

1. 서론

1957년 구소련이 스푸트닉(Sputnik) 위성을 발사한 이후, 미·소는 1960·70년대 막대한 예산을 투자하며 경쟁적으로 군사목적의 우주개발을 수행하였다. 그러다가 1980년대에 접어들면서 정보 사회의 핵심으로 인공 위성의 용도가 급속도로 확대되면서 군사목적은 물론 경제적 가치에서도 인공위성의 중요성이 인식되었다. 이에 미국과 구소련은 물론 EC 국가, 일본, 중국, 캐나다 및 이스라엘 등이 가세하면서 우주 개발에 불꽃 튀는 경쟁이 벌어지게 되었다.

우리나라도 1992년 9월 우리별1호를 발사 함으로써 위성개발국이 되었고, 이후 현재까지 우리별위성3기, 다목적위성1기, 통신위성3기를 발사·운영하고

인공위성 시스템은 크게 인공위성, 지상국으로 이뤄져 있으며, 인공위성은 (엔지니어링상의 편의를 위해) 다시 본체(버스)와 탑재체로 구분될 수 있다. 인공위성 본체는 초기 발사에서 임무수명의 마지막까지 임무 탑재체나 장비를 외부환경으로부터 보호하고, 자세제어, 전력 공급 및 지상국과의 통신을 수행하고, 탑재체는 통신, 지구관측, 기상예보 등과 같은 임무를 수행하게 된다. 우주중장기기본계획상에 지구관측 전자광학 탑재체, 기상관측 탑재체, 천문우주 관측 탑재체 등의 광학탑재체가 예정되어 있어, 인공위성의 개발에 광학이 중요한 위치를 차지하고 있음을 알 수 있다.

본 글에서는 인공위성 본체 및 탑재체에 사용되는 주요 광학계를 국내 개발 광학 탑재체와 함께 정리하고, 국내 현황 및 발전 방향·전망을 제시한다.

특집 SPACE OPTICS

인공위성 광학계

이준호*, 김도형*

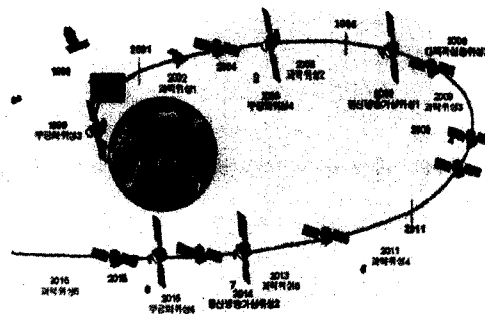
있다. 더 나아가 우리나라는 2015년까지 우주산업 세계 10위 권 내에 진입하는 것을 목표로 우주개발 중장기 기본계획을 마련하였으며, 이 기본계획에 따르면 총 16기의 인공위성을 추가 개발 및 발사할 계획이다⁽¹⁾ (그림 1).

구분	종류	우주 개발 계획															
		제1단계				제2단계				제3단계				제4단계			
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
통신위성	우리별3호																
	우리별4호																
지구관측위성	우리별5호																
	우리별6호																
기타	우리별7호																
	우리별8호																
우주정거장	우주정거장1호																
	우주정거장2호																

그림 1. 우주개발 중장기 기본계획 (특이사항: 무궁화위성4호 취소)

