

논문 2013-08-16

정밀구동메커니즘 적용 모션제어시스템 설계 및 구현

(Design and Implementation for Motion Control System with Precise Driving Mechanism)

이 상 경*, 이 준 영, 최 윤 석, 박 흥 배

(Sang-Kyung Lee, Jun-Yeong Lee, Yun-Seok Choi, Hong Bea Park)

Abstract : In this paper, a motion control system based on 2-axis gimbal system is designed and implemented to drive a high speed and precision. The proposed system consists of the RS-422 interface, 2-axis gimbal platform, servo control unit integrated with a high speed DSP chip-set, servo amplifier unit, potentiometer sensor unit, and resolver sensor unit. The servo control unit using the high speed DSP firmware is designed to get a fast response without an overshoot with step input and a RMS error of low probability with ramp input. The servo amplifier unit using a voltage control is designed to resolve the zero-crossing distortion for precise motion. To verify the performance and stability of the implemented system, experiments are performed through a measurement of the time and frequency domain response in a laboratory environment by using a PXI(PCI eXtensions for Instrumentation).

Keywords : Precise driving mechanism, 2-axis gimbal system, Motion control system

1. 서 론

공장 자동화, 차량, 산업용 로봇시스템 등 산업 현장에서 사용하는 시스템은 모터를 이용하여 원하는 동작들을 정확하게 수행하는 것이 요구되고, 이를 위해 서보제어시스템을 사용하여 모터를 제어한다. 서보제어시스템은 공작기계, 공장 생산라인, 전기자동차 뿐만 아니라 수술용 로봇 등의 의료분야, 군용 안테나 및 액츄에이터 제어시스템과 같은 군수산업 분야까지 광범위하게 사용되고 있다. 서보(servo)란 제어요소를 물체의 위치와 방위, 자세로 두고 현재 상태를 기준이 되는 안정한 상태로 끊임 없이 궤환(feedback)하거나 목표로 하는 상태로 제

어하는 것이다. 서보 기술을 적용하여 기구의 자세를 제어하는 시스템을 서보제어시스템이라 한다 [1-3].

서보제어시스템 응용기술인 김발제어시스템은 로봇과 같이 관절을 가지는 김발플랫폼에 장착된 서보모터를 제어함으로써 김발의 자세를 제어하는 시스템으로, 모션제어를 필요로 하는 산업분야에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 2축 이상의 관절을 가지는 다축 김발제어시스템의 경우 유도탄, 무인헬기와 같은 비행체, 동적 플랫폼에 장착되는 영상추적시스템, 그리고 우주선과 인공위성 등의 우주산업 분야에 이르기까지 여러 분야에서 기구의 모션제어용으로 적용되고 있으며, 이러한 정밀기계 분야에서 성능향상과 응용을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다 [4, 5]. 특히 정밀구동로봇 및 방위산업용 유도무기와 레이더의 안테나 제어시스템 등 신뢰성과 고성능을 요구하는 분야에서는 김발제어시스템의 성능향상이 주요이슈이다 [6-8]. 김발제어시스템의 하드웨어 제작 시 제어보드와 증폭보드를 전체시스템이 가져야 할 성능을 고려하여 설계하고, 모터와 센서 등의 부품을 특성에 맞게 선정하는 것이 중요하다. 또한 소프트웨어 개발 시 서보증폭부에서 발생하는 영점교차왜곡현상(ZCD: Zero Crossing

* Corresponding Author (leesk@doowon.ac.kr)

Received: 19 Mar. 2013, Revised: 04 Apr. 2013,

Accepted: 17 Apr. 2013.

