

한반도 주변상공의 정지궤도 인공위성 분광관측†

이동규^{1†}, 김상준¹, 한원용², 박준성¹, 민상용¹

¹경희대학교 우주과학과 인공위성관측팀

²한국천문연구원

SPECTROSCOPIC OBSERVATIONS OF GEO-STATIONARY† SATELLITES OVER THE KOREAN PENINSULA

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, Dae Jun, 305-350, Korea

E-mail: leedq12@hanmail.net

(Received October 2, 2001; Accepted October 27, 2001)

요 약

경희대학교의 인공위성 관측용 40cm 망원경 시스템을 이용하여 한반도 주변상공에서 관측이 가능한 정지궤도위성 중 6개국의 통신위성 9기와 기상위성 1기를 선정하여 저분산 분광관측을 시도하였다. 그 결과 가시광 영역에서 인공위성 각각의 고유한 분광선 형태가 상호간 현저하게 차이가 있어 보였고 이를 분광선 패턴에 따라 4 종류의 그룹으로 분류가 가능하였다. 국가별, 임무별로 인공위성의 정밀한 분광선 패턴별 목록화를 위해서는 더 많은 인공위성의 분광관측 데이터가 필요하고 이를 바탕으로 지상 실험실 측정자료와 비교하여 인공위성의 외부 구조체 재질과 색깔을 식별 하여야 한다.

ABSTRACT

Low resolution spectroscopic observations of geo-stationary satellites over the Korean peninsula have been carried out at the KyungHee Optical Satellite Observing Facility (KOSOF) with a 40cm telescope. We have observed 9 telecommunication satellites and 1 weather satellite of 6 countries. The obtained spectral data showed that satellites could be classified and grouped with similar basic spectral feature. We divided the 10 satellites into 4 groups based on spectral slop and reflectance. It is suggested that the material types of the satellites can be determined through spectral comparisons with the ground laboratory data. We will continuously observe additional geo-stationary satellites for the accurate classification of spectral features.

Key words: spectroscopy. satellite observation. satellite tracking

† 이 연구의 일부는 한국천문연구원 위탁과제의 도움을 받아 수행되었음

†corresponding author

1. 서 론

경희대학교의 인공위성 관측용 40cm 망원경을 이용하여 한반도 주변상공에서 관측이 가능한 몇 개의 정지궤도 인공위성에 대한 저분산 분광관측을 시도하여 가시광 영역에서 상호간 분광선의 유형을 비교해 보았다. 본 연구의 주된 목적은 분광선의 패턴만으로도 상호비교 및 분류가 가능한지를 파악하기 위한 것이다.

인공위성의 분광관측은 Lambert (1971)에 의해 몇 개의 고궤도 인공위성을 대상으로 가시광 영역에서 처음 행해졌고, 그 후 Gravseth & Culp (1996)가 지상실험을 통해 얻은 인공위성 재질에 따른 분광 데이터와 비교해 본 결과 관측한 인공위성의 재질과 색깔을 찾을 수 있었다 (e.g., Beavers 1996). Prochko et al. (1994)는 5500Å에서 40Å의 분해능을 가지는 분광기를 사용하여 저궤도 인공위성에 대한 분광관측을 시도한 결과 유사한 구조의 인공위성은 유사한 분광선 유형을 가지며 저분산을 이용한 가시광 및 적외선 영역에서의 분광선 유형만으로도 인공위성의 상호식별이 가능하다고 제안했다. 현재 고궤도 인공위성의 분광관측은 하와이 공군기지에서 진행 중에 있으나 공식 발표된 자료는 아직까지 없다 (e.g., Culp et al. 2000).

이 연구에서는 정지궤도 인공위성의 저분산 분광관측을 통해 분광유형별로 목록화 가능성 여부와 국가별, 임무별로 데이터 베이스 구축이 가능한지를 알아 보고자 한다. 궤도자료가 알려진 인공위성에 대한 분광 데이터 베이스를 구축함으로써 장차 궤도자료가 알려지지 않은 인공위성에 대하여 레이더 및 적응광학 어레이 감시시스템을 통한 인공위성의 분광관측을 수행하면 제반 정보획득도 가능하게 된다. 인공위성의 관측기법은 우주잔해물의 물리적, 화학적 특성파악에 응용이 직접적으로 가능하므로 지구에 대한 우주잔해물의 위협을 분석과 대책수립이 가능하게 될 것이다.

