

정지궤도 회전안정화 위성의 자전주기 추정[†]

이동규^{1‡}, 김상준¹, 한원용², 박준성¹, 민상웅¹

¹경희대학교 우주과학과 인공위성관측팀

²한국천문연구원

SPIN PERIODS ESTIMATION OF GEOSTATIONARY SPIN-STABILIZED SATELLITES[†]

D. K. Lee^{1‡}, S. J. Kim¹, W. Y. Han², J. S. Park¹, S. W. Min¹

¹KOSOF, Dept. of Astronomy & Space Science, Kyung Hee Univ., 449-701, Korea

²Korea Astronomy Observatory

E-mail: leedq@space.kyunghee.ac.kr

(Received February 3, 2002; Accepted February 17, 2002)

요 약

경희대학교 천문대의 30인치 망원경을 이용하여 한반도 상공에서 관측이 가능하고 현재 운용중인 정지궤도 및 Molynia 궤도 회전안정화위성 5기를 대상으로 측광관측을 시도하여 위성체의 버스모델별 자전주기를 알아보았다. 제작사별로 공개된 3기의 회전안정화위성에 대한 자전주기를 지상관측을 통하여 최초로 검증하였고 알려지지 않은 2기의 회전안정화위성에 대해서도 자전주기를 추정하였다. 공개된 자전주기는 ASIASAT 1과 THAICOM 1이 1.09초, JCSAT 2가 1.71초였고 관측결과 얻어진 자전주기는 각각 0.95, 1.06, 1.73초로 평균 0.06초의 차이를 보였다. 자전율로 환산하면 공개된 ASIASAT 1과 THAICOM 1이 55rpm, JCSAT 2가 35rpm이고 관측결과로 구한 자전율은 각각 62.9, 56.5, 34.6rpm으로 평균 3.3rpm의 차이가 나타났다. 검증결과 정지궤도 회전안정화위성의 자전을 운용에 따른 허용 오차범위인 수 rpm내를 모두 만족하였다. 알려지지 않은 Fengyun 2B와 Molynia 1-87 위성의 자전율은 각각 89.3rpm, 78.4rpm으로 관측되었다. 회전안정화위성의 자전주기 연구는 단주기 펄스를 갖는 우주물체에 대한 비교광원 결정에 유용하게 활용될 수 있으며 인공위성의 측광 및 분광관측과 더불어 위성 특성별 데이터 베이스를 구축하는데 도움이 될 것이라 판단된다.

ABSTRACT

Optical observations of Geostationary and Molynia orbit spin-stabilized satellites over the Korean peninsula have been carried out at the Kyung Hee University Observatory with a 30 inch telescope. We have observed 5 spin-stabilized satellites, and obtained spin periods, which can be used for deducing a design for each bus model. Verifications of spin periods of 3 known satellites from manufacturer, and observations of 2 unknown satellites were made. The difference between known spin periods and observed spin periods is 0.06sec on the average and the difference of those spin rates is

[†]이 연구의 일부는 한국천문연구원 위탁과제의 도움을 받아 수행되었음.

[‡]corresponding author

3.3rpm on the average. Those results indicate that spin periods and spin rates of observed geostationary spin-stabilized satellites are within operating limits. Spin rates of unknown satellites, Fengyun 2B and Molynia 1-87 are 89.3rpm, 78.4rpm each. It is suggested that the research of spin stabilized satellites can be used for the determinations of standard light sources for short period celestial objects and helpful for the constructions of satellite databases with photometric and/or spectroscopic satellite observations.

Keywords: geostationary satellites, photometric observation, spinning satellites

1. 서 론

경희대학교 천문대의 30인치 망원경을 이용하여 한반도 상공에서 관측이 가능하고 현재 운용 중인 정지궤도 및 Molynia 궤도 회전안정화위성 5기를 대상으로 측광관측을 시도하여 위성체의 버스 모델별 자전주기를 알아보았다. 알려지지 않은 인공위성의 궤도 및 제반 정보를 획득하기 위한 인공위성의 측광관측은 1960년대부터 미국과 러시아를 중심으로 꾸준히 진행되어 오고 있으나 아직까지 상세한 데이터 정보의 공개는 제한되고 있는 실정이다.