S.K. LEE: Doowon Technical University College

J.Y. LEE, Y.S. Choi, H.B. Park: Kyungpook National University

※ 본 논문은 두원공과대학교 2012 대표브랜드사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

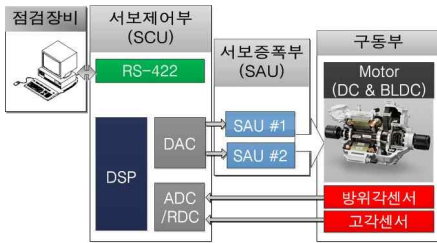


그림 1. 모션제어시스템의 전체 구성도
Fig. 1 Diagram of Motion Control System

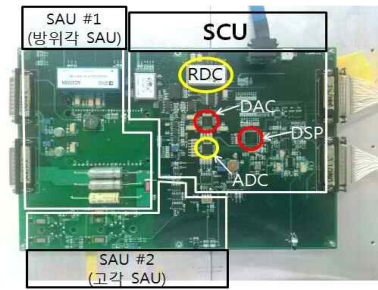


그림 2. 서보제어보드 구현
Fig. 2 Implemented Servo Control Board

Distortion)과 제어프로그램에 의해 발생하는 오버슈트(overshoot) 문제를 고려해야 한다 [9-11]. 영점교차왜곡현상은 증폭기에서 전압극성 변환 시 발생하여 시스템의 선형성을 훼손하고, 나아가 정밀구동기기의 신뢰도를 저하시킨다. 특히 유도 발사체나 탐색기와 같은 위치추적플랫폼의 경우 영점교차왜곡현상이 발생하게 되면 정밀 추적 기능에 큰 문제를 일으킬 수 있다. 또한 오버슈트는 김발플랫폼 구동 시 플랫폼의 기계적 파손을 야기한다. 따라서 정밀구동 김발제어시스템 개발을 위해 영점교차왜곡현상과 오버슈트 문제를 극복할 수 있는 설계기법을 연구해야 한다.

본 논문에서는 고속·정밀 동작과 신뢰성이 요구되는 분야에서 사용가능한 2축 김발 제어시스템을 연구하여 모션제어시스템을 설계하여 구현하였다. 실시간 통신이 가능한 RS-422 통신방식과 고속의 디지털신호처리(DSP: Digital Signal Processor) 칩을 이용해 고속·정밀 각도제어 및 각속도제어가 가능한 실시간 제어시스템을 구축하고 전체시스템의 수학적 모델링을 통해 제어 소프트웨어를 제작하여 오버슈트에 의한 기계적 손상을 방지할 수 있는 시스템을 제안하였다. 또한 서보모터의 정·역방향 구동 시 증폭기에서 발생하는 영점교차왜곡현상을 전압제어로 해결하여 모터부의 선형성을 보장하고, 고정밀 각도추적모드로 운용 가능한 시스템을 개발하였다. 제안한 시스템의 성능분석 및 평가를 위해 랙(rack)형태의 신호발생측정용 PXI 장비와 Labview 기반의 성능시험용 사용자 운용 프로그램을 개발하여 점검장비를 구현하였다.

II. 모션제어시스템 구현

본 장에서는 정밀구동메커니즘을 적용하여 고성능과 신뢰도가 요구되는 정밀기계에 응용 가능한 2축 김발 모션제어시스템을 설계한다. 제안한 모션제

어시스템은 기본적으로 정밀구동을 위한 하드웨어와 제어 소프트웨어로 구성되며, 추가적으로 시스템의 성능을 실험하기 위한 점검장비를 개발한다. 그림 1은 제안하는 모션제어시스템의 전체시스템구성을 보여준다.

1. 하드웨어

하드웨어 부분은 크게 서보제어부, 서보증폭부, 구동부, 그리고 통신시스템으로 구성한다. 통신시스템은 제어명령과 센서정보의 실시간 송·수신을 위해 현재 산업용 로봇시스템 및 공장자동화시스템의 표준 통신방안으로 활용하는 RS-422 통신방식을 선택하고, 통신주기를 2ms이하로 설정하여 실시간 통신시스템을 구축하였다.

서보제어부는 서보증폭부와 구동부 센서 통신을 위해 서로간의 송·수신 신호변환이 필요하다. 이를 위해 서보제어부는 6채널 14bit ADC(AD7657) 칩과 4-출력 14bit DAC(AD7836) 칩, 그리고 12bit RDC(SD14621) 칩을 사용한다. 또한 고속신호처리와 빠른 연산을 통해 오버슈트가 없고 고속·정밀구동의 모터제어가 가능하도록 명령주기 6.67ns의 DSP(TMS320F2812) 칩을 내장한다.

