항공우주산업기술동향 9권1호 (2011) pp. 150~157
산업동향(기술동향)

http://library.kari.re.kr
에서 보실 수 있습니다.

광학추적장비용 렌즈의 기술 동향

박두진*, 노영환**, 김태형***, 이효근****

Technical Trend of Lens for Optical tracking system

Doo-Jin Park *, Young Hwan Noh**, Tae Hyung Kim***, Hyo Keun Lee****

ABSTRACT

In launch site, optical tracking system equipped with high performance lens is used to acquire images of launch vehicle in the early stage of the ascent phase. This article describes a technical trend of various lens as well as its application to optical tracking system.

초 록

일반적으로, 우주센터 또는 위성 발사장에서는 발사체의 비행초기구간에 대한 비행영상을 획득, 분석 하기 위하여 고성능 렌즈가 탑재된 광학추적장비를 사용한다. 본 원고에서는 위성 발사분야에서 광학추적장비에 탑재되어 사용되고 있는 렌즈의 종류와 기술동향에 대해 서술하였다. 또한 국내,외 광학추적장비용 렌즈의 운용현황에 대해서도 간략히 기술 하였다.

Key Words : 슈미트 카세그레인 반사굴절렌즈, 막스토프 카세그레인 반사굴절렌즈, 리치 크레티앙 카세그레인 반사굴절렌즈, 줌렌즈, 시계(Field Of View), 렌즈 초점거리

* 박두진, 한국항공우주연구원 나로 우주센터 기술관리팀
djpark@kari.re.kr

** 노영환, 한국항공우주연구원 나로 우주센터 기술관리팀
nyh@kari.re.kr

*** 김태형, 한국항공우주연구원 나로 우주센터 기술관리팀
thkim@kari.re.kr

**** 이효근, 한국항공우주연구원 나로 우주센터 기술관리팀
hklee@kari.re.kr

1. 서 론

현재 세계에서 우주센터 및 자체 위성 발사체 발사장을 보유 운영하고 있는 나라는 2011년 기준 14개국 27개소이며, 이들 국가들은 위성 발사체 발사 시 필요한 발사통제시설, 발사대시설, 원격자료 수신장비, 추적레이다, 지령송신장비, 기상관측장비 및 광학추적장비 등 제반 시설 및 장비들을 갖추고 있다.

이러한 장비 중에서 광학추적 장비는 비행 초기구간 발사체의 비행 상태를 비행 영상을 통해 감시하고 분석하는데 중요한 역할을 하며, 특히 발사체 단 분리 순간의 영상을 획득하여 비행 이상 유무를 분석하는데 널리 이용되고 있다.

본 원고에서는 위성 발사체의 비행 초기구간 영상 및 단 분리 순간에 대한 영상을 획득하기 위해서 광학추적장비에 탑재하여 사용되고 있는 카세그레인 방식 반사 굴절렌즈(Catadioptric lens)와 고성능 줌렌즈(Zoom lens)의 기술동향과 해외 및 국내 운용현황에 관하여 기술하였다.

2. 광학추적장비용 렌즈 기술동향

2.1 반사 굴절 렌즈의 기술동향

광학추적장비에 탑재되어 사용되는 렌즈는 주로 천체관측 망원렌즈에서 사용되는 카세그레인 방식을 응용한 반사렌즈와 굴절렌즈가 결합된 형태를 갖는다. 즉 굴절렌즈가 갖고 있는 빛의 파장에 기인하여 발생하는 색수차를 보정하고 반사 망원렌즈의 곡률 때문에 발생하는 구면수차를 줄이기 위해 비구면 보정렌즈를 사용한다.

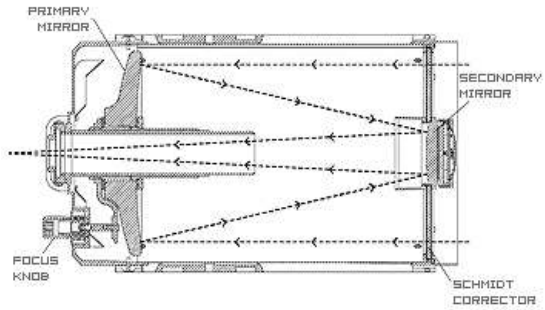
광학추적장비에 사용되는 카세그레인 방식 반사굴절 렌즈는 고정 초점거리 렌즈로써 초점거리가 4000mm이상이며, 렌즈밝기는 8.1 (F-Number)이하인 슈미트 카세그레인 반사굴절 렌즈(Schmidt Cassegrain catadioptric lens), 막스토프 카세그레인 반사굴절 렌즈(Maksutov Cassegrain catadipotric lens) 및 리치 크레티앙(Ritchey Chrétien) 반사굴절 렌즈가 주로 사용되고 있다.

