

인공우주물체 추적 및 관측용 시스템 개발

김원규[†], 민상웅
경희대학교 우주과학과

DEVELOPMENT OF TRACKING AND OBSERVING SYSTEM FOR MAN-MADE SPACE OBJECTS

W. K. Kim[†], S. W. Min
Dept. of Astronomy & Space Science, Kyung Hee Univ., 449-701, Korea
E-mail: wkkim@khu.ac.kr

(Received January 16, 2003; Accepted May 22, 2003)

요 약

인공우주물체의 추적 및 관측을 위해 LX-200 12인치 망원경시스템을 도입하여 시스템의 구동부(모터, 모터드라이버, 모션컨트롤러)를 응답특성이 빠르고 능동제어가 가능한 것으로 개선하였다. 또한, PC를 이용하여 대상물의 실시간 궤적정보를 계산하여 모터 드라이버 내의 PID 제어기에 신호를 제공하였고, 명령신호 제어주기도 20ms까지 줄였다. 그 결과, 가대의 구동속도는 18°/sec로 향상되고 상용시스템보다 응답속도가 빠르며 대상물의 이미지 관측시 flipping 현상을 최소화하는 시스템을 개발하였다.

ABSTRACT

Recently, we have reconstructed LX-200 12inch telescope system for tracking and observing man-made space object. Motor, motor driver and motion controller were up-graded for getting faster respond characteristic and active control available. Also, command signal was offered to the PID controller into motor driver as computed real orbiting information of objects using PC, and it's control period of command signal was reduced to the 20ms. As the result, slew speed of the mount system was in proved up to 18°/sec and respond speed of the system was faster than that of commercial system. Also, flipping state of image observed could be minimized by the up-graded system.

Keywords: satellite tracking, satellite observing system, space objects

1. 서 론

날로 급증하는 상용 및 군용 인공위성의 운용에 따른 지상과 우주에서의 우주물체 감시활동이 세계 열강들에 의해 지난 30여년간 꾸준히 진행되고 있다. 지상에서의 인공위성 추적 및 관측을 위한 대형 광학망원경 시스템으로는 미 공군이 운영하고 있는 AMOS(Air Force Maui Optical Station)

[†]corresponding author

1m급 망원경 시스템과 GEODSS(Ground-based Electro Optical Deep Space Surveillance) 1m급 망원경 시스템이 대표적이다. 최근에는 김출기의 급속적인 발전에 힘입어 캐나다의 CASTOR(Canadian Automated Small Telescope for Orbital Research)와 AMOS의 SATA(Small Aperture Telescope Augmentation) 시스템과 같은 25cm급 소형 망원경시스템이 개발되어 인공위성이나 소행성과 같이 별에 비해 상대적으로 빠른 움직임을 가진 우주물체를 추적, 관측하여 대상물의 이미지와 정밀궤도 자료를 획득하고 있다(Sydney et al. 2000). 또한, 미국 AFRL(Air Force Research Laboratory)에서 개발된 Raven 광학시스템 방식을 이용한 소형 인공위성 추적 및 관측시스템은 저가이면서 지구근접 우주물체의 정밀관측이 용이하고 시스템의 이동이 수월한 장점 때문에 점차 상용화되고 있는 추세에 있다.

빠른 움직임을 가진 인공위성을 효율적으로 관측하기 위해서는 구경이 큰 반면에 f 수가 작아 넓은 화각을 가져야 하고 실시간 정밀추적이 용이하도록 가대의 추적속도가 뛰어나야 한다(이동규 등 2001). 현재 상용화되어 있는 소형 천체관측용 시스템은 제어부와 구동부간 통신속도와 모터 제어 방식의 한계로 인해 저궤도 인공위성 추적시 부드러우면서도 연속적인 정밀 위치제어가 어렵다. 연속된 추적 신호명령을 주는 제어주기가 클수록 관측시 이미지의 flipping 현상이 두드러지게 되므로 저궤도 우주물체의 측광 및 분광관측이 어렵다.

이 연구에서는 Meade사의 LX-200 12인치 망원경시스템을 도입하여 소형 DC 모터를 무정류자 직류(BLDC, BrushLess Direct Current) 서보(servo) 모터로 교체하고, 이에 따른 제어부를 개조한 후 연속적인 정밀 위치 및 속도제어가 가능하도록 모터 구동드라이버로 전달되는 명령신호(command signal) 제어주기를 최소화하는 인공위성 관측용 제어/구동프로그램을 개발하였다. 저궤도 인공위성 추적시 이미지의 flipping 현상을 최소화함으로써 향후 저궤도 인공우주물체의 측광 및 분광관측이 훨씬 용이해질 것이다.