서보증폭부는 서보제어부로부터 컨버터를 거쳐 입력되는 명령을 수신하고 입력전압에 비례하여 모터구동 전류를 생성한다. 증폭부에서는 입력전압의 부호가 역전될 때 영점교차왜곡현상이 발생한다. 이러한 현상이 발생하는 지점을 무감영역이라 한다. 무감영역은 김발응답특성에 시간지연을 야기해 시스템의 선형성을 저해하므로, 하드웨어적 전압제어를 통해 무감영역이 없고 입·출력이 선형성을 가지는 증폭기를 설계한다. 설계한 서보제어부와 서보증폭부를 하나의 보드에 실구현한 서보제어보드를 그림 2에 보인다.

구동부는 방위각 구동을 위한 BLDC 모터와 고

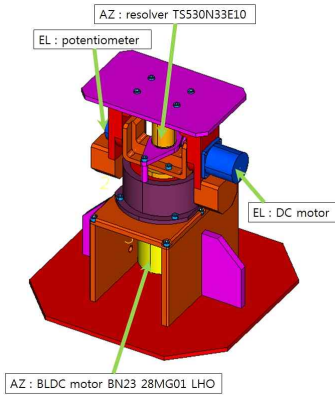


그림 3. 설계한 2축 김발플랫폼

Fig. 3 Designed 2-axis Gimbal Platform



그림 4. 2축 김발플랫폼 구현

Fig. 4 Implemented 2-axis Gimbal Platform

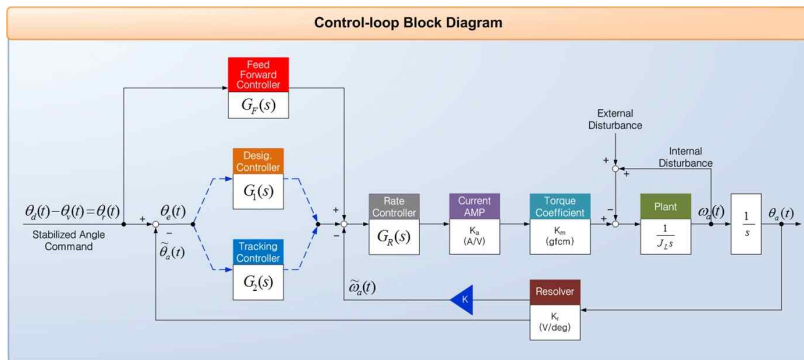


그림 5. 모델링한 시스템 블록도

Fig. 5 Control-loop Block Diagram

각 구동을 위한 DC 모터를 서보모터로 하고 모터 각각은 레졸버와 포텐쇼미터를 센서로 부착한 2축 김발플랫폼으로, 방위각에 최대 운용각 $\pm 50^\circ$, 고각에 최대 운용각 $\pm 90^\circ$ 를 가지도록 설계한다. 그림 3, 4에 2축 김발플랫폼의 설계도면과 실제 구현한 플랫폼을 보인다.

2. 제어 소프트웨어

제어 소프트웨어는 센서부에서의 정보와 제어 명령에 대한 송·수신기능을 포함하고, 주어진 명령에 대한 서보모터 출력을 궤환하는 궤환제어시스템을 적용하여 고속·정밀제어가 가능하도록 설계한다. 이를 위해 서보제어부와 증폭부, 그리고 김발플랫폼을 포함하는 전체시스템을 그림 5와 같이 수학적으로 모델링하여 선형시스템으로 나타낸다. 각도지정 모드에서는 김발플랫폼의 기구적 과손방지 와 고속 제어를 위해 오버슈트 없고, 빠른 상승시간과

0.5sec 이하 정착시간을 갖는 프로그램을 설계하고, 각도추적모드에서는 0.2deg/sec RMS 오차 이하의 정확도를 갖는 각도추적 프로그램을 설계하여 제어 소프트웨어를 구현한다.

그림 6에 보인 제어 소프트웨어의 흐름도는 제어명령에 대하여 각도 및 각속도센서로부터 수신하는 현재 서보모터의 각도 및 각속도정보에 대한 오차를 계산하고 그 오차 혹은 오차의 미분 값에 대해 비례하는 제어신호를 고속으로 연산하여 서보증폭부로 출력한다. 궤환제어루프에는 제어의 이득 보정을 위한 상수 c_1 과 c_2 , 그리고 c_3 가 있고, 오차의 크기에 따라 최소 $c_2 \times c_3$ 의 이득으로 궤환제어한다.