슈미트 카세그레인 반사굴절 렌즈는 1931년 독일의 렌즈 전문가 B. Schmidt가 개발한 것을 응용한 것으로써 제2 반사면에 사진건판을 사용하는 대신에 볼록 비구면(aspheric) 반사경을 사용한다.

피사체의 영상이 초점면에 맺히는 과정은 피사체에서 반사된 영상이 비구면 보정렌즈(corrector lens)를 통과한 후, 제1구면 반사경(primary mirror)과 제 2 구면 반사경(secondary mirror)에서 반사하여 제 1구면 반사경의 중앙 홈에 설치된 릴레이 렌즈를 통해 최종적으로 CCD 영상센서 및 필름면에 상이 맺히도록 하였다.

또한 경통내부에 불필요한 가시광선을 차단하는 조절판(baffle)이 있으며, 보정렌즈를 포함한 모든 구면 반사경 및 렌즈를 밀폐된 경통에 설치하여 경통 내부에서 공기대류로 인해 발생하는 빛의 산란 등을 억제하였다.

렌즈의 초점은 미세선형 서보모터(linear servo motor)가 설치된 렌즈초점 조절장치를 이용하여 피사체의 거리에 따라 수동 또는 자동으로 조정한다. 그림1은 슈미트 카세그레인 반사굴절렌즈의 간략한 내부구성 이다.



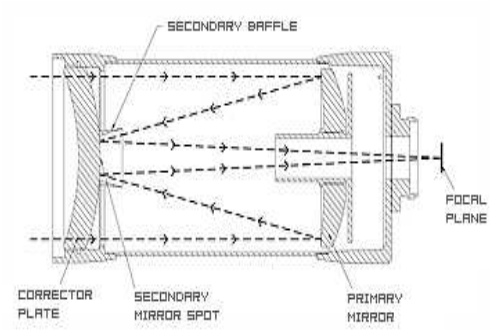
자료 : 참고문헌 [5]

그림 1. 슈미트 카세그레인 반사 굴절렌즈 내부구성

막스토프 카세그레인 반사굴절렌즈는 1941년 구소련의 렌즈 전문가 D.D. Maksutov가 개발한 것을 응용한 렌즈이다. 슈미트 카세그레인 반사굴절렌즈와 비교하면 구조와 성능은 매우 유사하다.

렌즈 구조상 차이점은 보정렌즈를 두꺼운 휘오목(meniscus) 렌즈를 사용하여 구면수차를 보정 하였으

며 보정렌즈의 중앙부분을 도금하여 제2 반사경으로 사용한다.

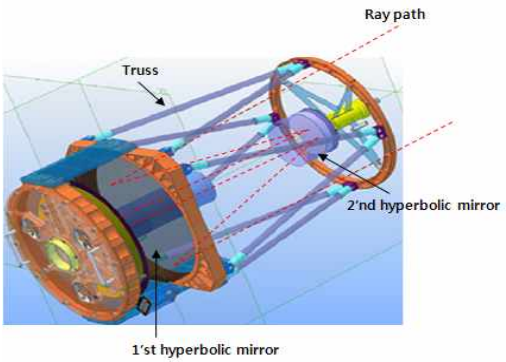


자료 : 참고문헌 [5]

그림 2. 막스토프 카세그레인 반사굴절 렌즈 내부구성

리치 크레티앙(Ritchey Chrétien) 반사 굴절렌즈는 1910년 미국의 천문학자 G.W.Ritchey와 프랑스의 천문학자 H. Chrétien이 개발한 것을 응용한 렌즈이며, 슈미트 카세그레인 반사굴절렌즈와 막스토프 카세그레인 반사굴절렌즈와 비교하여 성능면에서 큰 차이가 없다. 그러나 렌즈경통 내부가 개방 되어있어 외부온도가 상승할 경우 공기대류로 인해 빛이 산란되어 상이 흔들리는 현상이 발생한다.

렌즈의 구조는 렌즈의 코마수차와 구면수차를 줄이기 위해 제1반사경은 오목 쌍곡면 반사경(concave hyperbolic mirror)이며, 제2 반사경은 볼록 쌍곡면 반사경(convex hyperbolic mirror)으로 이루어져 있다. 또한 제 2 쌍곡면 반사경 지지대(truss)는 열팽창 및 수축이 적은 탄소 합금체로 구성되어 있다.



