

손가락 재활로봇의 5축 힘/모멘트센서를 이용한 손 누름제어

김현민 · 김갑순*

Hand Pressing Control Using the Five-Axis Force/Moment Sensor of Finger Rehabilitation

Hyeon-Min Kim and Gab-Soon Kim*

Abstract

This paper describes the control of the hand fixing system attached to the finger rehabilitation robot for the rehabilitation exercise of patient's fingers. The finger rehabilitation robot is used to exercise the finger rehabilitation, and a patient's hand is safely fixed using the hand fixing system. In this paper, the hand fixing system was controlled with PD gains to fix a palm of the hand, and the characteristic test for the hand fixing system was carried out to sense the fixed hand movement of the front and the rear, that of the left and the right, and that of the upper. It is thought that the hand fixing system could safely fix the hand, and the movement of the fixed hand could be perceived using the five-axis force/moment sensor attached to the hand fixing system.

Keywords : Control System, Hand Fixing System, Rehabilitation Robot, Finger Rehabilitation, Five-axis Force/Moment Sensor, Interference Error, Rated Output

1. 서론

중증 뇌졸중 환자 등의 굳어 있는 손가락은 정상인과 같이 정상적으로 사용할 수 없다. 손가락을 정상인과 같이 사용하기 위해서는 전문가 혹은 가족이 재활운동을 시키거나 손가락 재활로봇을 이용하여 재활운동을 시켜 회복시켜야 한다. 전문가 혹은 가족이 급속히 늘어나는 환자를 감당할 수 없으므로 손가락 재활로봇이 담당해야 하는 실정이다.

손가락 재활로봇을 이용하여 손가락 재활운동을 하기 위해서는 손이 움직이지 않도록 안전하게 고정시켜야 한다. 손을 고정시키는 가장 간단한 방법은 접착천(velcro)을 이용하여 손목을 고정시키는 것이다[1-5]. 이것은 중증 뇌졸중 환자의 손인 경우에는 손가락이 주먹을 쥔 상태로 유지되어 있어 거의 펴지지 않아 고정하기 매우 어려운 단점을 가지고 있다. 그러므로 손가락 재활로봇에서는 손 누름장치를 이용하여 환자의 손바닥을 눌러 안전하게 고정시킨다. 이 누름장치는 손을 안전하게 일정한 힘으로 눌러 고정할 수 있어야 하고, 눌러 고정된 상태에서 손의 전후, 좌우, 위쪽으로 움직임을 정확하게 감지해야 재활운동 중 안전을 확보할 수 있다. 그러므로 손 누

름장치는 다축 힘센서가 핵심부품으로 활용되고, 이것을 이용하여 누르는 힘제어 및 손의 움직이는 방향의 힘과 모멘트를 측정한다.

일부 시스템은 페루프 제어를 위해 그들 구성부품의 상수값을 알 수 없으므로 시뮬레이션에 의해 비례, 적분, 미분계인(PID 계인)을 얻을 수가 없기 때문에 지글러-니콜스방법으로 PID 계인을 실험에 의해 얻는다[6, 7].

따라서 본 논문에서는 뇌졸중 환자의 손가락 재활운동을 위한 손을 안전하게 고정할 수 있는 손 누름장치의 제어에 관한 것이다. 이를 위해 손가락 재활로봇의 손 누름장치를 구성하였고, 손 누름장치에 부착된 5축 힘/모멘트센서를 이용하여 손바닥을 안전하게 눌러 고정하는 PD계인을 얻기 위한 제어특성실험을 실시하였다. 고정된 손의 전후, 좌우, 위쪽으로 움직일 때 움직임을 감지하는 특성실험을 실시하였다.

2. 손 누름 장치 구성

2.1 손 누름 장치의 원리

Fig. 1은 손 누름장치의 원리를 나타내고 있다. 손 누름장치에 설치되는 5축 힘/모멘트센서는 상하이동기구를 이동시켜 손을 눌러 고정할 때 발생하는 누르는 힘 측정과 손이 고정된 상태에서 손을 전후, 좌우, 위쪽으로 움직일 때의 힘 및 모멘트 측정 등에 사용된

경상대학교 제어계측공학과(Department of Control & Instrumentation Engineering, ERI, Gyeongsang National University)