3. 점검장비

개발한 서보제어보드 및 증폭보드에 계단입력·경사입력과 같은 제어명령을 생성하고, 구동부의

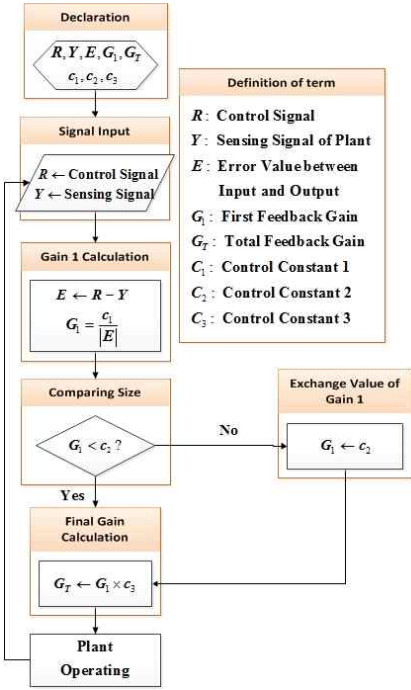


그림 6. 각도제어프로그램의 제어흐름도
Fig. 6 Flowchart of Angle Control Program

각도센서 및 각속도센서 출력신호를 실시간으로 획득 및 저장함으로써 시스템 성능과 신뢰성 검증을 위한 점검장비를 개발한다. 점검장비는 신호발생 PXI와 사용자가 쉽게 구동할 수 있는 Labview기반의 시간응답특성 분석과 주파수응답특성 분석을 위한 두 가지 GUI 프로그램으로 구성한다.

우선 시간응답특성 분석을 위한 프로그램을 구현한다. 프로그램은 운용모드 메뉴 선택을 통하여 사용자가 각도지정모드와 각도추적모드를 선택하도록 하고 입력 메뉴를 통해 각 관절별로 입력된 각도로 각도지정 제어

루프를 통하여 제어가 가능하도록 한다. 또한 제어패널은 각 축별로 서보증폭보드를 ON/OFF 가능하도록 하여 오작동으로 인한 플랜트시스템의 파손을 방지하고, 전시패널은 각 관절의 각도 값을 실시간으로 전시하여 운영 시 가독성을 향상하고 제어시스템의 제어여부를 실시간으로 사용자가 판독 가능하게 구현한다. 그림 7은 시간응답특성을 위해 개발한 점검장비 운용 GUI 구성도이다.

또한 서보제어기와 플랜트시스템 전체의 상대안정도 측정을 위한 동적신호분석기(DSA: Dynamic Signal Analyzer) 모듈제어 및 관련 소프트웨어를 Labview로 구현한다. DSA는 시스템에 미리 설정

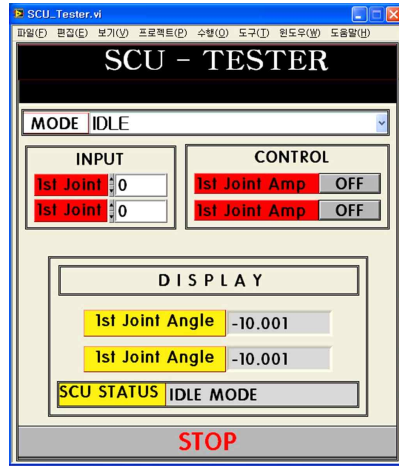


그림 7. 점검장비 운용 GUI 구성도
Fig. 7 SCU-Tester GUI Screen

한 주파수 범위 내의 정현파를 차례로 입력하고 시스템을 통해 출력되는 주파수응답을 저장한다. 그림 8은 상대안정도 측정을 위한 운용 GUI 구성도이며 그림에서 표시한 것처럼 시험 주파수 범위와 함께 입력전압의 크기 설정이 가능하다. 이와 더불어 측정 정밀도 향상을 위해 측정 주파수 범위 내에서 읍셋전압(offset voltage)과 측정개수(measuring-point/decade)를 설정 가능하도록 프로그래밍한다. 본 주파수응답시험기는 시스템 전체의 상대안정도 검증과 더불어 시스템 성능 조정을 위한 이득조정(gain-tuning) 및 공진주파수 회피제어기 설계 등 디지털 제어기 설계 및 구현의 바탕이 된다.

