

LabVIEW[®]를 이용한 수직다관절 로봇의 게인 튜닝 기법 연구 A Study on Gain Tuning Technique for Articulated Robot by Using LabVIEW[®]

*김민규¹, #정원지², 주지훈³

*M. G. Kim¹, #W. J. Chung(wjchung@changwon.ac.kr)², J. H. Ju³

¹ 창원대학교 기계설계공학과, ² 창원대학교 기계설계공학과, ³ 창원대학교 기계설계공학과

Key words : LabVIEW[®], Gain tuning, FRM, Frequency Response Method

1. 서론

현재 로봇 및 공작기계 분야 등 정밀 제어가 필요한 산업 현장에 있어 로봇의 역할은 증가하고 있다. 로봇의 초정밀 제어를 위해서는 기구부의 동적 특성을 고려한 최적 게인 동조를 통한 효과적 운동 제어가 필요하지만, 로봇 시스템은 비선형성이 강하므로 제어 파라미터를 이론적으로 계산해내는 것은 매우 어려우며, 따라서 지난 50여 년간 산업공정에서 운전자들은 주로 제어 대상에 따른 PID제어기 계수를 임의의 trial and error 방법으로 조정해 왔다. 그러나 최적의 Gain 값을 적용시켰어도 전축이 동기화 되지 않으면 이동 속도가 빠를수록 프로그램에 의해 교시된 경로를 크게 벗어나는 현상이 발생한다. 그런 이유로 제어시스템은 각축의 최적의 성능을 위한 제어뿐만 아니라 다축의 동기제어가 필수적이다.



Fig. 1 6-Axis Articulated Robot & LabVIEW[®] DAQ Device

본 논문에서는 LabVIEW[®]를 이용하여 주파수가 변하는 swept sin파형을 이용한 주파수응답실험을 기반으로 로봇의 동적 특성을 고려한 수직다관절 로봇의 명령 추종성을 향상시킬 수 있는 최적 게인 튜닝법을 연구하였다.

2. 주파수응답기법

로봇의 동적 특성을 고려한 최적 PID 게인 동조를 위해 주파수 응답기법을 이용하였다. 주파수응답기법은 시스템의 해석과 설계를 위한 실제적이며 효과적인 방법으로, 시스템의 주파수응답은 $Asin(\omega t)$ 와 같이 주파수가 변하는 삼각함수 입력신호에 대한 시스템의 정상상태응답으로 정의된다.

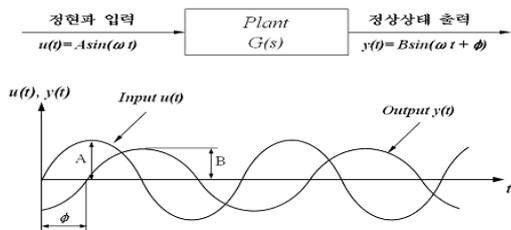


Fig. 2 Frequency Response

Fig. 2와 같이 $Asin(\omega t)$ 같은 삼각함수가 시스템의 입력신호로 주어졌을 경우, 그에 의한 선형시스템의 출력신호나 시스템 내부의 모든 신호들은 정상상태에서 시스템의 동적 특성에 따라서 $Bsin(\omega t + \phi)$ 와 같이 입력파형에 대하여 진폭의 크기와 위상각이 다른 삼각함수 형태가 된다. 여기서, A와 ω 는 입력신호의 진폭과 주파수이며, B와 ϕ 는 시스템의 출력신호의 진폭과 위상각이다. 이와 같이 실험적으로 결정된 시스템의 주파수응답으로부터

모르는 시스템의 전달함수를 유도할 수 있다.

3. LabVIEW[®]를 이용한 게인 튜닝

로봇의 서보드라이버와 LabVIEW[®] DAQ 장치와의 인터페이스는 Fig. 3과 같다. 서보드라이버의 SRV-ON에 24V를 인가하여 Servo-ON 시키고, V_{REF} (속도 제어 모드용 신호 입력)에 LabVIEW[®] PXI-6733에서 Source 파형을 인가한다. 이 Source 파형을 LabVIEW[®] PXI-4472B의 Channel 1에 입력하고 서보드라이버의 MON(아날로그 모니터)단자는 Channel 2에 연결한다. 이와 같은 방법으로 LabVIEW[®]에서 입력되는 Sept-Sine 신호에 대한 로봇의 속도 응답을 비교하여 Bode Plot을 획득하고 주파수 응답 특성을 알아낼 수 있으며, 이를 바탕으로 로봇의 동적 특성을 고려한 최적 게인 튜닝을 수행 할 수 있다.