자료 : 참고문헌 [6]

그림 3. 리치 크레티앙 반사굴절 렌즈 내부 구성

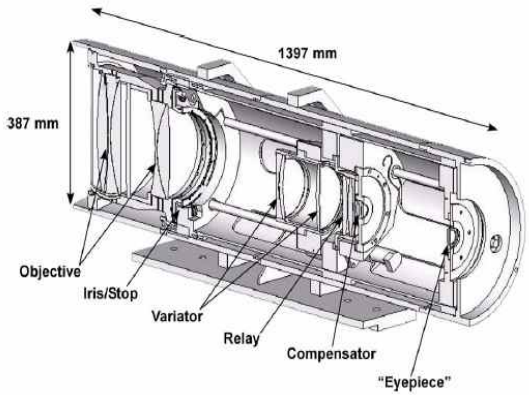
2.2 줌 렌즈의 개발 동향

앞에서 기술한 고정 초점거리를 갖는 카세그레인 방식 반사굴절 렌즈는 광범위한 시계(Filed Of View)를 갖는 줌 렌즈보다 시계범위가 제한되어 유도미사일 및 위성 발사체의 발사 초기구간에는 피사체 일부분만 촬영이 가능하다.

그러나 고성능 줌렌즈를 광학추적장비에 탑재하여 사용할 경우 관찰자가 원하는 시계(Field Of View)에 대한 영상을 획득 할 수 있다.

줌렌즈는 색수차와 구면수차를 보정하기 위해서 비구면 저분산(extra low dispersion) 굴절렌즈를 조합하여 다양한 초점거리를 갖는 렌즈를 구현 할 수 있다.

일반적으로 줌렌즈의 구성은 대물렌즈(objective lens)부, 가변렌즈(varactor)부, 릴레이렌즈(relay lens)부, 보정렌즈(compensator)부 및 접안렌즈(eyepiece)부를 포함한 5개 부분이 렌즈 경통에 설치된다.



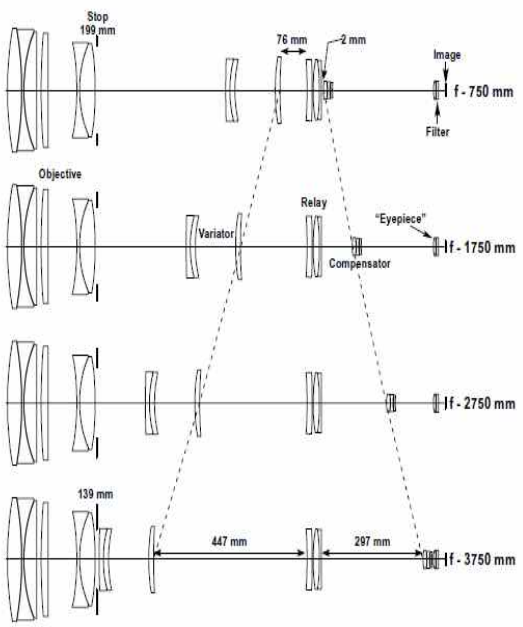
자료 : 참고문헌 [8]

그림 4. 장 초점거리 줌렌즈 내부 구성

렌즈의 초점거리 변화는 정밀 DC선형모터가 설치된 렌즈 구동축에서 가변렌즈부와 보정렌즈부를 좌, 우로 이동하면서 조정한다.

또한 입사광량을 조절하는 렌즈 조리개(iris/stop)는 대물렌즈부에 설치되어 있으며 DC 선형모터를 이용하여 조정한다.

그림5는 가변렌즈부와 보정렌즈부가 이동할 경우 750mm ~ 3750mm 초점거리 변화를 나타낸다.



자료 : 참고문헌 [8]

그림 5. 가변 렌즈 및 보정렌즈 이동에 따른 초점거리 변화

줌렌즈는 초점거리를 크게 제작할수록 색수차가 커지고 이를 보정 하기위한 비구면 저분산(extra low dispersion) 렌즈가 많이 설치되므로 렌즈무게가 증가한다.

또한 4000mm 이상 장초점 거리 줌렌즈를 제작할 경우 렌즈 밝기를 F-Number 8.1 이하로 제작 하는데 어려움이 있다.

