

게임기용 운동재현기의 하위제어기 설계

정 규홍* · 서정용**

A Development of Sub-Controller for Game Motion Simulator

Gyuhong Jung, Chungyong Suh

Key Words: Motion Simulator(운동재현기), Hydraulic Control System(유압제어시스템), Digital PID-Controller(디지털 비례-적분-미분 제어기)

Abstract

The Grand-Touring is a game motion simulator that simulates the race-car driving motion with three hydraulic cylinders which connect the platform and base in parallel. Its motion control system consists of the PC-based main controller and micro-controller based sub-controller. The former one process the dynamic image of race-car in response to the driver's action and computes the reference command for each cylinder and the latter one is designed for the tracking control of hydraulic cylinder and interfacing the auxiliary signals between various sensors/actuator and main controller. In this research, we developed the sub-controller that implements the required functions of Grand-Touring and prove the overall performance with experiments.

1. 서 론

운동재현기는 시각적인 효과와 더불어 가상현실의 효과를 극대화하기 위하여 모사대상 운동체의 운동이 탑승자에게 미치는 운동감을 재현시키기 위하여 설계된 장치이다. 이러한 운동재현기는 모사대상 운동이 발생하는 형태에 따라 단순히 영상자료에 부합되는 운동감을 미리 설계된 시나리오에 따라 재현시키는 오프-라인(off-line) 방식과 탑승자의 조작에 의하여 변화되는 모사대상 운동체의 운동을 실시간으로 연산한 후 이로부터 조종사가 실제의 운동체를 조종하는 상황에서와 동일한 느낌을 갖도록 운동감을 재현시키는 온-라인(on-line)방식으로 구분될 수 있다. 전자의 경우에는 영상화면과 운동감을 통하여 가상현실을 체험할 수 있도록 설계된 게임기에 주로 적용되며, 후자의 경우는 고도로 숙련된 조종술의 훈련을 위한 훈련용 시뮬레이터와 운전자의 조작에

의하여 발생하는 운동이 변화되는 온-라인 게임기에 해당된다.

본 연구의 대상인 Grand-Touring 운동재현기(Photo 1 참조)는 상판(platform)과 하판(base)에 병렬로 연결된 3개의 유압실린더를 이용하여 경주용 자동차의 운전 시 발생하는 운동감을 실시간으로 운전자에게 부여하기 위하여 설계된 게임기이며 운전자가 조작하는 핸들, 가속페달, 브레이크 페달 및 기어단수의 상태를 반영하여 상판의 운동이 발생되므로 전술된 분류에서 온-라인 방식의 운동재현기에 속하게 된다.

Grand-Touring 운동재현기는 3개의 편로드 유압실린더와 서보밸브를 이용하여 상판에 운동을 발생시키는 기계적인 구조물과 유압공급장치, 운전자의 작동정보로부터 경주용 자동차의 주행상태를 실시간으로 연산하여 영상화면과 관련된 자료를 처리하고 각 유압실린더의 기준입력신호를 발생시키는 PC를 기반으로 한 주 제어기(main controller), 3개 유압실린더의 운동변위가 주 제어기로부터 전송된 기준입력신호를 추종하도록 서보밸브의 구동전류를 제어하고 부수적인 시스템

* 대전대학교 기계설계공학과

** (주)금양 KYF 사업부

의 제어 및 센서의 출력신호 처리기능을 담당하는 부 제어기(sub-controller) 로 구성된다.

본 연구에서는 16비트 마이크로 컨트롤러를 이용하여 Grand-Touring 에 장착된 3개 유압실린더의 위치제어, 서보밸브의 전류구동, 센서 출력신호와 주 제어기와의 인터페이스 기능을 담당하는 부 제어기를 설계하고 실험을 통하여 운동제어성을 검증하였으며, 이를 통하여 다축(multi-axis)으로 구성된 운동재현기의 하위제어기로 상용화될 수 있는 시스템을 개발하였다.