PXI와 내장된 점검 프로그램을 기반으로 한 점검장비 (그림 9)는 서보제어보드와의 통신을 위한 RS-422 통신보드, 디지털 I/O 및 아날로그 입/출력을 제어하는 다기능 보드, 동적 주파수응답을 측정하는 PXI(DSA), PXI를 운용 통제하는 제어PC, 구성품 및 김발연동 성능평가를 위한 점검 인터페이스 랙, 그리고 서보부 구성품을 구동할 수 있는 가변 전원공급부 랙으로 구성되어 있다.

III. 모션제어시스템 성능 실험 및 분석

모션제어시스템과 같은 선형 시불변 시스템의 성능을 평가하는 방법으로 시간응답특성 분석과 주파수응답특성 분석이 있다. 시간응답특성의 경우 입력에 대해 측정된 출력의 오버슈트나 정착시간과

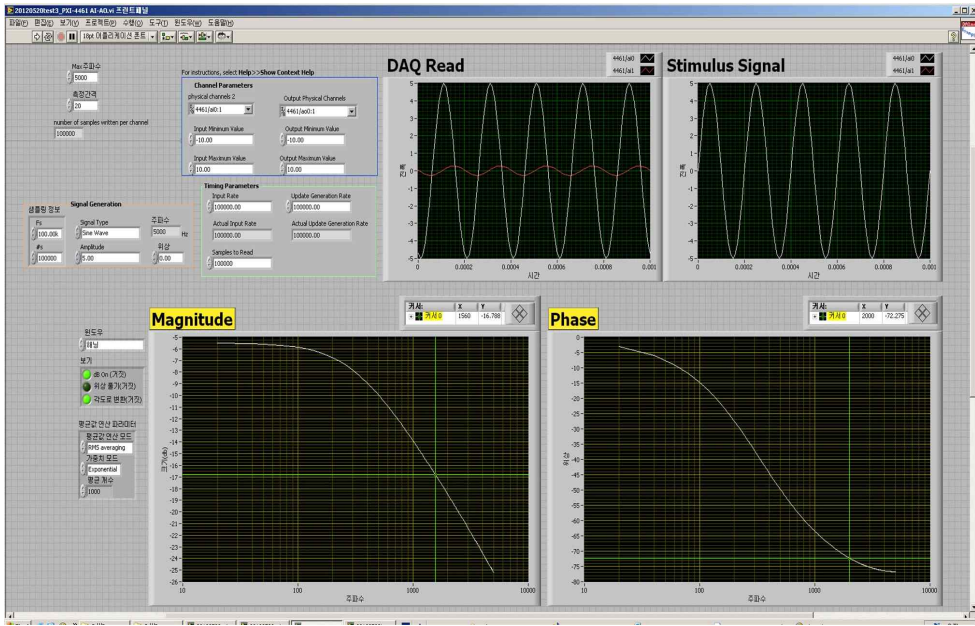


그림 8. 상대안정도 측정 운용 GUI 구성도
Fig. 8 Relative Stability-Tester GUI Screen

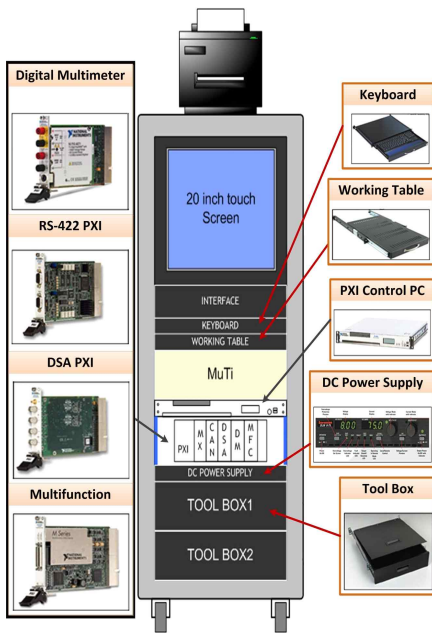


그림 9. 점검장비 구성도
Fig. 9 Diagram of Experiment Equipment

같은 응답특성을 분석함으로써 성능을 평가할 수 있다. 그리고 주파수응답특성에서는 주파수응답에

대한 이득여유, 위상여유 등의 응답특성을 분석해서 상대안정과 같은 성능을 평가하게 된다. 평가를 위한 주요 지표들은 현재 제어시스템 평가의 기준을 적용하여 시간응답에서는 출력과 입력의 오차가 2%이내가 되는 시점을 정착시간으로 하고, 주파수응답에서는 보드선도를 이용해 이득여유와 위상여유 등의 주파수응답 성능을 분석하였다.