2. 본론

인공위성에서 사용되는 광학계는 용도에 따라 크게 위성의 기본적인 운용을 위한 본체 시스템의 광학 모듈과 지구관측 전자광학 탑재체, 기상관측



* 한국과학기술원 인공위성연구센터

표 1. 별감지기



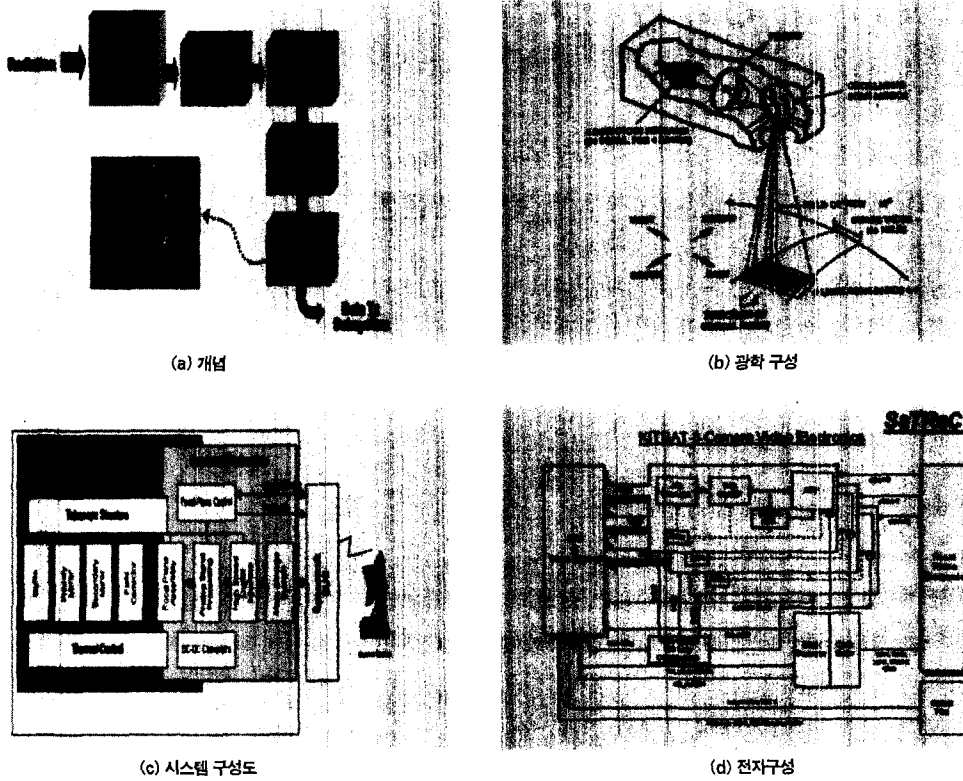
radiometer 및 고분광 탑재체, 천문우주 탑재체 등의 광학 탑재체로 크게 나눌 수 있다.

2.1 별감지센서(Star Sensor)

별감지센서는 우주에 있는 별들의 위치를 면적 CCD로 촬영 후 메모리에 저장된 별들의 정보(Star Map)와 비교하여 위성의 자세 및 위치 정보를 계산하

는 광학 및 전자 시스템이다. 이는 현존하는 3축 자세 측정센서 중에서 가장 정밀한 센서로, 인공위성의 정밀자세제어, 대륙간미사일의 유도제어 등에 필수적으로 사용된다. 3축의 자세를 측정하는 방법으로는 자이로를 이용한 방법도 있으나, 자이로만을 사용할 경우 각속도의 적분으로 인한 오차 누적으로 인해 충분한 자세 정밀도를 유지할 수 없다. 이의 보완 장치로서 별감지센서의 이용이 필수적이다. 또한 자이로와 가속도

표 2. 지구관측 전자광학카메라의 개념, 광학 구성, 시스템 구성 및 전자 회로의 예



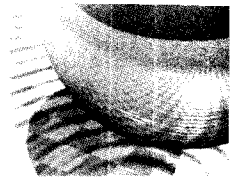
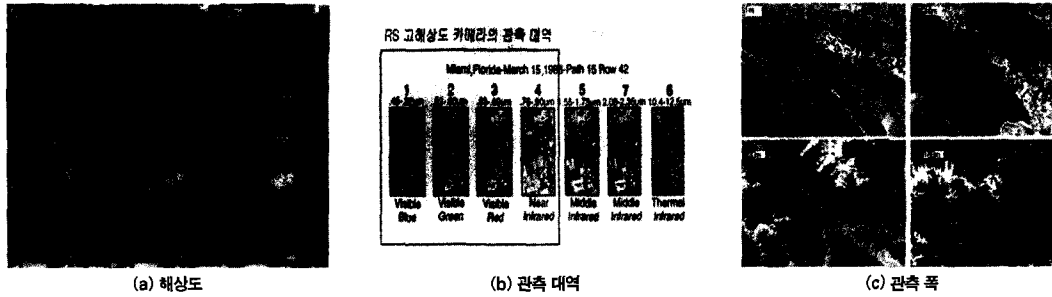


표 3. 지구관측 전자광학카메라의 해상도, 관측 대역 및 관측 폭 (8, 14)



