

원격 파지의 조작 특성에 관한 실험적 연구

김종태*(전북대학교 대학원), 김희주(전북대학교 대학원), 권대규(전북대학교 MRC),
유기호(전북대학교 기계항공시스템공학부)

An experimental study on the operation characteristics of tele-grasping

Jong Tae Kim(Dept. of Aerospace Eng., CNU), Hoi Ju Kim(Dept. of Mechatronics Eng., CNU), Tae Kyu Kwon(MRC of CNU), Kee-Ho Yu(Dept. of Mechanical and Aerospace System Eng., CNU)

ABSTRACT

In this paper, we performed the study on the operation characteristics of tele-grasping using the developed experimental system. The experimental system consists of master and slave gripper, and signal processing system. For the stable grasping of an object, this system feedback the normal force obtained from the strainagege of the slave gripper to magnetic particle brake of the master gripper through the signal processing system. This experimental system can control the grasping force in remote using the force feedback device. Some experimental results of the tele-grasping are presented and discussed

Key Words : Tele-grasping system(원격 파지시스템), Tele-operation characteristics(원격조작 특성)
Force feedback(힘 피드백), Master and slave gripper(조작측 및 원격측 그리퍼)

1. 서론

원격지의 물체를 로봇 손(end-effector)을 이용하여 조작할 경우, 공간상에 있는 물체의 위치를 파악한 후 이동하여, 적절한 형태로 물체를 파지(把持)하게 된다^[1]. 이때 로봇 손에 부착되어 있는 센서를 이용하여 물체를 파지할 때, 로봇 손의 들어올리기 동작이나 외란에 의하여 슬립이 발생할 경우 물체의 슬립(slip)을 감지하고 피드백(feedback)하여 물체의 안정된 파지를 유지하는 방법이 필요하다.

원격 파지에 대한 연구로서, Tan^[2] 등은 물체를 조작하고 인식하기 위해서 인간의 감지능력을 특성화하거나 모델링하는 연구를 수행하였다. Edin^[3] 등은 순간적인 접선력 제분배와 진동 발생시 약속하지 않은 초기값과 범선 파지력 응답의 조합에 대하여 고찰하였다. Nakazawa 등^[4]은 인간이 파지를 하는 데 있어서 기본이 되는 로봇 그리퍼에 대한 힘 제어를 구현하였다. 특히 유연물체나 깨지기 쉬운 물체의 파지력 조절을 물체에 필요 이상의 힘을 가하지 않도록 꺼뜨리지기 직전의 임계 힘을 가할 필요가 있다.

본 연구에서는, 물체의 안정된 파지를 위하여 파지력(grasping force)의 피드백 구현을 위해 원격측 그

리퍼를 조작할 때 그리퍼에 부착되어 있는 스트레인 게이지(strain-gauge)로부터 파지력을 검출하고 이를 조작자에게 효율적으로 피드백하는 방법을 연구한다.

2. 파지 모델링

2.1 모델링

Fig. 1은 원격측(remote site) 그리퍼(gripper)가 물체를 파지했을 때, 슬립을 방지하기 위한 최소한의 파지력 계산방법이다.

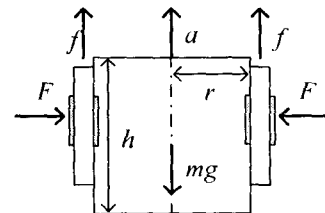


Fig. 1 Grasping model of object

먼저, 운동 제 2법칙을 적용하여 물체를 놓치지 않고 안정적인 파지 상태를 가정하면,

$$F = ma \quad (1)$$

$$ma = 2f - mg \quad \Leftrightarrow \quad f = \frac{m(g+a)}{2} \quad (2)$$

여기서, a 는 가속도(m/s^2), m 은 질량(kg), g 는 중력가속도(m/s^2), F 는 과지력(normal force, N), f 는 마찰력(tangential force, N)을 나타내고 있다. 다음으로, 물체를 놓치지 않고 과지상태를 유지하기 위해서는 과지력이 마찰력보다 커야 하므로

$$|f| \leq \mu_s \cdot F \quad (3)$$

여기서, μ_s 는 정지 마찰계수(static friction coefficient)이다. 식(2)를 식(3)에 대입하여 정리하면

$$F \geq \frac{m(g+a)}{2\mu_s} \quad (4)$$

물체를 놓치지 않고 과지하기 위한 최소한의 과지력은 다음식과 같다.

$$F = \frac{m(g+a)}{2\mu_s} \quad (5)$$

본 연구에서는 물체를 고정된 위치에서 단지 과지만 하였을 경우와 과지했다가 과지력을 감소하면서 급강하시킬 경우, 그리고 과지력을 완화시켜 슬립을 유발한 후 재과지 하였을 경우의 원격과지에 따른 조작특성 실험을 수행하였다.