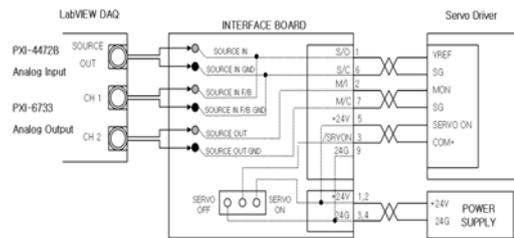
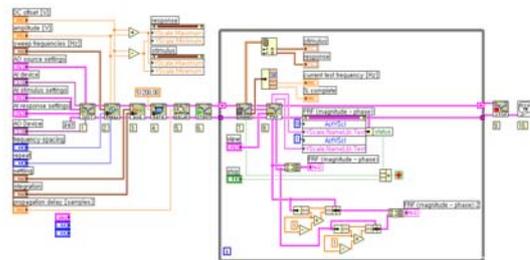
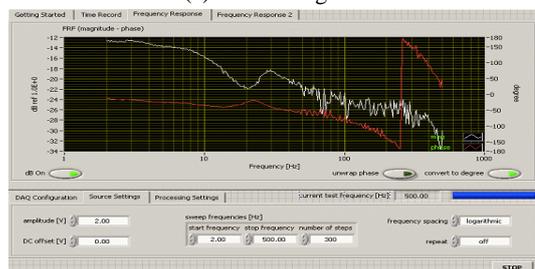


Fig. 3. Interface with the LabVIEW[®] DAQ Device and Servo Drives

Fig. 4는 LabVIEW[®]를 이용한 주파수 응답 실험을 위해 프로그래밍한 동역학신호분석기(DSA)를 보여주고 있다. (a)는 Block Diagram으로 주파수가 변하는 Sine 속도 명령을 생성하고 그에 대한 응답을 수집하여 주파수 응답 결과를 분석하고 보드선도(Bode Plot)로 변환해 주는 프로그램이며, (b)는 Front Panel로써, 사용자가 프로그램의 초기값을 설정하고 실험결과 등을 확인할 수 있는 그래픽 유저 인터페이스(GUI)이다.



(a) Block Diagram



(b) Front Panel

Fig. 4 Graphical Programming for Gain Tuning by Using LabVIEW[®]

4. 결론

LabVIEW[®]를 이용한 최적 튜닝 기법을 적용한 수직다관절 로봇의 성능 평가를 위한 실험을 수행하였다. 기존의 게인과 튜닝후의 게인을 적용하였을 경우의 속도응답을 측정하여 평균 명령 오차를 비교하였다. Fig. 6은 그 결과를 보여주고 있으며, Table 1은 각 축의 평균 응답 오차값을 보여준다. 본 논문에서 제안한 게인 튜닝 후 응답 오차율이 현저히 감소하였음을 볼 수 있다.

위의 실험 장치와 프로그램을 이용한 게인튜닝 순서는 속도제어 루프 비례게인, 속도제어 루프 적분게인, 그리고 위치제어 루프 비례게인 순으로 설정하게 된다.

각축에 세팅 되어 있는 속도제어 루프 비례 게인(K_v)을 Open Loop의 Bode Plot으로부터 이득여유(위상이 180deg가 되는 지점)는 -6dB ~ -20dB로 사이에 위상여유(이득이 0이 되는 지점)는 45deg 이상이 되도록 조정한다.

이때 모든 축의 적분 시정수는 1000으로 하여 적분 효과를 없앴다. LabVIEW[®] DAQ의 PXI-6733에서 Source 파형으로 0.5 V_{RMS}(root mean square of voltage)의 정현파를 2Hz에서 500Hz까지 서보 드라이버에 인가한다. 그리고 앞의 프로그래밍 DSA를 이용하여 시스템의 Closed Loop의 Bode Plot을 추출할 수 있다.

설정되어 있는 속도 루프 비례 게인(K_v)이 이득 여유와 위상 여유가 만족하는지 판별하기 위해, 추출한 Closed Loop의 Bode Plot을 Open Loop로 변환 시키는 과정이 필요하며 LabVIEW[®] 프로그램을 이용하여 Fig. 5과 같이 주파수 응답 측정 후 시스템의 이득과 위상을 획득하는 부분에 적용함으로써 Open Loop의 Bode Plot으로 변환된다.