*Corresponding author: gskim@gsnu.ac.kr

(Received : Jan. 6, 2012, Revised : Mar. 8, 2012, Accepted : Mar. 15, 2012)

다. 손 누름장치는 손 지지대 위에 왼손 등이 접촉되도록 손을 올려 놓고 손 누름기구를 이용하여 손바닥을 눌러 고정한다. 이때 5축 힘/모멘트센서 중 힘 F_z 센서에 의해 측정되는 값이 손을 누르는 힘이 되고 이 값을 기준으로 힘을 눌러 고정하는 제어를 한다. F_x 센서는 고정된 환자의 손이 좌우로 움직일 때 발생하는 힘을 측정하고, F_y 센서는 손이 전후로 움직일 때 발생하는 힘, F_z 는 손을 누를 때 발생하는 힘과 고정된 손이 위로 움직일 때 발생하는 힘을 측정한다. 그리고 M_y 센서는 손바닥의 중심선을 기준으로 좌측과 우측으로 크게 눌러진 힘을 모멘트로 환산된 값이 측정되고, M_z 센서는 손이 고정된 상태에서 손을 회전하는 쪽으로 비틀 때의 모멘트를 측정할 수 있다.

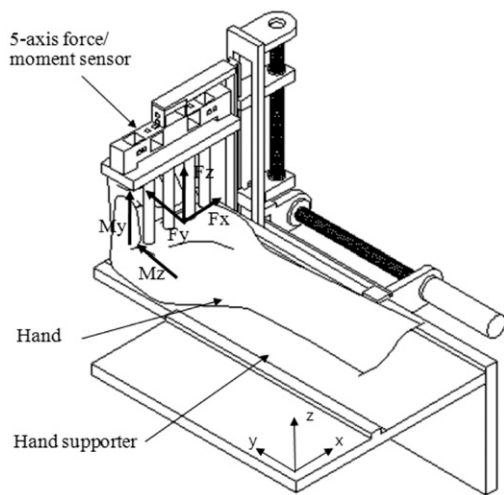


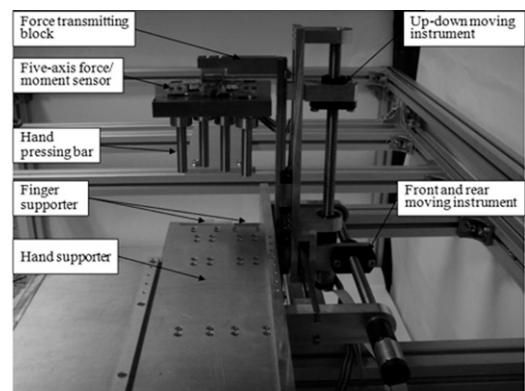
Fig. 1. Principle of the hand fixing system.

2.2 손 누름 장치 구성

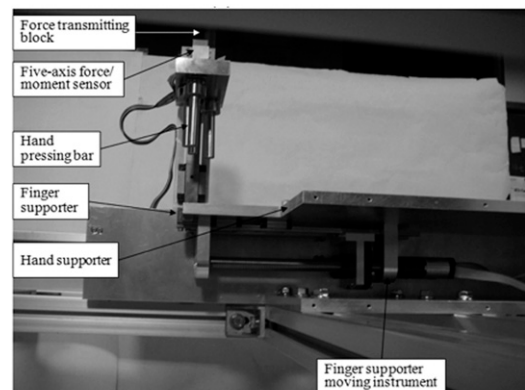
뇌졸중 환자의 손 누름장치는 손가락 재활로봇의 일부로서 손가락 재활운동을 실시할 때 손을 고정하는 역할을 하는 장치이다. Fig. 2의 (a)와 (b)는 제작된 누름장치의 정면과 좌측면의 사진을 나타내고 있다. 손 누름장치는 손과 손가락 지지대 및 이송기구, 손 누름기구, 전후 및 상하이송기구, 고속제어장치 등으로 구성되었다.

