 때 자기포화에 의한 비선형성이 없다고 하면, 고정자 자극에서의 쇄교자속수  $\lambda [wb]$ 와 여자전류 I[A]는 비례한다.

여기서  $\Omega_m$ 은 철심의 자기저항,  $\Omega_g$ 는 공극의 자기

저항이며 단위는  $[H^{-1}]$ 이 되고 (4)식과 같이 표시된다.

$$\xi = N\Phi, \Phi = \frac{NI}{R}, R = R_m + R_g \quad (4)$$

또, 이 계통으로 축적되는 자기에너지  $W_m$ 은 식(5)와 같다.

$$W_m = \int Id\xi = \frac{1}{2}\xi I = \frac{1}{2} \cdot \frac{(NI)^2}{R} [J] \quad (5)$$

모터의 발생토크는 변위에 대하여 정현파형으로 나타나며, 그 주기는 모터의 구조 즉 회전자 치수와 상수에 의하여 결정된다.

구동력은 모터에서 얻으므로 먼저 모터의 전기 및 기계적인 등가모델을 표현한 후 실제 관성을 고려한 모터의 전달함수를 구한다[7].

모터의 특성은 저항 성분 R과, 이것과 직렬로 연결된 인덕턴스  $L_a$ , 그리고 회전자의 단자간에 내부적으로 발생하는 전압  $E_g$ 로써 나타낼 수 있다. 이 관계식을 라플라스 변환하여 표시하면 식(6), (7), (8)과 같다.

$$E(s) = (sL_a + \Omega)I_a(s) + KeR \quad (6)$$

$$Tg(s) = KtI_a(s) \quad (7)$$

$$Tg(s) = (JM + JI)sR(s) + DR(s) \quad (8)$$

여기서, E는 인가전압, Ke는 전압상수, R는 회전속도,  $Tg(s)$ 는 토크, Kt는 토크 상수, JM은 모터 회전자의 관성, s는 복소변수, D는 댐핑 계수이다.

상기 식들로부터 모터의 전달함수를 구하면 식(9)와 같다.

$$GM(s) = R(s)/E(s) = \frac{K_t}{(sLa + \Omega)(sJ + D) + K_e K_t} \quad (9)$$

여기서, 모터의 인덕턴스  $La$ 가 매우 작고 댐핑이 없다고 가정하면 모터의 전달함수는 다음 식(10)과 같이 잔력화 된다.

$$GM(s) = \frac{1/K_e}{(s\tau_m + 1)(s\tau_e + 1)} \quad (10)$$

여기서  $\tau_m = rJ/(KeKt)$ ,  $\tau_e = La/r$  ELK.

로봇의 손에 감각을 갖게 하기 위한 센서로는 촉각 센서, 압력감지센서, 흐름감지센서, 근접감지센서, 작업을 위한 센서 등이 있는데 본 연구에서는 신호계측으로 많이 사용되는 압력센서인 힘센서를 이용하였다.

파지력을 측정하는 데에는 힘 신호 계측으로서 가장 많이 쓰이는 압력센서인 힘센서를 사용하였다.

힘센서란 외력에 의해 변화하는 전기저항을 전압으로 변환하는 센서로서 그림4와 같은 구조로 되었다 [8].

저항선의 길이  $L$ , 단면적이  $A$ 라고 하면 이때의 전기저항  $\Omega$ 은  $\Omega = \rho L/A$ 로 된다.

여기서  $\rho$  : 단위 길이당의 고유저항이다.

힘  $f$ 가 가해져 길이가  $L + \Delta L$ 로 되고, 단면적이  $A + \Delta A$ 로 되었다고 하면, 전기저항은 식(11)과 같이 증가된다는 것을 알 수 있다.

$$\Omega f = \rho \frac{L + \Delta L}{A + \Delta A} \quad (11)$$

특히 스트레인 게이지의 감도  $G$ 는 식(12)와 같이 정의된다.

$$G = \frac{(\Omega_f - \Omega)/\Omega}{\Delta L/L} \quad (12)$$

금속 저항선의 경우  $G = 2$ 정도이다. 이와 같은 원리로 측정되어 저항값의 변화는 전압값의 변화로 치환되고 스트레인 앰프에 의해 증폭된 후 AD변환기를 통하여 PC나 계측기에 인가된다.

## 2.2 힘제어 방법

로봇을 기하학적으로 분류하면 직교좌표형(Cartesian), 다관절형(Articulated), 스퀘라형, 구형(Spherical), 원통형(Sylin-driaci) 등이 있다.