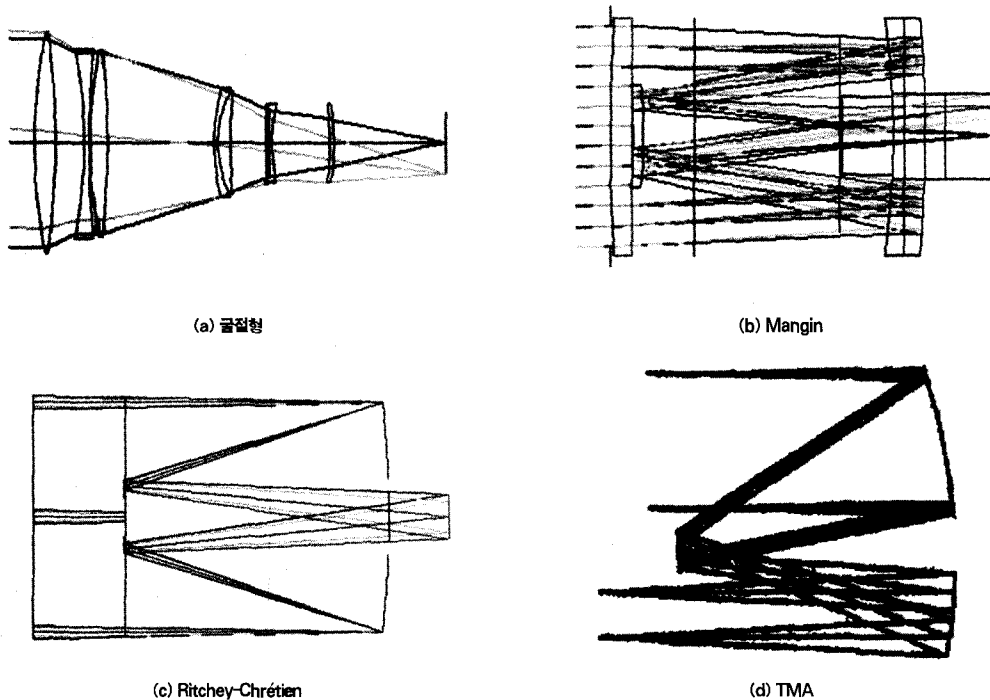
계를 함께 사용할 경우, 자세 뿐만 아니라 위치정보도 보장할 수 있다.^(3, 4)

별감지센서는 일반적으로 Telephoto 광학계, CCD 및 전자회로로 구성되어 있으며(표 1), 관측각의 범위에 따라 협각($\sim 6^\circ$) 또는 광각($\sim 20^\circ$) 별감지센서로 분류된다. 일반 영상 광학계와는 달리 별감지센서는 별 중심을 정확하게 찾는 것을 목표로, 색수차 및 비대칭 수차제거를 주 목적으로 설계되며, 별 중심 계산의 편의를 위하여 고의적으로 초점면을 이동시키거나 및 구면수차를 도입하는 특징이 있다.

2.2 지구관측 전자광학카메라(영상)

지구관측 전자광학카메라는 지상에서 널리 사용되는 망원경과 동일한 구성의 광학계를 이용하여 지상 관측 대상의 스펙트럼 정보를 광학적으로 수집하고, 수집된 정보는 센서를 통하여 전자신호로 바뀐다. 이렇게 획득된 전자 신호는 아날로그 및 디지털 전자회로를 통하여 대용량 메모리에 저장되거나 송신부를 통하여 지상에 정보를 보내게 된다. 표 2는 전자광학카메라의 개념, 시스템 구성 및 전자계/광학계 예를 보여주고 있다. 전자광학카메라의 광학 특성을 결정하는