2. 시스템 개발

2.1. Hardware 개조

별과 같은 일반적인 천체관측과는 달리 저궤도어 위치한 인공위성 관측의 경우는 빠르게 움직이면서도 관측 위치와 시간대별로 가변속이 용이한 가대 제어방식이 필요하다. 정속운전에 주로 사용되고 있는 AC모터는 최근 인버터를 사용하여 가변속 제어가 용이하나 소형시스템의 속도제어용으로는 복잡하고 고가의 경비가 소요되어 효율적이지 못하다. 위치 및 속도제어가 용이하고 초기 구동력이 양호한 DC 모터는 최근 소형 천체관측용 시스템에 많이 사용되고 있으나 빠른 구동제어시 기계적인 잡음증가 문제로 인해 인공위성과 같이 빠른 물체의 추적에는 적합하지 않다. 또한 스텝핑(steppping) 모터의 경우는 제어 신뢰성이 뛰어나지만 고속 구동특성이 불량하고 관성부하 성능이 저조하기 때문에 인공위성의 추적에는 마찬가지로 부적합하다(e.g., 이왕현 1992).

상용 망원경으로 널리 보급되어 있는 Meade사의 LX-200 12인치 망원경시스템은 경위대 가대방식으로 구동되며 초당 6도로 비교적 빠른 구동속도를 가지고 있다. 그러나 이 시스템은 일반적인 천체관측에 목적을 둔 가대 시스템이기 때문에 소형 구동장치를 가지고 있으면서 추적속도 가변치를 7단계로 제한하고 있어 불규칙적인 속도로 움직이는 인공위성에 대한 연속적인 정밀추적을 위해서는 부적합하다. 저궤도 인공위성 관측의 경우 정밀한 궤적추적이 연속적으로 이루어지지 않아 이미

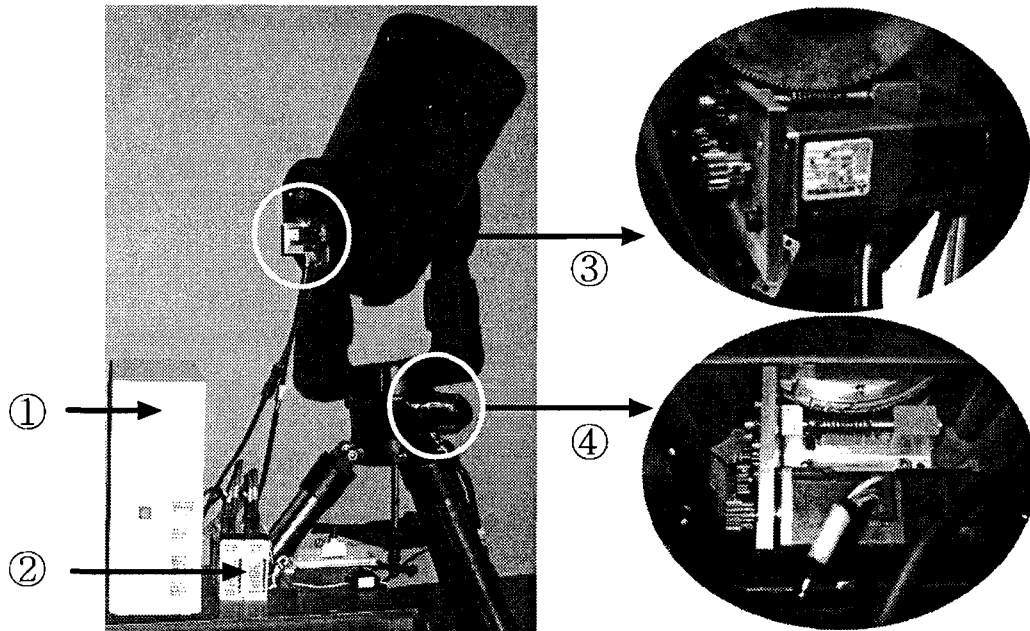


그림 1. 개발된 인공위성 추적 및 관측시스템. ① 모션컨트롤러가 내장된 제어용 컴퓨터, ② 모터드라이버 2채널(방위각, 고도), ③ Altitude Motor Unit, ④ Azimuth Motor Unit.

지의 flipping 현상이 발생하여 측광 및 분광관측이 어렵게 된다. 이미지의 flipping 현상이란 실제 인공위성의 궤적속도와 시스템의 추적속도가 실시간 동기 되지 않아 발생하는 것으로 관측시간 동안 이미지가 반복적으로 화각을 벗어나는 현상을 말한다. 명령신호 주기가 길어질수록 상호간 비동기 시간대가 많아지게 되므로 flipping 현상은 증가하게 된다. 또한, 상용시스템에 부착되어 있는 소형 DC 모터는 연속적인 통신명령과 가변적인 통신속도에 따라 정류자와 브러쉬 사이의 마찰에 의한 기계적인 잡음이 증가하여 회전각 오차가 누적되므로 추적정밀도가 떨어지고 빠른 속도로 추적하기가 어렵다.

