

## KASINICS의 광기계부 설계 OPTO-MECHANICAL DESIGN OF THE KASINICS

<sup>1</sup>육인수, <sup>1</sup>이성호, <sup>1</sup>진호, <sup>1</sup>선광일, <sup>1</sup>박수종, <sup>1</sup>이대회, <sup>1</sup>남옥원,  
<sup>1</sup>문봉곤, <sup>1</sup>차상목, <sup>1</sup>한정열, <sup>1</sup>경재만, <sup>2</sup>김건희, <sup>2</sup>양진석  
<sup>1</sup>한국천문연구원  
<sup>2</sup>한국기초과학지원연구원

<sup>1</sup>I.-S. YUK, <sup>1</sup>S.-L. LEE, <sup>1</sup>H. JIN, <sup>1</sup>K.-I. SEON, <sup>1</sup>S. PAK, <sup>1</sup>D.-H. LEE, <sup>1</sup>U.-W. NAM,  
<sup>1</sup>B.-K. MOON, <sup>1</sup>S.-M. CHA, <sup>1</sup>J.-Y. HAN, <sup>1</sup>J.-M. KYEONG, <sup>2</sup>K.-H. KIM, AND <sup>2</sup>J.-S. YANG

<sup>1</sup>Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

*E-mail: yukis@kasi.re.kr*

<sup>2</sup>Korea Basic Science Institute, Daejeon, 305-333, Korea

*(Received November 14, 2005; Accepted December 14, 2005)*

### ABSTRACT

KASI (Korea Astronomy and Space Science Institute) is developing the near-infrared camera system named KASINICS (KASI Near-Infrared Camera System) which will be installed at the 60cm f/13.5 Ritchey-Chretien telescope of the Sobaeksan Optical Astronomy Observatory (SOAO). The camera system is optimized for JHKL bands and has a 6 arcmin FOV. The optical system consists of two spherical mirrors and a 8-position filter wheel. With the exception for the dewar window, all optical elements are cooled inside cryogenic dewar. Since the Offner system is adopted to prevent thermal noises from outside of the telescope primary mirror, the secondary mirror of the Offner system acts as a cold Lyot stop. The optical performance does not change by temperature variations because the Aluminum mirrors contract and expand homogeneously with its mount. We finished the design and fabrication of the optical parts and are now aligning the optical system. We plan to have a test observation on 2006 January.

*key words:* instrument, optics, infrared, imaging

### 1. 서론

적외선은 가시광보다 성간 먼지의 영향을 적게 받기 때문에 광학으로 관측할 수 없는 은하의 중심부와 별 탄생 지역의 중심부 등을 관측할 수 있다. 또한 멀리 있는 은하에서 방출하는 가시광선은 적색편이 현상에 의해 적외선 파장대에서 관측된다.

그 외에도 전주기 계열성, 갈색왜성과 같이 온도가 낮은 천체는 광학 관측 보다는 적외선 관측이 더 효율적이다. 그래서 태양계, 성간물질, 별의 진화, 은하의 진화, 우주론 등 천문학의 모든 분야에서 적외선 관측은 중요한 위치에 있다.

한국천문연구원은 대형 우주 망원경 프로젝트인 SPICA에 참여하여 중적외선 천문관측기기를 탑재하고자 한다. 이를 위하여 한국천문연구원은 PtSi 디텍터를 사용한 적외선 카메라 개발 경험을 바탕으로 (경재만 외

1997) InSb 디텍터를 사용한 지상 망원경용 근적외선 카메라 시스템 (KASI Near Infrared Camera System, KASINICS)과 우주탐재용 적외선 냉각 시스템 (Protomodel of Space Infrared Cryogenic System, PSICS)을 개발하고 있다.