손과 손가락 지지 및 이송기구는 손가락 방향으로 이동하면서 손을 고정할 때는 손등을 지지해주고, 4손가락을 고정할 때는 각 손가락 뒤를 지지해주는 역할을 하며, 이것은 손지지대(본체), 손가락지지대, 손가락지지대 이송기구 등으로 구성되었고, 손지지대(본체)의 아랫 방향 내부에는 3손가락지지대 이송기구와 소지지대 이송기구가 부착되어 있고, 이들의 끝에는 3손가락지지대와 소지지대가 각각 부착되어 있다. 손지지대(본체)는 손 누름기구와 전후 및 상하이송기구를 고정시키고, 손가락 환자의 손등을 접촉하여 올려놓으며, 이것의 형상은 4개의 판으로 4각형을 구성하고 있고, 크기는 폭 220 mm, 길이 451 mm, 높이 94 mm 이다. 손가락지지대는 검지, 중지, 약지를 동시에 지지하는 3 손가락지지대와 소지만 지지하는

소지지대로 구분되고, 3손가락지지대는 크기가 55×15 mm 이고 중지의 손등과 접촉하는 부분은 실제 성인의 중지와 손등이 연결된 마디가 검지와 약지의 그것보다 5 mm 정도 길므로 5 mm 길게 설계하였으며, 소지지대는 크기가 27×10 mm 이고 소지의 손등과 접촉하는 부분은 5 mm 짧게 설계하였다. 그리고 손가락지지대의 4개의 손가락 등이 접촉되는 폭은 손지지대의 폭 100 mm 의 좌측으로부터 검지, 중지, 약지, 소지의 중심선까지의 거리를 17.5 mm, 22 mm, 22 mm, 21 mm, 17.5 mm 가 되도록 성인의 손 크기에 맞도록 설계하였다. 손가락지지대 이송기구는 3 손가락지지대 이송기구와 소지지대 이송기구로 구분되고, 3손가락지지대 이송기구는 LM 가이드(RSR9KM), 볼나사(MTF1202-3.7), 모터 및 기어(320324, 19:1) 등으로 구성되었고 최대 135 mm 까지 손가락 방향으로 이동할 수 있다. 소지지대 이송기구는 LM 가이드(RSR9KM), 볼나사(MTF1202-3.7), 모터 및 기어(320324, 19:1) 등으로 구성되었고 최대 135 mm 까지 손가락 방향으로 이동할 수 있다.



(a) Front view



(b) Left-side view

Fig. 2. Manufactured hand fixing system.

손 누름기구는 정해진 힘으로 손을 눌러서 고정하고, 쥐어진 손가락의 뒤를 누를 때는 그것을 감지하며, 손 누름기구가 전후로 이동할 때 손가락 등이 걸림을 감지하여 안전하게 손을 고정하는 역할을 한다. 이것은 손 누름대, 5축 힘/모멘트센서, 힘전달블록 등으로

구성되었고, 각 손 누름대가 5축 힘/모멘트센서의 하부에 블록과 함께 고정되고 센서의 상부는 힘전달블록과 연결된다. 손 누름대는 검지용, 중지용, 약지용, 소지용으로 구분되고, 크기는 $\Phi 18 \times 75$ mm 정도이고 손과 접촉되는 부분의 직경은 $\Phi 10$ mm 이며, 내부에는 스프링이 내장되어 있고 각각은 힘 18 N 이상이 가해지면 스프링이 최대 4 mm 까지 신축되어 손가락을 손상시키지 않도록 제작되었으며, 고정부분이 나사로 되어 있어 손가락의 두께에 따라 길이를 조정할 수 있도록 설계하였다. 그리고 4개의 손 누름대가 손가락의 첫째 마디와 둘째 마디를 정확하게 누르기 위해서 성인의 손가락 길이를 고려하여 손가락 길이 방향으로 중지용 손 누름대를 가장 앞에 고정하고, 검지용과 약지용은 중지용보다 6 mm, 소지용은 검지용과 약지용보다 18 mm 각각 뒤에 위치하도록 고정하였다.

5축 힘/모멘트센서는 F_x 힘센서, F_y 힘센서, F_z 힘센서, M_y 모멘트센서, M_z 모멘트센서가 한 몸체에 조합된 센서로서, 누르는 힘 제어와 누름장치가 전후 및 산하로 이동할 때 환자의 손이 걸리면 각 방향의 힘과 모멘트가 발생되어 안전하게 제어하는데 사용된다.