2. 인공위성 분광관측 자료 및 분석

2.1 분광관측 자료

인공위성과 같이 움직임이 큰 대상에 대한 측광 및 분광관측을 수행하기 위해서는 구경이 큰 반면에 Field of View (FOV)는 작으면서도 빠른 구동시스템을 요구한다. 경희대학교 인공위성 관측용 망원경은 40cm Dobsonian 망원경 (f/4.5)을 중량을 줄이기 위해 Open Truss 구조로 개조하여 Robotic Telescope Mount인 GT-1100에 올려 1.5°/sec의 구동속도를 가지고 있다. 본 연구의 분광관측을 위하여 Santa Barbara Instrument Group (SBIG)의 모델인 ST-7E Imaging CCD 카메라와 슬릿상에 인공위성을 정확히 위치시키기 위한 ST-4 Tracking CCD 카메라와 ST-6 CCD 카메라를 부착한 Autoguider를 이용하였고, 분광기로는 5500Å에서 70Å, 4000Å 및 7000Å영역에서 30%의 양자효율을 갖는 SBIG를 사용하였다. 분광관측 자료는 2001년 1월부터 9월말까지 얻은 인공위성의 분광자료 중 한반도 주변 5개국과 미국을 대상으로 총 10기를 분석에 사용했다. 그림 1은 관측한 정지궤도 인공위성 (궤도경사각 0.5° 이내)의 분포도로써 FENGYUN 2B 기상위성을 제외하고는 모두 통신위성이다.

대부분의 정지궤도 인공위성은 10등급에서 18등급사이로 가시광 영역에서의 반사능이 낮고 관측지의 seeing이 약 5arcsec으로 관측에 사용된 72μm 슬릿폭에 해당하는 인공위성의 상 크기 8arcsec보다 작아 인위적으로 상을 흐트려서 파장의 이동을 방지하였다. 노출시간은 50분에서 2시간으로 인

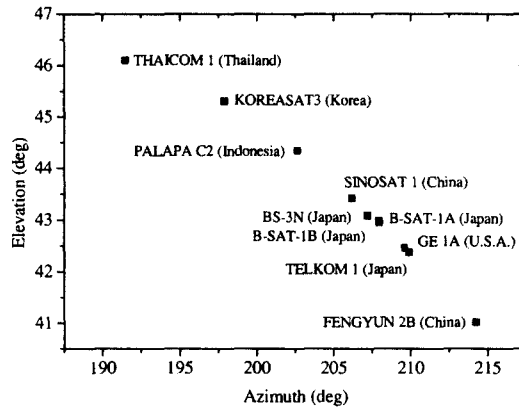


그림 1. 관측한 인공위성의 상호간 위치 비교 (2001년 1월 - 9월 사이의 관측자료).

공위성의 경우 별과는 달리 Auto-guiding의 한계로 인해 1000초씩 나누어서 노출을 주어 이미지를 합친 결과 좋은 S/N비를 얻을 수 있었다. 파장 분해능은 150g/mm을 사용하여 5000Å에서 38Å이며 관측 파장범위는 3400Å에서 7400Å까지의 가시광 영역이었다.

표 1은 관측한 정지궤도 인공위성의 제작사별 위성체 버스 디자인의 종류와 관측시각 및 노출시간을 나타내고 있다. 서로 다른 외부 구조체 재질에 따른 인공위성의 분광선 유형은 상호간 현저하게 차이가 나며 재질과 모양이 비슷하더라도 외부 도장 및 코팅물질에 따른 재질의 마감처리가 다를 경우 가시광 영역에서의 분광선 형태는 전혀 다르게 나타날 것이다. 장축을 중심으로 빠르게 자전운동하는 Spin 위성의 경우 노출시간을 많이 주면 인공위성 전반에 걸쳐 합쳐진 형태의 분광선 유형을 얻을 수가 있고 관측시각에 따라 태양, 위성, 관측자간의 위상각은 변하지만 반사능은 거의 일정하게 유지된다. 센서표면이 항상 지구를 향하도록 설계된 3축 위성의 경우는 위상각이 변함에 따라 태양 전지판의 각도가 조금씩 바뀌게 되므로 관측시각에 따라 반사능에 차이가 있으나 노출시간으로 보상이 가능하다. 외형이 다르거나 위상각에 차이가 있는 인공위성 분광관측의 경우 분광선 유형은 서로 다를 수 있으나 빠른 자전운동을 하거나 지구를 향하여 일정면이 지향성을 갖는 인공위성의 경우는 외형과 위상각에 따라 관측되어지는 표면이 거의 일정하게 유지가 되며 노출시간을 충분히 길게 줌으로써 인공위성의 전반적인 형태에 대한 분광선 패턴을 얻을 수 있을 것이다.