인공위성의 관측은 우주잔해물 식별 및 분류 연구와 더불어 수행되어 왔고 초기의 광학관측은 주로 위성의 이미지관측에 초점을 두었다. 저/중궤도 인공위성의 측광을 통해 위성표면의 미세구조, 마감처리 특성, 위성의 역학적인 운동과 같은 상세한 위성정보를 알아낼 수 있고 위성의 전반적인 신호정보를 축적하여 상호 비교분석 함으로써 위성별 식별 및 분류가 가능하다(Kissell & Vanderburgh 1971). 1980년대 들어 GEODSS(Ground Based Electro-Optical Deep Space Surveillance) 체계가 구축되면서 인공위성의 식별 및 분류를 위해 레이저, 광학, 적외선 등 광학계시스템을 이용한 정밀관측이 수행되게 되었다. 인공위성의 재질에 따른 반사능을 기초로 하여 밝기를 관측한 후 위성의 크기를 결정하기 위한 연구도 진행이 되었다(Lambert 1993, Potter 1995).

저궤도 인공위성과 같이 빠른 움직임을 가진 우주물체의 관측을 위해서는 구경이 큰 반면 F수가 작으면서도 빠른 구동속도를 가진 시스템이 요구되며, 최근 광학과 검출기 분야 기술의 급성장에 힘입어 소형 망원경을 이용한 저궤도 인공위성의 이미지 관측과 고궤도 인공위성과 같이 어두운 물체를 대상으로 한 측광관측이 현재 마우이 공군기지과 캐나다 국방대학 연구소에서 진행 중에 있다(Crawford et al. 2000).

정지궤도 회전안정화위성에 관한 연구는 Giles & Hill(1988)이 Video CCD 카메라를 사용해 2기의 위성에 대한 자전주기를 관측을 통해 구한 것 외에는 아직까지 공개된 바가 없다. 1990년대 초까지 정지궤도 인공위성의 자세제어 방식은 실린더 형태의 위성본체를 빠르게 회전시켜 궤도상에서 자세제어와 자세안정을 취하게 하는 회전안정화위성이 대부분이었다. 회전안정화위성은 제작사별 버스모델의 종류에 따라 대략 50-100rpm(revolution per minute) 이내로 임무 중에는 일정한 자전주기를 유지하게 된다(Pattan 1993). Giles & Hill(1988)은 중성자별이나 새롭게 발견되는 블랙홀의 단주기 펄스를 좀더 명확히 알아내기 위한 비교광원으로 정지궤도상의 회전안정화위성을 제안하였고, 회전안정화위성의 자전주기 관측을 통해 위성체 외부의 구조체 형태를 밝히기도 했다. 최근에 들어

표 1. 회전안정화위성의 자전율(Giles & Hill 1988).

인공위성이름	임무	운용국	버스종류	발사연월일	수명(년)	위치 (경도)	자전율 (rpm)	자전주기 (sec)
ASIASAT 1	통신	중국	HS-376	1990/04/07	9	122E	55	1.0909
THAICOM 1	통신	태국	HS-376L	1993/12/18	13.5	120E	55	1.0909
JCSAT 2	통신	일본	HS-393	1990/01/01	10	154E	35	1.7143
Fengyun 2B	기상	중국	미공개	2000/06/25	미공개	105E	미공개	미공개
Molynia 1-87	통신	러시아	미공개	1993/12/22	미공개	미공개	미공개	미공개

서는 더 큰 태양전지판을 부착하여 안테나의 송신파워를 높일 수 있는 3축 위성 제어방식의 운영 추세로 가고 있지만 중국과 인공위성 발사 신생국들은 아직도 회전안정화위성을 주로 사용하고 있다.

정지궤도와 Molynia 궤도상의 회전안정화위성에 대한 자전주기 및 일반제원은 중국과 러시아를 비롯한 몇 개국에서는 상세히 밝히지 않고 있어 지상에서의 측광관측을 통해 위성 제반정보를 알아낼 수가 있으며 분광관측과 더불어 각 위성체의 물리적, 화학적 특성을 파악함으로써 국가별, 임무별로 인공위성의 데이터 베이스 구축이 가능할 것으로 판단된다(이동규 등 2001).