즉 렌즈의 F-Number를 8.1 이하로 제작하기 위해서는 렌즈의 조리개 구경이 상당히 커야하므로 이에 따른 렌즈의 수차가 상대적으로 커지기 때문이다.

표1에 광학추적장비의 렌즈로 사용되는 카세그레인 방식 반사굴절렌즈와 장 초점거리 줌렌즈에 대한 장, 단점을 비교 하였다.

상기에서 언급된 바와같이 현재 줌렌즈의 기술수준으로 초점거리 4000mm이상이고 F-Number 8.1이하인 렌즈제작이 불가능 하다. 그러나 카세그레인 반사굴절렌즈는 초점거리 4000mm이상, F-Number 8.1이하의 렌즈제작이 가능하다.

표 1. 카세그레인 반사 굴절렌즈 및 줌렌즈 비교

Items	Cassegrain	Zoom lens
Focal length	Limited	Variable
Field Of View	Limited	Variable
F-Number	Low (bright)	High(dark)
Optical axis alignment	Difficult	Easy
Weight	Light	Heavy

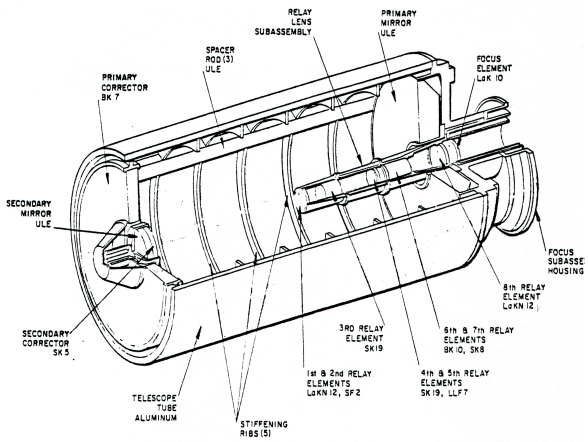
3. 국내, 외 광학추적장비용 렌즈 사용현황

3.1 미국 위성발사장의 광학추적장비용 렌즈 사용현황

미국의 케네디우주센터에서는 1986년과 2003년 두 번의 우주왕복선 폭발사고 이후 발사대 주변에 설치된 고속 카메라와 광학추적장비 성능을 대폭 보강하였다.

특히 이륙 순간부터 고체 로켓 부스터의 분리 순간까지의 영상획득을 목적으로 운용되고 있는 광학추적장비에 슈미트 카세그레인 반사굴절 렌즈를 보강하여 사용하고 있다.

그림6는 Contraves사가 제작한 광학추적장비의 슈미트 카세그레인 반사굴절 렌즈 내부 구조이다.



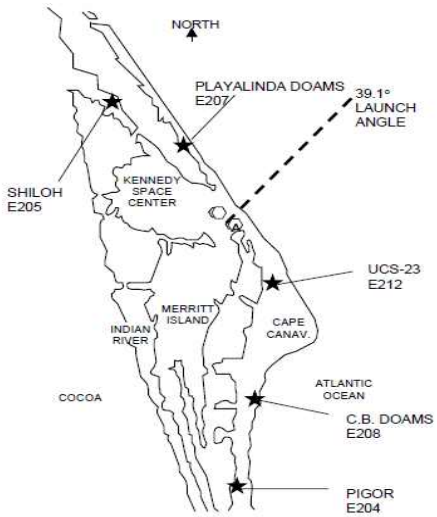
자료 : 참고문헌 [7]

그림 6. 광학추적장비의 슈미트 카세그레인 렌즈 내부 구조

케네디 우주센터에서는 우주왕복선의 장거리 영상 획득 목적으로 5개 장소에서 광학추적장비를 운용하고 있다. 표2와 그림7에 케네디우주센터의 광학추적장비 운용현황을 요약기술 하였다.

표 2. 케네디 우주센터의 장거리 영상 획득용 광학 추적장비 운용 현황

광학추적 장비명	설치위치 (발사대 기준)	렌즈초점거리	영상획득 시간
DOAMS	약 12.5km E207(발사대 북쪽)	10160mm 및 5080mm	T-7초 ~ T+240초
ATOS	약 15.2km E212(발사대 남쪽)	10160mm	T-7초 ~ T+240초
KTM	약 22.5km E205(발사대 북쪽)	10160mm	T-7초 ~ T+240초
DOAMS	약 32.2km E208(발사대 남쪽)	10160mm 및 5080mm	T-7초 ~ T+240초
IGOR	약 40 km E204(발사대 남쪽)	9144mm	T-7초 ~ T+240초