이번 시스템 제작에서는 LX-200 12인치 2축 제어용 망원경시스템을 도입하여 저궤도상의 인공위성 추적을 보다 유연(smooth)하고 연속적(continuous)으로 정밀하게 수행할 수 있도록 그림 1과 같이 시스템의 구동부인 모터와 구동 드라이버, 그리고 제어부인 모션 컨트롤러(motion controller)를 구입하여 각각 교체하였고, 각 동력전달부(방위각, 고도)는 모두 설계 및 제작을 하였다. 모터 부분은 소형 DC 모터에서 브러시, 정류자 등 기계적인 접촉부를 들어내고 이것을 전기적으로 바꾸어 놓은 직류모터인 무정류자 직류모터로 교체하여 기계적 접촉에 의한 스파크(spark), 회전소음과 같은 잡음 현상을 제거하였다. 또한, 빈번하게 변화하는 인공위성의 위치나 속도 명령에 대해서 실시간 유연하고 신속하며 정확하게 추종할 수 있도록 설계되어 있는 서보시스템을 추가로 도입하였다. 무정류자 직류 서보모터는 기동 회전력(torque)과 출력효율이 우수하고 가변속 위치 및 속도제어에 유용하며 인가전압에 대하여 회전특성이 직선적으로 비례하는 특성을 가지고 있다(이왕헌 1992).

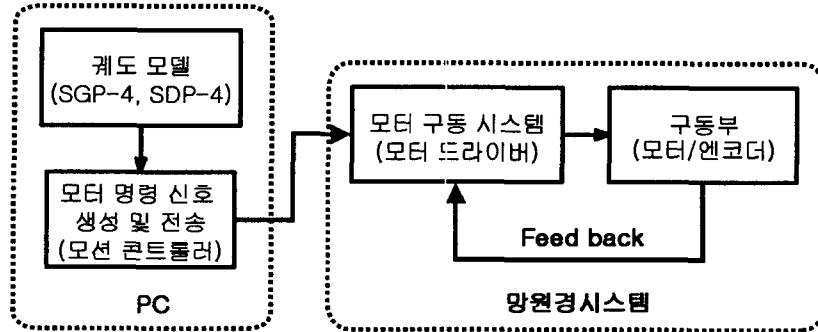


그림 2. 인공위성 추적 및 관측용 시스템 구성도.

그림 2는 시스템의 전반적인 구성도를 나타낸 것이다. 모터드라이버는 시스템을 제어하는 가장 하부구조로서 모터를 직접 제어하는 장치이다. 모터의 초기 응답특성과 가변속 제어능력 향상을 위해 비례, 미분 및 적분동작의 3가지 조합으로 모터를 제어하여 실제 목표값과의 편차를 최소화하고 응답속도를 향상시켜 신속히 목표값에 정밀하게 추종할 수 있도록 비례미적분(PID, Proportional Integral Differential) 논리 제어방식을 도입하였다. 모터드라이버 내에 궤환(feed back) 시스템이 구성되어 있어 제어프로그램이 이를 직접 담당할 필요가 없으므로 PC의 부하를 줄여 더욱 빠른 모터의 제어가 가능하다. PC는 단지 인공위성의 변위량만 계산하여 모션컨트롤러에 명령을 전달하는 역할을 담당하게 되므로 향후 프로그램의 개선이 용이하다. 또한, 기존의 LX-200 시스템은 구동특성상 주기오차가 누적되는 단점을 가지고 있었으나 개조한 서보드라이버는 시스템의 역행(backlash) 보상 기능이 추가로 내장되어 있어 시스템의 주기오차를 최소화시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다(e.g., 정장해 등 2000).

모션컨트롤러는 모터 드라이버를 제어하고 감시하는 장치로서 인공위성의 궤보기 궤도에 따른 시스템의 고속제어가 용이한 내장형을 채택하였다. 내장형은 인터페이스의 충돌 가능성을 내재하고 있으나 구동제어판(motion control board)의 인터페이스 회로와 PC의 프로세서 및 버스를 통하여 직접 연결되므로 자료 통신능력이 우수하여 외장형보다 인공위성 추적시 더 적합하다고 판단된다.