3. 시스템 구성

3.1 시스템의 구성

조작측(local site)에서 조작자에 의한 조작측 그리퍼(master gripper)의 움직임을 측정하여, 이를 원격측에 전달하고, 또한 원격측 그리퍼에 반영되는 힘을 피드백하여 물체를 과지할 때의 반력을 조작자에게 전달하는 시스템을 구성하기 위해 Fig. 2와 같은 시스템을 구성하였다.

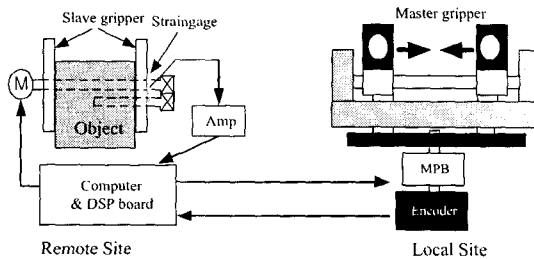


Fig. 2 Experimental system for tele-grasping

본 연구에 사용된 장치로는 신호처리를 위한 DSP 보드, 물체를 잡을 때 과지력을 측정하기 위한 스트레인 게이지, 조작측 그리퍼(master gripper)의 움직임을 원격측에 전달하기 위한 DC 모터(encoder포함-1000Pulse), 원격측 그리퍼가 물체를 과지할때에 감지되는 반력을 조작자에게 전달해주는MPB(magnetic particle brake), 그리고 조작측 그리퍼의 움직임을 측정하기 위한 엔코더(encoder)를 사용하였다.

작업을 원격측에 전달하기 위한 DC 모터(encoder포함-1000Pulse), 원격측 그리퍼가 물체를 과지할때에 감지되는 반력을 조작자에게 전달해주는MPB(magnetic particle brake), 그리고 조작측 그리퍼의 움직임을 측정하기 위한 엔코더(encoder)를 사용하였다.

3.2 조작측 구성

Fig.2에서 보듯이 조작측은 MPB를 중심으로 하단에 중공축 엔코더와 상단에 랙-피니언 구조의 조작측 그리퍼로 구성되어 있다. 조작측 그리퍼의 좌우 움직임을 엔코더로 측정하여 DC모터로 전달, 원격측 그리퍼를 조작하고 스트레인게이지에 의한 전압변화로 MPB를 구동시켜 과지력을 조작자가 느끼게 하도록 구성하였다.

3.3 원격측 구성

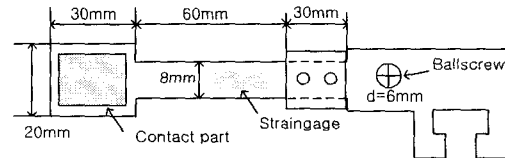


Fig. 3 Gripper beam of remote site

Fig. 3은 제작된 원격측 그리퍼 빔의 단면도를 나타내고 있다.(두께; 8mm) 볼 스크류 두 개를 병렬로 놓고 상부의 스크류를 구동시켜 왼쪽의 그리퍼를 구동시키고 동시에, 하부의 볼 스크류로 오른쪽의 그리퍼를 구동시켜 하나의 모터로 제어할 수 있게 하였다. 하나의 모터로 양방향의 그리퍼를 동시에 구동시키기 위해 2mm의 피치(pitch)를 갖는 볼 스크류(ball screw)와 커플링, 기어를 이용하여 그리퍼부를 구성하였다.

3.3 신호처리 시스템

Fig. 4는 본 연구에 사용된 전체 시스템의 구성을 나타내고 있다. 센서정보의 입력과 모터 구동, 조작자의 움직임을 측정하는 엔코더 및 구동 명령, 그리고 힘의 피드백 등 신호처리를 위하여 dSpace사의 DSP(Digital Signal Processing)1102 Board를 사용하였다. 스트레인게이지는 16bit의 입력채널에 연결되었고, 내부 필터링 및 A/D 변환을 거쳐 12bit 출력채널을 통해 MPB에 반력을 피드백하여 준다. 또한 MPB의 축에 커플링 되어있는 엔코더의 출력신호를 증분 엔코더 채널로 계산하여 원격지의 모터를 구동하게 된다.

