

### 초중량물 핸들링 로봇의 디지털 PI 제어에 관한 연구

\*고창민<sup>1</sup>, 박승규<sup>1</sup>, 김두형<sup>2</sup>, 정광조<sup>2</sup>  
국립 창원대학교 전기공학과, 한국기계연구원

### A Study on the Digital PI Control of Heavy Duty Handling Robot

\*Chang-Min Ko<sup>1</sup>, Seung-Kyu Park<sup>1</sup>, Doo-Hyeong Kim<sup>2</sup>, Gwang-Jo Chung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering Changwon National University, <sup>2</sup>Korea Institute of Machinery & Materials

**Abstract** - 본 연구는 초중량물 핸들링로봇의 디지털 PI제어의 방법에 대하여 연구하는 목적을 갖는다. 6축 초중량물 로봇의 핵심요소인 2축과 3축만으로 구성되었으며, 제어기는 DSP를 사용하였다. DSP와 AC 서보 모터 드라이브간의 인터페이스 회로를 구성하여, PI제어기 알고리즘을 설계하여 직선보간 알고리즘에 적용하였다.

최종목적인 가반하중이 600Kg급 부하에도 강한 초중량물 핸들링 지능형 6축 로봇의 실현을 위해 원하는 경로를 부하의 영향에 받지 않는 고속·고응답성을 구현할 수 있는 2축 로봇제어에 대한 실험을 수행하였다. 위치·속도제어에 대한 알고리즘으로는 PID 제어기를 사용하였다. 본 연구의 의의는 초중량물 핸들링 로봇의 제어에 있어서 로봇의 설계 및 제작이 최적화되어 있다면 작은 부하용로봇의 제어와 크게 다를 바 없음을 보여주는데 있다.

#### 1. 서 론

산업용 로봇은 1954년 미국, play back 방식의 특허가 취득된 이래 일본에서 1980년 본격적으로 산업 현장에 보급되었으며, 국내에서도 이때부터 연구 개발되기 시작하였다. 근래에 들어 경기가 호전되어 성장동력 사업 추진으로 로봇의 연구개발이 활성화 되고 있으며, 로봇의 활용분야를 예측하여 모델을 개발하는 것이 필요하다.

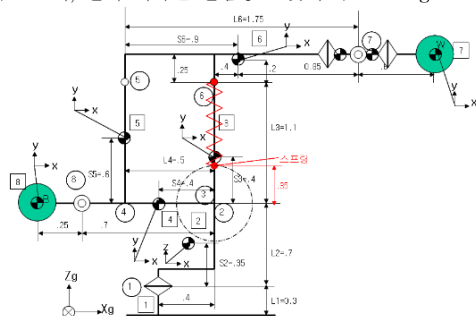
현재, 산업현장의 제품의 다양화로 인해 기계·자동차·수송기계 산업 등 생산비 절감을 위해 생산라인의 개혁을 필요로 하고 있으며, 특히 일본 도요타에서는 제조공정 및 공장 면적을 줄이기 위해 기존의 컨베이어 방식에서 로봇에 의한 자동차 차체의 이송을 실현 하고 있다. 기존의 컨베이어 대량생산 방식에서 작업자 중심의 소규모 조립 Station 방식을 시험운영하고 있으며, 이러한 조립 Station에서는 로봇에 의한 초중량물 핸들링 로봇이 시장을 점유했 것이다.[1],[2],[3],[4],[5]

본 연구는 자동차, 중공업 분야 등에서 발생하는 가반하중 600Kg급 초중량물 핸들링용 로봇에 대한 실험용 2축 로봇에 대한 제어를 수행하였다. 가반하중이 크게 되면 로봇의 제어에 있어서 어려움을 겪을 것으로 생각되나 부하의 크고 작음은 부하를 다루게 되는 시스템에 대한 상대적인 값이므로 큰 부하를 다루 수 있는 로봇을 설계하여 준다면 큰 중량을 다루는데 있어서 제어에 대한 부담은 작은 부하용의 로봇의 제어와 같다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였고 실험을 통해서 확인하고자 한다. 본 연구에서는 제작된 실험용 로봇의 제어를 위하여 DSP를 이용한 모션제어기가 구성되었으며 드라이브를 토크모드에서 사용하였다. 속도 및 위치제어기는 PID제어기를 각각 사용하였으며 주어진 두점간의 이동에 대한 제어성능을 확인하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 초중량물 핸들링 로봇의 구조

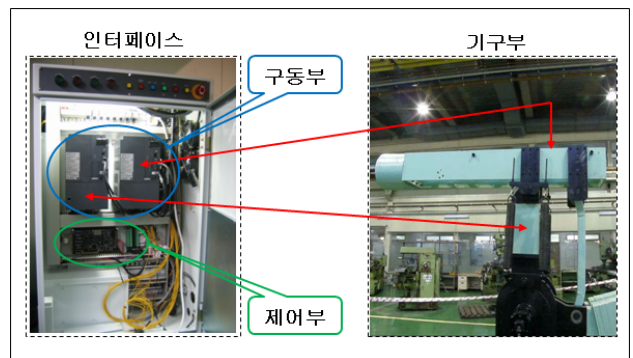
본 논문은 실험용 외관형태는 초중량물 6축 다관절 로봇의 형태를 기본적인 형태를 갖추고 있으며, Weight Balance 와 Spring Balance에 의해 결정됨으로써, 실제 제작된 실험용 로봇의 구조는 Fig. 1 과 같다.