이 논문에서는 현재 운용중인 Hughes사의 회전안정화위성에 대한 모델별 자전주기를 지상관측을 통해 검증하고, 이를 바탕으로 알려지지 않은 회전안정화위성의 자전주기를 알아보고자 한다.

2. 회전안정화위성 관측자료

본 연구에서는 30인치 망원경을 이용하여 2001년 9월에서 2002년 1월 사이에 한반도 주변상공에서 관측이 가능하고 현재 임무중인 정지궤도 회전안정화위성 총 9기와 Molynia 궤도 회전안정화위성 M-1 시리즈 총 5기 중에서 통신위성 4기와 기상위성 1기를 대상으로 측광관측을 수행하였다. 관측에 사용된 망원경은 f/7로서 관측가능 한계등급이 18등급이고 1K CCD 카메라를 사용하였다. 표 1에서와 같이 이번에 관측한 회전안정화위성은 제작사와 운용국에서 버스모델별로 자전주기가 공개된 인공위성 3기와 자체 제작하여 자전주기를 공개하지 않은 중국의 기상위성과 러시아의 군용통신위성 각 1기씩이었고 겉보기 등급은 모두 16등급 내외였다. 자전율은 위성 제작사에서 밝힌 대략적인 평균 자전율로 아직까지 지상에서 관측을 통해 검증된 자료는 공개되지 않았으며 수 rpm의 오차범위 내로 임무기간 동안 항상 일정하게 유지되도록 지상에서 통제된다. 정지궤도 인공위성의 경우도 태양복사압, 중력, 지구자기장 등 섭동력에 의한 토크가 인공위성의 자세 유지 및 안정에 많은 영향을 미칠 수 있으므로 회전안정화위성의 경우 스핀율이 큰 것이 인공위성의 자세유지를 위해 도움이 된다(Pattan 1993).

인공위성 궤도자료는 NORAD(North American Aerospace Defense Command)에서 제공하는 최신 궤도요소자료(TLEs: Two-Line Elements)를 이용하였고 인공위성 추적을 위하여 인공위성 전용 스케줄 프로그램인 C-Sat(Dantowitz & Kozubal 1997)을 사용하였다.

인공위성의 식별은 인공위성이 지나갈 위치에서 우선 망원경이 별을 추적하게 한 다음 인공위성이 선으로 나타나면 즉시 망원경이 인공위성을 추적하여 점으로 식별되게 가대의 추적방식을 전환하였다. 점으로 나타난 인공위성은 인공위성의 진행방향을 고려하여 화각의 끝 부분으로 위치시킨 후 노출과 동시에 다시 인공위성이 선으로 나타나게 하여 노출시간 동안 화각 안에 머무르게 하여 이미

지를 선으로 획득하였다.

노출시간은 회전안정화위성의 자전율이 평균적으로 50-100rpm 정도이고 주 망원경 화각범위인 $17' \times 17'$ 안에 머무를 수 있는 시간을 고려하여 15초에서 30초의 노출시간을 적용하였다. 짧은 노출 시간 동안 어두운 회전안정화위성의 S/N비를 높이기 위해 2회 이상 관측을 통하여 데이터 처리후 각각의 FFT(Fast Fourier Transform) 수행 결과를 합쳐 자전주기를 구하였다(OriginLab Corporation 2000). 데이터 처리를 위해 CCDSoft(Software Bisque 2001) 및 IRAF (Image Reduction and Analysis Facility)를 사용하였다(IRAF Programming Group 2000).

3. 데이터 분석

정지궤도 회전안정화위성의 경우 시간에 따른 광도변화 이미지를 선으로 획득하기 위하여 노출 시간을 화각을 고려하여 30초로 제한하였고 1K CCD 카메라를 사용하여 시간분해능은 약 0.0625초였다. Molynia 1-87 위성은 노출시간을 15초로하고 이때 시간분해능은 0.0421초였다. 회전안정화 위성별로 2회 이상 관측하여 각각의 데이터 결과를 상호 비교하였다. 표 1은 관측한 인공위성의 버스 종류와 자전율을 나타낸다. 그림 1은 위성별로 각각 하나씩을 선택하여 FFT를 수행한 후 얻어진 자전주기율을 10초 동안의 광도곡선 그래프에 표시한 것이다. THAICOM 1은 자전주기가 FFT 수행 결과와 정확히 일치가 되지 않아 3회 관측을 하였고 나머지 위성들은 결과가 양호했다. S/N비와 시간분해능이 낮아 단독 FFT 수행 결과에서 얻은 위성체의 다른 미세구조에 대한 주기의 식별은 그래프 상에서 불가능했다. 위성별 단독 FFT 수행 결과 얻어진 자전주기는 그림 1에 포함되어 있다.