신호 처리 및 힘 피드백에 관한 시스템의 블록선도를 Fig.5에 나타내었다. 스트레인게이지에서 나오는 미세 전압을 측정하여 증폭기를 통해 필터링을



Fig.4 Configuration of tele-grasping system

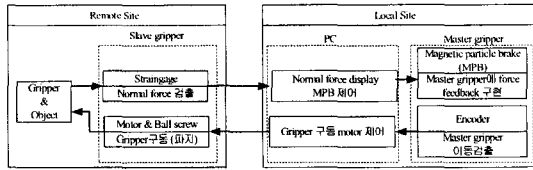


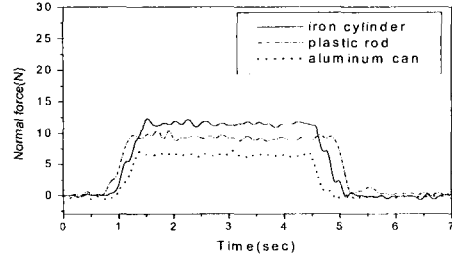
Fig. 5 Block diagram of tele-grasping system

한 후, A/D보드를 사용하여 실시간 검출하도록 하였다. 실시간 처리된 스트레인으로부터 파지력을 계산하고 이를 전압으로 변환하여 MPB에 입력함으로써 물체를 파지하였을 때의 반력을 느껴도록 하였다. 그리고 조작측 엔코더로 변위를 측정할 후, 원격지의 모터를 구동하는 흐름도를 나타내었다. 이와 같은 과정은 PC를 통하여 모니터링 할 수 있게 하였다.

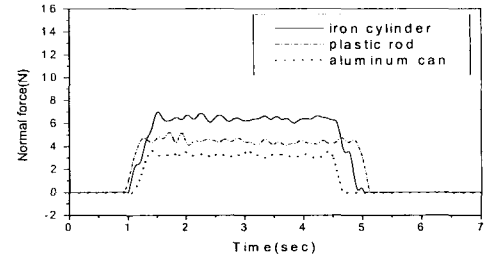
4. 원격파지 실험결과 및 고찰

조작측 그리퍼를 일정거리 이동하여 원격측 그리퍼를 조작할 때 조작측 그리퍼의 운동을 엔코더로 측정하여 DSP 보드와 PC를 통해 원격지의 DC 모터에 구동명령을 주고, 다시 원격측 그리퍼에 반작용하는 파지력을 측정하고 DSP보드와 PC를 통해 조작측 그리퍼에 작업상태를 피드백 해주는 실험을 수행하였다. 단, 입력되는 신호에 잡음이 섞여 있는 경우가 있는데, 이 경우에는 상대적으로 신호가 안정적인 구간에 대해 실험을 하였다.

Fig. 6은 각 물체를 고정된 위치에서 단지 파지만 하였을 경우, 스트레인게이지로부터 저항변화를 이용하여 계산되는 파지력과 MPB 피드백 입력값을 나타내고 있다. 여기서, 실험에 사용된 물체는 강철 실린더($r=24.5\text{mm}$, $h=33\text{mm}$, $w=500\text{g}$), 플라스틱 봉($r=26\text{mm}$, $h=105\text{mm}$, $w=260\text{g}$), 알루미늄 캔($r=26\text{mm}$, $h=109\text{mm}$, $w=25\text{g}$)을 사용했다. 먼저, 파지력이 급격히 증가하는 부분이 물체를 파지하기 시작하는 시점이 된다. 그리고 파지 후 파지력이 일정하게 유지되는 것을 알 수 있으나, 파지 후 미세 진동이 발생하는 것은 원격측 그리퍼부의 진동 및 물체 상태의 변화 때문이다. 또한 물체의 파지력의 크기는 각 물체

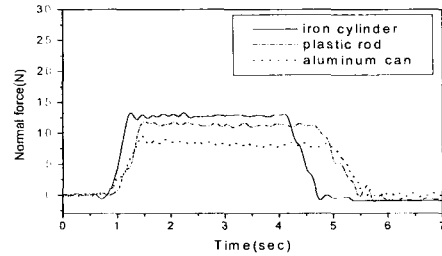


(a) Applied force

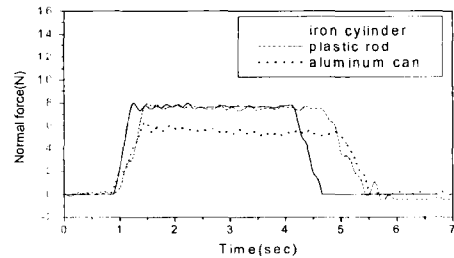


(b) Feedback voltage to MPB

Fig. 6 Experiment results in case of grasping object



(a) Applied force



(b) Feedback voltage to MPB

Fig. Experiment results in case of grasping and dropping object

의 강성에 의해서 강철 실린더, 플라스틱 봉, 알루미늄 캔 순서임을 알 수 있다. 이는 조작자가 경험적으로 각 물체의 강성 및 중량을 추정하여 적절한 파지력을 가한 것에 기인한다.