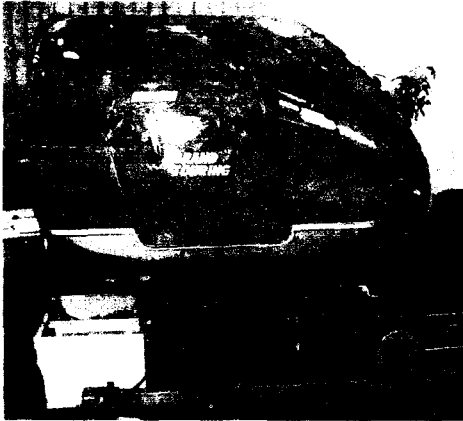


Photo 1 Grand-Touring game motion simulator

2. Grand-Touring 의 구성

게임기용 운동재현기로 개발된 Grand-Touring 에 대하여 각 구성요소의 역할 및 기능을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 motion base

Grand-Touring 은 상판에 앉혀지는 캐빈(cabin)과 운전자의 하중부하와 운동 시 발생하는 동적부하(dynamic load) 를 3개의 액츄에이터에서 분담할 수 있는 병렬형의 기구구조로 설계되었으며 Fig. 1 은 상판과 하판을 연결하는 3개 유압실린더의 도식적인 구조를 나타낸다. 3개의 선형 액츄에이터에 의하여 발생하는 운동은 x 축과 y 축에 대한 회전운동(roll, pitch 운동), z 축에 대한 병진운동(heave 운동) 이며 유압실린더의 변위가 고정되는 경우에 상판의 운동변위가 유일한 위치로 고정될 수 있도록 2번 실린더는 피스톤 로드 의 회전이 구속되도록 설계하였다.(Photo 2 참조)

Fig. 1 의 구조를 갖는 기구의 운동자유도는 다음과 같은 Grüber 의 식으로 구해질 수 있다.

$$F = 6(l - n - 1) + \sum_{i=1}^n f_i$$

$$= 6(7 - 8 - 1) + (2 \times 5 + 2 \times 2 + 1)$$

$$= 3 \quad (1)$$

여기서, F : degree of freedom

l : number of link

n : number of joint

f_i : D.O.F of i th joint

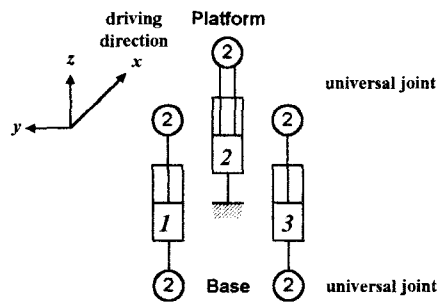


Fig. 1 3 D.O.F Grand-Touring mechanism schematic

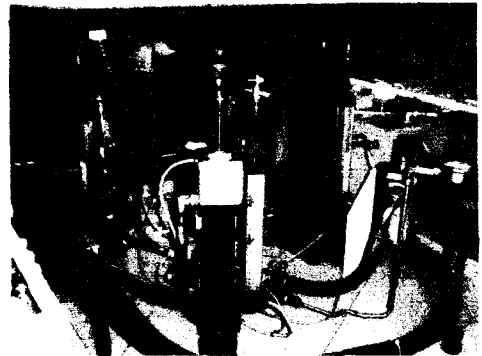


Photo 2 Grand-Touring motion base

2.2 주 제어기(main controller)

PC상에서 수행되는 운영프로그램으로 운전자의 조작에 따른 경주용 자동차의 주행상태를 결정하여 이에 적절한 영상 및 음성신호를 발생시키고 운전자가 실제의 자동차를 운전하는 상태에서와 유사한 운동감을 감지할 수 있도록 Grand-Touring 의 기구구조를 고려하여 각 유압실린더가 추종해야 하는 기준입력신호를 부 제어기로 전송하는 기능을 갖는다.

2.3 부 제어기(Sub-Controller)

Grand-Touring 주 제어기에서 연산된 각 유압실린더의 기준입력신호는 직렬통신을 통하여 부 제어기로 전송되며, 부 제어기에서는 관절공간(joint space) 상에서 독립적으로 각 실린더의 변위가 기준입력신호를 추종하도록 디지털 비례-적분-미분 제어연산이 수행된다. Grand-Touring 에 설계된 부 제어기의 주요기능을 요약하면 다음과 같다.

1) 운전자의 조작상태와 관련된 정보의 획득
수동기어, 핸들, 엑셀 및 브레이크 페달의 조작과 관련된 정보를 A/D 변환과 디지털 신호 입력 포트를 통하여 획득한다.

2) 주 제어기와의 직렬통신
직렬통신을 이용하여 운전자의 조작상태와 관련된 정보를 송신하고 각 실린더와 핸들모터에 인가되는 반력의 기준입력신호를 수신한다.