2.2 Software 개발

저궤도 인공우주물체의 정밀 추적, 관측을 위해 기존의 LX-200 12인치 망원경시스템의 구동부 및 제어부를 개조하면서 이미지의 연속적인 실시간 제어가 가능하도록 제어 및 구동프로그램도 개발했다. 현재 상용화되어 있는 대부분의 인공위성 추적용 제어 프로그램의 명령신호 주기는 최소 500ms를 가지고 있어 관측시간대 동안 지속적으로 속도가 변화되는 인공위성을 관측시 이미지의 flipping 현상이 두드러지게 된다(e.g., Boshart 2002). 따라서 분광관측시 슬릿내 대상물의 지속적인 위치 유지가 어려우므로 이번 개선된 시스템에서는 모션컨트롤러와 모터드라이버 사이의 모터 명령신호 제어주기를 최소 20ms까지 줄일 수 있게 했다.

인공위성 궤도계산 수치모델 자료는 북미방공사령부(NORAD, NORth american Aerospace Defense command)에서 제공하는 SGP-4 모델과 SDP-4 모델을 이용했다. SGP-4는 저궤도 인공위성용 궤도계산 모델로서 섭동요소로 중력효과와 대기 저항력 효과를 고려하였다. SDP-4는 고궤도 인공위

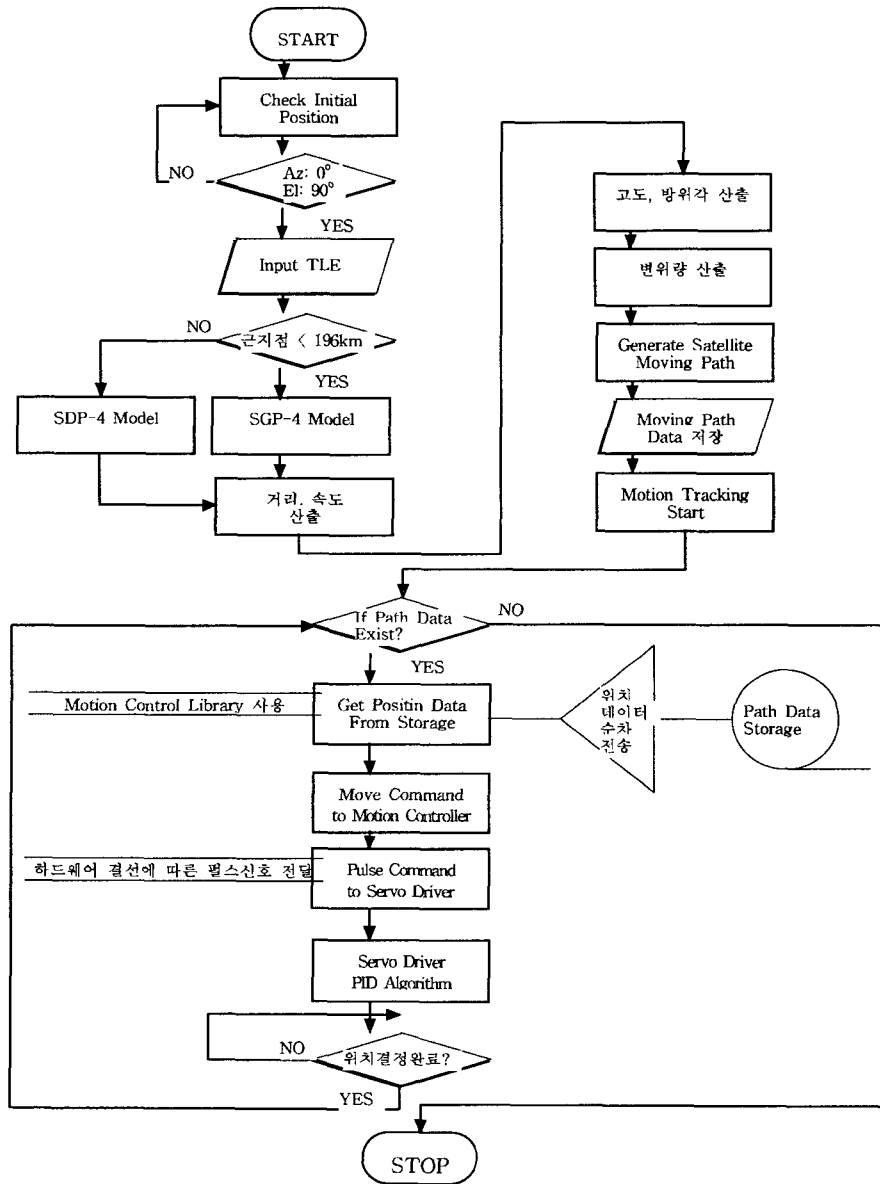


그림 3. 개조한 인공위성 관측시스템의 플로우차트.

성을 위한 프로그램으로 달과 태양에 의한 섭동력까지 추가로 고려된 모델이다(Hoots et al. 1988). 기존의 궤도계산 프로그램은 FORTRAN이나 PASCAL, 또는 C 언어로 대부분 작성되어 있으나 이번 연구에서는 궤도계산 및 제어프로그램 모두를 Visual Basic 언어로 제작했다. Visual Basic은 윈도우 환경에 적합한 그래픽 사용자 연결(GUI, Graphic User Interface) 프로그램의 제작이 용이하고 사용자에게 의한 프로그램 해석 및 분석이 쉬워진다는 장점이 있다.

