

초중량물 핸들링 로봇의 PI제어기 파라미터 게인 튜닝에 관한 연구 A Study on the PI Control Parameter Gain Tuning of Heavy Duty Handling Robot

*고창민¹, #박승규¹, 임재훈¹, 정원지², 김두형³, 정광조³

*C. M. Ko¹, #S. K. Park(skpark@changwon.ac.kr)¹, J. H. Lim¹, W. J. Chung², D. H. Kim³, G. J. Chung³

¹ 국립창원대학교 전기공학과, ² 국립창원대학교 기계설계공학과, ³ 한국기계연구원

Key words : Heavy Duty, Gain Tuning, Dynamic Signal Analyzer, Position Control Loop Tuning, Velocity Control Loop Tuning

1. 서론

초중량물 핸들링 로봇의 PI 제어기 파라미터 게인 튜닝을 위하여 기존의 프로그램을 반복적으로 이득값을 얻을수 있지만, 본 논문에서는 보다 쉽고 체계적인 게인 튜닝에 대해 연구하고자 한다.

본 연구는 자동차, 중공업 분야 등에서 발생하는 가반하중이 600Kg급 초중량물 핸들링용 로봇에 대한 실험용 2축 로봇에 대한 제어를 수행 하였다. 가반하중이 크게 되면 로봇의 제어에 있어서 어려움을 겪을 것으로 생각되나 부하의 크고 작음은 부하를 다루게 되는 시스템에 대한 상대적인 값이므로 큰 부하를 다룰 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 6축 초중량물 핸들링 로봇의 제어 성능을 구현 하기 위해 로봇의 핵심인 2축과 3축으로 구성된 2축 실험용 로봇을 설계·제작 하였으며, 실험용 로봇의 제어를 위하여 LabVIEW를 이용한 모션제어기가 구성되었다. DSP와 Servo Drive간의 인터페이스 회로를 설계·제작 하고, 드라이브를 속도 모드로 설정하여 사용하였다. 상위제어기인 LabVIEW 에서 모터의 위치 및 속도제어기 구현을 위해 PID제어기를 사용하여, 보드 선도 및 안정도를 판별하여 제어성능을 검증·확인 하였다.

2. 본론

2.1 실험용 로봇의 기본구조

실험용 로봇의 외관형상은 초중량물 6축 다관절 로봇의 기본적인 형태를 갖추며, Weight Balance와 Spring Balance에 의해 결정됨으로써, 실제 제작된 실험용 로봇의 구조는 Fig.1과 같다.

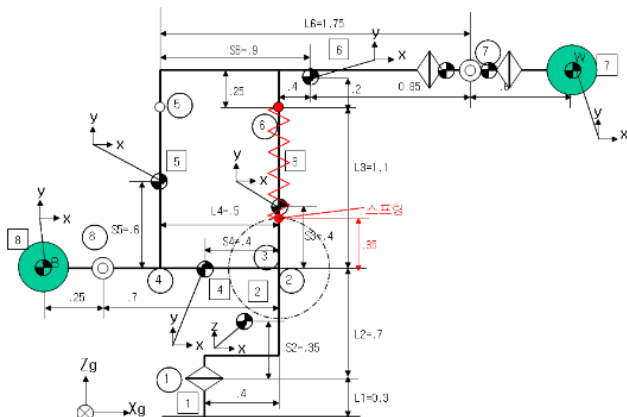


Fig. 1 Structure of Experimental Heavy Duty Handling Robot

2.2 인터페이스 회로 구성

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

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

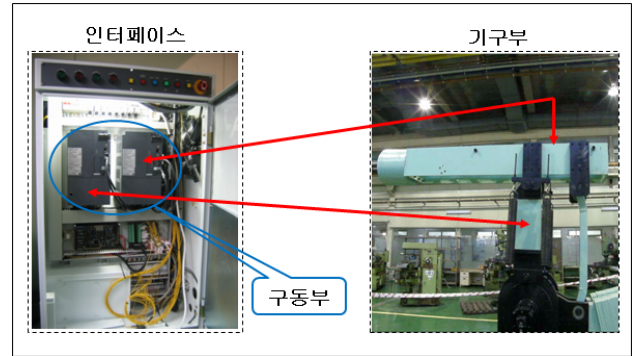


Fig. 2 Block diagram of Interface

2.3 Velocity Control Proportional Gain

Velocity Control Loop 의 Proportional Gain, Kv은 LabVIEW를 이용해서 Velocity Control Loop에 연결한 후 임의의 Proportional Gain 값을 설정하고 Sinusoidal wave의 진폭 X를 적절하게 선택한 후 관심 있는 주파수 영역(1Hz~500Hz)내에서 응답시험을 행하는 구조는 Fig. 3 과 같다.