힘전달블록은 상하이송기구로부터 전달되는 힘을 손 누름기구에 전달하는 역할을 하고, 상하이송기구에 부착되어 있다. 전후 및 상하이송기구는 전후이송기구, 상하이송기구로 구분되고, 전후이송기구는 손가락 방향으로 이동하여 손을 누르는 정확한 위치를 조정하는 역할을 하며, 상하이송기구는 손에 힘을 가하는 역할을 한다. 전후이송기구는 2개의 LM 가이드(RSR9KM), 2개의 볼나사(MTF1202-3.7), 모터 및 기어(320324, 19:1) 등으로 구성되어 있고, 최대 135 mm 까지 전후방향으로 이동할 수 있다. 상하이송기구는 LM 가이드(RSR15VM), 볼나사(MTF1202-3.7), 모터 및 기어(345324, 53:1) 등으로 구성되어 있고, 최대 89 mm 까지 수직방향으로 이동할 수 있다.

고속제어장치는 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 설계 및 제작되었고, 다음 절에 자세히 설명하며, 이것은 5축 힘/모멘트센서로부터 출력을 받아 10 N 으로 손을 누르는 제어를 수행하고, 3손가락지대 이송기구, 소지지대 이송기구, 전후이송기구, 상하이송기구를 제어하는 데 사용된다.

2.3 5축 힘/모멘트센서 교정

손 누름장치에 사용된 5축 힘/모멘트센서[8]는 Fig. 3에 나타낸 것과 같고, 이 센서는 본 논문의 저자들이 개발한 것으로, 각 센서의 정격하중은 힘 F_x, F_y, F_z 센서가 150 N, 모멘트 M_x 센서가 4 Nm, M_z 센서가 2 Nm 이다. 5축 힘/모멘트센서의 최대 상호간섭오차는 2.53 % 이내이고, 크기는 $112 \times 16 \times 27$ mm 이므로 손가락 재활로봇의 손 누름장치에 부착할 수 있도록 설계 및 제작되었다. 손 누름장치에 부착된 5축 힘/모멘트센서를 이용하여 각 센서에 가해지는 힘 F_x, F_y, F_z 와 모멘트 M_y, M_z 를 힘과 모멘트 단위로 측정하기 위해서는 교정해야 한다.

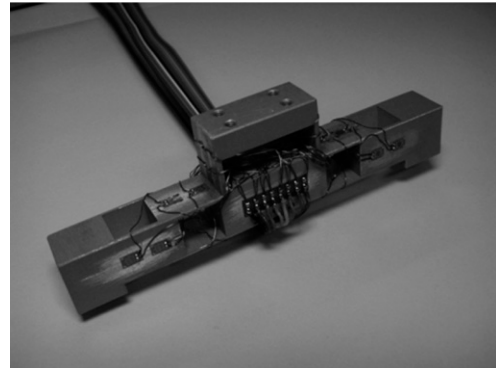


Fig. 3. Manufactured five-axis force/moment sensor.

5축 힘/모멘트센서의 교정은 Fig. 4의 (a)다축 힘/모멘트센서 교정기[9]를 이용하였고, 이교정기는 힘 F_x, F_y, F_z 를 모두 2000 N, 모멘트 M_x, M_y, M_z 를 모두 500 Nm 를 연속적으로 발생시킬 수 있으며, 1×10^{-4} 의 상대확장불확도를 가지고 있다. Fig. 4의 (b)는 힘 F_x 를 가하기 위해 5축 힘/모멘트센서를 교정기에 고정한 모습의 사진, (c)는 힘 F_y 를 가하기 위해 고정한 모습의 사진, (d)는 힘 F_z 를 가하기 위해 고정한 모습의 사진, (e)는 모멘트 M_x 를 가하기 위해 고정한 모습의 사진, (f)는 모멘트 M_z 를 가하기 위해 고정한 모습의 사진을 나타내고 있다. 5축 힘/모멘트센서의 교정은 다축 힘/모멘트센서 교정기[9]로 3개의 힘센서의 각 정격하중 $F_x=F_y=F_z=150$ N 과 2개의 모멘트센서의 각 정격모멘트 $M_x=4$ Nm, $M_z=2$ Nm 를 가하고, 측정장치에 힘센서들은 150 N 이 표시되도록 하였고, 모멘트센서들은 각각 4000 Nmm, $M_z=2000$ Nmm 가 나타나도록 하였다.