시스템 성능 변화의 요인은 통신 주기에 의해 발생하는 샘플링타임(sampling time)과 제어보드내의 연산을 담당하는 DSP 칩의 속도, 서보모터의 최대 출력과 김발플랫폼 구동부의 무게, 그리고 제어 프로그램의 성능 등이 있다. 고정밀의 김발플랫폼을 기반으로 한 위치추적기구나 자세제어 기구의 경우 사용하기 전 테스트를 통한 성능분석과 안정화 평가로써 신뢰도를 형성해야 한다. 본 장에서는 개발한 2축 김발제어시스템과

점검장비를 통해 구현한 시스템의 시간응답과 주파수응답 특성을 각각 측정하고 분석한 결과를 제시하였다.

1. 시간응답특성 실험 및 분석

시간응답특성에서의 성능평가를 위해 시스템을 각도지정모드와 각도추적모드로 구동 후 결과를 분석하였다. 각도지정모드 구동에서는 정착시간과 정

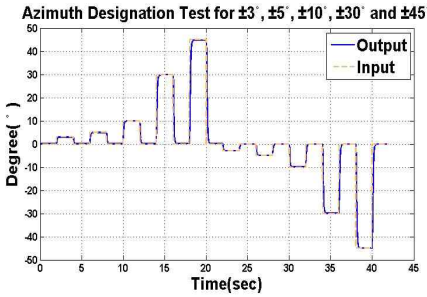


그림 10. 각도지정모드 응답특성
Fig. 10 Response of Angle Designate Mode

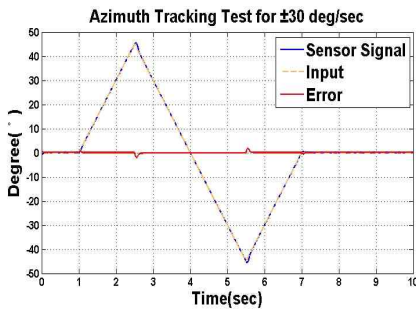


그림 11. 각도추적모드 응답특성
Fig. 11 Response of Angle Tracking Mode

상상태오차를 분석하고 각도추적모드에서는 입력추적정밀도를 분석함으로써 전체 시간응답특성의 성능을 평가하였다. 본문에서 제안한 계단입력에 대한 오버슈트 없는 고속의 출력과 경사입력에서의 무감영역 없는 고정밀의 출력을 점검하기 위해 구현한 Labview 기반 GUI 프로그램과 점검장비를 이용해 시간응답특성을 측정하고 성능을 분석하였다.

본 실험에서는 점검장비의 GUI 프로그램에서 제공하는 운용모드인 각도지정모드와 각도추적모드를 각각 설정하고, 각 모드에 입력신호를 인가하여 모션제어시스템을 구동한 후 결과를 분석하여 성능을 평가하였다. 각도지정모드에 대한 시간응답특성 분석을 위해 GUI의 운용모드를 각도지정모드로 설정하고 계단입력에 대한 응답을 분석하기 위해 입력 값을 $\pm 3^\circ$, $\pm 5^\circ$, $\pm 10^\circ$, $\pm 30^\circ$, 그리고 $\pm 45^\circ$ 로 두고 입력과 출력을 비교하고 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 각도추적모드에 대한 시간응답특성 분석을 위해 GUI의 운용모드를 각도추적모드로 설정하고 점검장비에 속도 $\pm 30^\circ/\text{sec}$, $\pm 45^\circ$ 에서 방향을 전환하는 경사입력을 인가한 후 출력값의 비교를

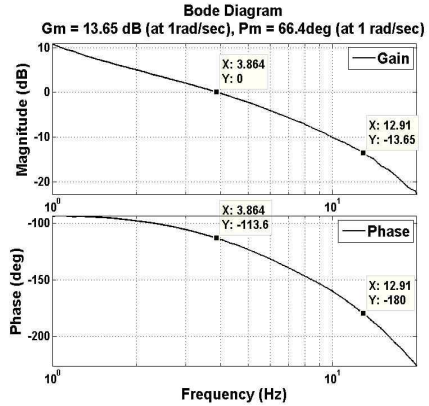


그림 12. 주파수응답특성
Fig. 12 Frequency Domain Response

통한 결과를 그림 11에 보였다. 그림 10과 그림 11은 구현한 모션제어시스템이 각도지정모드시 오버슈트가 없고 각도추적모드시 0.1deg RMS 오차를 가지는 것과 방향전환 시 시간지연이 일어나지 않음을 보였다.