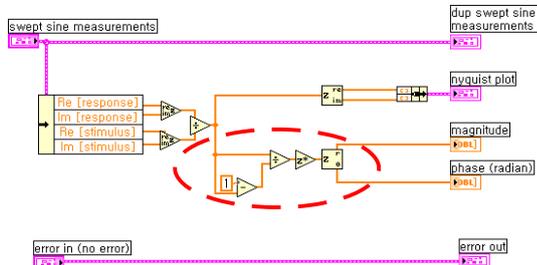


Fig. 5 Convert Program to Open Loop Transfer Function from Closed Loop Transfer Function

구해진 속도 루프 비례 게인을 드라이버에 적용하고 다시 추출한 이득여유와 위상여유가 조건에 만족하는지 확인한다.

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

속도제어 루프 적분 게인(K_i)은 적분 시정수에 의해 결정된다. 적분기에 의한 Open Loop Transfer Function은 식(1)과 같으며, 적분기에 의한 Open Loop Transfer Function의 Bode Diagram 특성은 적분시정수 1/T_i의 10배가 되는 지점에서 위상은 0에 가까워지므로 적분기를 사용하여도 위상여유는 변하지 않도록 위상여유가 계산된 지점의 1/10이 되는 지점을 적분시정수로 정한다.

마지막으로 위치제어 루프의 비례게인(K_p)을 조정하기 위해 추출된 Closed Loop Transfer Function의 Bode Diagram으로부터 공진점이 -3dB으로 되는 지점이 위치제어 루프에 유효한 속도제어 루프의 대역폭이 된다. 이를 속도루프의 전달함수를 1차 시스템으로 근사화 시키면 식(2)과 같이 구할 수 있다.

$$G_p(s) = \frac{2\pi f_c K_p}{s(s+2\pi f_c)} = \frac{2\pi f_c K_p}{s^2 + 2\pi f_c s + 2\pi f_c K_p} = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2} \quad (2)$$

$$\zeta\omega = \pi f_c, \quad \omega^2 = 2\pi f_c K_p \quad (3)$$

$$K_p = \frac{\pi f_c}{2\zeta^2}, \quad -f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{f_c}{2\zeta} \quad (4)$$

여기서 식(3)과 같으므로 위치제어 루프의 감쇠비인 ζ가 결정되면 비례게인 K_p와 대역폭 f는 식(4)와 같이 계산된다.

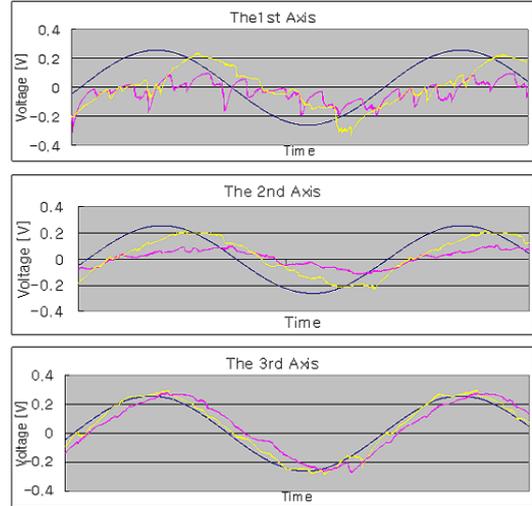


Fig. 6 Response Test Results of Articulated Robot

Table 1 Average Value of Response Error

Case Axis	Conventional gain tuning [mV]	Proposed gain tuning [mV]	Error reduction rate [%]
Joint 1	81.84	48.19	41.1
Joint 2	41.39	22.49	45.7
Joint 3	- 4.43	- 1.41	68.2

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. J. G. Ziegler and N. B. Nichol's, "Optimum Settings for Automatic Controllers," Transaction of the ASME, 1942.
2. K. J. Astrom, T. Hagglund, "Automatic Tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins." Automatica, Vol. 20, No. 5, 1984.
3. B. C. Kuo, and Golnaraghi, F. Automatic control systems, WILEY
4. Haugen, F, PID control of dynamic systems, Intl specialized book service inc, 2004.
5. National Instruments, LabVIEW Fundamentals, 2005