인공위성의 궤도자료로는 North American Aerospace Defense Command (NORAD) 에서 제공하는 최신의 Two-Line Elements (TLE) 정보를 이용하였고 인공위성 추적을 위하여 인공위성 전용 스케줄 프로그램인 C-Sat을 사용하였다. 인공위성의 식별은 그림 2에서 처럼 인공위성이 지나갈 위치에서 우선 망원경이 별을 추적 (Sidereal 방식) 하게 한 다음 인공위성이 선으로 식별되면 즉시 망원경이 인공위성을 추적 (Stare 방식) 할 수 있도록 가대의 추적 방식을 전환하였다.

분광 소프트웨어로는 CCDSoft, Spectra 및 Origin을 사용하였다. 어두운 인공위성의 경우는 노출을 나누어주어 각각의 분광선을 비교 검토한 후에 이미지를 합쳐 S/N비를 향상시켜 최종적인 분광선을 얻었다.

그림 3은 표준성의 분광선 유형을 나타낸 것으로서 관측한 인공위성의 위치에서 가장 가까우면서 태양과 유사한 G21b 분광형 별을 선택했다.

표 1. 관측한 인공위성의 사양 및 관측시간 (2001년 기준).

인공위성 이름	제조사 및 위성체 버스 종류	자세제어 방식	관측시각(월/일/시:분)	노출(sec)
BS-3N	Lockheed Martin Astro3000	3축 위성	9/10/22:10	5000
B-SAT-1A	Hughes HS-376	spin 위성	2/15/22:00	5000
B-SAT-1B	Hughes HS-376	spin 위성	1/15/21:25	5000
GE-1A	Lockheed Martin A2100AX	3축 위성	2/18/02:20	5000
THAICOM 1	Lockheed Martin A2100A	spin 위성	1/25/22:30	7000
KOREASAT 3	Lockheed Martin A2100A	3축 위성	8/25/02:30	6000
TELKOM 1	Lockheed Martin A2100A	3축 위성	8/25/21:55	3000
SINOSAT 1A	Aerospatial spacebus3000	3축 위성	9/21/22:00	4000
PALAPA C2	Hughes HS-601	3축 위성	9/27/02:20	5000
FENGYUN 2B	중국자체제작	spin 위성	7/20/22:45	5000

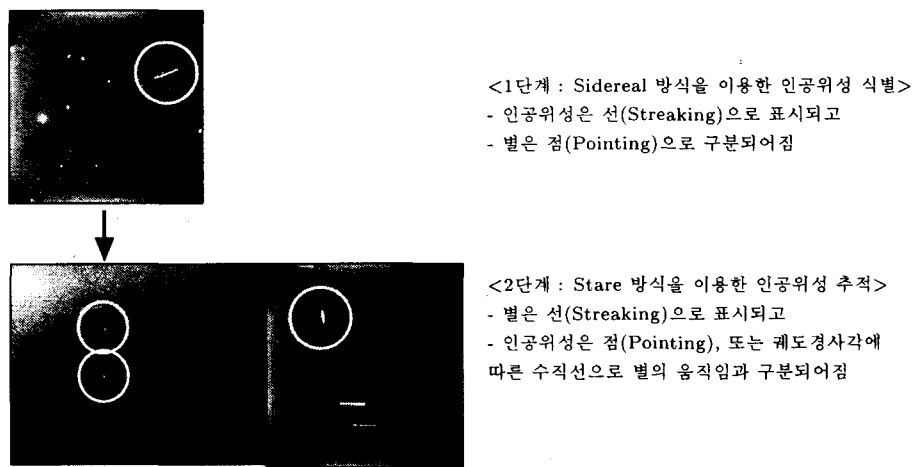


그림 2. 인공위성의 식별 및 추적을 위한 가대 방식 선택시 보여지는 이미지 모습.