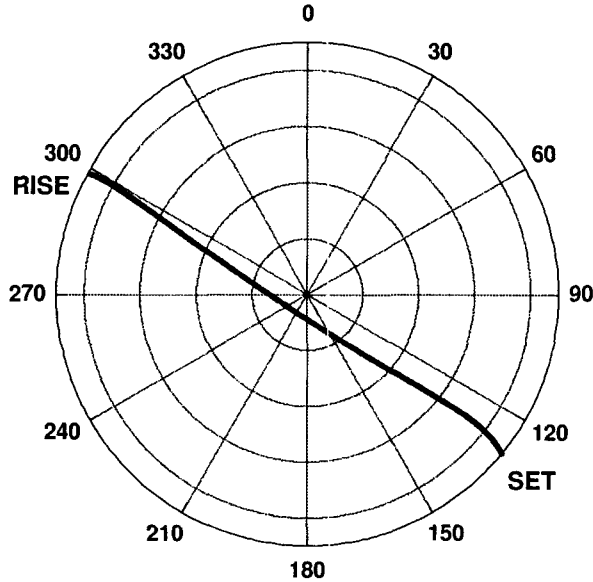


그림 4. 경희대학교 관측소에서 시현된 ISS 궤적(관측자료: ISS. 2003.1.13. 19:25:51 관측, Long. 127°04'54.6'', Lat. 37°14'19.1'').

그림 3은 인공위성 추적 및 관측시스템 전반에 걸친 순서도를 나타낸 것으로 실시간 인공위성의 궤도계산에 의한 방위각과 고도를 산출해 낸 후 이를 바탕으로 계산된 변위값은 모션컨트롤러를 통해 무정류자 직류 서보드라이버에 전달되어 모터를 구동시키게 된다. 인공위성을 포함한 천체 관측용 망원경시스템은 망원경의 초기 위치를 정확하게 파악할 수 있는 초기화(initialization) 작업이 중요하다. 이번 연구에서는 무정류자 직류 서보드라이버에 절대치 엔코더(encoder) 대응기능을 추가하여 망원경의 초기화 작업을 자동적으로 수행하게 하였다. 초기 위치는 항상 방위각이 0°, 고도는 90°가 되도록 설정하였다.

인공위성 관측시스템의 추적정밀도는 PC 프로세서의 계산속도와 모션컨트롤러의 제어주기, 무정류자 직류 서보드라이버의 제어방식과 모터 응답속도, 그리고 엔코더의 정밀도 등에 좌우된다. 빠른 궤도계산을 위해 이번 연구에서는 2G급의 PC CPU를 채용했다. 궤도계산은 일반적으로 C나 C++ 언어의 배열이나 포인터를 이용하여 계산하는 것이 처리속도가 빠르나 사용자가 프로그램을 분석하는데 많은 어려움이 따른다. 2G급 PC 정도로 CPU 속도가 충분히 빠른 것을 채택하면 Visual Basic으로도 만족스러운 결과를 얻을 수 있다. 또한, 그림 2에서처럼 CPU의 부담을 줄이기 위해 PC는 궤도계산만 담당하고 모터의 궤환기능은 모터드라이버가 담당하도록 폐회로(Closed Loop) 제어 방식으로 구동프로그램을 개발하였다.

내장형 모션컨트롤러의 제어주기는 사용하는 PC의 운영체제에 따라 수십 milli sec은 물론 수 milli sec 이하까지도 낮출 수 있다. 기존의 LX-200 12인치 망원경 시스템의 주 용도는 일반 천체 관측용이었기 때문에 이 시스템을 이용하여 인공위성을 관측할 때는 구동 명령을 연속적으로 주는 변칙적인 방법을 사용하였다. 이러한 경우 시스템 통신상에 과부하가 걸리게 되고 망원경의 전자부에

표 1. 기존 구동부와 교체된 구동부의 성능 비교.

| 구분 | 기존의 구동부 | 교체된 구동부 | 비고 |
|---------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| 모터종류 | 소형 DC 모터 | BLDC Servo 모터 | |
| 평균출력 | 2W | 100W | 50배 향상 |
| 구동 제어방식 | PWM 방식 | PWM 방식 | |
| 엔코더 정밀도 | 200pulse/rotation | 131,072pulse/rotation | 655배 향상 |
| 엔코더 분해능 | 36"/pulse | 0.0046"/pulse | 7820배 향상 |
| 회전속도 | 12000rpm | 3000rpm | |
| 평균토크 | 0.0042Nm | 0.32Nm | 76배 향상 |
| 기어비 | 180 : 64 | 180 : 5.57 | 웬기어 이후 : 웬기어 이전 |
| 최종 출력토크 | 24.2Nm | 160.4Nm | 6.6배 향상 |
| 구동속도 | 6.25°/sec | 17.95°/sec | 2.87배 향상 |