그림 2는 위성별로 각각의 관측 데이터를 0.1초씩 binning한 후 단독 FFT 프로그램 수행 결과를 다시 위성별로 합쳐 S/N비를 크게 하여 더욱 정밀하게 자전주기를 구하기 위해 높은 주파수 영역들을 표시한 것이다. 회전안정화위성의 외부 구조체상에서 가장 높은 주파수 파워를 가진 부분은 원통형의 본체를 감싸고 있는 태양전지판의 셀 조각들로서 가장 반사능이 뛰어나며 그 다음 높은 주파수 영역들은 위성본체에 대칭, 또는 비대칭으로 달려있는 안테나 뿔, 와이어, 제트가스 분사구 등 외부 미세구조체의 특성에 따른 주파수 영역으로 위성의 자전주기보다는 모두 짧게 나타나게 되고 반사능도 태양전지판 보다 낮게 나타난다. 회전안정화위성의 자전주기는 제일 높은 주파수 파워를 가지고 가장 짧은 주파수대를 나타내는 곳이 되고 나머지 높은 주파수 영역들은 위성체의 미세구조를 반영한 것이다. 회전안정화위성 대부분이 16등급 내외로 S/N비가 낮아 관측마다 약간의 데이터 차이를 보이고 있어 단독 FFT 수행 결과를 다시 합친 후 얻어진 가장 높은 주파수 영역을 자전주기로 환산하였다.

표 2는 관측 결과 얻어진 회전안정화위성의 자전주기와 위성 제작사에서 공개한 자료를 상호 비교한 결과를 나타내고 있고 최종적인 위성별 자전주기는 위성별로 관측한 데이터의 단독 FFT 수행 결과를 모두 합쳐서 결정한 것이다. 표 2에서 자전주기를 T 로, 자전율을 P 로 표시하였다. 제작사에서 공개한 위성 자전주기에 대하여 이번 관측을 통해 얻어진 검증결과는 ASIAT 1은 제작사에서 공개한 자료보다 자전주기가 약 0.137초 적게, THAICOM 1은 약 0.029초 적게 나왔으나 JCSAT 2는 약 0.018초 많게 나왔다.

정지궤도상에 있는 인공위성도 태양 복사압, 지구자기장과 같은 섭동력의 영향을 받아 자전주기가 시간이 지남에 따라 느려지게 된다. 관측한 회전안정화위성들은 현재 운용중인 위성들로서 임무