<그림 1> 기본적인 구조

##### 2.2 2축 로봇 과 인터페이스 회로 구성

본 논문의 시스템은 Fig.1 과 같이 제어부, 구동부, 기구부로 나누어 지며, 제어부는 DSP 을 사용하였으며, 모터 드라이브와 연결하기 위해 인터페이스 회로를 구성하였다.

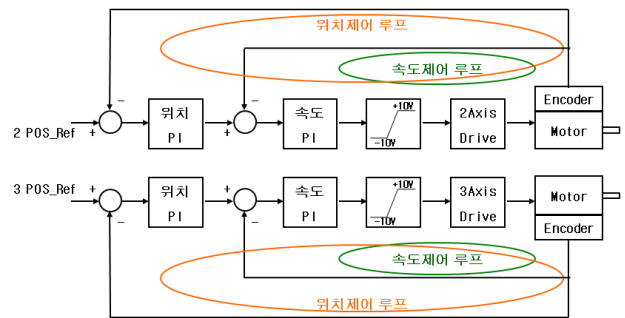


<그림 2> 인터페이스 회로의 구성

구동부는 속도제어 모드를 사용하여 위치·속도 제어기는 PI제어기를 이용하여 실험용 2축을 제어하였다.

##### 2.3 디지털 PI제어 알고리즘

본 연구에서는 다음 그림과 같이 드라이브를 토크모드로 설정하고 모션제어에 대한 제어루트를 구성하였다. 실험용 2축 로봇의 전체 제어 블록선도는 <그림3>와 같다.



<그림 3> 2축 위치·속도제어 블록선도

위의 각 제어기에 Kp와 Ki는 P이득과 I이득을 나타내며, 전압 제한 (Voltage Limiting)이 포함되어 있다. 여기서 PI이득을 구하는 방법은 TAE(Trial And Error)를 적용하여 구하였다.

본 연구의 PI제어기는 정상상태 오차를 감소하고 과도 응답의 오버슈트를 감소시키는 효과를 얻을수 있으며 다음과 같은 입출력 관계로 나타낼수 있으며 이득값은 다수의 반복 실험을 토대로 결정 하였다.<표1> PI제어기의 일반적인 형태는 다음의 수식(1)과 같다.

$$Y(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad \dots(1)$$

Kp:비례이득, Ki:적분이득, Y(t):제어기출력, e(t):오차

위 식을 일반적인 이산화 표현으로 변환하면 다음의 수식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(n) = K_p e(n) + K_I \sum e(n) \quad \dots(2)$$

e(n):오차,  $\sum e(n)$ :오차합

여기서, 전달함수를 Backward Transform으로 변환하여 디지털 PI Discrete 형태의 3가지 PI제어에 대해 살펴보면 다음과 같다.

$$Y(n) = Y(n-1) + K_p \{e(n) - e(n-1)\} + K_I T_s e(n-1)$$

$$Y(n) = Y(n-1) + K_p \{e(n) - e(n-1)\} + K_I T_s e(n)$$

$$Y(n) = Y(n-1) + K_p \{e(n) - e(n-1)\} + \frac{K_I T_s}{2} \{e(n) + e(n-1)\}$$

Y(n):출력, Y(n-1):이전출력, e(n):오차, e(n-1):이전오차, Ts: 샘플링시간

본 연구를 위해 2축과 3축의 이득값은 다음과 같다.

**<표 1> PI제어의 이득 값**

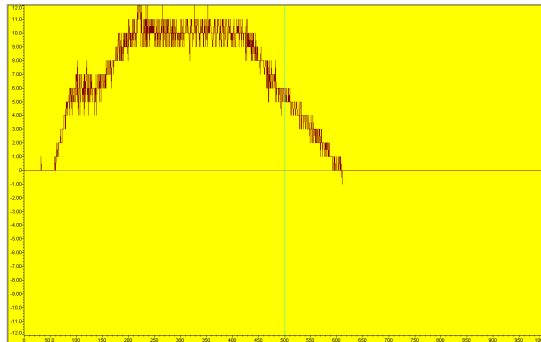
이득	2Axis	3Axis
속도 P게인	0.1	0.1
속도 I게인	0.000005	0.000005
위치 P게인	0.01	0.01
위치 I게인	0.0000002	0.0000002

여기서 PI이득을 구하는 방법은 TAE(Trial And Error)를 적용하여 구하였으며 로봇이 주어진 경로를 추종하는지 실험 과정을 관측할 수 있다. 측정결과는 DSP연산속도와 관련되는데, 즉, 인터럽트 주기인 샘플링 주기는 500[μsec]이고 결과 데이터는 2.5[msec]마다 1개씩 저장하여 2000개의 데이터를 확보하여 실험을 반복함으로써 주어진 경로를 추종하는지 검증 하였다.