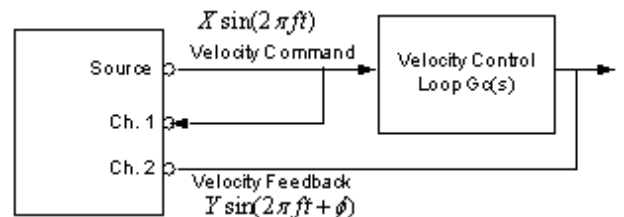


Fig. 3 Block diagram of System

Closed Loop Transfer Function Gc(S)와 Open Loop Transfer Function 사이의 관계는 식(1)과 같다.

$$G_o(s) = \frac{G_c(s)}{1 - G_c(s)} \quad \dots(1)$$

2.4 Integration time constant

Velocity Loop의 적분 Gain은 적분 시정수에 의해 결정 되는데 Fig.3의 Block Diagram을 통해 적분기에 의한 Open Loop Transfer Function을 구할 수 있고 계산된 Open Loop Transfer Function으로부터 Bode Diagram 특성을 알 수 있다.

$$G_{VO} = \frac{Y}{X} = \left(\frac{K_i}{s} + K_v \right) = K_v \left(\frac{\frac{K_v}{K_i} s + 1}{\frac{K_v}{K_i} s} \right) = K_v \left(\frac{T_i s + 1}{T_i s} \right) \quad \dots(2)$$

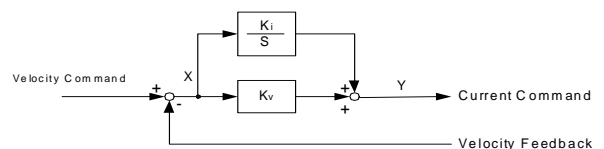


Fig. 4 Bode Diagram for finding integration time constant

3. 실험결과

실험용 초중량물 핸들링 로봇의 각축의 Gain값은 다른 축의 Gain값에 영향을 미치기 때문에 실험용 로봇의 구조상 가장 적게 영향을 받는 끝단인 3축을 튜닝 하였다.

Closed Loop Transfer Function 의 입출력 데이터를 수집하여 입력을 따라가는 형태를 갖고 있는지 파악할 수 있으며, Fig.5 과 같다.

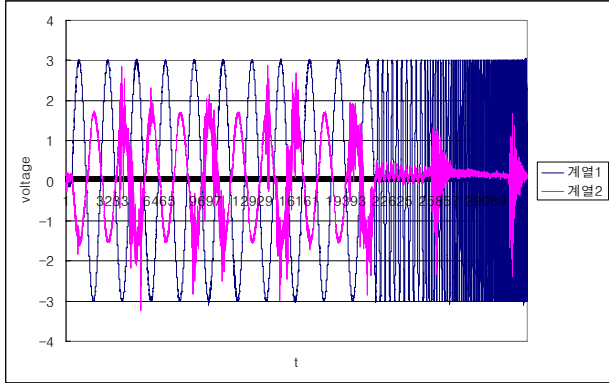


Fig. 5 Relationship for In-Out Plot

입출력 데이터로 LabVIEW상의 툴박스를 이용하여 보드선도를 관찰할 수 있다. Closed Loop Transfer Function 의 Bode Diagram 을 Fig. 6과 같이 얻을 수 있다.