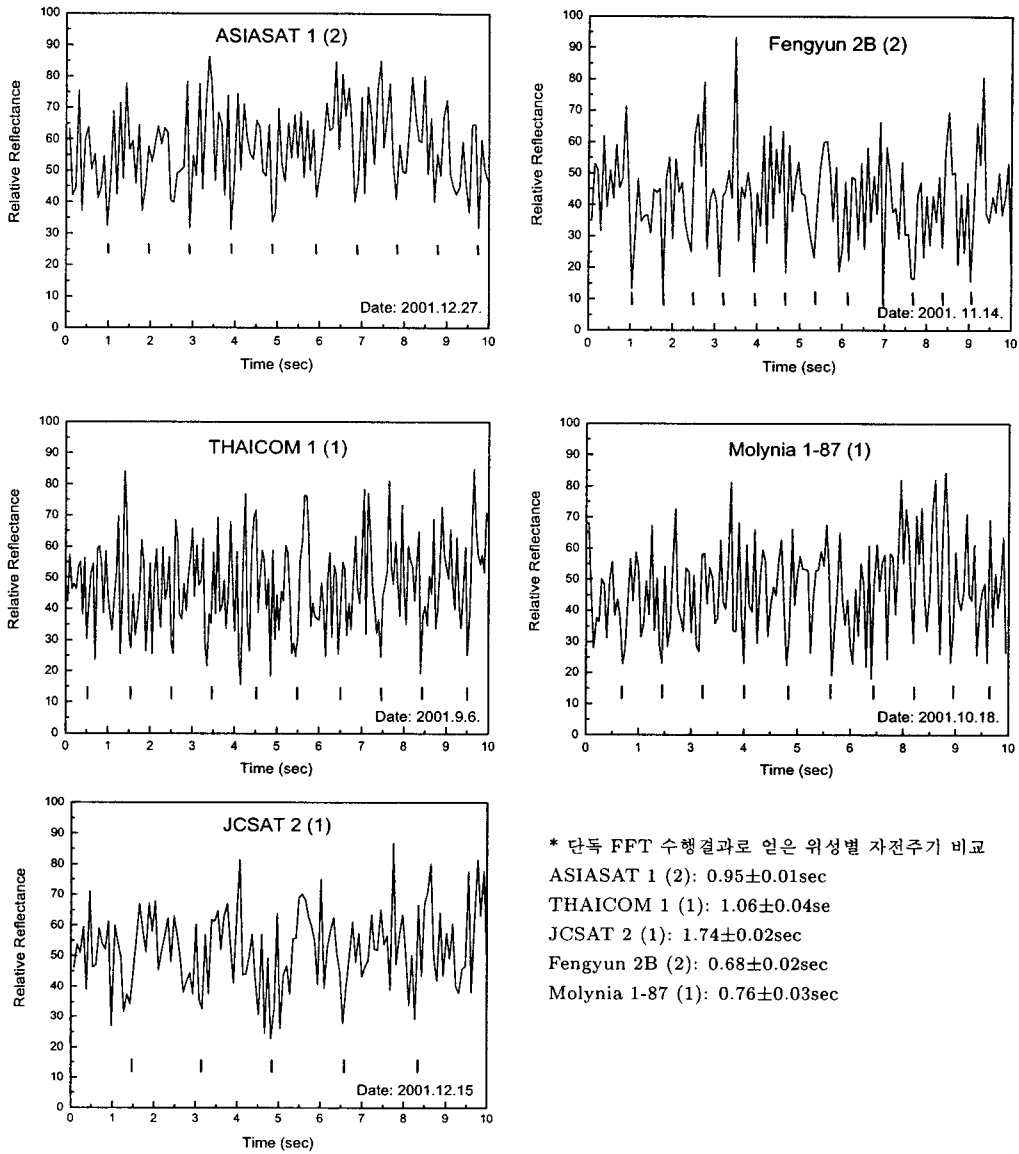


그림 1. 관측한 회전안정화위성의 광도곡선 그래프. 왼쪽은 제작사에 의해 자전주기가 알려진 위성을 검증한 결과이고 오른쪽은 미공개된 위성의 자전주기 관측 결과임(괄호 안의 숫자는 회전안정화위성별로 2회 이상 관측후 택일한 순번임).

가 끝날 때까지 주어진 자전율이 일정한 오차범위 내에서 항상 유지되도록 지상통제소에 의해 조절이 된다. 회전안정화위성의 기동은 지상통제소와의 원활한 교신을 상시 유지하기 위해서 주어진 자전율의 수 rpm 오차범위 내에서 매번 허용된다(Giles & Hill 1988).

자전주기가 공개된 위성들에 대하여 관측결과 얻어진 자전주기를 비교한 결과 평균 약 0.06초의

표 2. 관측한 회전안정화위성의 자전주기 결정.