2. 주파수응답특성 실험 및 분석

구현한 전체시스템의 입력과 외란에 대한 시스템의 상대안정도를 분석하기 위해 주파수응답특성 실험을 수행하였다. 주파수응답특성 결과로써 얻을 수 있는 이득여유와 위상여유 지표를 통해 전체시스템의 상대안정도를 평가하였다. 주파수응답특성 실험을 위해 PXI 본체에 호환성을 가지고 동적신호를 생성하는 DSA PXI를 사용하였다. 구현한 2축 김발제어시스템의 주파수응답을 분석하기 위해 시스템에 DSA를 통해 1Hz부터 20Hz까지 변하는 정현파 신호를 입력 후 결과를 확인하였고, 주파수응답특성 실험결과를 보드선도를 이용해 그림 12에 보였다. 표 1에 시간응답특성과 주파수응답특성을 통합한 전체시스템 제어성능지표를 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 김발플랫폼의 각 관절에 부착된 서보모터를 구동함으로써 김발플랫폼의 자세를 제어하고, 설계된 제어 소프트웨어를 기반으로 주어진 입력에 대한 자동제어와 정밀제어가 가능하며, 실시간 통신을 적용해 동적인 입력을 수행할 수 있어 무인카메라나 탐색기 등의 물체추적시스템에 적

표 1. 성능실험결과

Table 1. Result of Performance Experiment

항목		성능	단위
시간 응답 특성	각도 지정 모드	최대 각속도	140 deg/s
		정착시간	0.33 sec
		정상상태 오차	0.18 deg
	각도 추적 모드	각도추적 오차	1.3 deg
		각도추적 정밀도	0.1 deg (RMS)
주파수 응답 특성	이득여유	13.65	dB
	위상여유	66.4	deg

용 가능한 2축 김발 모션제어시스템을 구현하였다. 시스템은 구동부와 제어보드, 증폭보드로 구성된 하드웨어부, 각 하드웨어간의 통신과 구동부의 궤환제어가 가능하도록 프로그래밍한 제어 소프트웨어부, 그리고 전체시스템의 성능을 분석하기 위한 점검장비를 연구개발 구성하였다. 하드웨어부에서 제어보드 및 증폭보드는 실시간 통신을 위해 2ms 이하의 통신주기를 가지는 RS-422 통신방식이 가능한 칩들로 설계되고, 구동부는 방위각 ±50°, 고각 ±90°의 운용한계각을 가지는 2축 김발플랫폼으로 제작되었다. 그리고 서보제어보드 내의 DSP 칩은 2축 김발플랫폼의 두 축에 장착된 서보모터를 각각 구동하기위한 제어프로그램을 내장하였다. 또한 전압제어를 통해 모터의 정·역방향 구동 시 서보증폭부에서 나타나는 무감영역을 제거하여 시스템의 입·출력 선형성을 보장하였다.

전체시스템의 성능을 검증하기 위해 각도지정과 각도추적 입력이 가능하고 김발플랫폼의 각도와 각속도정보를 실시간으로 출력하는 프로그램과, DSA 보드를 이용해 상대안정도를 분석하는 프로그램을 사용자가 이용하기 편리하도록 GUI로 구현하여 점검장비를 개발하였다. 점검장비를 통하여 정착시간, 정상상태오차 등의 시간응답특성과 이득여유, 위상여유 등의 주파수응답특성을 측정했고 시스템 성능과 상대안정도를 분석한 실험결과를 보였다. 실험에서 각도추적모드 시행 시 플랫폼은 정·역방향 회전 시 지연이 일어나지 않고 선형성을 보였으며, 각도지정모드에서는 오버슈트가 없음을 보였다. 또한 정상상태오차 0.2° RMS 이하, 안정화시간 0.5

초 이하의 성능을 통해 정밀시스템에 적용이 가능함을 확인하였다.