2.2 분광관측 데이터 분석결과

관측한 인공위성 각각의 분광선 패턴과 기울기를 비교해 볼 때 몇가지 형태의 그룹으로 나누어지며 상호간 현저한 차이를 보였다. 그림 4, 5는 태양빛에 반사되어 얻어진 인공위성의 분광형을 태양의 분광형으로 각각 나누어 준 다음 인공위성 고유의 분광선 패턴을 보다 상세히 상호간 비교하기 위해 3800Å에서 7400Å까지 얻어진 분광선 형태를 5500Å를 기준으로 두 부분으로 나누어 비교한 것이다. 그림 4는 5500Å에서의 인공위성의 반사능을 상대적 빛의 세기 1로 기준하여 단파장에서의 분광선 세기와 패턴을 상호 비교했으며, 그림 5는 5500Å에서의 인공위성 반사능을 상대적 빛의 세기 5로 기준하여 장파장 쪽의 분광선 패턴을 각각 비교 분석한 것이다.

단파장쪽의 인공위성의 분광 형태는 그림 4에서 볼 수 있듯이 4000Å부근 영역에서의 반사능의 차이와 분광선 전반에 걸친 기울기를 비교하면 SINOSAT 1A와 TELKOM 1, KOREASAT 3와 PALAPA C2, 그리고 나머지 인공위성의 분광형태와 같이 세 부류로 구분되어 진다.

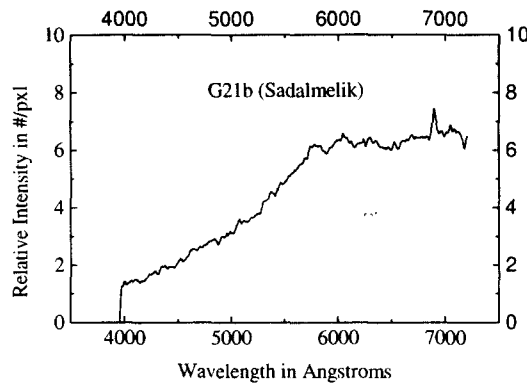


그림 3. 태양과 분광형이 유사한 표준성 Sadalmelik (G21b)의 분광선 유형.

표 2. 인공위성 분광관측 결과에 따른 분광선 패턴별 분류.

분류	단과장 부근	분류	장과장 부근
A	SINOSAT 1A, TELKOM 1	A	SINOSAT 1A, TELKOM 1
B	KOREASAT 3, PALAPA C2	B	KOREASAT 3, PALAPA C2
C	B-SAT-1B, BS-3N, FENGYUN 2B	C	B-SAT-1B, GE 1A
	B-SAT-1A, THAICOM 1, GE 1A	D	BS-3N, B-SAT-1A
			THAICOM 1, FENGYUN 2B

그림 5에서도 SINOSAT 1A와 TELKOM 1, 그리고 KOREASAT 3과 PALAPA C2는 마찬가지로 유사한 분광선 패턴을 보였다. 그러나 나머지 통신위성들 중에서는 그림 4에서 유사한 패턴을 보였던 것들이 다시 두 부류로 나누어 졌다. B-SAT-1B와 GE 1A는 7000Å 부근에서 반사능이 증가하지 않은 반면 나머지 세 인공위성들은 반사능이 현저히 증가함을 보였다. 그림 4와 5를 종합하면 표 2와 같이 모두 4 종류로 인공위성 분광 패턴별 분류가 가능했다.

표 1과 2를 비교해 보면 같은 위성체 버스 디자인을 사용한 인공위성들이 모두 다른 형태의 분광선 패턴을 보였다는 것을 알 수 있다. 이것은 같은 재질의 외부 구조체로 이루어졌더라도 색깔 및 코팅과 같은 마감처리가 각기 다르기 때문에 가시영역에서의 분광선 유형이 다르게 관측되었다고 판단된다.