본 연구에서 이용한 로봇은 교육용 다관절형 Pro-arm 로봇으로서, 이 매니플레이터들은 전형적으로 두 개의 어깨(Shoulder) 관절로 이루어져 있으며, 한 개는 수직축 주위로의 회전을 위한 것이고, 한 개는 수평면으로부터 높낮이를 위한 것이다. 그리고 팔꿈치 관절의 축은 일반적으로 어깨의 높낮이 관절축과 평행하며 매니플레이터의 끝에 두 개 이상의 손목 관절이 있다.

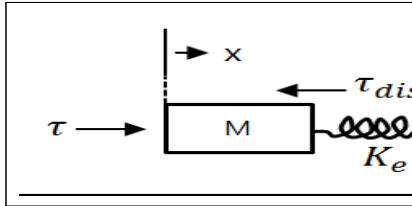
관절형 로봇은 매니플레이터의 구조가 작업공간 내에서 제한된 공간에만 도달할 수 있는 특징이 있으며 다른 형태의 로봇에 비하여 훨씬 작은 전체적인 구조를 요구하므로, 작은 작업 공간이 요구되는 곳에 적은 비용으로 사용이 가능한 장점이 있다[9].

다관절로봇은, IBM 또는 그 호환 컴퓨터에 의하여 구동되는 로봇으로서 스텝모터에 의하여 Base, Shoulder, Elbow, Wrist Roll, Wrist Pitch, Gripper 등 6자유도를 갖는다.

접촉힘을 고려하려면 파지하고자 하는 물체나 주변환경에 대한 모델을 구성하여야 한다. 일례로 가정하여, 제어되는 물체와 주위의 물체 사이에서의 상호작용을 나타내는 아주 간단한 모델을 제시

하면, 주위 물체와의 접촉을 스프링으로 나타낼 수 있다. 즉 로봇의 시스템이 강성체이고 주위의 물체는 강성도  $k_e$ 를 갖고 있다고 가정한다[10].

Fig. 2와 같이 스프링에 붙어 있는 질량제어 시스템에 대하여 고찰하여 보면 미지의 외란  $\tau_{dist}$ 도 포함 시킴으로써 미지의 마찰력이거나 매니퓰레이터의 기어와 기어 사이에서 생기는 힘을 모델링한 것으로 생각할 수 있다. 제어하고자 하는 힘은 변수  $f_e$ 이며, 이것은 스프링에 작용하는 힘으로써 식(13)과 같다



$M \cdot k_e^{-1}(t)$

Fig . 2. Spring-Mass system modeling

$$\tau_e(t) = k_e x(t) \tag{13}$$

본 물리계의 시스템 방정식은 (14)와 같다.

$$\tau(t) = M\ddot{x}(t) + k_e \dot{x} + \tau_{dist}(t) \tag{14}$$

미지의 외란 변수  $\tau_{dist}(t)$ 도 포함시켰을 경우는 식(15)와 같다.

$$\tau(t) = M k_e^{-1} \left[ \frac{\ddot{x}}{\tau} + \tau_e(t) + \tau_{dist}(t) \right] \tag{15}$$

분할제어장치의 개념을 사용하면 식(16)과 (17)과 같이 표현 할 수 있다.

$$A(t) = M k_e^{-1}(t) \tag{16}$$

$$\beta(t) = \tau_e(t) + \tau_{dist}(t) \tag{17}$$

이로부터 제어법칙은 식(18)과 같다.

$$\tau(t) = M k_e^{-1}(t) \left[ \frac{\ddot{x}}{\tau} + k_v \tau \dot{e} \tau + k_p \tau e \tau \right] + \tau_e(t) + \tau_{dist}(t) \tag{18}$$

여기서  $e \tau(t) = \tau_d(t) - \tau_e(t)$ 는 원하는 힘  $f_d(t)$ 와 주위의 물체에 작용하여 감지된 힘  $f_e(t)$ 와의 차로써 만일 위 식(18)을 계산 가능할 경우 페루프 시스템을 이루며 이 경우는 다음 식(19)와 같다.

$$\ddot{e} \tau(t) + k_v \tau \dot{e} \tau(t) + k_p \tau e \tau(t) = 0 \tag{19}$$

식 (15)와 (18)을 등가로 놓고 미분한 항을 모두 무시 하므로써 정상상태의 해석에 따른 결과는 식(20)과 같다.

$$e \tau(t) = \frac{\tau_{dist}(t)}{\alpha} \tag{20}$$

여기서  $A(t) = M k_e^{-1}(t) k_e \tau(t)$ 는 유효 힘 피드백 이득이다.