상당한 무리를 가하게 된다. 현재 LX-200 망원경시스템을 이용한 상용 인공위성 추적프로그램의 제어 주기는 500ms에서부터 1000ms 정도로서 관측시간대 동안 계속하여 가감속 운동을 하고, 특히 천정부근에서 매우 빠른 각속도를 가지는 인공위성의 실시간 추적에는 한계가 있어 이번 연구에서는 명령신호 제어주기를 20ms 이하까지 조정할 수 있도록 하드웨어를 교체하고 이에 맞는 제어 및 구동프로그램을 제작하였다.

서보드라이버는 PID Logic 제어방식 도입과 자체 궤환기능을 추가하여 PC의 부하를 줄여 빠른 모터제어가 가능하도록 하였다. 제어프로그램은 그래픽 사용자 연결 환경에 강한 Visual Basic으로 제작했으며 모션 컨트롤러의 특정한 번지에 명령을 전달하는 것은 Visual C++을 이용하여 동적 링크 라이브러리(DLL, Dynamic Link Library)를 제작하였다. 즉, 전체 사용자 인터페이스 프로그램은 Visual Basic으로 제작하였으며 모터제어는 Visual Basic에서 동적 링크 라이브러리를 호출하여 제어하는 방식을 취했다. 이 방식은 향후 프로그램의 개선과 계산 알고리즘 변경시 제어 및 구동프로그램은 다시 수정할 필요가 없으므로 매우 편리하다.

인공위성 추적 정밀도는 모터에 지령을 내렸을 때 그 명령을 완료하는 시간인 모터 응답속도에도 좌우된다. 이번 연구에서 채택한 모터 구동방식은 기본적으로 펄스폭 변조(PWM, Pulse Width Modulation) 방식이며 서보드라이버에 의해 위치와 속도제어를 하게 된다. 이 제어에는 비례미적분 논리회로가 내장되어 있고 비례미적분 제어에 의해 PC에서 계산된 인공위성의 변위값이 전달되면 무정류 직류 서보드라이버는 최대한 전압을 끌어올려 모터속도를 최단시간에 목표값에 도달하게 한다.

표 1은 LX-200 12인치 기존 망원경 시스템의 사양과 개조 후 시스템 사양을 비교한 것이다. 기존의 LX-200 12인치 시스템의 엔코더 정밀도는 200pulse/rotation으로 웬기어의 축에 엔코더가 달려있는 시스템이어서 1pulse 당 망원경은 36"를 회전하게 된다. 이번 연구에서 도입한 모터의 엔코더 정밀도는 131,072pulse/rotation으로 모터 축에 엔코더가 달려 있어 분해능은 더 높아지게 되어 1pulse 당 망원경은 0.0046"가 회전하게 되므로 위성 추적시 망원경의 제어를 좀더 세분화하여 정밀하게 제어할 수 있게 되었다. 또한, 교체한 모터의 출력토크가 매우 크기 때문에 기어비를 줄임으로써 망원경의 구동속도를 약 2.9배 향상시킬 수 있었다. 최종 출력토크는 모터의 평균토크에 총 기어비와 웬기어 효율(0.5)을 곱한 값이다.

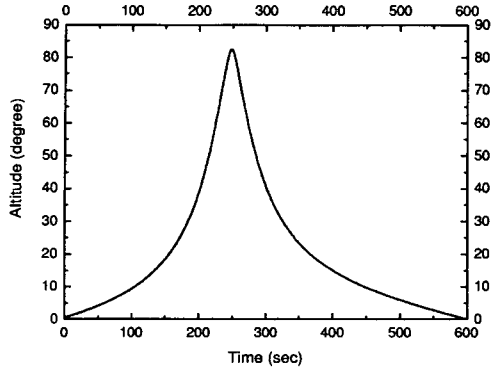


그림 5. ISS의 고도 변화.

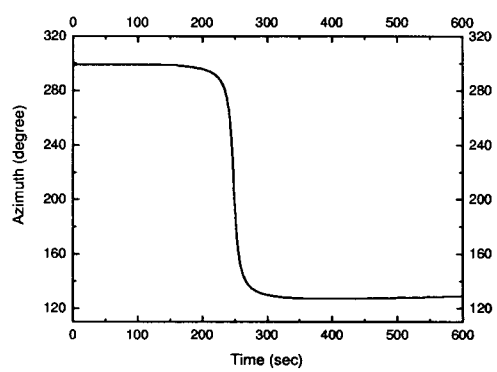


그림 6. ISS의 방위각 변화.