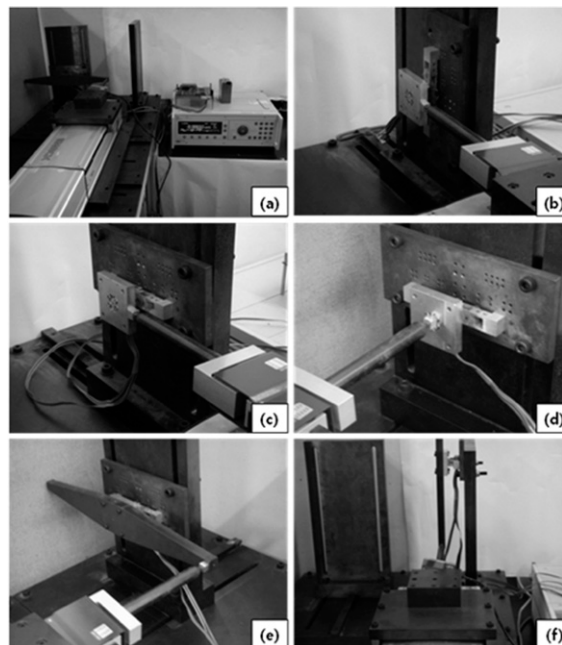


Fig. 4. Photograph of characteristic test of five-axis force/moment sensor using the calibration system of multi-axis force/moment sensor.

2.4 손 누름장치의 제어알고리즘 개발

Fig. 5는 손 누름장치의 제어알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 손 누름장치의 제어알고리즘은 고속제어장치의 스위치를 켜면 손 누름기구, 손 지지대가 초기 위치로 이동하고, 손 누름기구의 5축 힘/모멘트센서의 각 센서가 초기값을 읽어 저장하며, 환자의 왼손을 손지지대에 손등을 접촉한 상태로 놓으면, 상하이송장치가 제어되어 손 누름기구가 하강하여 손바닥을 정해진 힘으로 누르는 제어를 한다. 이 때 설정된 기준 힘보다 크면 상하이송장치의 모터가 역으로 동작되고 적으면 정방향으로 동작되며, 환자의 손가락이 정상적으로 고정되지 않았을 때에는 힘 F_x , F_y 와 모멘트 M_y , M_z 가 발생되어 전후이송장치와 상하이송장치를 자동으로 동작하여 손에 손상에 발생되지 않도록 제어한다.

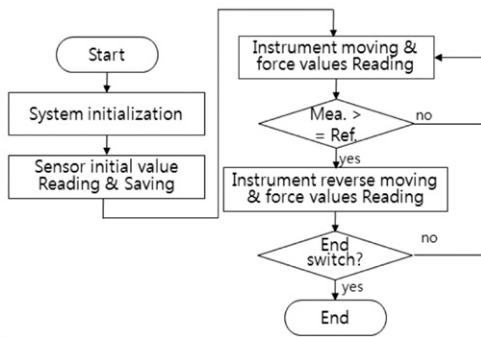


Fig. 5. Control flow chart of hand fixing system.

3. 손누름장치의 제어실험결과 및 고찰

3.1 PID 계인을 위한 제어특성실험

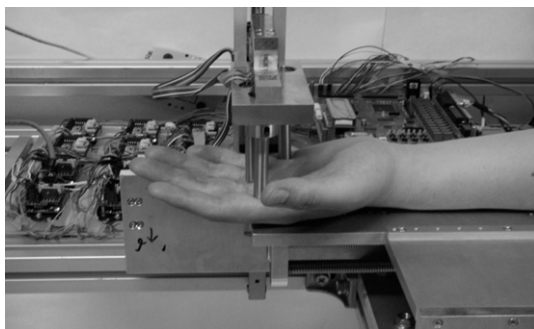
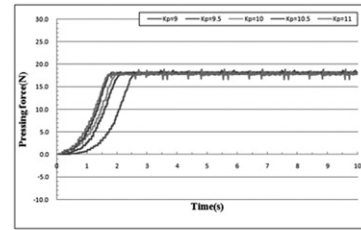


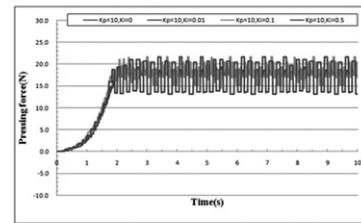
Fig. 6. Photograph of characteristic test of hand fixing system.

손 누름장치가 손을 안전하게 눌러 고정할 수 있도록 제어되어야 하고, 손이 고정된 상태에서 전후, 좌우, 위쪽으로 움직일 때 움직임을 감지할 수 있어야 한다. 손 누름장치의 제어특성실험은 첫째, 손 누름기구의 비례, 적분, 미분 제어계인(PID 제어계인)을 구하는 특

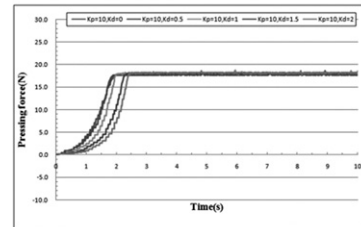
성실험, 둘째, 손을 고정된 상태에서 움직일 경우의 특성실험을 실시하였다. 손 누름기구의 PID 제어계인을 구하는 특성실험은 Fig. 6과 같이 개발한 손 누름장치의 손지지대에 왼손의 손등이 접촉하도록 놓은 후 제어장치가 상하이송장치를 동작시켜 누르도록 하였다.



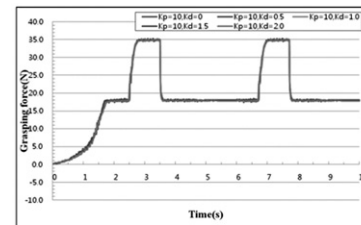
(a) In case of P gain



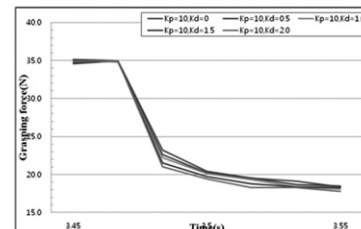
(b) In case of PI gain



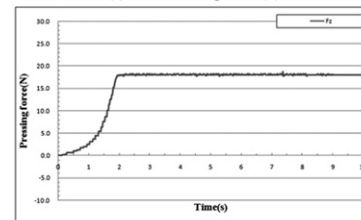
(c) In case of PD gain



(d) In case of steady state change in PD gain



(e) In case of magnified (d)



(f) In case of $K_p=10$ and $K_d=1.0$

Fig. 7. Graph of characteristic test for PID gain.

손 누름장치의 PID 계인을 구하기 위하여 지글러-니콜스 방법 [6,7]을 사용하였지만 발산이 발생하여 사용하기가 적합하지 않았다. 그래서 아래에서 설명하는 것과 같이 비례계인(Kp)만으로 제어를 수행한 후 비례계인을 먼저 결정하고, 적분계인(Ki)을 얻기 위해 결정된 비례계인과 임의의 적분계인을 적용시켰으며, 미분계인(Kd)을 얻기 위해 결정된 비례계인과 임의의 미분계인을 적용시켰다.

Fig. 7은 PID 계인을 구하기 위한 특성실험 그래프를 나타내고 있다. 손을 누르는 힘(목표값)은 18 N 이고, 이것은 정상인 성인을 손 누름장치로 눌렀을 때 통증을 느끼지 않으며 손을 좌우 및 전후로 움직였을 때 안전하게 고정할 수 있는 힘이다. Fig. 7의 (a)는 비례계인(Kp)을 9에서 11까지 0.5씩 증가시키면서 실험한 결과를 나타내고 있고, 도달시간은 약 1.5 s ~ 2.5 s 이고 비례계인(Kp)이 클수록 빠르게 나타났으며, 비례계인이 11인 경우에는 정상상태에서 흔들림이 나타났다. 따라서 시스템의 비례계인은 도달시간과 정상상태의 오차를 고려하여 10으로 결정하였다. 적분계인(Ki)을 얻기 위하여 비례계인(Kp)을 10으로 고정하고 적분계인(Ki)을 0, 0.01, 0.1, 0.5인 경우 실험한 결과를 Fig. 7의 (b)에 나타내고 있고, 이것들은 모두 정상상태에서 흔들림이 발생하였다. 그러므로 본 시스템은 적분계인을 사용하지 않는 것으로 결정하였다. Fig. 7의 (c)는 미분계인(Kd)을 얻기 위해 실험한 것으로서, 비례계인을 10으로 고정하고 미분계인을 0부터 2.0까지 0.5단계로 증가시키면서 실험한 결과를 나타내고 있다. 도달시간은 1.7 s ~ 2.3 s 로 나타났으며, 미분계인이 작을수록 빠르게 나타났다.

Fig. 7의 (d)는 왜란이 발생하였을 때 빠르게 제어되는지를 파악하기 위해 실험한 그래프이고, Fig. 7의 (e)는 (d) 그래프중 제어시간이 3.45 s 이상을 확대하여 나타낸 그래프이며, 실험조건은 Fig. 7의 (c)의 미분계인(Kd)을 얻기 위해 실험한 것과 같다. 미분계인이 클수록 왜란이 발생하였을 때 빠르게 목표치에 도달되었고, 즉 비례계인과 미분계인이 각각 10과 2.0일 때 가장 빠르게 도달되었다. 시스템의 미분계인은 정상적인 페루프제어 특성실험(Fig. 7의 (c)에서의 도달시간과 왜란이 있을 때의 목표치 도달시간을 고려하여 1.0으로 결정하였다. 따라서 손 누름장치의 PD 제어계인은 비례계인(Kp)이 10, 미분계인(Kd)가 1.0으로 결정되었고, 이 계인들을 이용한 제어 그래프를 Fig. 7의 (f)에 나타냈다. 도달시간은 1.8 s 이내이었고, 정상상태 오차는 ±0.3 N 이내이었고, 안정하게 제어되었다.

3.2 손 누름장치의 제어특성 실험

Fig. 8은 손바닥을 고정시키고 손을 움직일 때 5축 힘/모멘트 센서가 측정한 힘과 모멘트의 그래프를 나타내고 있고, (a)는 손을 움직이지 않았을 때, (b)는 손을 앞으로 움직였을 때, (c) 손을 옆으로 움직였을 때, (d) 손을 위로 움직였을 때이다. Fig. 8의 4개 그래프에서 보는 것과 같이 누르는 힘(Fz)은 18 N 으로 매우 안정되게 제어하여 누르고 있는 것을 알 수 있고, Fig. 8의 (a)와 같이 손이 움직이지 않을 경우에는 누르는 힘인 Fz 의 힘이 18 N 만 측정되고 나머지 센

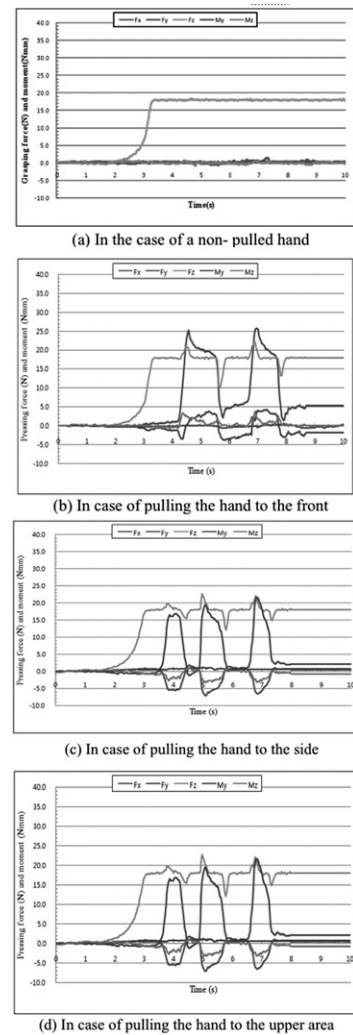


Fig. 8. Graphs of the forces and moments from five-axis force/moment sensor in case of moving hand.

서의 값은 거의 0으로 출력된다.