인공위성 이름	자전주기 (sec)					자전율 (rpm)			
	1회 관측	2회 관측	3회 관측	관측종합 (T_2)	공개 (T_1)	비교 ($ T_1 - T_2 $)	관측 (P_2)	공개 (P_1)	비교 ($ P_1 - P_2 $)
ASIASAT 1	0.9550	0.9526	1.0652	0.953 ± 0.017	1.0909	0.137	62.9	55	7.9
THAICOM 1	1.0672	1.0716		1.061 ± 0.048	1.0909	0.029	56.5	55	1.5
JCSAT 2	1.7418	1.7664		1.733 ± 0.027	1.7143	0.018	34.6	35	0.4
Fengyun 2B	0.6705	0.6836		0.672 ± 0.021	미공개		89.3		
Molynia 1-87	0.7645	0.6626		0.765 ± 0.021	미공개		78.4		

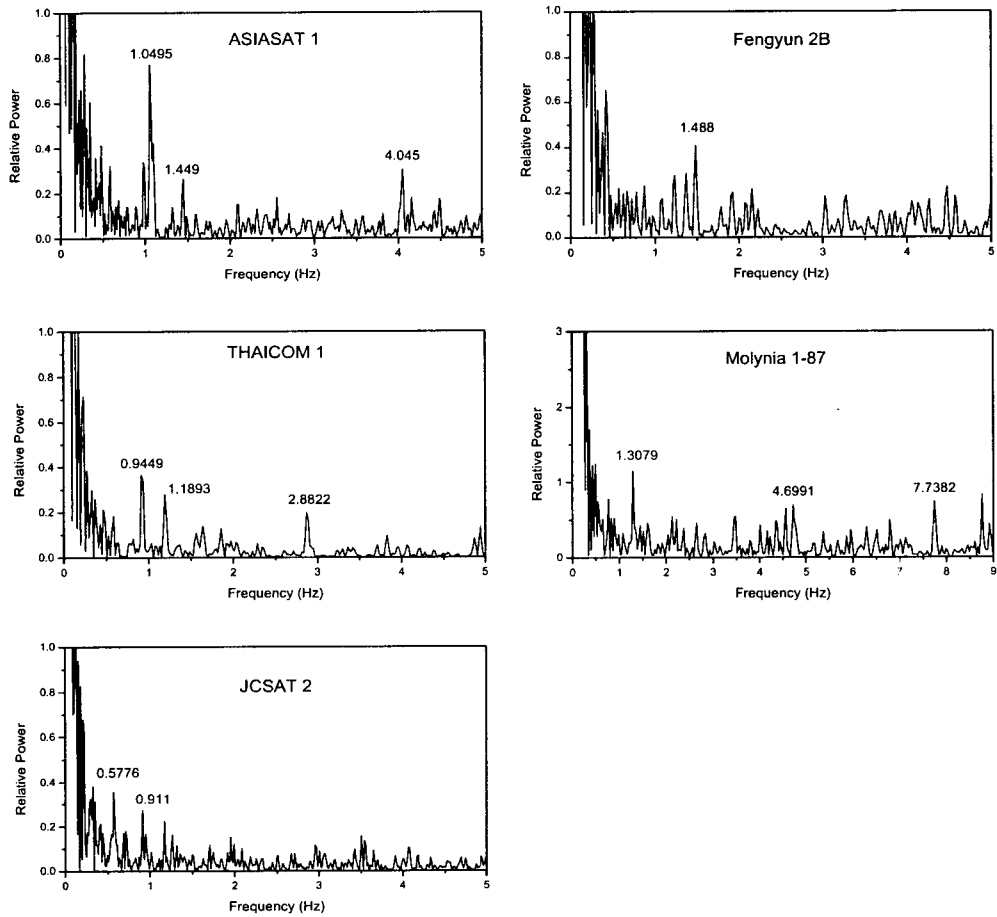


그림 2. 회전안정화위성별로 2회 이상 관측후 각각에 대해 FFT를 수행한 후 위성별로 합쳐서 S/N비를 향상시킨 결과임(숫자는 최고 출력을 가지는 주파수 영역임).

자전주기 차이를 보였고 자전주기 차이가 가장 큰 ASIASAT 1의 경우 공개된 자전율과 관측으로 구한 자전율과의 차이는 약 8rpm으로 나타났다. 상호간 자전율의 평균차이는 약 3.3rpm으로 주어진

자전율에서 수 rpm 범위 내의 운용오차를 허용하는 정지궤도 회전안정화위성의 자전주기 운용범위를 모두 만족하므로 양호한 결과를 얻었다고 판단된다.