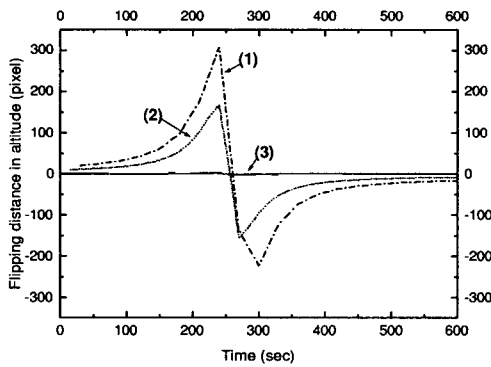


그림 7. 고도 Flipping 거리.

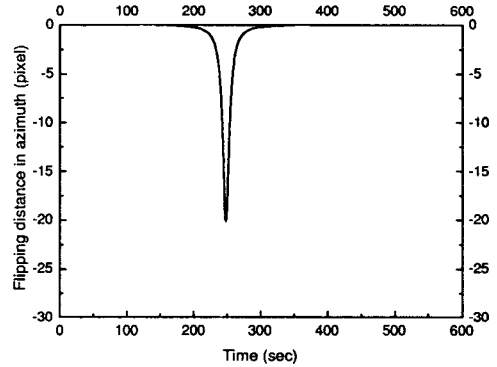


그림 8. 방위각 Flipping 거리.

3. 시스템의 기대성능

Meade사의 LX-200 12인치 기존 망원경시스템에서 무정류 직류 서보모터로 교체하고 PC에 모션컨트롤러를 내장 후, 개발된 제어프로그램을 이용하여 모터의 명령신호 주기를 1000ms, 500ms, 20ms로 각각 변화시키면서 위성관측 가능시간대 동안 인공위성의 궤적오차를 계산하여 상호 비교해 보았다. 궤도계산을 위한 대상 인공위성은 ISS(International Space Station)로 그림 4에서와 같이 600sec 동안 경희대학교 인공위성 관측지 좌표상에서 시험 되었다.

그림 5와 그림 6은 관측 가능시간대 동안 관측지 상에서의 인공위성의 고도와 방위각 변화를 나타낸 것으로 그림의 중간 부분은 위성이 관측지 천정부근을 지날 때이므로 급격한 변위 양상을 보이고 있다. 그림 7과 그림 8은 명령신호 제어주기를 상용시스템이 주로 사용하고 있는 ① 1000ms, ② 500ms인 경우와 이번에 개선된 시스템에 주어진 ③ 20ms인 경우로 각각 주었을 때 관측 시간대 동안 이미지의 flipping 현상에 의해 나타난 고도와 방위각별 오차 각거리 값들을 나타낸 것이다. 각각의 +, -값은 flipping의 방향을 나타낸다. 그림 7에서 상용시스템의 500ms 제어주기 보다 개선된 20ms

제어주기 시스템은 최대 약 55배 향상된 정밀도를 가짐을 볼 수 있다. 그림 4에서와 같이 ISS 위성이 천정 궤적 부근을 지날 때는 시스템의 방위각 축 변화율이 최대 $11^\circ/\text{sec}$ 까지 이르러 기존의 상용시스템의 구동속도인 $6^\circ/\text{sec}$ 를 가지고는 추적이 되지 않으므로 1000ms과 500ms은 그림 8에서 제외되고, 구동속도가 $18^\circ/\text{sec}$ 로 개선된 시스템을 이용했을 경우인 20ms 제어주기일 때의 오차각만 측정하였다. 천정부근으로 접근할 때와 멀어질 때가 천정부근에서보다 상대적으로 위성의 시야 이동거리가 작기 때문에 오차량이 적게 나타나고 있다. 또한, 명령신호 제어주기가 단속적으로 주어질수록 위성 이미지의 flipping 현상이 작아지게 되므로 동일한 CCD 화각 범위내에서 대상을 연속적으로 관측할 수 있는 확률이 커진다.