정밀구동메커니즘을 적용해 보다 안정적인 제어가 가능한 본 시스템은 전기자동차나 영상추적장치 등 정밀도를 요하는 모션제어시스템에 적용 및 응용할 수 있으리라 예상한다. 추후과제로는 다축 김발플랫폼을 기반으로 한 모션제어시스템과 구현한 시스템의 성능과 안정도, 강인함 등의 제어성능 향상에 대한 연구가 있다.

References

- [1] P. Pillay, R. Krishnan, "Application Characteristics of Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motors for Servo Drives," IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 27, No. 5, pp.986-996, 1991.
- [2] D.J. Seok, T.M. Lee, T.Q. Vinh, J.B. Won, S.T. Lee, S.H. Choi, "The Study on the Motion Control Platform using Real-time Software based Feed-forward PID Controller and Industrial Network Protocols," Proceedings on Fall Conference of Korea Society of Mechanical Engineers, pp.1051-1056, 2011 (in Korean).
- [3] B.S. Kim, "Input Shaping for Servo Control of Machine Tools," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 28, No. 9, pp.1011-1017, 2011 (in Korean).
- [4] P.J. Kennedy, R.L. Kennedy, I. Agard, "Adaptive Compensation for Pointing and Tracking Systems Application," Proceedings on the 1999 IEEE International Conference of Control Application, Vol. 1, pp.279-282, 1999.
- [5] B. Li, D. Hullender, M. Dizenzo, "Nonlinear Induced Disturbance Rejection in Inertial Stabilization Systems," IEEE Trans. on Contr. Systems Technology, Vol. 6, No. 3, pp.421-427, 1998.
- [6] H.B. Moon, M.H. Kim, S.Y. Park, W.S. Ra, "Leader-Follower Robot Trailing Control Using Ultrasonic Gimbaled Seeker," Proceedings on Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, pp.83-85, 2012 (in Korean).

[7] D.H. Lee, K.M. Lee, H.C. Bang, "Gimbal angle command generation for a Antenna system," Proceedings on Fall Conference of Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, pp.2231-2233, 2012 (in Korean).

[8] B.C. Seon, C.S. Oh, Y.G. Park, U.R. No, "TVC Disturbance Torque Budget of Launch Vehicle Gimbal Engines," Proceedings on Spring Conference of Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, pp.429-434, 2012 (in Korean).

[9] C.Y. Ann, G.S. Koo, H.S. Oh, "The Adoption of the Fuzzy Logic Control for Solving the Overshoot in intelligent Robot Control," Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 18, No. 1, pp.65-68, 1991 (in Korean).

[10] W. Zhonghua, Y. Bo, C. Lin, Z. Shusheng, "Robust Adaptive Deadzone Compensation of DC Servo System," IEE Proc. Contr. Theory & Appl., Vol. 153, No. 6, pp.709-713, 2006.

[11] D.J. Lee, S.G. Lee, "2D-Ultrasonic linear motor system control using Dead-zone compensation," Proceedings on Fall Conf. on Korean Society for Precision Eng., pp.53-54, 2012 (in Korean).

저 자 소 개

이 상 경



1986년 경북대학교 전자공학과 학사.
1993년 경북대학교 산업대학원 회로및시스템 석사.

1999년 경북대학교 전자공학과 박사.

1986년~1997년 KEC 반도체 사업부 개발과장.

현재, 두원공과대학교 메카트로닉스공학과 교수.

관심분야: 임베디드 시스템, RTP제어, 견실제어.

Email: leesk@doowon.ac.kr

이 준 영



2012년 경북대학교 전자공학과 학사.

현재, 경북대학교 IT대학 전자공학과 석사과정.

관심분야: 퍼지제어, 임베디드 H/W, 신경회로망.

Email: middle10@naver.com

최 윤 석



2007년 경북대학교 전자공학과 학사.

2007년~현재 LIG Nex1 연구원.

현재, 경북대학교 IT대학 전자공학과 석사과정.

관심분야: 서보모터제어, 임베디드 H/W

Email: yunseokchoi80@gmail.com

박 흥 배



1977년 경북대학교 전자공학과 학사.

1979년 경북대학교 전자공학과 석사.

1988년 University of New Mexico 전자공학과 박사.

2004년~2006년 모바일단말상용화센터장.

1988년 현재, 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수.

관심분야: 견실제어, 임베디드시스템, 전자후각시스템.

Email: hbpark@knu.ac.kr