4. 결론 및 토의

정지궤도 회전안정화위성의 자전주기에 대한 지상 관측자료는 Giles & Hill(1988)이 Video CCD 카메라를 사용해 관측한 2기의 HS-376 모델 외에는 아직까지 공개된 바가 없다. 현재 한반도 주변상공에서 관측이 가능하고 운용 중인 회전안정화위성 수는 약 10여기 정도의 정지궤도 위성과 Molynia 1 시리즈 수기에 불과하다. 이번 연구에서는 이 중 5기의 회전안정화위성을 관측하여 자전주기를 결정하였고 공개된 위성의 자전주기와 관측한 위성의 자전주기 차이는 평균 약 0.06초로 나타났고 자전율의 차이는 평균 약 3.3rpm으로 검증 결과 정지궤도 회전안정화위성의 자전주기 운용범위를 모두 만족하였다.

이미지 획득을 위한 노출시간이 짧고 시간분해능이 떨어질수록 회전안정화위성의 자전주기 정확성은 떨어지므로 향후 소형망원경을 이용한 정밀한 데이터 분석을 위해서는 10여분 정도의 노출시간을 확보할 수 있는 Video CCD 카메라를 이용한 측광관측이 요구된다. 관측한 위성 이미지의 광도곡선 그래프에서도 쉽게 자전주기 변화를 판단할 수 있고, 처음과 끝 시간 영역에서의 자전주기의 상호비교가 가능하여 자전주기 오차를 더욱 줄이기 위해서는 지금의 10배 정도의 시간/공간분해능 향상이 요구된다. S/N비를 향상시킬 수 있는 좋은 관측지 기상여건도 어두운 대상을 관측하는 필수적이다. 궁극적으로 인공위성의 전반적인 측광관측을 원활히 수행하기 위해서는 높은 공간분해능과 함께 충분한 노출시간을 확보할 수 있는 큰 구경과 빠른 구동능력을 가진 인공위성 추적시스템을 고려해 보아야 할 것이다.

정지궤도 인공위성의 경우 관측지의 경도에 따라 관측가능 대상이 제한을 받으므로 한반도 주변에서만 관측할 수 있는 정지궤도 위성에 대한 연구가 필요할 것이다. 임무 중인 회전안정화위성에 대한 자전주기 연구는 중성자별이나 블랙홀과 같은 단주기 펄스를 갖는 우주물체에 대한 비교광원 결정에 유용하게 활용될 수 있고 수명이 다한 위성과 크기가 큰 우주잔해물(Space debris)의 운동상태를 추정하여 안전 대책을 세우는 데에도 응용이 가능하며 인공위성의 분광관측과 더불어 알려지지 않은 인공위성의 임무별, 특성별 데이터 베이스를 구축하는데 도움이 될 것이라 판단된다.

참고문헌

- 이동규, 김상준, 한원용, 박준성, 민상웅 2001, 한국우주과학회지, 18, 101
- Crawford, L., Kervin, P., Nutter, M., Baker, C., Sydney, P., Hoo, V. S., Hamada, K., & Nishimoto, D. 2000, in Proceedings of the 2000 Space Control Conference, ed. Susan, E. et al. (Massachusetts: MIT Lincoln Laboratory Pub.), 43
- Dantowitz, R., & Kozubal, M. 1997, C-SAT/Software for Telescopic Satellite Observing (Massachusetts: Celestial Computing Inc.)
- Giles, A. B., & Hill, K. M. 1988, Ap&SS, 147, 359
- IRAF Programming Group 2000, IRAF Version 3.0 (Arizona: IRAF Programming Group)
- Kissell, K. E., & Vanderburgh, R. C. 1971, Technical Report: The results of photoelectric photom-

etry of space objects (Ohio: AFB Pub.), ARL MR 71-0007

Lambert, J. V. 1993, International Society for Optical Engineering, 1951, 32

OriginLab Corporation 2000, Origin Version 6.1 (Massachusetts: OriginLab Corporation)

Pattan, B. 1993, Satellite Systems (New York: Van Nostrand Reinhold Pub.), pp.148-172

Potter, A. E. 1995, Adv. Space Res., 16, 35

Software Bisque 2001, CCDSoft Version 5 (Colorado: Software Bisque)