3) 3개 유압실린더의 위치제어
A/D 변환을 통하여 획득된 변위계의 출력신호가 직렬통신으로 수신된 기준입력신호를 추종하도록 디지털 제어알고리즘을 이용하여 서보밸브에 인가되는 전류를 제어한다.

4) 핸들모터 및 상태표시등의 구동
직렬통신으로 수신된 핸들모터 반력의 지령신호로부터 내부적으로 설계된 듀티율 신호를 연산하여 PWM 방식의 모터 구동회로에 인가하고 조작버튼에 부착된 전구의 점등을 제어한다.

이상과 같은 기능을 수행하는 Grand-Touring 제어시스템을 블록선도로 나타내면 Fig. 2 와 같다.

2.4 유압발생장치 및 부속기기

Grand-Touring 의 운동은 유압을 동력원으로 하여 발생되므로 전기모터와 인버터, 유압펌프, 어큐뮬레이터, 고압필터, 오일탱크, 공냉식 쿨러 등

의 부속장치가 설계되어 있다.

3. 개발된 부 제어기의 기능

전술된 Grand-Touring 운동재현기용 부 제어기의 요구기능을 충족시키면서 보다 간편하게 제어기의 성능을 조정(tuning) 하면서 신뢰성 있는 위치제어 시스템의 구현을 위하여 본 연구에서는 16비트 마이크로 컨트롤러를 이용하여 편로드 유압실린더의 변위를 제어하는 디지털 방식의 서보 컨트롤러와 아날로그 전류제어기를 결합하여 하이브리드방식의 서보 앰플리파이어를 개발하였으며 세부적인 설계내용과 기능은 다음과 같다.

하드웨어

- 1) 80C196KC 20MHz
- 2) AD7874 A/D converter
: 12bit 분해능, 4채널, 19KHz 변환속도
- 3) AD7247A D/A converter(x2)
: 12bit 분해능, 2채널
- 4) 8251 USART
- 5) 93C46 EEPROM
: 1Kbit(64 word)
- 6) 16x4 LCD
- 7) Steering wheel motor driver
: H-bridge circuit with IRF530 FET
- 8) current driver
: Push-pull circuit with TIP31C, TIP32C

시스템 프로그램

- 1) 디지털 PID 제어알고리즘
외부에 설계된 버튼을 이용하여 비례, 적분, 미분 제어이득이 온-라인으로 조절가능하며 각 채널에 대하여 2ms (500Hz) 의 샘플링 타임으로 디지털 제어를 수행한다.

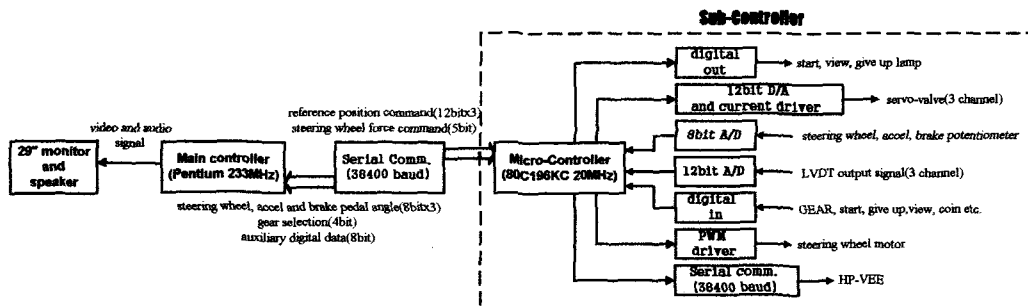


Fig. 2 Block diagram of Grand-Touring motion control system

2) 오프셋(offset) 전류 조절기능

개루프 제어모드에서 서보밸브에 인가되는 전류를 결정하며, 페루프 제어모드 시에는 설정된 오프셋 전류가 제어기의 출력에 더해져서 서보밸브를 구동한다.

3) 전류제한(current limit) 조절기능

서보밸브에 인가되는 최대 전류를 설정된 값으로 제한하는 기능으로 유압실린더의 최대운동속도를 제한하는 역할을 한다.

4) 부 제어기의 내부정보 표시기능

16열x4행의 LCD 에 표시모드에 따라 기준입력 및 변위계의 출력신호, 제어기의 이득, 오프셋 전류, 전류제한 값, 직렬통신의 상태 및 송수신 데이터 등을 나타낸다.

5) 기준입력신호의 발생 기능

시험신호에 의하여 위치제어기의 성능을 평가하기 위하여 내부적으로 구형파와 정현파의 기준입력신호를 발생시키는 기능을 구현하였으며, 설정 가능한 주파수의 범위는 0.01Hz-10Hz 이다.