적외선 관측기기는 관측 목표에 따라 사양이 달라지므로 우선 과학 목표가 정해져야한다. 국내 학계의 공개적인 토론을 통해 목성의 대기, 변광성, 변광 AGN 등 변광 천체의 지속적인 관측을 통한 연구가 국제적인 경쟁력이 있다는 결론을 얻었다. 그리고 변광 현상을 지속적으로 관측하기 적합한 소백산천문대의 60cm 광학망원경을 대상으로 적외선 카메라를 개발하기로 결정하였다. 또한 국내 천문학계의 요구에 따라 관측 파장 대를 J(1.25 $\mu$ m), H(1.64 $\mu$ m), Ks(2.15 $\mu$ m)-밴드에서 L(3.5 $\mu$ m)-밴드를 포함하

표 1. 소백산천문대 60cm 광학 망원경의 광학계 사양

item		value
type		Ritch-Cretien type Cassegrain focus
system focal ratio		f/13.5
primary mirror (M1)	clear aperture	609.6mm
	radius of curvature	-4267.20mm
	conic constant	-1.0475
	central hole diameter	190.5mm
secondary mirror (M2)	clear aperture	166.4mm
	radius of curvature	1461.36mm
	conic constant	-3.3332
distance (M1 - M2)		1592.33mm
back focal length		495.30mm
distance (instrument mounting plate - focal plane)		304.8mm
plate scale		25.064 "/mm 1" = 39.9 $\mu$ m

였다. 소백산천문대의 기상통계 자료로부터 대기의 수증기량을 조사한 바에 따르면 겨울철에는 L-밴드에서도 관측이 가능하며, 적분 시간을 100초로 하고 S/N=10으로 가정하였을 때 J, H, Ks, L-밴드에서 관측한계 등급이 각각 18.1, 17.2, 17.5, 12.4 등급으로 계산되었다 (문봉곤 외 2004).

이 논문은 KASINICS의 광기계부 설계 이론 및 유한해석의 결과를 논하여 향후의 시스템 성능을 예측할 수 있도록 한다. 2절에서는 열복사를 차단하기 위한 광학계에 대하여 설명하고, 3절에서는 기계에 대하여 설명한다. 마지막으로 4절에 결과를 정리하였다.

2. 광학계

2.1 개요

KASINICS는 1 $\mu$ m부터 4 $\mu$ m에 이르는 근적외선 파장 영역을 관측하는 영상 장비이다. 적외선 카메라의 성능을 저하시키는 열잡음을 차단시키려면 cold Lyot stop을 설치하여야 한다. 때문에 적외선 카메라의 광학계는 카메라가 장착될 망원경의 광학계와 밀접한 관계를 갖는다. 보현산천문대의 1.8미터 광학 망원경과 소백산천문대의 60cm 광학 망원경을 검토한바 장기 변광 관측에 적합한 소백산천문대의 망원경에 KASINICS를 장착하기로 결정하였다.

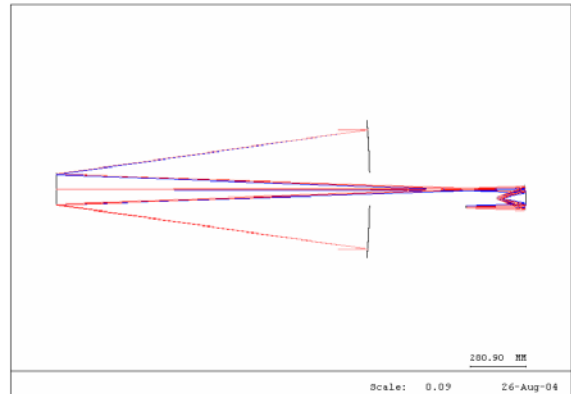


그림 1. 소백산천문대 60cm망원경과 KASINICS의 광학계. 왼쪽은 소백산천문대의 60cm 망원경이며 오른쪽은 KASINICS의 오프너 시스템에 해당한다.

소백산천문대 60cm 광학 망원경의 광학계 사양은 표 1과 같다. 가시광 영역에서 경험적인 평균 시상의 크기가 2"이고 (경제만 외 1997) 시상의 크기는  $\lambda^{-6/5}$ 에 비례하므로 관측 파장 영역인 J-밴드와 L-밴드를 적용하면 1.67"와 1.36"로 초점면에서 성상의 평균 크기는 54~67 $\mu$ m이 된다. 한편 검출기의 픽셀의 크기가 28 $\mu$ m이므로 성상의 크기는 1.9~2.4픽셀에 해당하므로 별도로 초점비 변환 렌즈를 필요로 하지 않는다. 초점비 변환 렌즈를 사용하지 않게 됨에 따라 렌즈의 굴절률에 의한 색수차가 발생하지 않으므로 광학계 설계가 매우 간단하게 되었다. 이를 바탕으로 성상의 크기가 검출기의 전체 영역에서 2 픽셀 이내가 되는 것을 설계 조건으로 삼았다.

