

# 6축 수직다관절 로봇의 게인 스케줄링 제어 연구

## Gain Scheduling of a 6-axis Articulated Robot

\*김만수<sup>1</sup>, #정원지<sup>2</sup>, 김성빈<sup>2</sup>

\*M. S. Kim<sup>1</sup>, #W. J. Chung(wjcjung@changwon.ac.kr)<sup>2</sup>, S. B. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 기계설계공학과

Gain Scheduling, Gain tuning, Labview

### 1. 서론

실제 산업에서 산업용 로봇의 활용도가 크게 증가하고 공장 자동화에 있어 중요한 비중을 차지하고 있다. 산업용 로봇이 널리 보급되어감으로써 산업용 로봇이 발전하고 로봇의 제어 기법 또한 발전하고 있다. 산업용 로봇의 종류에는 여러 가지가 있는데, 흔히 직교로봇과 스카라 로봇 그리고 수직다관절 로봇 등이 있다. 특히 수직 다관절 로봇은 다른 로봇보다 모터 축이 많으므로 좀 더 복잡한 제어 기술이 필요하다.

아래 Fig. 1의 사진은 6축 수직 다관절 로봇으로써 각 관절은 미쓰비시서보모터의 종류인 MELSERVO-J2-Super 시리즈로 구성 되어있다. 각각의 모터는 PID 제어를 통해 구동되며 위치제어, 속도제어, 토크제어 이 세가지 모드로 운용 될 수 있다. 본 논문에서는 PID 제어의 속도제어 모드를 이용해 PID 게인 값을 특성에 맞게 설정해야 한다.



Fig. 1 Configuration of RS2(6-axis articulated robot)

### 2. 게인 튜닝

로봇 제어에서 로봇의 이동 속도가 빠를수록

프로그램에 의해 입력된 경로를 크게 벗어나는 현상이 발생하고, 속도 변화에 따라 기구부의 진동이 발생한다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 제어기의 PID Gain 값을 로봇의 특성에 맞게 설정하여 로봇의 응답성을 크게 향상시킬 수가 있다.

비례게인( $K_p$ ) tuning을 위해 LabVIEW® DAQ 장비를 로봇의 끝단인 6축의 모터 드라이버를 연결하였다. 모터 드라이버에 임의의 비례 게인 값을 설정하고 사인파의 진폭 X를 적절하게 선택 후, 주파수 응답시험을 하였다. 이때 모든 축의 적분 시정수 값은 1000으로 하여 적분 효과를 없앴다.<sup>[2]</sup> LabVIEW®의 Source 파형으로 0.5 Vrms(root mean square of voltage)의 정현파를 2Hz에서 500Hz까지 서보 드라이버의 속도 지령 핀에 인가한다. 프로그래밍 DSA를 이용하여 페루프의 Bode Plot을 추출할 수 있다. 페루프 전달함수  $G_o(s)$ 와 개루프 전달함수  $G_c(s)$ 사이의 관계는 식(1)과 같다.

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

LabVIEW®에서 페루프 전달함수 보드선도를 획득한 후 식(1)을 이용하여 그림2와 같이 개루프 전달함수의 보드선도로 변환 한다.

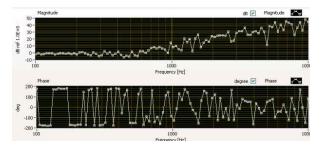


Fig. 2 Bode plot of open loop transfer function

식(1)에 의하여 추출된 Open loop의 Bode Plot은 이득여유가 -15dB, 위상여유는 -91.3deg로 판별 되었다. Nyquist 안정도를 적용했을 때 개루프

전달함수의 보드선도의 이득여유는 -6dB ~ -20dB, 위상여유는 45deg 이상이 되어야 한다. 이득여유를 -6dB으로 설정하면, 다음과 같이 속도 제어 루프의 새로운 비례 게인을 얻을 수 있다. [3]

$$20\log x = \frac{-6+15}{(20)} - (-15dB) \quad (2)$$

$$x = 10$$

$$\therefore K'_v = 2.8 \times 50 = 141$$

그림 3은 오픈 루프의 새로운 비례 게인이 모터 드라이버에 적용 되었을 때,  $K'_v = 141$ 의 Bode plot 을 보여준다.