표 4. 지구관측 전자광학카메라에 널리 사용되는 광학 망원경의 종류



인공위성 광학계

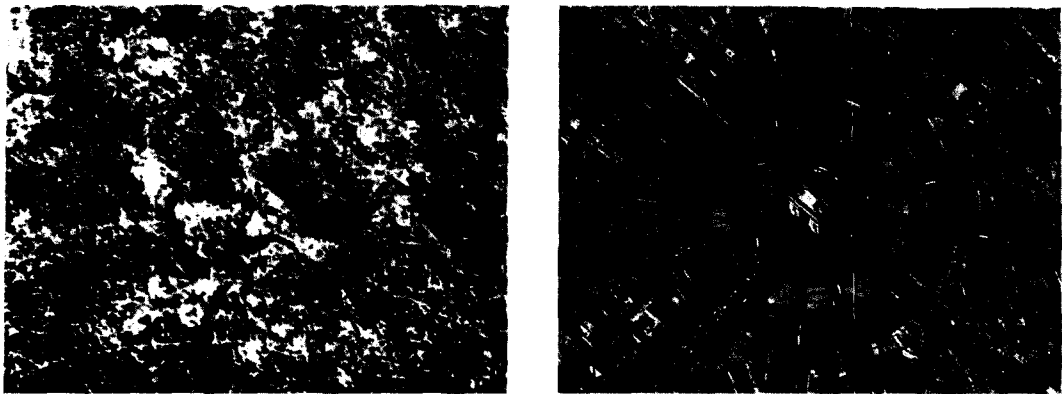


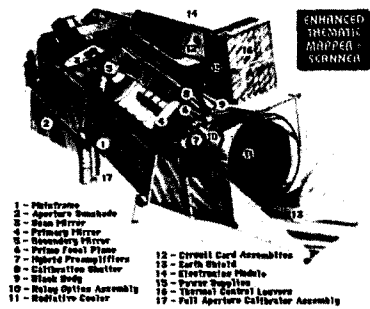
그림 2. 초창기 원격탐사 위성 LANDSAT-1 (해상도=82m, Polaroid, 1973)와 최신 원격탐사 위성 QuickBird-2의 영상 (해상도=0.6m, CCD, 2002)(8)

주요 변수로는 해상도·분해능, 관측 대역, 관측 폭 등의 영상관련변수(표 3)와 이와 함께 위성 궤도, 한 화소의 크기 등의 부수적·외부적 요건이 있다.^{15, 6)}

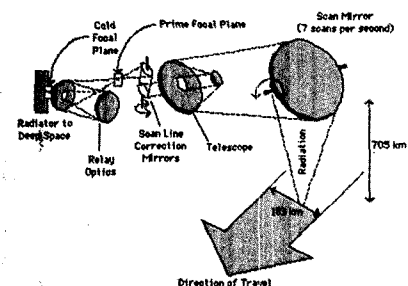
지구관측 전자광학카메라의 광학부로는 굴절 망원경, 굴절 및 반사를 동시에 제공하는 Mangin 망원경⁶⁾, 쌍곡면 반사경을 사용하는 Ritchey-Chrétien 망원경⁹⁾, TMA(Three-mirror anastigmats)가 가장 많이 사용되고 있으며(표 4), 앞의 전자 둘은 소형위성 즉

저해상도 카메라에 널리 사용되며, 후자 둘은 고해상도 카메라에 사용된다. 특히, 고해상도의 경우 Ritchey-Chrétien 망원경은 위성의 크기를 상대적으로 소형화할 수 있는 장점이 있는 반면에 관측각이 1~2°로 제한되는 단점이 있다. 역으로 TMA 망원경은 비축 비구면의 사용으로 인한 위성의 대형화, 제작, 시험 및 조립의 어려움이 있지만, 3~4°의 넓은 관측을 제공할 수 있다. 또한 더 좋은 해상도의 수요가 늘

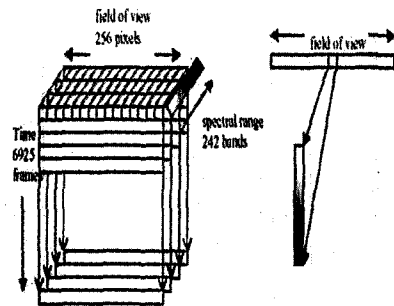
표 5. 다파장 지구관측 광학 카메라와 고분광 카메라



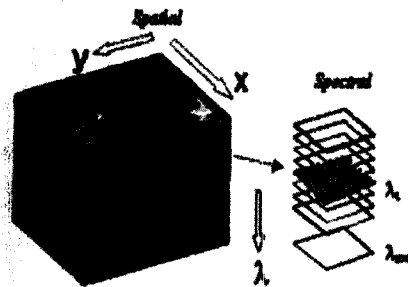
(a) Landsat7의 ETM+



(b) Landsat7 ETM+의 광학계



(c) 고분광의 원리



(d) 고분광의 정보 형태

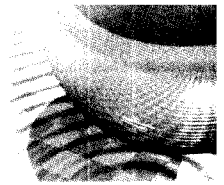
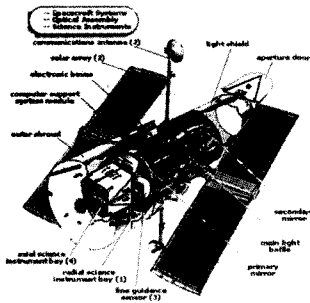
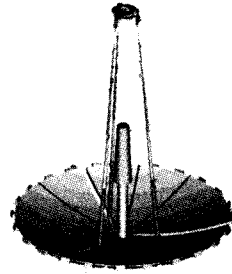