## 2.5 실험결과

위의 설계 제작된 제어를 통하여 초중량물 2축로봇의 토크모드에 의한 위치·속도제어 알고리즘의 형태를 실현 하였다. 속도 프로파일을 생성하는 알고리즘을 살펴보면, 위치 기준입력(Pos\_Ref=40000)를 가지고 샘플링 시간동안에 이동거리를 계산하는 가감속 속도 프로파일 알고리즘을 기반으로 면적이 곧 목표위치 값이 되며, 속도(Speed\_Ref=10)는 500rpm으로 토크제한속도 범위 안에서 모터는 회전한다.

3축을 토크모드로 위치·속도제어를 하기 위해 PI제어의 형태를 살펴 보면, PI제어의 일반적인 이산화 형태<그림4>는 다음과 같다.



**<그림 4> 일반적인 위치-속도제어의 목표 속도값**

디지털PI제어의 이산화 형태인 수식(3)을 적용하여 3축 목표위치값의 출력파형<그림5>을 비교하면 다음과 같다.



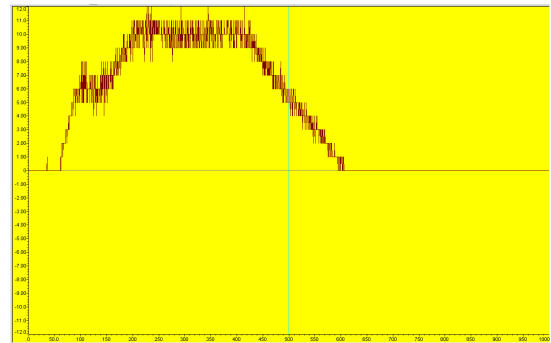
**<그림 5> 이산화 형태 디지털PI제어의 목표 속도값**

디지털PI제어의 이산화 형태인 수식(4)을 적용하여 3축 목표위치값의 출력파형<그림6>을 비교하면 다음과 같다.



**<그림 6> 이산화 형태 디지털PI제어의 목표 속도값**

디지털PI제어의 이산화 형태인 수식(5)을 적용하여 3축 목표위치값의 출력파형<그림7>을 비교하면 다음과 같다.



**<그림 7> 이산화 형태 디지털PI제어의 목표 속도값**

토크 모드에 의한 위치·속도제어 프로파일을 살펴보면 기준속도(Speed\_ref=10)인 500rpm속도로, 초기위치(= 0)인 기준위치에서 목표위치(Pos\_Ref=40000)위치로 경로를 추정하는 것을 알 수 있으며, 실험용 로봇 3축의 실험결과 파형으로 제어성을 확인 하였다.

위의 결과로부터 주어진 경로를 반복 운전 함으로써 토크에 의한 위치·속도 제어 수행을 확인 하였다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 초중량물 핸들링 로봇에 제어 알고리즘을 이식하기 위하여 실험용 2축 로봇에서 DSP와 AC서보 모터 간의 인터페이스를 설계·제작 하였으며, 로봇 각축의 원하는 위치를 제어하기 위해 토크 모드에 의한 위치·속도 PI 알고리즘을 이용하여 로봇 2축을 구성하여, 실험 결과로 주어진 경로를 추종함을 보여주고 있다. 향후 초중량물 로봇의 동특성을 고려한 제어기 구성에 대한 연구가 필요하다.

### 감사의 글

본 논문은 산업자원부 지역산업기술개발사업 <IH-13-63(경남)> 지원으로 수행된 연구입니다. 과제번호(70000656)

### [참 고 문 헌]

- [1] "Robot for Handling Extra-Heavy Object", New technology Japan, v.21 no.6, pp.33, 1993
- [2] "HEAVY DUTY ROBOT LINK TWO PROCESSES", Robotics world, v.4 no.12, pp.26~27, 1986
- [3] "UK FIRM LAUNCHES HEAVY DUTY ROBOTS", Machinery and production engineering, v.140 no.3617, pp.53, 1982
- [4] "HEAVY DUTY ROBOT CAN HANDLE 250 LBS", Robotics world, v.3 no.3, pp.38, 1985
- [5] "Mitsubishi Melservo-J3 Series Manual", 2004
- [6] "Samsung CSDJ-Plus Servo Manual", v1.7, 2006