자료 : 참고문헌 [2]

그림 7. 케네디 우주센터의 장거리 영상획득용 광학추적장비 설치 위치

그림8은 발사대로부터 남쪽으로 약 32.2km 지점(E208)에 설치한 고정형 DOAMS 광학추적장비에 컬러 CCD 비디오 카메라와 렌즈 초점거리 5080mm인 슈미트 카세그레인 반사굴절 렌즈를 탑재하여 촬영한 영상이다. 고체 로켓 부스터 분리순간의 비행 경과시간은 122.3초 이며, 이때 광학추적장비의 카메라와 고체 로켓 부스터 분리순간의 구간거리는 약 75km 이었다.

자료 : 참고문헌 [2]

그림 8. 고체 로켓 부스터 분리 순간 CCD 비디오 영상

자료 : 참고문헌 [2]

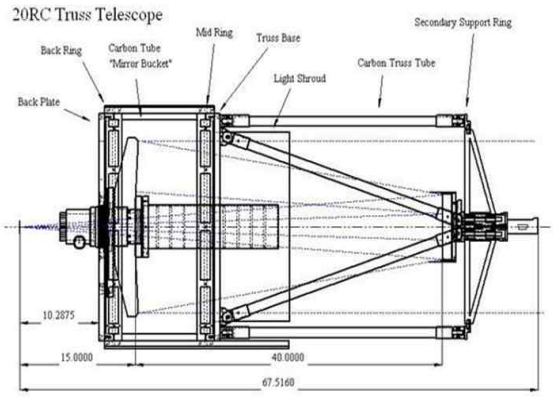
그림 9. DOAMS 광학추적장비 (E208 위치)

반덴버그 위성발사체 발사장에서는 위성 발사체 및 유도 미사일의 비행영상 획득 목적으로 광학 추적장비를 운용하고 있다.

광학추적장비는 미국의 Photosonic사에서 제작한 Cine Sextant 광학추적장비이며 여기에 RC Optical

systems사에서 제작한 리치 크레티앙 카세그레인 반사굴절 렌즈, 고속디지털 카메라 및 CCD 비디오 카메라를 탑재하여 운용하고 있다.

그림10은 리치 크레티앙 카세그레인 반사굴절렌즈의 내부 구조이다.



자료 : 참고문헌 [9]

그림 10. 리치 크레티앙 카세그레인 반사굴절 렌즈 구조

그림11은 초점거리 4938mm의 리치 크레티앙 카세그레인 반사굴절렌즈와 Photosonic사의 DCR-655 고속 디지털카메라를 탑재한 광학추적장비에서 촬영한 델타-2로켓의 고체모터 분리 후 낙하순간 영상이다.

이때 고체모터 낙하순간 시간은 T+132초 이었다. 광학추적장비에 탑재된 고속디지털 카메라의 사양은 표3과 같다.

표 3. 고속 디지털 카메라 주요사양

Items	Specifications
Resolution	1280 x 1024
Sensor type	CMOS
Maximum frame rate	500 fps at full resoultion
Pixel size	12㎛ x 12㎛
Fill factor	40 %
Sensor image size	15.36㎜ x 12.29㎜
Pixel depth	8 bit
Recording time	Max. 15Min(at 500 fps)

자료 : 참고문헌 [9]

그림 11. 델타-2 로켓의 고체모터 분리 순간 영상

자료 : 참고문헌 [9]

그림 12. Cine-Sextant 광학추적 장비

3.2 국내 광학추적장비용 렌즈 사용 현황

국방과학연구소 종합시험장에서는 유도 미사일 및 탄도비행 거동에 대한 영상을 추적하기 위해서 1999년 원격제어 방식 이동형 광학추적장비를 BAE사로부터 도입하였다.

최대 영상 추적범위는 15km 이내이고 렌즈 초점거리가 24mm ~ 1140mm인 줌렌즈, CCD 비디오 카메라 및 고속 디지털 카메라를 광학추적장비에 탑재하여 운용하고 있다. 표4는 국방 과학연구소의 종합

표 4. 국방과학연구소의 줌렌즈 및 영상센서 주요사양

Items	Specifications
Lens Type	Zoom lens
Lens focal length	24㎜ x 1440㎜
F-Number	8.1 (at focal length 1440㎜)
Sensor type	CCD sensor & CMOS
CCD resolution	768 x 494 pixels
CMOS resolution	1632 x 1200 pixels

시험장에서 운용하고 있는 줌렌즈 및 영상센서의 주요사양 이다.