3축 위성과 Spin 위성은 외형이 상이하지만 분광선 패턴비교에서는 상호 분류가 불가능 했다. 두 종류의 인공위성들은 센서부가 모두 지구를 향하여 일정한 지향성을 가지며 Spin 위성의 경우는 태양전지판을 둘러싼 위성체 자체가 빠른속도로 자전을 하므로 인공위성의 전반적인 외형에 대해 항상 일정한 반사능을 제공하고, 3축 위성은 태양전지판이 항상 태양을 향하게 되므로 위상각에 따라 관측되어지는 면이 조금씩 바뀌게 되어 반사능에 차이가 있지만 노출시간으로 보상이 가능하게 된다. 결국 지상에서 관측되는 인공위성의 관측면 중에서 센서부와 태양전지판이 가장 큰 반사물질의 대상이 되며 이것을 구성하는 구조체의 재질, 색깔, 그리고 마감처리 물질에 따라 분광패턴이 결정 될 것이고 자세 제어방식이나 외형 차이와는 무관하다고 판단된다.

알루미늄으로 이루어진 인공위성은 7000Å영역에서 강한 흡수대역을 보이는데(Clark 1999) 분석 결과 BS-3N, B-SAT-1A, THAICOM 1, 그리고 FENGYUN 2B가 이 영역에서 강한 흡수대역을 보