표 6. 천문 우주 광학 탑재체



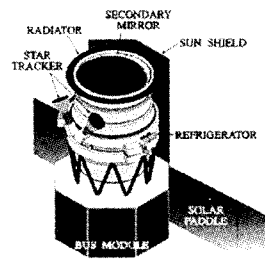
(a) 허블우주망원경



(b) 차세대우주망원경(안)



(c) 우주 X-ray 망원경



(d) 적외선 우주 망원경 (ASTRO-F)

어나면서 해상도를 결정하는 위성 광학계의 크기도 커지고 있는데, 해상도 60cm의 영상을 촬영하는 QuickBird-2의 경우 광학계의 구경이 70cm에 달한다. 지구정찰의 경우 해상도가 15cm 이하도 요구되고 있어(그림 2), 대구경 광학계의 경량화를 포함한 우주 및 발사환경을 견딜 수 있는 광기계 분야의 역할이 확대될 것으로 보인다.^[10]

2.3 기상관측 및 고분광 광학 탑재체

광학 탑재체 중 radiometer 계열은 지구복사의 절대량을 정밀하게 측정하는 것으로, 주로 기상학적인 수요에 의해 개발되었다. 1966년 정지기상위성 ATM 시리즈에 처음 사용되었고, 1975년 시작된 GOES 시리즈 정지기상위성부터 본격적으로 이용되었다.^[12]

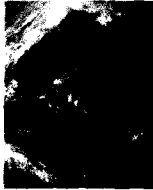









고분광 광학 시스템은 먼저 비행기용으로 개발되었는데, 위성용은 30m 급 지상 해상도와 함께 200개 이상의 파장대별 관측이 가능해져, 더 정밀한 정보를 얻을 수 있게 되었다.

이렇게 획득된 정보는 기상정보 외에 더 정밀한 식물 및 광물 분류, 수질 오염 검사를 수행할 수 있게 되었으며, 더 나아가 수풀 속에 위장하고 있는 탱크나 문혀있는 지뢰, 또는 바다 속의 잠수함 등을 실시간으로 구분해 낼 수 있어 앞으로 군사적 용도로도 각광을 받고 있다.^[11, 13]

최근에는 회절격자 등을 이용하여 10nm 폭 파장 별로 관측이 가능하며, 2000년 발사된 EO-1의 센서 220개와 256개의 파장대를 관측한다. 표 5에 Landsat 7에 탑재된 ETM+(Enhanced Thematic Mapper plus) 분광 탑재체의 모델, 광학 구성과 및 고분광 원리 및 데이터 정보 형태를 보여주고 있다.

고분광 광학 탑재체 영상 정보는 기존의 공간 정보에 많은 파장 정보가 더해지기 때문에 정보의 양이 많아진다. 따라서 영상 정보 처리 기간이 많이 걸리는데, 현재의 추세는 더 높은 공간 및 파장 분해능을 높이는 광학 기술보다는 기존의 많은 양의 정보를 더 빨리 처리하는 기술에 관심이 집중되는 추세이다.