6) 디지털 저주파필터

A/D 변환된 신호에 내재된 잡음을 제거하기 위하여 1차의 IIR 필터 연산기능을 갖는다.

7) 변위계 출력신호의 자동영점조정기능

각 실린더에 장착된 변위계 출력신호를 A/D 변환한 결과의 범위가 $\pm 10V$ 가 되도록 초기 실험을 통하여 획득된 전압특성 데이터로부터 내부적으로 보정하는 기능을 갖는다.

8) 액셀, 브레이크 페달신호의 보정기능

액셀, 브레이크에 연결된 포텐시오메터 출력전압의 A/D 변환결과가 0V-5V 의 범위로 나타나도록 내부적으로 신호를 조정하는 기능을 갖는다.

9) 설정된 부 제어기의 변수 값 저장

EEPROM 에 저장되는 변수 값은 각 채널에 대

한 제어기 이득, 오프셋 전류, 전류제한 값, 변위계 출력신호 보정계수, 액셀과 브레이크 페달신호의 보정계수 등이다.

9) 기준입력신호의 크기조정기능

주 제어기에서 직렬통신을 통하여 수신된 각 실린더 기준입력신호의 크기를 조정함으로써 동일한 운전상황에서 발생하는 운동감의 크기를 조정할 수 있는 기능을 갖는다.

10) 데이터 모니터링 및 저장기능

HP-VEE 를 이용하여 별도로 설계된 직렬포트로부터 제어성능을 파악할 수 있는 데이터를 수신하고 저장하는 기능으로 10ms 마다 각 유압실린더의 기준입력신호, 변위계 신호, 제어입력을 수신한다.

Fig. 3 은 설계된 Grand-Touring 용 부 제어기에 구현된 위치제어시스템에 대한 블록선도를 나타내고 Photo 3 은 본 연구에서 개발된 부 제어기를, Fig. 4 는 HP-VEE 를 이용한 데이터 모니터링 시스템을 나타낸다.

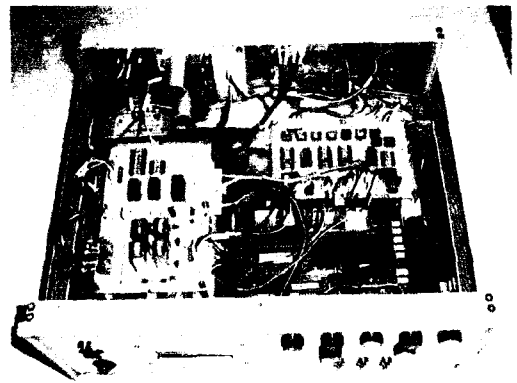


Photo 3 Grand-Touring sub-controller

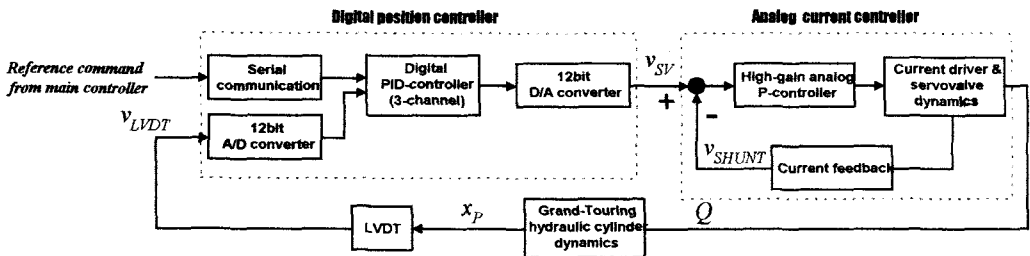


Fig. 3 Block diagram of position control system

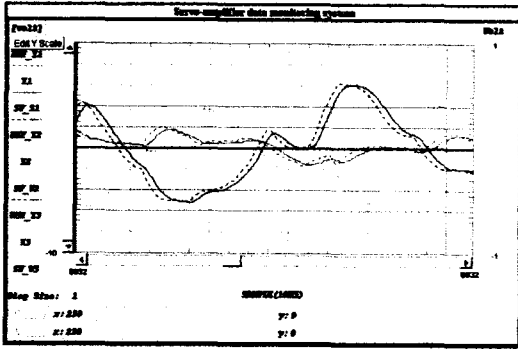


Fig. 4 Data monitoring system

4. 성능평가 실험

4.1 전류제어기의 성능

Grand-Touring 에는 편로드 유압실린더의 위치 제어를 위하여 동경정밀에서 제작된 TSS-304F 모델의 서보밸브를 사용하고 있으며 정격전류는 20mA 이다. 본 연구에서 설계된 전류제어기는 서보밸브에 흐르는 전류의 측정으로 51Ω의 shunt 저항을 사용하였으며 이러한 경우에 전류이득은 4.89mA/V 이다.