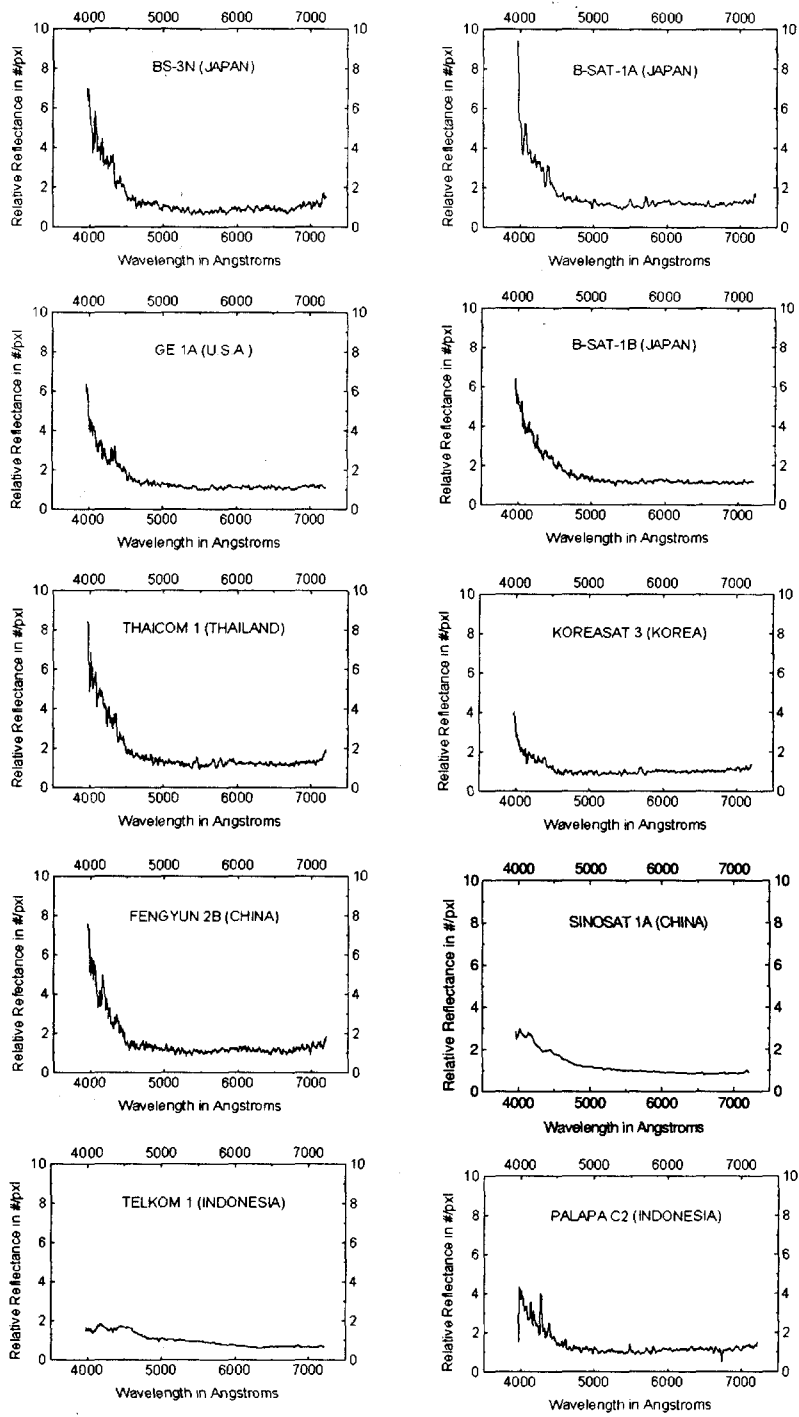


그림 4. 5500Å에서의 인공위성의 상대적 빛의 세기를 1로 기준 하였을 때 단파장 부근의 인공위성 분광선 패턴 비교.

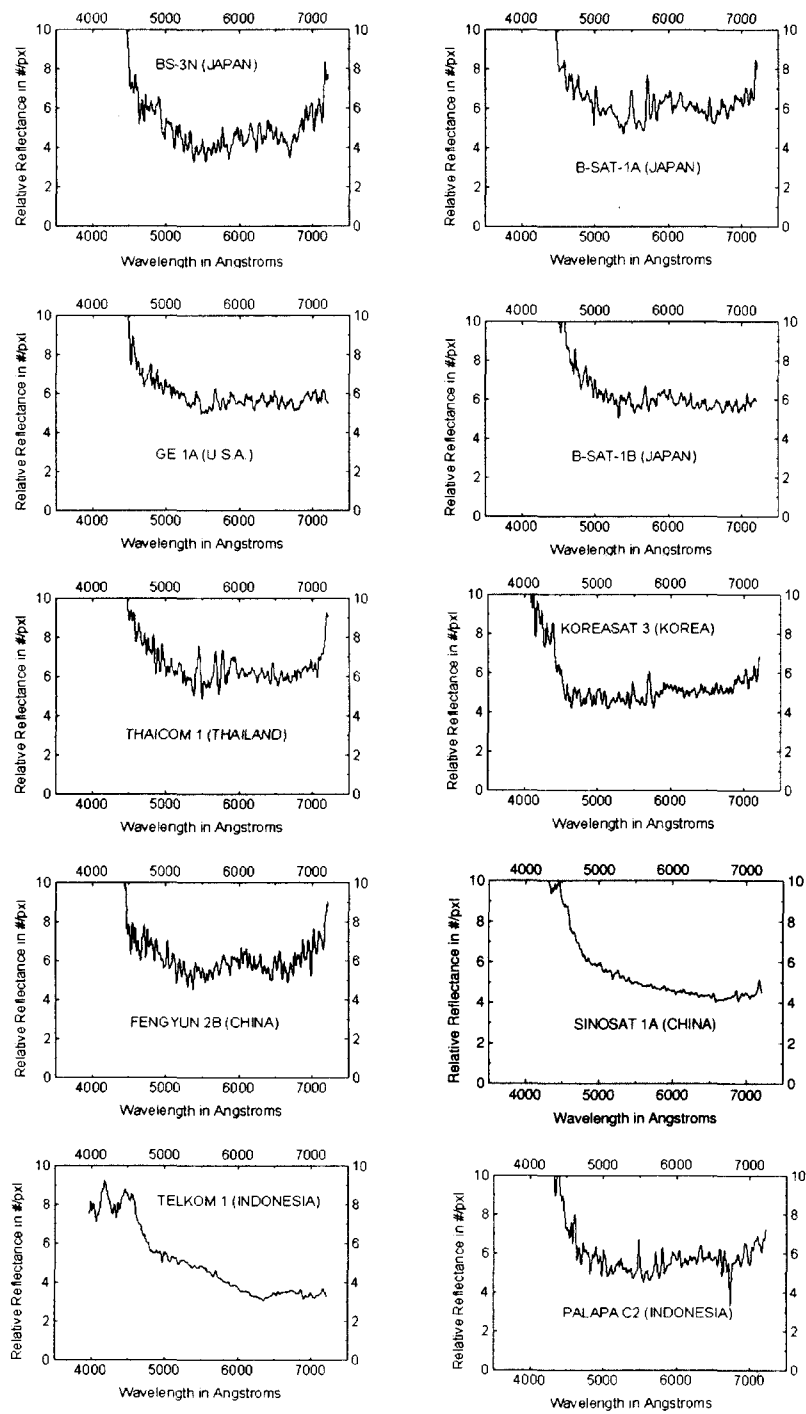


그림 5. 5500Å에서의 인공위성의 상대적 빛의 세기를 5로 기준 하였을 때 장파장 부근의 인공위성 분광선 패턴 비교.