표 7. 개발 완료 및 진행중인 국내 인공위성 광학 시스템

위성 및 탑재체	사양 및 설명	위성 및 탑재체	사양 및 설명
우리별1호 지구관측 카메라	 <ul style="list-style-type: none"> - 흑백 면적 CCD - 상용 CCD 카메라 (Telephoto Lens) - 해상도 400m 	우리별2호 지구관측 카메라	 <ul style="list-style-type: none"> - 흑백 면적 CCD - 상용 CCD 카메라 (Telephoto Lens) - 해상도 200m
우리별3호 지구관측 카메라	 <ul style="list-style-type: none"> - 선형 CCD - 3개의 칼라 관측 - Mangin 망원경 - 해상도 13.5m - 전자계 독자 개발 - 광학계 남아공 대학과 공동개발 	우리별3호 별감지센서	 <ul style="list-style-type: none"> - 흑백 면적 CCD - 상용 CCD 카메라 (Telephoto Lens) - 분해능 60 arcsec
과학위성1호 원자와선분광기 (FIMS)	 <ul style="list-style-type: none"> - 원통형 포물 반사경 - 국내 자체 제작 - 타원형 회절격자 사용 - 마이크로 채널 플레이트 사용 - 고온 플라즈마 방출선 검출 - 오로라 관측 	과학위성1호 별감지센서 (협각 및 광각)	 <ul style="list-style-type: none"> - 흑백 면적 CCD - 상용 CCD 카메라 (Telephoto Lens) - 분해능 10, 30
다목적위성1호 고해상도 지구관측카메라	 <ul style="list-style-type: none"> - 흑백 선형 CCD - 카세그레인 망원경 - 해상도 6m - 미국의 TRW와 공동 개발 	다목적위성1호 해양관측카메라	 <ul style="list-style-type: none"> - 분광 - 1km 해상도 - 회절격자를 사용한 400~900nm에서 6개 파장영역 측정
MACSAT 지구관측 카메라 (개발 중)	 <ul style="list-style-type: none"> - 칼라 선형 CCD - 카세그레인 망원경 - 해상도 2.5/5m - 국내 개발 	다목적위성2호 지구관측카메라 (개발중)	 <ul style="list-style-type: none"> - 칼라 선형 CCD - 카세그레인 망원경 - 해상도 1/4m - 이스라엘 ELOP과 공동개발

2.4 천문 우주용 광학 탑재체

천문 우주용 광학 탑재체는 대기의 난류에 의하여 제한되는 지상의 망원경 성능을 향상시키기 위하여 지구 대기 바깥에서 천문우주관측을 하는 경우와, 대기를 통과하지 못하는 자외선, X-ray 및 적외선 영역의

관측을 시도하는 경우가 있다.

전자의 경우 지상 망원경의 8m급 이상의 대형화와 대기 효과를 제거하기 위한 적응광학의 발달로 심각한 도전을 받고 있으나, 미국 NASA는 허블우주망원경 이후 구경 6m급의 차세대우주망원경 James Webb Space Telescope을 2010년에 발사할 계획으로, 우주

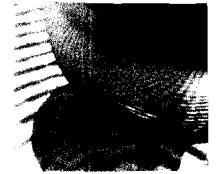


표 8. 개발 계획 중인 주요 국내 인공위성 광학 시스템 (별감지센서는 제외)

이름		위성 및 탑재체	설명
다목적위성3호 지구관측카메라	- 2008년 발사 예정 - 해상도 0.8/3.2m 급	다목적위성4호 고분광카메라	- 2009년 발사 예정 - 고분광 카메라 - 기상, 해양 및 기상 관측 (세부 사양은 결정되지 않았음)
다목적위성6호 지구관측카메라	- 2014년 발사 예정 - 해상 0.5/2m 급	다목적위성8호 고분광 및 적외선 카메라	- 2015년 발사 예정 - 고분광 카메라 - 적외선 카메라 - 기상, 해양 및 기상 관측 (세부 사양은 결정되지 않았음)
과학기술위성2호 태양관측카메라	- 2005년 발사 예정 - 탑재체 개발 주도 기관 선정 (경희대)	과학기술위성4호 적외선 카메라 (기술시험)	- 2011년 발사 예정 - 실용위성 적용 기술 개발

대형 망원경으로만 관측할 수 있는 독자 영역을 확실히 구축하고 있다. 이러한 초대형 우주 망원경을 개발하기 위해서는 초경량 대형 광학계 설계·제작·시험 기술, 접었다 펴서 광학 정밀도를 맞출 수 있는 메커니즘, 극저온 광학계 및 센서 기술 등을 개발하여야 한다.

X-ray 망원경은 광선의 입사각이 일정각 이상일 경우 반사경을 직접 투과하게 되므로, 입사각을 최대한 적게 설계하여 지상망원경과는 상이한 모양이고 관측 파장이 가시광선에 비하여 짧으므로, 망원경의 제작·시험·조립에 상당한 어려움이 있다. 적외선 망원경은 광학소자 자체의 요구조건은 덜 까다롭지나 노이즈를 줄이는 센서 기술과 냉각 기술을 적용하여야 한다. 그 외에 과학위성1호에 탑재되는 원자외선분광기(FIMS)와 같은 분광 광학 탑재체도 있다.

2.5 국내 개발 인공위성 광학 시스템

국내 개발 인공위성 광학 시스템은 현재 지구관측카메라가 주를 이루고 있으며, 별감지센서, 분광카메라 및 우주과학 광학 탑재체 개발도 경험하고 있다(표 7).

또한 앞으로 개발될 주된 인공위성 광학탑재체도 지구 관측 위주로, 전자광학카메라, 고분광 카메라, 적외선 카메라 등이 계획되어있다(표 8).

3. 맺음말

현재 인공위성 광학계는 성격상 군사 목적의 정찰과 정밀 지도 제작 등에 응용될 수 있으므로, 기술 선진국에서 기술 이전을 극도로 제한하고 있는 분야이다. 이에 현재 시스템 및 요소 분야에 필요한 연구를 계속적으로 수행하고, 동시에 이를 수행할 수 있는 전문 인력의 양성과 국내 관련 기술의 기반 설립을 위한 충분한 지원이 따라야 할 것으로 보인다.

인공위성 광학계는 우주, 광학, 기계, 재료 및 전자의 복합기술 분야이나, 과제 성격 상 보안 등의 문제로 상대적으로 국내 우수 광학 인력의 적극적인 관심 및 참여가 부족하였다. 앞으로의 인공위성 광학계 개발에는 국내 우수 광학 인력으로부터 적극적 도움을 받고, 또한 인공위성 광학계의 개발이 역으로 국내 광학 발전에 적극적 기여가 있기를 바라며 글을 마친다.

참고문헌

- (1) 과학기술부, 국방부, 정보통신부, 우주개발 중장기 기본계획, 2000.
- (2) 장영근, 이동호, 인공위성 시스템 설계공학, 경문사, 1997.
- (3) 이현우, 과학위성1호용 별센서, 인공위성연구센터, 2002.
- (4) 김용민, 이준호 외, "Star sensor design for small satellites", 하계물리학회, 1999.
- (5) 유상근 외, "우리별3호 탑재 고해상도 CCD 카메라 시스템 개발", 한국원격탐사학회지, 12권 2호 pp. 97-110, 1996.
- (6) 이준호, 유상근, "우리별3호 개발 및 운용 현황", 한국광학회지, No. 12-5, pp. 382-388, 2001.
- (7) <http://eo1.gsfc.nasa.gov> : EO-1호 공식 사이트. Landsat의 향후 탑재체 개발을 위한 시험 성격의 ALI, Hyperion, LEISA 등 탑재체 정보.
- (8) <http://rst.gsfc.nasa.gov/> : 지구관측 tutorial. 원격탐사의 기본원리 및 방대한 역사, 위성용 원격탐사 센서 종류별 자료 및 링크 (Landsat 자료 위주).
- (9) 이준호 외, "소형위성용 고해상도 카메라 설계", 한국광학회지, No. 11-4, pp. 6-12, 2000.
- (10) 이준호, 엄태경, 이완술, 윤성기, "An optomechanical study of large mirrors for satellites", 한국광학회지, No.13-1, pp. 1-8, 2002.
- (11) Jensen, J.R., Remote Sensing of the Environment, Ch. 7 Multispectral Remote Sensing Systems, Prentice-Hall, 2000.
- (12) Pease, C.B., Satellite Imaging Instruments, Part II, Ellis Horwood, 1991.
- (13) Pearlman, J., et al., "Development and Operations of the EO-1 Hyperion Imaging Spectrometer", Proc. SPIE Vol. 4725, pp. 515-520, 2000.
- (14) <http://www.fas.org/spp/military/program/index.html> : 공개된 군사위성 관련 정보.

약 령



이준호

2001~ 현재 한국과학기술원 인공위성연구센터 연구조교수
 1999~2001 한국과학기술원 인공위성연구센터 선임연구원
 1999 런던대학교 물리 이학박사 (적응광학)
 1996~1999 Churchill College 시간 강사
 1995 런던대학교 위성공학 공학석사
 1994 한국과학기술원 기계공학 공학사
 1990 경기과학기술대학교
 E-mail: jhl@satrec.kaist.ac.kr
 관심분야: 적응광학, 우주광학, 광기계, 인공위성



김도형

2000-현재 한국과학기술원 인공위성연구센터 선임연구원
 2000 런던대학교 물리 박사 (광학 제작)
 1995 런던대학교 위성공학 석사
 1994 한국과학기술원 물리학 학사
 E-mail: edk@kaist.ac.kr
 관심분야: 비구면 가공, 우주광학, 인공위성