Fig. 5 는 일정하게 인가된 입력전압에 대하여 정상상태에서 측정된 전류제어기의 특성을 나타내며, Fig. 6 은 입력전압을 계단입력신호로 인가하였을 경우의 응답을 나타낸다. 높은 전류제어 이득으로 인하여 입력전압에 대하여 선형성이 우수한 정특성과 상승시간이 0.1ms 이하로 나타나는 빠른 응답성능을 확인하였다.

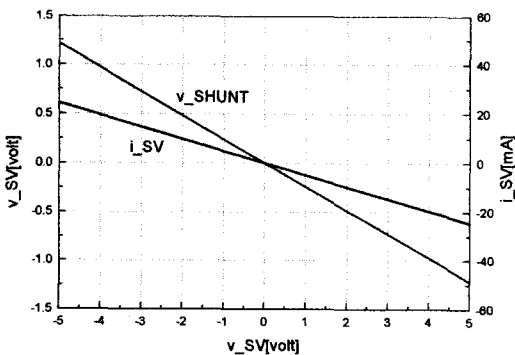


Fig. 5 Steady-state characteristic of current controller

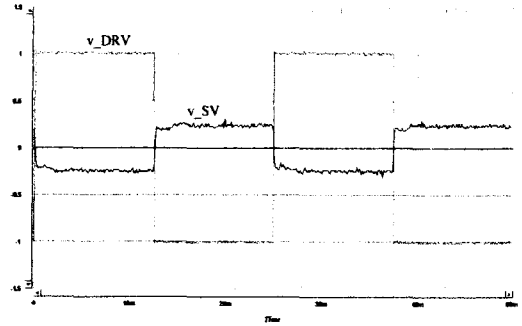


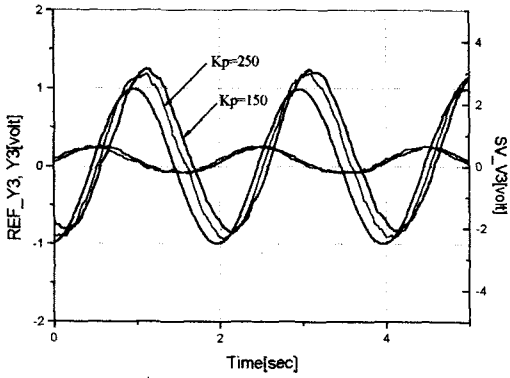
Fig. 6 Dynamic response of current controller

4.2 위치제어기의 성능

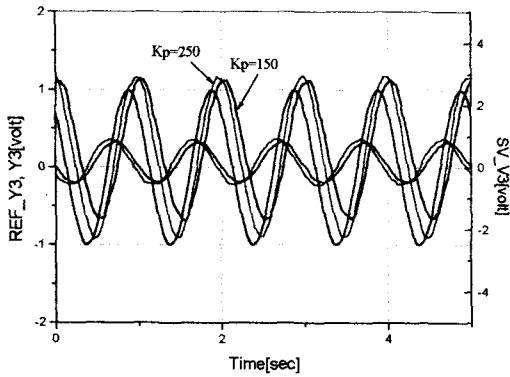
본 연구에서 개발된 Grand-Touring 디지털 제어기의 성능을 평가하기 위한 실험은 각 실린더에 동일하게 인가되는 정현파의 기준입력신호에 대하여 이득 값이 $K_p=150$ (내부적으로 이득 값의 크기가 1/100 로 조정되므로 실제적으로는 1.5V/V 의 이득을 나타낸다.) 인 경우와 $K_p=250$ 인 경우 대하여 실시하였다. Grand-Touring 운동제현기의 제어목표는 운전자에게 실제상황과 유사한 운동감을 발생시키도록 하는 것이며 이러한 경우에는 정상상태 오차보다 신속한 응답성이 중요하게 되므로 주파수응답특성을 통하여 적절한 제어기의 이득을 선정하였다.