Fig. 8의 (b)와 같이 손을 앞으로 당겨 움직일 때는 당기는 방향의 힘인 Fy 의 힘이 25 Nmm 이상 크게 변화되고 힘 Fz 와 모멘트 My, Mz 의 값이 5 N 혹은 5 Nmm 내외로 작게 변화함을 알 수 있다. Fig. 8의 (c)와 같이 손을 옆으로 움직일 때에는 모멘트 My 가 16 Nmm 내외로 크게 변화되고 힘 Fx 가 5 N 이상 변화되며 모멘트 Mz 가 3 Nmm 정도로 변화된다. 이것은 손을 옆으로 움직일 때 팔의 축을 기준으로 회전하는 현상이 발생하고 움직이는 방향의 힘이 실제로 크지 않기 때문이다. Fig. 8의 (d)와 같이 손을 위로 움직일 때는 움직이는 방향의 힘인 Fz 가 13 N 이상 변화되고 힘 Fy 와 모멘트 My 가 5 N 혹은 5 Nmm 내외로 변화된다. 이와 같이 손 누름장치의 5축 힘/모멘트센서는 환자의 손을 고정한 상태에서 환자가 무의식 혹은 의식적으로 손을 어느 방향으로 움직이는지를 각 방향의 힘과 모멘트를 측정함으로써 손을 안전하게 고정할 수 있을 뿐만 아니라 위험을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 손가락 재활로봇의 5축 힘/모멘트센서를 이용한 손 누름장치 제어에 관한 것이다. 손 누름장치의 제어특성실험을 실시한 결과, PD 제어가 적합함을 알 수 있었고, 누름장치를 이용하여 손바닥을 눌러 고정된 후 손을 전후, 좌우, 위쪽으로 움직였을 때 움직이는 방향을 감지할 수 있어 환자의 손가락 재활운동을 안전하게 할 수 있는 안전장치로 활용이 가능하리라 생각된다. 추후 연구는 본 논문에서 개발한 제어 알고리즘을 적용한 손 누름장치로 뇌졸중환자의 손바닥을 눌러서 고정하고 손가락 재활로봇을 이용하여 손가락 재활 운동을 실시하는 것이다.

후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구임(No. 2009-0087281)

REFERENCES

- [1] H. M. Kim, Y. G. Kim, G. O. Nam, J. W. Yoon, H. S. Shin, J. M. Park, and G. S. Kim, "Design of rectangular-type thumb rehabilitation robot", *Proceeding of KSPE 2011*, pp. 199-200, Nov. 2011.
- [2] E. B. Brokaw, R. J. Holley, and P. S. Lum, "Hand spring operated movement enhancer(HandSOME) device for hand rehabilitation after stroke", *Engineering in Medicine and Biology Society(EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*, pp. 5867-5870, 2010.
- [3] Y. Ren, H. S. Park, and L. Q. Zhang, "Developing a whole-arm exoskeleton robot with hand opening and closing mechanism for upper limb stroke rehabilitation", *Rehabilitation Robotics, 2009. ICORR 2009. IEEE International Conference on*, pp. 761-765, 2009.
- [4] L. Connelly, Y. Jia, M. L. Toro, M. E. Stoykov, R. V. Kenyon, and D. G. Kamper "A pneumatic glove and immersive virtual reality environment for hand rehabilitative training after stroke", *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*. vol. 18, no. 5, pp. 551-559, 2010.
- [5] H. Yamaura, K. Matsushita, R. Kato, and H. Yokoi, "Development of hand rehabilitation system for paralysis patient – Universal design using wire-driven mechanism –", *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE*, pp. 7122-7125, 2009.
- [6] M. M. team, "PID control & tuning feedback control loop", *POSCO Gwangyang*, pp.12-17, 2000.
- [7] J. S. Kim, "Dynamic system and control engineering", *Chungmoongack*, pp.433-465, 1996.
- [8] H. M. Kim, J. W. Kim, and G. S. Kim, "Development of multi-axis force/moment sensor for stroke patient's hand Fixing system control", *Journal of Sensor Science and Technology*, vol. 20, no. 5, pp. 351-356, 2011.
- [9] G. S. Kim and J.W. Yoon, "Development of calibration system for multi-axis force/moment sensor and its uncertainty evaluation", *KSPE*, vol. 24, no. 10, pp. 91-98, 2007.



김 현 민 (Hyeon-Min Kim)

- 2008년 국립경상대학교 제어계측공학과 (공학사)
- 2010년 국립경상대학교 제어계측공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 국립경상대학교 제어계측공학과(박사과정)
- 주관심분야 : 지능형 서비스 로봇, 자동화 시스템, 지능형시스템



김 갑 순 (Gab-Soon Kim)

- 1999년 8월 한양대학교 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1990년 2월 ~ 2000년 2월 한국표준과학연구원 선임연구원
- 2003년 7월 ~ 2004년 7월 일본꾸쿠바대학교 인공지능로봇연구실 교환교수
- 2000년 3월 ~ 현재 경상대학교 제어계측공학과 교수
- 주관심분야 : 다축 힘/모멘트센서 및 응용, 인간형 및 서비스 로봇, 이동로봇 지능제어, 자동이동선박 제어