그림 1은 소백산천문대의 60cm 광학 망원경의 카세그레인 초점면에 KASINICS를 장착한 광학계의 레이아웃이다. 적외선카메라 시스템의 경우 검출기가 열적 복사에 매우 민감하기 때문에 검출기를 망원경의 초점면에 놓을 수 없다. 일반적으로 광량의 손실이 없도록 모든 시야에서 입사하는 빛이 교차하는 곳에 cold Lyot stop을 설치하여 망원경 주경 밖에서 발생하는 열적 복사를 차단시킨다. 이러한 위치를 만들기 위하여 re-imaging lens system이나 오프너 시스템 (Offner System) (Offner 1975; Kingslake 1978; Murphy 1994)을 사용한다. Re-imaging lens system은 굴절 광학계이기 때문에 제작이 쉽고 광학계 조정은 간편하지만 색수차가 발생하는 문제가 있다. 반면에 오프너 시스템은 두 개의 구면 반사경으로 구성되어 있기 때문에 색수차가 없으며 제작도 어렵지 않다. KASINICS는 적외선 영역을 관측하기 때문에 높은 광학

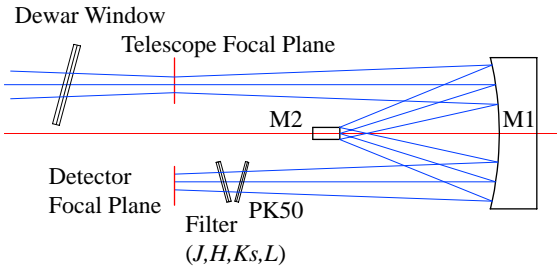


그림 2 . KASINICS 광학계의 구조.

표 2. KASINICS 검출기 사양

item	value
model	Ratheon (InSb)
pixel size	28 $\mu$ m $\times$ 28 $\mu$ m
dimension	512 $\times$ 512
field of view	5.99arcmins
pixel scale	0.7"/pixel

정밀도를 요구하지 않고 반사경의 크기도 140mm 정도로 작아서 오프너 시스템을 적용하였다.

그림 2는 KASINICS의 광학계의 구조이다. KASINICS는 오프너 시스템을 구성하는 두 개의 반사경과 망원경의 초점면 앞에 있는 듀어 윈도우 (dewar window), 그리고 검출기 앞에 있는 JHKL 필터와 2 $\mu$ m 보다 긴 파장을 차단하는 차단 필터 (blocking fileter)인 PK50이 JHK 필터와 쌍으로 설치되어 있다. 필터와 윈도우는 고스트를 방지하기 위하여 15도 기울어져 있으며, 듀어 윈도우를 제외한 광학부품은 모두 77K로 냉각된 진공 상자에 설치되어 있다. KASINICS에 사용된 검출기는 표 2와 같다.

2.2 오프너 시스템 (Offner System)

오프너 시스템의 개념은 그림 3과 같다. 오프너 시스템은 오목한 구면경인 주경 (M1)과 볼록한 구면경인 부경 (M2)으로 구성되며, 부경의 곡률반경은 주경의 곡률반경의 반이며 부호는 반대이다.

오프너 시스템은 단지 두 개의 구면경으로 구성되어 있기 때문에 제작이 용이할 뿐만 아니라 수차에도 민감하지 않으며, 비축구조이지만 공차가 크기 때문에 광축 정렬이 어렵지 않은 특성을 갖는다.

표 3은 오프너 시스템의 광학계의 사양이다. 부경은 가운데 구멍이 뚫린 구조로 clod Lyot stop의 역할을 수행한다. 바깥지름과 안지름은 망원경의 주경이 투영된 크기로 결정된다. 이론적으로 망원경의 초점면 또는 검출기 면과 오프너 시스템의 주경 사이의 거리는 주경의 곡률반경과

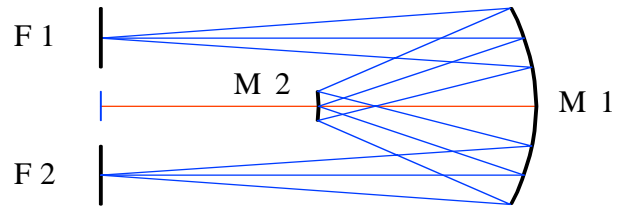


그림 3. 오프너 시스템의 구조. 반사경 오목 구면경 M1과 볼록 구면경 M2로 구성된다. 망원경의 초점면 F1과 기기의 초점면 F2가 동일하고 두 구면경은 같은 축상에 위치한다.

표 3. 오프너 시스템의 사양

item		value
primary mirror (M1)	type	concave spherical mirror
	radius of curvature	-300mm
	diameter	140mm
secondary mirror (M2)	type	convex spherical mirror
	radius of curvature	150mm
	outer diameter	9.08mm
	inner diameter	4.90mm
offset (telescope focus - M2)		45mm
distance (M1 - M2)		148.1mm
distance (telescope focus - M1)		303.5mm
distance (M1 - detector)		303.5mm

같고 주경과 부경 사이의 거리는 주경의 곡률 반경의 반이 되어야 하지만, 이 경우 검출기 면에 맺히는 성상의 크기가 비점수차 (astigmatism)에 의해 일정하지가 않다. 이에 우리는 주경과 부경 사이의 거리를 148.1mm로 하고 초점면과 주경 사이의 거리를 303.5mm로 변경하여 왜곡된 성상의 크기가 전체 시야에 걸쳐 비슷하게 나타나도록 하였다. 이때 검출기 전체 영역에서 성상의 최대 RMS 반경은 13.2 $\mu$ m이었다.

표 4는 오프너 시스템에서 성상의 크기가 40 $\mu$ m 이하를 만족하며 동시에 성상의 위치가 디텍터의 중심에서 1mm 이상 벗어나지 않도록 하는 광학계 정렬의 공차이다. 표와 같이 오프너 시스템의 광학계 정렬 공차는 일반적인 기계 가공 공차인 0.1mm 보다 훨씬 큼을 알 수 있다. 이로부터 우리는 광학계 정렬 보다는 Cold Lyot Stop으로 열잡음을 제거하는 것이 보다 중요함을 알 수 있다.

표 4. 오프너 시스템의 광학계 정렬 공차

item	value
decenter-x	$\pm 0.52$ mm
decenter-y	$\pm 0.52$ mm
tilt-x	$\pm 0.20$ degree
tilt-y	$\pm 0.20$ degree

### 2.3 Cold Lyot Stop

Cold Lyot stop은 망원경의 주경의 모습이 오프너 시스템의 부경에 투영된 형태에 의해 결정된다. 그런데 그림 4와 같이 시야각마다 망원경 주경의 모습이 오프너 시스템의 부경에 투영되는 위치가 서로 조금씩 어긋나기 때문에 망원경 주경 바깥쪽의 열잡음이 검출기에 입사하지 않도록 오프너 시스템의 부경의 크기를 정하는 것이 쉽지 않다.

그림 4의 왼쪽의 그림은 망원경의 주경의 외곽이 투영된 것이다. 이 경우 오프너 시스템의 주경의 크기를 안쪽의 빨간색 원으로 하여야 외부에서 들어오는 열잡음을 피할 수 있다 하지만 투영된 모습이 안쪽의 빨간색 원을 벗어난 만큼 빛의 손실이 발생하게 된다. 이와는 반대로 오른쪽 그림은 망원경 주경의 중앙 구멍이 오프너 시스템의 부경에 투영된 모습이므로 망원경 주경의 구멍에서 오는 열잡음을 피하려면 오프너 시스템의 부경 구멍의 크기를 바깥쪽 빨간색 원으로 설정하여야 한다.