Fig. 7 은 인가된 정현파의 각 주파수에 대하여 발생하는 실린더의 응답특성을 나타낸다. 동일한 비례제어이득과 오프셋 전류 값에도 각 실린더마다 제어되는 변위의 오프셋 값이 상이하며, 주파수에 따른 실린더 변위의 크기비도 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. Fig. 8 은 각 실린더의 주파수응답 선도를 나타내며 이로부터 동일한 주파수응답특성과 발생하는 실린더 변위의 오프셋을 최소화하기 위해서는 상이한 비례제어 이득과 오프셋 전류 값이 요구됨을 알 수 있다.

Fig. 9 는 개발된 부 제어기가 Grand-Touring 에 적용되어 경주용 자동차 게임이 진행되는 상황에서 획득된 3번 실린더의 기준입력신호와 발생하는 변위를 나타내며, Fig. 10 은 각 실린더에 인가되는 기준입력신호의 FFT-plot 이다. 게임 진행 중에 발생하는 각 실린더 기준입력신호의 주파수는 대략 1Hz 이하이므로 위치제어시스템의 설계 기준도 이와 유사한 범위에서 이루어져야 함을 확인하였다.



(a) 0.5Hz



(b) 1Hz

Fig. 7 Dynamic response of position controller

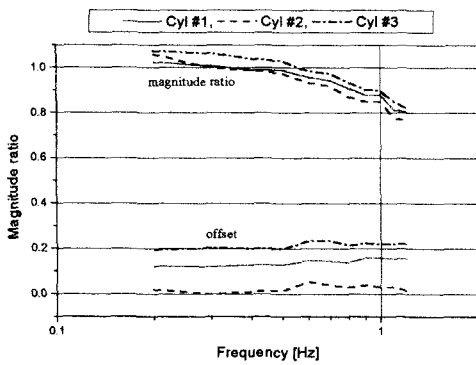


Fig. 8 Frequency response

4. 결론

본 연구에서는 자동차 게임기용 운동제한기인 Grand-Touring 을 대상으로 3개 유압실린더의 변위를 제어하고 시스템의 운용에 필요한 제반기능

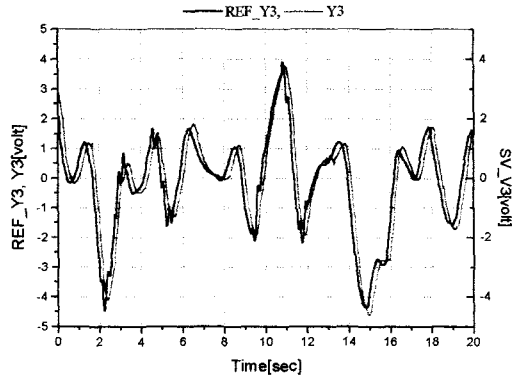


Fig. 9 Dynamic response during game(Kp=150)

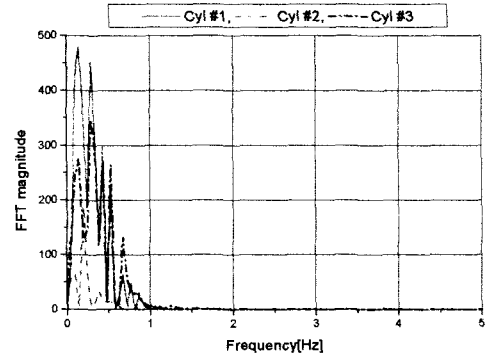


Fig. 10 FFT plot of reference command during game

을 수행하는 부 제어를 설계하였으며 실험을 통하여 성능을 검증하였다. 개발된 부 제어기는 디지털 위치제어기와 아날로그 방식의 전류제어기로 구성되므로 실험을 통한 제어기의 이득조정과 서보 앰플리파이어의 변수설정이 간편하고 디지털 방식의 변수조정으로 신뢰성 있는 제어성능의 구현이 가능함을 입증하였다. 이와 같은 기능의 부 제어기는 다축으로 구성되는 온-라인(또는 오프-라인) 방식의 운동제한기에 대하여 관절공간 상에서 유압실린더의 위치제어를 수행하는 범용 제어기로 적용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) 차영배, 1997, "MICRO CONTROLLER 80196:기초부터 응용까지", 다다미디어
- (2) Karl Johan Aström and Tore Hägghund, 1988, "Automatic Tuning of PID Controllers", INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA