

달 탐사 탑재체 개발 현황

신상윤*, 장수영**, 육영춘***, 용상순****, 이승훈*****

The current payloads development status for the lunar exploration

Shin Sang-Youn*, Chang Su-Young**, Youk Young-Chun***, Yong Sang-Soon****, Lee Seung-Hoon*****

ABSTRACT

In this paper, the technical trends of the lunar exploration were studied by investigating the objectives of the mission of the recent lunar orbiters. The payloads of the lunar orbiter launched and planned since 1990 are rearranged and analyzed according to the objectives of the mission and the performance. In the future, it will be used to define the objectives of the mission and to make a plan for developing the payloads of the domestic lunar orbiter.

초 록

본 논문에서는 최근 발사된 달 탐사 위성의 탑재체 종류와 임무를 분석하고 이를 통해 각국의 달 탐사선의 목적과 탑재체 개발동향을 알아보려고 하였다. 이를 위해, 90년대 이후 발사된 달 탐사 위성들에 실린 탑재체를 임무별로 분류한 후, 각 위성 탑재체 별 성능을 분석하여 개발동향을 정리하였다. 이러한 분석을 통해, 향후 국내 달 탐사 위성을 위한 임무와 활용 범위를 설정하거나 탑재체 선정 시 기초자료로 활용하고자 한다.

Key Words : Lunar Orbiter(달탐사 위성), lunar orbiter payloads(달탐사 탑재체), lunar orbiter experiment package(달탐사 실험장비), lunar orbiter mission(달탐사 임무)

* 한국항공우주연구원 다목적 3호 사업단 3호 탑재체 팀
syshin@kari.re.kr

** 한국항공우주연구원 위성기술 사업단 위성기술실 위성광학기술팀
sychang@kari.re.kr

*** 한국항공우주연구원 위성기술 사업단 위성기술실 위성광학기술팀
ycyouk@kari.re.kr

**** 한국항공우주연구원 다목적 3호 사업단 3호 탑재체 팀
ssyong@kari.re.kr

***** 한국항공우주연구원 위성기술 사업단 위성기술실 위성광학기술팀
shlee@kari.re.kr

1. 서론

달 탐사선의 개발은 1960년대부터 1970년대에 걸쳐 미국과 소련의 두 강대국을 중심으로 이루어진 반면, 최근에는 미국, 러시아 이외에도 유럽, 중국, 일본, 인도 등 많은 국가들이 앞다투어 달 탐사선 개발에 열을 올리고 있다.

본 논문에서는 90년 대 이후 발사된 각국의 달 탐사 위성들의 탐사임무, 탐사범위를 분석하여 개발동향을 알아보고, 이를 통해, 향후 국내 달 탐사 위성의 탐사 임무와 범위 설정에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 탑재체 개발 현황

본 절에서는 90년대 이후 발사된 달 탐사 위성들의 탑재체들을 표 1에서 보여준 것과 같이 수행 임무를 중심으로 분류하고, 분류된 탑재체들의 성능과 구성 등을 각 위성별로 비교 분석한다. 본 절에서는 미국의 클레멘타인(1994), 루나 프로스펙터(1998), 유럽연합의 스마트-1호(2003), 일본의 셀레네(2007), 중국의 창어 1호(2007), 인도의 찬드리아 1호(2008), 미국의 LRO 달 탐사 궤도선(2008) 위성에 탑재된 탑재체를 중심으로 기술하고자 한다.

표 1. 임무별 탑재체 분류

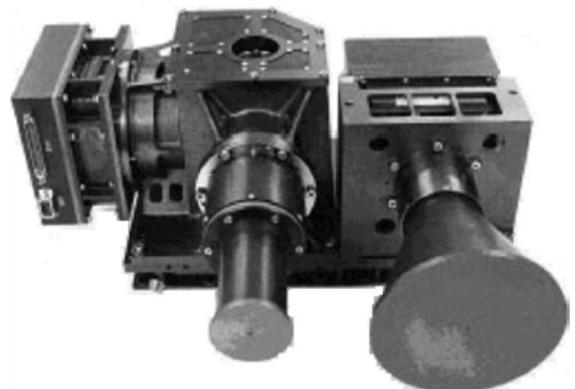
임무	탑재체
달표면 구조 및 지형 파악	고해상도 스테레오 카메라 LIDAR 소형 레이더 영상기
화학적 구성요소 파악	하이퍼 스펙트럼 영상기 X선 분광기 감마선 분광기
광물학적 조사	자외선-가시광선 카메라 근적외선 카메라 적외선 카메라/분광기
달표면 환경 조사	중성자 검출기 플라즈마 시험기 광대역 전파 중계기
우주 환경 조사	태양 관측기
달표면 및 지구 영상 기록	HD TV 카메라

2.1 고해상도 스테레오 카메라

고해상도 스테레오 카메라(High-resolution Stereo Camera)는 달 표면의 고해상도 지도제작을 임무로 한다. 향후 달탐사선 착륙 가능 지형 및 물의 존재를 확인하기 위한 영구적인 그늘 및 햇볕 도달 지형을 지도화하는 임무도 띠고있다. 표2에서는 주요 달탐사 궤도선에 탑재된 고해상도 스테레오 카메라의 해상도, 관측폭, 과장대역을 정리하였다. 특히, 클레멘타인에 탑재된 탑재체는 4개의 밴드패스필터를 사용하여 달표면의 분광학적인 데이터를 부가적으로 취득할 수 있도록 하였고, 달탐사궤도선은 협각(narrow angle) 카메라, 광각(wide angle) 카메라 각각을 이용하여 달표면의 상세 지형과 6개 과장대역에 따른 분광학적인 정보를 얻을 수 있도록 하였다. 그림1은 창어 1호에 탑재된 스테레오 카메라인데, 카메라의 주요 구성은 광학계, 광기계 구조, 이미지센서, 신호처리시스템으로 구성되어 있다.

표 2. 고해상도 스테레오 카메라

위성명	탑재체 해상도, , 과장대역
클레멘타인[1]	20m, 2.8km, 400-800nm(4 filters)
셀레네[2]	10m, 41km, 430-850nm
창어1호 [3]	120m, 60km, PAN
찬드리아[4]	10m,20km,400-900nm
LRO[5]	0.5m,5km,400-750nm(narrow angle camera), 100m, 100km, 310-680 nm (wide angle camera)



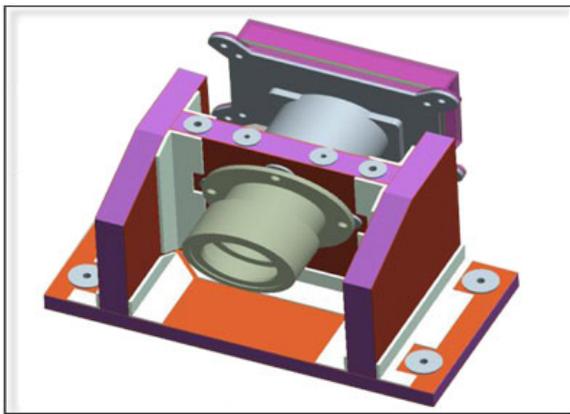
자료 : [3] 그림 1. 1 : 스테레오 카메라

2.2 하이퍼 스펙트럼 영상기

하이퍼 스펙트럼 영상기(Hyper-Spectral Imager : HySI) 는 달표면 광물 지도를 고해상도로 만들고, 그 구성성분을 밝히기 위한 장비이다. 이 장비는 자외선, 가시광선 대역과 근적외선 대역의 분광영상을 제공한다. 영상은 어레이 디텍터를 이용하여 분광영역의 분광학적 방사조도를 측정하여 영상을 생성한다.

표 3. 하이퍼 스펙트럼 영상기

위성명	파장대역, 해상도
셀레네 [2]	1) UV-VIS-NIR 대역 분광영상 제공 2) 분광영역 범위 : 0.4 ~ 1.6 마이크로미터 3) 9밴드 4) 분광 해상도 : 20-30nm 5) 공간해상도 20-60m
찬드리아안[4]	1) VIS-NIR 대역 분광영상 제공 2) 분광영역 범위 : 0.4 ~ 0.92 마이크로미터 3) 64밴드 4) 분광 해상도 : 15nm 이상 5) 공간해상도 : 80m



자료 : [6] 그림 2 HySI

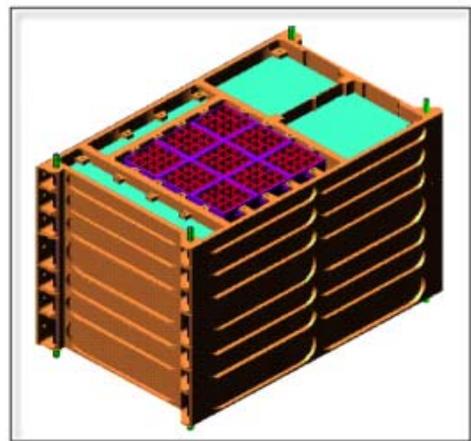
2.3 X선 분광기

X선 분광기(X-ray spectrometer)는 달표면을 구성하는 성분으로부터 발생하는 X선을 관찰하여 달표면을 구성하는 주요 성분을 조사하는 장비이다. Mg, Al, Si, S, Ca, Ti, Fe 등과 같은 성분에서 태양으로부터 오는 X선에 의해 약한 X선이 발생되는 데, 이 때 발생

하는 X선에 의한 에너지 준위는 성분별로 특정 에너지 대역 특성을 갖게 된다. 이 특징을 관찰하여 달 표면을 구성하는 성분과 그 양을 조사할 수 있다.

표 4. X선 분광기

위성명	측정 에너지 대역, 해상도
스마트 1[7]	0.5-10keV, 5.2kg, 18W, 50km
셀레네[2]	0.7-8keV, 20km
창어 1호[3]	0.5-60keV
찬드리아안[4]	1-10keV



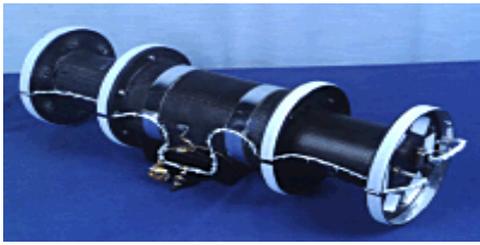
자료 : [8] 그림 3 X선 분광기

2.4 감마선 분광기

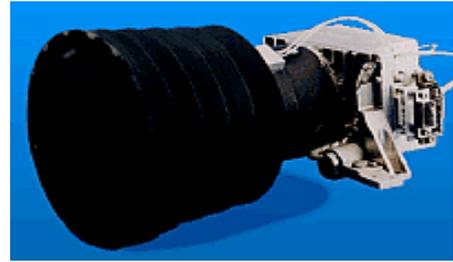
감마선 분광기(Gamma-Ray spectrometer : GRS)는 달의 감마선 스펙트럼을 관찰하는 장비이다. 이 장비는 달표면의 화학적 구성을 파악하기 위한 장비로써, 특히 U, Th, K등의 감마선을 주로 측정한다. 이 밖에도 Fe, Ti, O, Si, Al, Mg, Ca등의 감마선도 측정한다.

표 5. 감마선 분광기

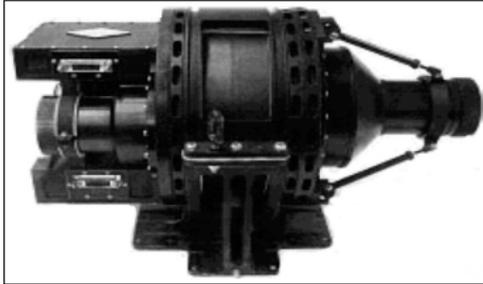
위성명	측정 에너지 대역, 해상도
루나 프로스펙터[9]	0.3-9MeV, 8.6kg, 3W, 150Km
셀레네[2]	0.1-10MeV, 160km
창어 1호[3]	300keV-9MeV



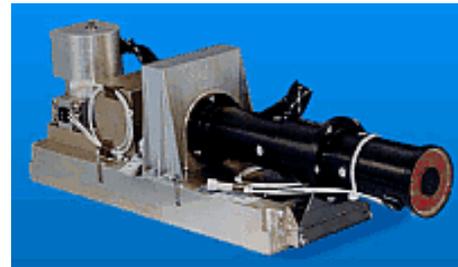
자료 : [9]
그림 4. 쿠나 프로스펙터 감마선 분광기



자료 : [6]
그림 6. / CCD 카메라



자료 : [3]
그림 5. 1 : 감마선 분광기



자료 : [7]
그림 7. CCD 카메라

2.5 자외선/가시광선/근적외선 카메라

가시광선/근적외선 카메라(UV/Visible/NIR) 카메라는 달표면을 조사하기 위한 장비이다. 클레멘타인 위성은 달표면의 암석 및 달표면 분화구의 형태를 조사할 수 있는 UV/Visible 및 NIR CCD 카메라를 장착하였다. UV/Visible 카메라는 5개의 다른 파장을 조사하여 달표면에 대한 정보를 얻는다. NIR카메라는 근적외선의 5개 파장대역을 분석하여 달 표면의 구성물질에 대한 정보를 얻어낸다. 셀레네 위성은 스테레오 타입의 카메라를 이용하여 2차원의 달표면의 지형을 알아낸다. 창어 1호 또한 스테레오 타입의 카메라를 장착하여 3차원의 달표면 영상을 얻을 수 있다.

표 6. / / 적외선 카메라

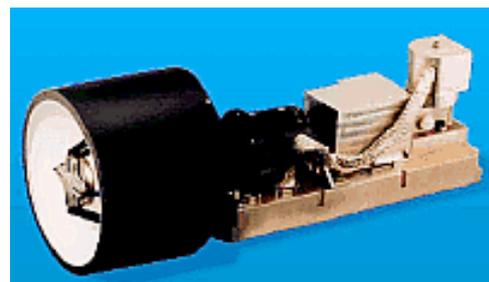
위성명	파장대역, , , , 관측폭
클레멘타인 [10][11]	UV/Visible CCD 카메라 : 415,750,900,950,1000,400-950(nm),0.41kg, 4.5W,80m, 40km
	NIR(Near-Infrared) CCD 카메라 : 1100,1250,1500,2000,2600,2780(nm),1.92kg, 11W,115m,40km
셀레네 [2]	지형 카메라(TC) : pan, 0.43-0.85nm, 10m, 41km
창어 1호 [3]	스테레오 카메라 :120m, 60km

2.6 적외선 카메라

적외선 카메라(Infrared camera)는 적외선 스펙트럼을 이용하여 달의 어두운 면과 지구 근처의 소행성을 관측하기 위해 장착되었다. 클레멘타인에 탑재된 장파적외선 카메라(Long Wave Infrared camera)는 8000nm ~ 9500nm의 넓은 파장대역으로부터 영상을 얻는 HgCdTe FPA(focal-plane array)를 장착하였다.

표 7. 적외선 카메라

위성명	파장대역, , 해상도
클레멘타인 [14]	8000~9500(nm), 2.1kg, 13W, 43m, 10Km



자료 : [14]
그림 8. CCD 카메라

2.7 적외선 분광기

적외선 분광기(IR spectrometer)는 달표면의 광물탐사를 위해 제작되었다. 스마트1호에 탑재된 적외선 분광기는 256개의 분광채널을 가지고 있으며, 930 ~ 2400 nm 의 파장대역을 갖는다. 다양한 광물을 구별해 낼 수 있는데, 휘석(pyroxenes), 감람석(olivines), 장석(feldspars) 등을 구별해 낼 수 있다. 또한, 물, 이산화탄소, 일산화물 등도 감지할 수 있다. 이 탑재체는 달을 구성하는 다양한 물질들을 감지할 수 있으며, 분화구의 형태나, 달 표면의 날씨 등에 대한 정보수집도 가능하다.

표 8. 적외선 분광기

위성명	파장대역, , 관측폭
스마트 1[7]	930-2400nm, 2.3kg, 4.1W, 300m



자료 : [15]
그림 9. 1 (SIR)

절대적인 정확도를 보증받을 수 없으며, 추가적인 후처리 작업없이 실시간 으로 고도정보를 확인할 수 없으며, 매우 복잡한 시스템이라는 단점도 지닌다.

그림10은 클레멘타인에 탑재된 LIDAR 장비인데, 주요 구성은 레이저, 광학계, 광구조계, 센서, 처리전자 장치 등이다.

표 9. LIDAR

위성명	해상도
클레멘타인[16]	수직 40m, 수평 100m
셀레네[17]	수직 5m, 수평 1600m
창어 1호[3]	수직 1m
찬드리아안[18-19]	수직 10m
LRO[20]	수직 0.1m



자료 : [16]
그림 10. LIDAR

2.8 LIDAR

레이저 거리 측정기 (Laser Image Detection and Ranging : LIDAR)는 떨어져있는 물체와의 거리와 기타 정보를 측정하기 위한 광학원격측정장비이며, 보통 레이저 펄스를 이용한다. 이 장비를 이용하면 고도맵을 작성할 수 있으며, 이를 통해 큰 웅덩이의 지형 혹은 달의 다른 특징들을 알 수 있다. 또한 지각의 응력/변형을 혹은 굴곡특성을 알 수 있으며, 중력과 함께 고려하여 지각에서의 밀도분포를 연구하는데 이용된다.

LIDAR를 이용한 고도 매핑기술은 비교적 적은 비용으로 정밀하게, 그리고 넓은 면적에 대해 빨리 고도정보를 얻을 수 있는 비관입적(non-intrusive) 측정법이라는 장점이 있으나, 움직이는 물체상에 위치한 LIDAR는

2.9 소형 레이더 영상기

소형 레이더 영상기(Mini SAR(Synthetic Aperture Radar))는 공중에서 지상 및 해양을 관찰하는 레이더이다. SAR는 지상 및 해양에 대해 공중에서 레이더파를 순차적으로 쏘아 이후 레이더파가 굴곡면에 반사되어 돌아오는 미세한 시간차를 선착순으로 합성해 지상지형도를 만들어내는 레이더 시스템이다. SAR는 레이더를 사용하기 때문에 주간 및 야간, 그리고 악천후를 가리지 않는다.

달탐사 위성에서 SAR는 달 극지방에서의 물의 존재를 확인하기 위해 이용된다. SAR는 관측지역에서의 태양빛의 존재유무와 위성과의 각도와 무관하게 달 표면의 영구적 그림자 지역의 관측이 가능하다. 그림11은

찬드리아에 탑재된 Mini SAR 장비인데, 주요 구성은 RF송수신기, 처리전자부, 안테나 등이다.

표 10. (Mini SAR)

위성명	SAR 주요사항
찬드리아[19,21]	주파수: 2.38GHz
	해상도: 75m
	무게: 6.5kg
	관측폭: 44km
	방위폭: 8km
LRO [22]	-



자료 : [21]
그림 11. 찬드리아 소형 레이더 영상기

2.10 플라즈마/이온 시험기

달까지의 이동중 혹은 달주변에서의 우주환경(플라즈마, 이온, 방사능 등)을 측정하기 위한 다양한 시험장비들이 장착되었다. 표11에서는 주요 달탐사 궤도선에 탑재된 플라즈마 시험기의 명칭, 사양 및 기능을 정리하였다. 그림12는 창어 1호에 탑재된 고에너지 입자 검출기

표 11. / 이온 시험기

위성명	시험기명 (,)
스마트 1호 [23-24]	SPEDE (위성체 전위, 전자 및 먼지 측정, 0-40eV, 0.7kg, 2W)
셀레네 [2]	PACE(Plasma analyzer, 대전 입자 에너지, 각도 및 구성 측정, 5eV/q-28keV/q)
창어 1호 [3]	High-energy particle detector (중이온 및 양성자 검출, 4MeV-400MeV)
LRO [25]	Crater(심우주 방사능 환경 측정, ~10MeV)



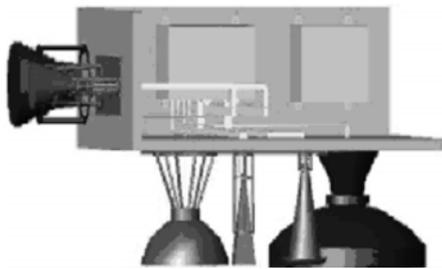
자료 : [3]
그림 12. 1. 고에너지 입자 검출기

2.11 광대역 전파 중계기

광대역 전파 중계기(Wideband Radiowave Transponder)는 우주선의 추적, 달 중력장에 대한 연구 및 달 표면 토양층의 두께 측정을 위해 사용되는데, 정밀도 향상을 위해 높은 주파수 대역의 사용이 요구된다. 그림13는 창어 1호에 탑재된 초고주파 라디오미터인데, 주요 구성은 전파 송수신기, 보정안테나 등이다.

표 12. 광대역 전파 중계기

위성명	시험기명 (,)
스마트 1호 [24]	KATE(Ka-Band(32-34GHz)/X-band(8GHz) teleco-mmunications(up to 500 kbit/s from lunar orbit) & tracking and tests turbo-codes and VLBI operation 5.2kg, 18W)
셀레네 [26]	RSAT (달의 원거리 극부중력장 관측, 탐사선 중계기의 도플러 측정) VRAD (달의 정밀한 중력장 관측, S와 X대역 파장의 미소 VLBI 관측을 이용한 위성궤도를 측정함)
창어 1호 [3]	초고주파 라디오미터(4개의 초고주파 대역을 이용한 달표면 토양층의 두께 측정, 사용 주파수 : 3GHz, 7.8GHz, 19.35GHz and 37GHz, 예상침투두께:30m, 20m, 10m and 1m, 온도해상도 0.5K)



자료 : [3]
그림 13. 1. 초고주파 라디오 미터

2.12 태양 관측기

달탐사 위성에는 다양한 종류의 태양관측기(Solar Monitor)가 탑재되어 있는데, 태양으로부터 방출되어 달에 도달하는 X선, 태양풍 이온유속 및 Dose비 등 다양한 물리량을 관측할 수 있다.

그림14는 찬드리아에 탑재된 태양관측기의 일종인 RADOM(Radiation Dose Monitor Experiment)인데, 주요구성은 반도체검출기, 전치증폭기 및 마이크로 컨트롤러등이다.

표 13. 태양 관측기

위성명	시험기명 (,)
스마트 1호 [24]	D-CIXS(X-ray mapping spectrometer, 암석구성요소 전체 맵 작성 및 우주선 소스 모니터링 제공, 0.5-10keV) XSM(달의 형광을 야기하는 태양의 X-ray 측정, Peltier-cooled Si diode 사용, 0.8-20keV)
창어 1호 [3]	Solar wind detectors (태양풍 이온 유속 측정, -20keV)
찬드리아 [27]	RADOM(달궤도, 입자유속, dose 비 및 침전 에너지 스펙트럼 측정)



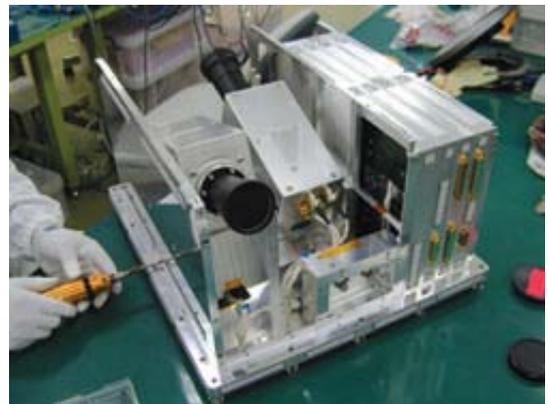
자료 : [27]
그림 14. 찬드리아 태양 관측기

2.13 HD TV 카메라

일본의 SELENE 궤도선은 달까지의 이동 중에 지구와 달의 영상을 제공하기 위한 고해상도(HD) TV Camera를 탑재하였다.

표 14. HDTV 카메라

위성명	시험기명 (,)
셀레네 [28]	HDTV 카메라(달과 지구의 영상 제공, 크기 : 46cm×42cm×28cm, 무게 :16.5kg, 전력소비 : 50W, 수평각 44도(광각), 15도(텔레포토), 2.2M-pixel CCD 3개)



자료 : [28]
그림 15. HDTV 카메라

3. 결론

각 위성에 탑재된 탑재체를 탐사목적에 따라 분류를 하고, 달 탐사선별로 그 성능과 구성, 탐사능력등을 비교해 보았다. 탐사목적 따라 크게 달표면의 구조 및 지형을 파악하기 위한 탑재체, 달을 이루고 있는 화학적 구성 요소를 파악하기 위한 탑재체, 광물학적 탐사를 위한 탑재체, 달 표면의 환경과 우주 환경을 조사하는 탑재체 등이 있다. 향후 달 탐사선 개발을 위해서는 달 탐사 탑재체들의 기술 동향 파악을 바탕으로 우리에게 필요한 달 탐사 목적과 활용범위를 정하고, 이에 맞는 탑재체를 선정하고 필요한 기술을 확보하여야 한다.

4. 참고문헌

1. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentDisplay.do?id=1994-004A-06>
2. Konishi Hisahiro, "SELENE project status", J. Earth Syst. Sci. 114, No. 6, December 2005, pp. 771-775
3. Sun Huixian, "Scientific Objectives and Payloads of Chang'E-1 lunar satellite", J. Earth Syst. Sci. 114, No 6, Dec 2005, pp. 789-794
4. N Bhandari, "Chandrayaan-1 : Science goals", J. Earth Syst. Sci. 113, No. 6, December 2005, pp. 701-709
5. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentDisplay.do?id=LUNARRO%20%20-01>
6. <http://www.isro.org/chandrayaan/htmls/hysi.htm>
7. B H Foing, "SMART-1 after lunar capture: First results and perspectives", J. Earth Syst. Sci. 114, No. 6, December 2005, pp.689-697
8. <http://www.isro.org/chandrayaan/htmls/hex.htm>
9. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1998-001A&ex=01>
10. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1994-004A&ex=01>
11. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1994-004A&ex=02>
12. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1994-004A&ex=01>
13. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1994-004A&ex=02>
14. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1994-004A&ex=03>
15. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/experimentDisplay.do?id=2003-043C-02>
16. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/masterCatalog.do?sc=1994-004A&ex=04>
17. M. Kato, 외 2인, "SELENE, THE JAPANESE LUNAR ORBITING SATELLITES MISSION: PRESENT STATUS AND SCIENCE GOALS", LPSC 2006
18. http://ihy2007.org/presentations/ILWS/ISRO_Update.ppt
19. http://www.tifr.res.in/~aset/full_text/Chandrayaan1-TIFR.ppt
20. http://www.dlr.de/pf/PortalData/6/Resources/dokumente/isprs_2007/Neumann_ISPRS_2007.pdf
21. http://www.isro.org/chandrayaan/htmls/minisar_nasa.htm
22. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=LUNARRO>
23. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraftDisplay.do?id=2003-043C>
24. <http://esapub.esrin.esa.it/br/br200/SMART-1.pdf>
25. <http://lunar.gsfc.nasa.gov/crater.html>
26. http://www.kaguya.jaxa.jp/en/about/about_sat_e.htm
27. http://www.isro.org/chandrayaan/htmls/radom_bas.htm
28. http://www.kaguya.jaxa.jp/en/equipment/hdvt_e.htm