Fig. 6(b)는 파지력 측정 후 이에 상응하는 MPB로의 입력전압을 나타내고 있다. 파지력의 변화에 따라 MPB로의 피드백 전압이 잘 추종하는 특성을 보여주고 있다.

Fig. 7은 각 물체를 파지했다가 범선력을 감소하면서 급강하 시킨 경우, 스트레인게이지로부터 나오는 변형률을 이용하여 계산되는 파지력과 MPB로의 피드백 전압값을 나타내고 있다. Fig. 6(a)에서 강철 실린더를 파지만을 하였을 경우의 파지력이 12N 정도이지만 Fig. 7(a)에서는 식(5)에서와 같이 낙하하려는 중력에 의한 성분이 더해지기 때문에 상대적으로 파지력이 14N 정도로 증가하였음을 알 수 있다. 또한, MPB에 피드백되는 입력값을 고찰해 볼 경우, 파지력의 변화에 따라 MPB로의 피드백 전압이 잘 추종하는 특성을 보여주고 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 플라스틱 봉을 파지 후 슬립을 유발한 뒤 재파지하였을 경우의 특성을 보여주고 있다. 플라스틱 봉을 파지후 조작측의 그리퍼를 움직여서, 원격측의 파지력을 점차 감소시킴에 따라 7초 후 슬립이 발생하였고, 조작자가 그것을 인식, 조작측의 그리퍼를 재빨리 조작하여 슬립상태의 물체를 안정적으로 재파지 할 수가 있었다.

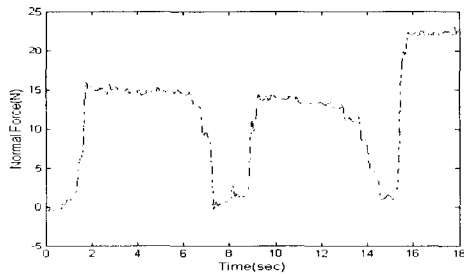


Fig. 8 Applied force in grasping, slipping and re-grasping of plastic rod

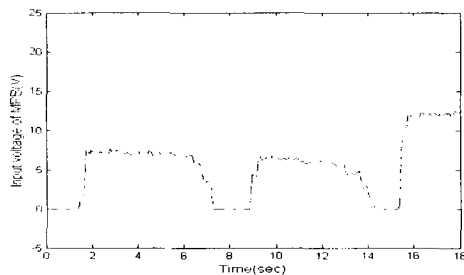


Fig. 9 Feedback voltage to MPB in grasping, slipping and re-grasping of plastic rod

이와 같이, 스트레인게이지의 변형량에 따른 파지력을 DSP 보드를 이용해 실시간으로 계측하여 사용자가 쉽게 파지상태를 파악할 수 있게 하였고, 물체의 파지력 변화상태를 측정하여 인공적인 파지상태를 유지할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 파지운동 조작자에 스트레인 게이지를 이용하여 원격측 그리퍼에 적용되는 파지력을 측정하고, 조작측의 MPB에 반력을 피드백하는 원격파지 시스템을 구성하고 실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 원격측의 파지력을 피드백하는 방법을 사용하여 조작측에서 물체의 파지력을 느낄 수 있게 하는 안정된 원격파지 시스템을 구축하였다.
2. 파지력의 변화에 따라 MPB로의 피드백 전압이 잘 추종하는 특성을 보여주고 있고, 물체를 파지한 후 MPB에 입력되어지는 피드백 입력전압 때문에 그리퍼의 반력을 이용하여 물체를 직접 조작하는 것처럼 안정된 파지가 가능함을 확인하였다.

후기

본 연구는 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 이루어졌습니다(과제번호: 2001-002-E00026).

참고문헌

1. J. S. Son, R. D. Howe, J. Wang and G. D. Hager, "Preliminary results on grasping with vision and touch," Proc. of IROS, pp.1068-1075, 1996.
2. M. G. Her, K. S. Hsu, W. S. Yu and M. Karkoub, "Analysis and design of haptic telerobotic system," IEE Proc. Control Theory Appl., Vol.148, No.4, pp. 306-314, 2001.
3. H. Z. Tan, X. D. Pang, and N. I. Durlach, "Manual resolution of length, force, and compliance," ASME Advances in Robotics DSC-Vo 142, pp.13-18, 1992.
4. B. B. Edin, R. Howe, G. Westling, and M. Cutkosky, "A physiological method for relaying frictional information to a human teleoperator," IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, Vol.23, No.2, pp.427-431, 1993.
5. N. Nakazawa, I. H. Kim, H. Inooka, and R. Ikeura, "Force control of a robot gripper based on human grasping schemes," Control Engineering Practice, Vol.9 pp.735-742, 2001.