임을 알 수 있었다.

저분산 분광관측에서는 재질의 특성을 구분 지을 만큼 강한 흡수선의 세기 및 유형을 상호 비교하기는 어렵지만 분광선의 패턴과 기울기로 구분이 충분하다고 판단되었다. 관측한 인공위성의 정확한 외부 재질과 색깔을 식별하기 위해서는 지상 실험실 측정자료를 통해서 상호간 분광선 패턴의 비교를 해야 할 것이다. 특히 태양전지판이나 외부에 둘러 쌓인 도금 재질에 따른 가시광 영역에서의 반사능이 가장 큰 분광선 패턴의 변수이다.

분광관측 결과 초기의 예상과는 달리 국가별로 분광패턴들의 특징이 뚜렷하게 차이를 보이지는 않았고 기상위성인 FENGYUN 2B와 나머지 통신위성들과의 임무별 분광선 비교에서도 현저한 차이점은 없었다. 이를 위해서는 좀더 많은 관측 데이터를 활용한 비교 분석이 필요하다고 판단된다. 임무별로 인공위성의 구조계가 다르고 국가별로도 색깔이 다를 수가 있으므로 가시영역에서의 분광패턴에 분명히 차이가 있을 것이다.

3. 결론

가시광 영역에서의 인공위성 분광관측에 따른 분광 패턴들은 몇 가지 부류로 그룹화가 가능하여 재질별로 분류가 가능함을 보였으나 국가별, 임무별로 분광패턴의 특징에 따른 상세한 분류와 목록화 작업을 위해서는 더 많은 인공위성의 관측 데이터를 바탕으로 수행되어야 한다고 판단된다. 관측된 인공위성 데이터는 인공위성 외부 구조계의 재질과 도금 형태에 따른 지상 실험실 측정자료를 통하여 상호 비교하여 재질을 파악할 계획에 있다. 관측 파장범위를 가시광 영역뿐만 아니라 적외선 영역까지 확대한다면 어두운 인공위성일수록 적외선 영역의 반사능이 뛰어나므로 인공위성 고유의 분광패턴을 상호 비교하기가 훨씬 수월할 것이다.

현재 경희대학교의 인공위성 관측시스템으로는 비교적 어둡고 궤도 운동속도가 느린 고궤도 및 정지궤도위성의 분광관측에 활용하고 있으나 내년 초반기에 도입될 LX-200 (구동속도: 8°/sec) 가대와 12인치 f/10 카세그레인 망원경에 AP-6E 1K CCD 카메라 부착과 Reducer를 사용하여 f/3.3 광시야(1.3° × 1.3°)를 확보하고 실시간 인공위성의 추적이 가능한 가대 제어 전용프로그램을 개발하여 저궤도와 중궤도 인공위성의 추적 및 분광관측도 시도할 계획에 있다.

참고문헌

- Beavers, W. I. 1996, Technical Report (MA: MIT Lincoln Laboratory), Project Report STK-241
- Clark, R. 1999, in A. Rencz, Manual of Remote Sensing, ed. John Wiley & Sons (MA: John Wiley & Wiley Inc.), 115
- Culp, R. D., Jorgensen, K., Gravseth, I., & Lambert, J. V. 2000, Space Debris I (Netherlands: Kluwer), pp.113-125
- Gravseth, I. J., & Culp, R. D. 1996, Advances in the Astronautical Sciences, 93, 221
- Lambert, J. V. 1971, Masters Thesis, Air Force Institute of Technology
- Prochko, A. E., Holbert, E., Gregory, S. A., Rafert, J. B., Panye, T., & Durham, S. E. 1994, in Proceedings of the 1994 Space Surveillance Workshop, ed. E. Susan et al. (MA: MIT Lincoln Laboratory), 52