연속적으로 동일한 범위내에 대상물이 위치하게 되면 측광관측은 물론 분광관측시 대상물을 슬릿내에 지속적으로 위치시키기가 매우 유리하게 될 것이다. LX-200 12인치 f/10인 망원경에 AP-6E 1K×1K CCD 카메라와 SBIG(Santa Babara Instrument Group) 분광기를 부착하였을 경우 모터의 명령신호 제어주기별로 CCD 화각내에서의 flipping 오차범위를 비교해 보았다. 계산된 CCD 화각은 $27.75' \times 27.75'$ 이고 CCD 칩 크기는 $24.6\text{mm} \times 24.6\text{mm}$ 으로 1pixel 당 $24\mu\text{m}$ 을 차지한다. 그러므로 1pixel 당 화각은 $1.626''$ 를 나타내고 $100\mu\text{m}$ 분광 슬릿을 사용시 CCD의 4.166pixel에 해당한다. 따라서 명령신호 제어주기를 각각 1000ms, 500ms, 20ms로 주었을 때 계산된 최대 이미지 떨림 양은 각각 341.5pixel, 170.6pixel, 6.25pixel로 나타났다. 1000ms, 500ms 제어주기일 경우 분광관측시 슬릿폭보다 각각 최대 82배, 41배나 크게 벗어나게 된다. 그러나 20ms의 경우는 최대 오차량이 6.25pixel에 불과하고 실제 관측시 위성의 상 크기가 슬릿폭 보다는 크므로 관측 가능시간대가 짧게 제한되어 있는 저궤도 인공우주물체에 대한 분광관측시 훨씬 용이하리라 판단된다.

4. 결론 및 토의

기존의 소형 망원경시스템을 이용하여 저궤도 인공위성을 관측시 나타나던 CCD 화각내 대상물의 이미지 flipping 현상을 크게 줄임으로써 저궤도 인공위성의 측광 및 분광관측이 훨씬 용이할 것이다. CCD 화각내에서 점상으로 대상물을 지속적으로 추적할 수 있도록 제어프로그램을 개발하여 명령신호 제어주기를 최소화하였고 이에 따른 시스템의 제어부 및 구동부를 개조하였다. 그 결과 표 1에서처럼 기존의 LX-200 12인치 망원경시스템 보다 향상된 엔코더 분해능과 구동속도를 가지면서 명령신호 제어주기가 기존에 최소 500ms이었던 것을 25배 향상된 20ms까지 가능하게 되었다. 이미지 flipping 현상에 의한 오차범위도 기존의 모터 명령신호 제어주기가 500ms 경우 최대 341.5pixel이었던 것을 20ms에서는 6.25pixel까지 줄일 수 있어 약 55배 향상된 시스템 추적정밀도를 가지게 되었다.

이 논문에서는 개발된 시스템의 예상되는 기대 성능을 기존의 시스템과 비교 계산해 본 것이다. 교체한 모터의 구동드라이버 내에는 모터 출력값에 대한 궤환 시스템이 구성되어 있고, 또한 구동기어의 역행 보상기능이 추가로 내장되어 있어 망원경시스템의 주기오차를 어느 정도 감소시킬 수 있을 것이다. 그러므로 개선된 시스템 자체만의 검증 절차는 의미가 없다고 판단되고, 향후 인공위성에 대한 실제관측을 통하여 시스템 검증작업은 수행이 되어야 할 것이다.

정밀한 추적시스템 개발을 통한 인공우주물체의 측광 및 분광관측을 성공적으로 수행하기 위해서는 우선적으로 실시간/근실시간으로 제공되는 인공위성 궤도예측 자료의 정확성과 정밀성이 어느

정도 인지가 중요한 변수로 작용한다. 인공위성에 미치는 섭동력 요소가 많이 반영된 궤도계산 모델일수록 실제 관측시의 인공위성 궤적경로와 가까워지게 된다. 현재 북미방공사령부에서 제공되는 SDP-4 모델 및 SGP-4 궤도계산 모델을 사용하고 있으나 개발된 시스템 제어프로그램은 향후 개선될 어느 계산프로그램과도 호환이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 개발된 제어 및 구동 프로그램과 무정류 직류 서보모터 하드웨어 시스템은 기존의 천체관측용 망원경에 모두 적용이 가능하고, 또한 모터의 교체가 용이하여 향후 인공위성 관측용 대형시스템 제작에도 쉽게 응용이 가능하리라 판단된다.

감사의 글: 이 연구는 경희대학교 인공위성관측소(KOSOF, KyungHee Optical Satellite Observing Facility)의 도움을 받아 수행되었음을 밝힙니다.

참고 문헌

- 이동규, 김상준, 한원용, 박준성, 민상웅 2001, 한국우주과학회지, 18, 101
이왕현 1992, 모터제어기술 (서울: 성안당), 69
정장해, 이용삼, 이충욱 2000, 한국우주과학회지, 17, 45
Boshart, B. 2002, Satellite Tracker Software for Satellite Observing (Ontario: Heavenscape), 35
Hoots, F. R., Roehrich, R. L., & Kelso, T. S. 1988, Models for Propagation of NORAD Element Sets (CO: NORAD Press), 15
Sydney, P. F., Africano, J. L., Fredericks, A., Hamada, K. M., SooHoo, V., Nishimoto, D. L., Kervin, P. W., Bisque, S., & Bisque, M. 2000, SPIE, 4091, 237