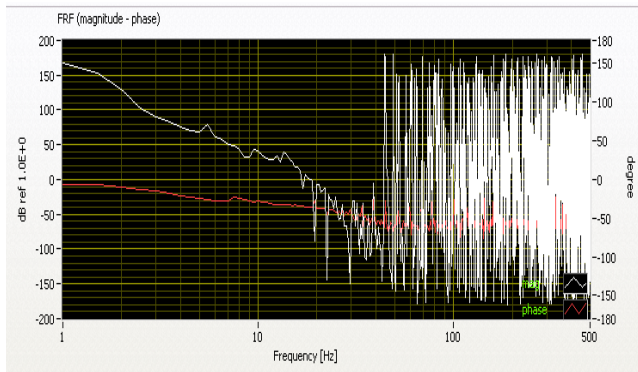


Fig. 6 Bode Diagram of Close Loop

3축의 세팅되어 있는 속도 루프 비례 게인 값으로 Close Loop의 Bode Plot을 살펴보면 2차 전달 함수 형태인 Open Loop Transfer Function의 Bode Diagram을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 Close loop의 Bode Plot인 2차형태인 전달함수 관계를 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(s) = \frac{0.000646239 + 0.0365595s}{1 + 0.0496494s + 8.26695E^{-6}s^2} u(s) \quad \dots(3)$$

위의 보드선도가 정확하지 않아서 LabVIEW의 다른 툴킷을 이용하여 크기와 위상을 정확히 알아보면 Fig.7과 같다.

이 때, 3축의 적분 시정수 값을 1000ms로 하여 적분 효과를 없앴다. +3V ~ -3V의 정현파를 1Hz에서 500Hz까지의 서보 드라이브의 속도 지령 값으로 인가하여 2차 전달 함수 형태의 파형을 나타내었다. Sampling Time은 2000Hz이며, P게인은 321rad/s이다.

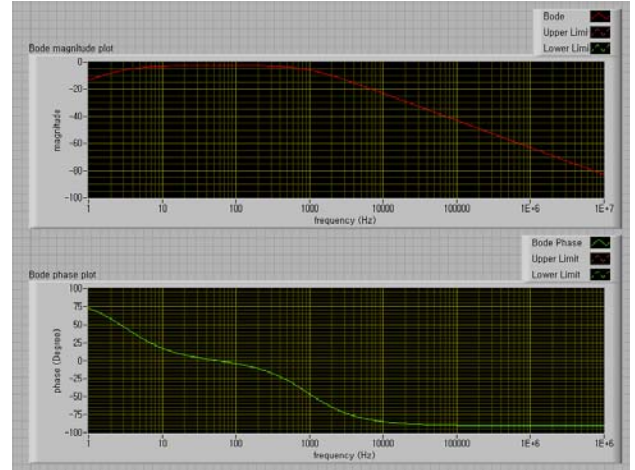


Fig. 7 Bode plot of close loop transfer function

여기서, 최적의 게인 값을 알아내기 위해서 Gain값을 변화시켜 비교하면서 Gain값 산출과 안정도 문제를 살펴봐야 한다.

이 파형의 결과를 갖고 Close loop의 보드선도 및 Open loop의 보드선도를 구하고, 상대 안정도를 계산하여 P 게인을 구하게 되면 최적의 Gain값을 구하는 결과를 고찰해야 한다.

4. 결론

최근 산업용 로봇의 수요와 적용 범위가 증가됨에 따라 산업 전반에 걸쳐 사용되는 로봇은 고성능화가 요구되고 있다. 특히 산업용 6축 수직다관절 로봇은 위치와 자세에 따라 기구부의 동적 특성이 크게 변하게 된다.

따라서, 각축에 최적의 Gain값을 적용시켰다 하더라도 전축이 동기화 되지 않으면 이동 속도가 빠를수록 프로그램에 의해 교시된 경로를 크게 벗어나는 현상이 발생한다. 이런 이유로 제어시스템은 각축의 최적의 성능을 위한 제어뿐만 아니라 다축의 동기제어가 필수적이다.

본 연구는 동적 특성을 고려한 Gain Tuning기법에 대한 것으로 다축 동기 제어를 고려한 각 축의 최적 Gain값의 도출과 최적 파라미터 도출에 대해 이론과 실험적인 방법으로 접근하였다.

후기

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

참고문헌

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 FIRMLAUNCHES 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. 정원지, 김효곤, 이춘만, 박승규, 서영교, 이기상, "다축 서보 시스템의 서보 파라미터 튜닝에 관한 연구", 한국공작기계학회지, pp.145~150, 2006.
6. "Mitsubishi Melservo-J3 Series Manual", 2004.5.
7. "Samsung CSDJ-Plus V1.7 Servo Manual", 2006.6