실험을 위한 시스템은 Fig. 3과 같이 다관절 로봇과 이 로봇을 구동시키기 위한 IBM컴퓨터, 핑거조종용 프로그램을 실행시킬 컴퓨터 그리고 스트레인게이지와 AI-1600 SET으로 이루어져 있다 [9][10].

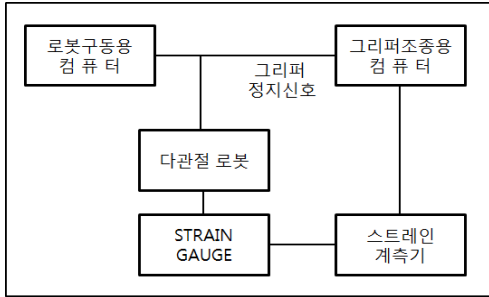


Fig . 3. The construction of overall system

### 3. 모의 실험

6관절 수직 다관절 로봇의 매니플레이터를 2개의 핑거에서 원형의 물체를 파지하기 용이하게 하기 위하여 핑거의 말단에 스트레인게이지의 데이터를 얻기 위하여 플라스틱을 부착한 다음, 그 뒷면에 각각 1개씩 4개의 스트레인게이지를 부착하였다.

스트레인 게이지는 미소한 기계적인 변형량을 전기적 신호로 변환시키는 센서로서, 편리한 적용법과 높은 정밀도로 인하여 하중, 압력, 가속도 변위, 토크 등 여러 가지 물리량을 측정하는 트랜스듀서에 이용되고 있다.

스트레인 게이지 측정시스템으로부터 미소한 아날로그 신호를 측정하여 컴퓨터와 인터페이스 해주는 계측기이다.

8채널을 기본으로 최대 64채널까지 확장할 수 있으며 최고 124채널에서 초당 8채널을 안정적으로 스캔할 수 있고, 자체 내장된 정밀저항으로 110Ω, 250Ω 브릿지에 대해 정확하게 캘리브레이션 할 수 있다.

윈도우Ⅶ 이상 버전에서 운용되는 응용프로그램에서는 사용자가 원하는 채널에 대해 자동으로 0

점 평형값을 수행하고, 모든 스트레인게이지에 대해 셉트보정을 하며, 획득한 데이터는 ASCII형식으로 저장되어 다른 프로그램에서 사용할 수 있으며, 입력센서의 종류별로 연속적인 채널정보설정이 가능하다. 시험설정정보는 이후 시험을 위하여 정리 저장되고, 사용자가 데이터 저장간격과 시험시간을 결정한다. X-Y 실시간 그래프를 16채널까지 디스플레이하며 원하는 두 개의 채널에 대해 플로팅을 수행한다. 데이터를 모니터링 하면서 미리 입력된 시험 조건에 해당하는 데이터만 저장할 수 있고, 시편에 대한 재료 물성치 정보의 추가, 수정 삭제, 저장할 수 있다.

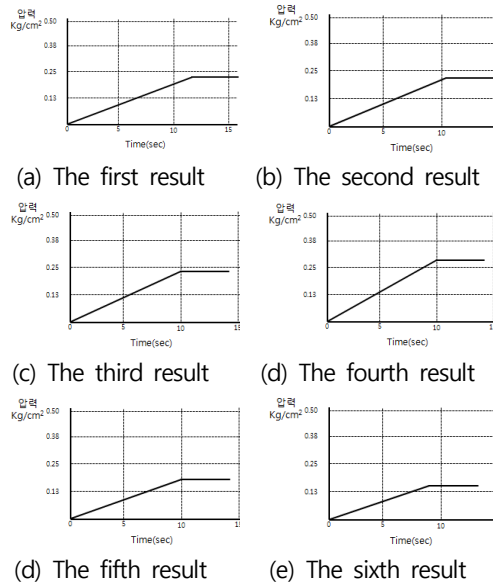


Fig. 4. The experimental results of grasping force control

본 연구에서는 파지하여야 할 임의의 물체의 미지값을 갖는 강성에 대한 파지력 제어에 지능을 주어 계란 등을 일례로 연구 실험을 거쳐 검증하였다.

실험장비로는, 6관절 수직 다관절로봇을 2개의 핑거에서, 계란을 파지하기 좋게 하기 위하여 3개의 핑거로 개조하였고, 그리퍼에 플라스틱을 부착

하여 스트레인게이지를 부착하였다. 스트레인게이지에서 출력되는 데이터는 스트레인 계측기를 이용하여 PC에 인터페이스 되고 디스플레이 되었다.