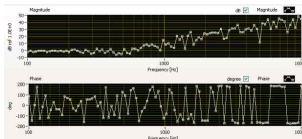


Fig. 3 Bode plot of open loop transfer function

적분 시정수 ( $T_i$ )역시 끝단인 Z축부터 튜닝을 시작한다. 앞에서 획득한 로봇의 각 Joint의 속도 루프의 비례 게인 값( $K_p$ )을 적용한 후의 Bode Plot 은 그림4와 같다. 적분기를 적용할 때 Phase 변화가 없도록 Phase Margin 적용 Hz의 10배 되는 지점을 적분 시정수로 한다. Phase Margin 적용 Hz는 0dB 지점의 주파수이므로 71.3154Hz이다. 따라서 적분시정수는 14ms로 계산되어진다.

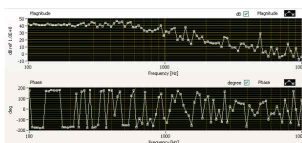


Fig. 4 New Bode plot of open loop ( $K_v=141$ )

위치제어루프의 비례게인( $K_p$ )은 로봇의 끝단인 6축부터 튜닝을 한다. 페루프의 보드선도에서 공진점의 -3dB되는 지점의 주파수  $f_c$ 를 측정하고,  $\zeta$ 는 0.707으로, 일반적 산업용 로봇에 대한 실험적 방법으로 구해진 값으로 식(3)에 대입하여  $K_p$ 값을 구한다.

$$K_p = \frac{\pi f_c}{2\zeta^2} \quad (3)$$

### 3. 게인 스케줄링

게인튜닝을 이용한 방법도 제어기 동조 후에 파라미터들이 고정되기 때문에 과도한 외란이나 플랜트가 비선형성을 가질 때에는 제어기 파라미터가 항상 효과적으로 결정되기는 힘들다.

하지만 게인 스케줄링을 이용하게 되면, 로봇의 동작조건에 맞게 계속해서 재동조 하여 빠른 응답 속도와 작은 오버슈트로 최적의 제어를 얻을 수 있다.

게인 스케줄링은 PID 제어기에서 비례게인, 적분게인, 미분게인 값을 설정 할 때 게인 튜닝을 밀바탕으로 이것을 테이블화하여 저장해 두었다가 그 워크스페이스 구간에서 해당되는 게인값을 불러내는 방법이다.

### 4. 결론

본 연구에서는 6축 수직 다관절 로봇의 PID 제어 방법인 게인튜닝과 게인스케줄링을 비교해 보았다. 기존에 연구했던 게인튜닝방법에서 나아가 게인스케줄링을 이용하면, 최적의 게인값을 얻을 수 있고 로봇의 구현 또한 안정적이게 된다.

이후에는 연구과제로 실제로 워크스페이스를 세분화하여 각각의 공간에 대한 게인값을 찾아보고 기존의 게인튜닝과의 차이점 및 상대적인 이득을 구해 볼 수 있다.

### 후기

본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0013902). 본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 “로봇산업클러스터조성사업”의 지원을 받아 수행된 연구결과임

### 참고문헌

1. Ogata, K., 1990, Modern Control Engineering, Prectice-Hall, Inc. pp. 448~467.
2. K.S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G Lee, "ROBOTICS", 82~148
3. 김정현, 김효곤, 정원지, “LabVIEW®를 이용한 3-Axis SCARA Robot 최적 튜닝 기법 연구”, 한국정밀공학회 2007년도 추계학술대회 논문집, 237~238, 2007