자료 :참고문헌 [10]

그림 13. 국방과학연구소의 광학추적 장비

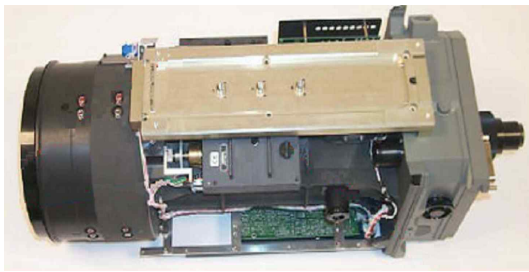
2009년 준공한 나로우주센터에서는 KLSV-1 위성발사체의 비행초기구간 발사체의 영상획득 및 거동분석을 목적으로 초점거리가 50mm ~ 3000 mm인 줌렌즈 및 컬러 CCD 비디오 카메라와 고속 디지털 카메라를 탑재한 광학추적장비를 운용하고 있다. 또한 추적용 적외선 카메라와 거리 측정용 레이더도 함께 탑재하여 운용하고 있다.

줌렌즈는 렌즈경통에 정밀모터가 설치되어 있어 렌즈의 초점거리, 렌즈초점 및 빛의 양을 조절하는 조리개를 자동으로 원격제어 할 수 있다.

표5는 나로우주센터의 광학추적장비에 설치된 줌렌즈 및 영상센서의 주요사양이다.

표 5. 나로 우주센터의 줌렌즈 및 영상센서 주요사양

Items	Specifications
Lens Type	Zoom lens
Focal length	50㎜ x 3000㎜
F-Number	7.4 ~ 16.6
Sensor type	CCD sensor & CMOS
CCD resolution	768 x 494 pixels
CMOS resolution	1200 x 1000 pixels (at 500fps)



자료 :참고문헌 [1]

그림 14. 나로 우주센터 광학추적장비의 줌렌즈

4. 결 론

앞에서 기술한 바와같이 우주센터 또는 위성발사장에서는 발사체의 비행초기구간에 비행영상을 획득, 분석하기 위하여 고성능 렌즈가 탑재된 광학추적장비를 사용한다.

현재 광학추적장비용 줌렌즈는 초점거리 4000mm 이상, F-Number 8.1이하로 제작하는데 있어 기술적인 한계가 있으며, 그로인해 영상획득 범위가 30km 이내이다. 그러나 광범위한 시계(Field of View)를 확보할 수 있는 장점을 갖고 있다.

그에 반해서 카세그레인 반사굴절 렌즈는 초점거리 4000mm 이상, F-Number 8.1이하로 제작 가능 하므로 영상획득 범위가 80km 이내이다. 그러나 고정 초점거리 이므로 광범위한 시계(Field of View)를 확보 할 수 없는 단점이 있다.

향후 KSLV-2 위성발사체의 비행초기 구간 및 단분리순간에 대한 영상을 획득하기 위해서는 발사체의 크기, 모의 비행궤적(Nominal trajectory) 등을 충분히 고려한 후, 나로 우주센터의 요구조건에 적합한 렌즈를 선택하여 운용할 계획이다.

참고문헌

1. 노영환 외, “우주 발사체 추적 및 거동분석용 광학장비기술개발동향 ”, 항공우주산업동향 1/1, pp. 6-7, 2004.

2. Rebort W, “Return To Flight Ground Camera

Ascent Imaging Plan", NASA Kennedy Space Center, pp 8-12, 2003.

3. 임천석 외 공역, "현대 광 공학", 3rd edition, pp. 520-530, 2007.

4. Eugene Hecht, " Optics ", 4th edition, pp. 224-226, 2002.

5. 슈미트 카세그레인 및 막스토브 카세그레인 반사굴절렌즈 관련 홈페이지, www.celestron.com

6. 리치 크레티앙 카세그레인 반사굴절렌즈 관련 홈페이지, www.alluna-optics.com

7. 케네디 우주센터의 광학추적장비 렌즈 공급업체 관련 홈페이지, www.L-3com.com/Brashear

8. Michael Finlan, David J.Manzi, Lenuar Rutberg & John P.O, "Precision Refractive Zoom Lens With Long Focal Length", www.specialoptics.com

9. 반덴버그 발사장의 광학추적장비 렌즈 공급업체 관련 RCOS 24 inch Rugged Carbon/Nomex telescope www.rcopticalsystems.com

10.국방과학 연구소 홈페이지, www.add.re.kr