테스트모드에서 20회 깨질 때까지 파지를 함으로써, 얻어진 계란의 깨짐 강성 데이터는 반복 학습기능을 이용한 제어기에서 깨뜨리지 않고, 또 놓치지 않으면서 파지 할 수 있는 가장 최적의 파지시 압력 값을 스스로 유도하여, 실행모드에서는 그 측정된 압력 값으로 파지하여 물건을 이동시켜 봄으로써 입각, 미끄러짐 등의 여러 가지 센서를 이용하여 로봇에게도 사람의 손가락이 느끼고 얻을 수 있는 감각을 줄 수 있으며, 제한적이기는 하지만 반복 학습 기능을 이용하여 로봇에게도 지능이 주어지면 앞으로 자율적인 동작을 할 수 있을 것이라 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구는 로봇 아암의 그리퍼가 임의의 형상의 물체를 파손시키지 않고, 또한 떨어뜨리는 일 없이 안정적인 최적의 상태로 물체를 효율적으로 파지 할 수 있는 핸드 그리퍼 파지력 제어에 관한 연구로써, 로봇 아암에 사용된 제어용 모터의 특성과 힘센서, 압력센서 등의 특성을 기술하고, 파지를 위한 힘제어 시스템을 모델링하여 그리퍼 제어시스템을 구성하였다.

로봇 그리퍼의 파지에 필요한 위치 제어와 힘제어의 복합제어에 대한 동작특성을 기술하였으며, 미지의 물체를 파지하는 데에 최적의 안정성을 기하기 위하여 로봇 아암의 그리퍼의 관절을 플렉시블한 구조로 설계하였다.

로봇 핑거가 물건을 파지 하는 경우에, 학습기능을 이용하여 파지 대상 물체를 최적의 상태로

파지 할 수 있는 파지력 데이터를 분석하고 실험을 통하여 선능을 검증하였다.

#### 참고문헌

- [1] Dimitry Gorinecsky, Drik E. Tors, A.A. Goldenberg, "Learning apprcimation of feedforeard control dependence on the task parameters with application to direct-drive manipulator tracking" IEEE Transaction on robotics and automation. Vol, 13, No.4, August 1997.
- [2] Meng joo er, Kang chew liew, "Control of adept one SCARA robot using neural networks" IEEE Transaction on indus-trial electronics, Vol.44 No.6 December 1997.
- [3] Imin Kao, Mark R. Cutkosky, Roland S. Johansson, "Robotic stiffness control and calibration as applied to human grasping tasks", IEEE Transactions on robotics and automation .Vol,13. No.4 August 1997.
- [4] Ernest D. Fasse, Jan F. Broenink " A spatial impedance controller for robotic manipulation" IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.13,No.4,August 1997.
- [5] Kazuo Kiguchi, Toshio Fukuda,"Intelli-gent position/force controller for indus-trial robot manipulators-application of fuzzy neural networks", IEEE Transac-tions ont industrial electronics, Vol.44, No,6 December 1997.
- [6] Krzysztof P. jankowski, hoda A.Elmaraghy "Robust hybrid position/force control of redundant robots", Robotics and Autonomous Systems 27, PP. 111 ~ 127.

- [7] 이양희, 서동수, 오상록, 서일홍, 유범재 “인공 피부 센서를 이용한 물체 인식” 1998년
- [8] 손재현, “HERO 2000 로봇 매니플레이터의 이동 궤적 추적기 설계에 관한 연구” 건국대학교 대학원 전기공학과 석사학위논문, 1989.
- [9] 섭, 손재범, 오상록, 유범재 “인간형 로봇 손의 강성 힘 제어” 대한 전기학회 1997년도 하계학술대회, 논문집 G권 PP. 2385 ~ 2387, 1997.
- [10] 정슬, “로봇의 힘 추종 임피던스 제어의 문제점과 해답제시”, 제어·자동화·시스템학회 충청·대전지부 1998년도 학술 발표회, 논문집 PP.21~26 1998.
- [11] 조국훈, 이재훈, 이병주, 오상록, 김회국, 서일홍, “병렬형 Gripper/미소위치제어 메카니즘설계 및 해석”, 1998.
- [12] 세운편집부, “스텝핑 모터의 활용기술”, 도서출판 세운. 1985.
- [13] 월간 자동화기술 편집부, “메카트로닉스를 이용한 최첨단 제어용 모터”, 성안당 1994.