표 5는 망원경의 주경이 오프너 시스템의 부경에 투영된 크기를 정리한 것이다. Case A는 시야각이 0도 즉 검출기 중심에 상이 맺히는 경우 망원경 주경 전체가 부경에 투영된 크기이다. 이 경우 그림 4에 보이듯이 검출기 중심 부분에서는 망원경의 주경에 반사된 빛의 손실이 없으나 검출기의 중앙에서 멀어질수록 빛의 손실이 발생할 뿐만 아니라 망원경 주경 이외의 곳에서 발생한 열잡음이 검출기로 입사하게 된다. Case B는 Case A의 경우와 같으나 주경의 바깥 부분과 주경 구멍에서 발생하는 열잡음이 검출기에 입사하지 않도록 오프너 시스템의 부경의 크기를 정한 것이다. 이 경우 망원경 유효면적이 73%이므로 Case A에 비하여 광량이 23% 줄게 된다. Case C는 망원경 주경의 크기를 10% 줄이고 구멍의 크기를 10% 증가시킨 후 Case B의 조건으로 계산한 것이다. 망원경과 KASINICS의 광학계가 완벽하게 정렬되었다면 Case B에서 계산한 값을 cold Lyot stop으로 사용할 수 있지만 대개의 경우 정렬오차가 발생하여 열잡음이 검출기로 입사하게 된다. 그래서 KASINICS는 망원경의 광축과 KASINICS의 광축이 일치하지 않을 경우를 대비하여 망원경 주경의 영역을 10%의 안쪽의 것만을 사용

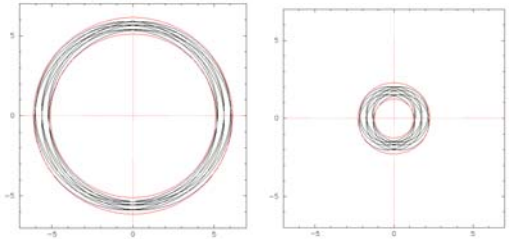


그림 4. (좌) 소백산망원경의 주경의 외경에 해당하는 부분이 오프너 시스템의 부경에 투영된 모습이다. 시야각에 따라 투영된 부분이 조금씩 어긋나 있기 때문에 안쪽의 빨간색의 원이 cold Lyot stop의 외경이 된다. (우) 소백산 망원경의 주경의 구멍에 해당하는 부분이 오프너 시스템의 부경에 투영된 모습이다. 바깥쪽의 빨간색 원이 cold Lyot stop의 내경이 된다.

표 5. 망원경의 주경이 오프너 시스템의 부경에 투영된 영역

	부경의 반경 (안쪽, 바깥쪽)	면적비
Case A	5.63mm, 1.76mm	100%
Case B	5.11mm, 2.28mm	73%
Case C	4.54mm, 2.45mm	51%

하도록 cold Lyot stop의 크기를 결정하였다. 이 경우 Case A에 비하여 광량이 49% 줄게 된다.

### 2.4 열해석

광학망원경의 경우 일반적으로 zerodur로 반사경을 가공한다. Zerodur는 정밀 가공이 가능하고 열팽창 계수가 작기 때문에 온도에 따른 경면의 변형은 거의 없지만 열확산 계수가 작아서 냉각 시 평형온도에 이르는 시간이 길고, 마운트와 재질이 다르기 때문에 마운트의 수축에 따른 경면의 변형을 신중히 고려하여야 한다. 반면 알루미늄은 열팽창률이 커서 온도 변화에 따른 변형이 크고, 열확산이 빠르기 때문에 냉각 효율이 좋다. 또한 마운트와 동일한 재질이기에 때문에 수축률이 동일하므로 경면에 스트레스를 주지 않는다.

KASINICS의 기본적인 광학계 정렬은 상온(300K)에서 이루어지고 천체 관측을 통한 광학계 검증은 작동온도(77K)에서 이루어진다. KASINICS의 냉각 속도는 상온에서 작동온도까지 도달하는데 48시간 정도가 소요될 것으로 예측되었다 (강지나 외 2004). 이런 점에서 볼 때 작동온도에서 광학계를 조정하고 다시 조정하기까지 최소한 48시간을 기다려야 하므로 광학계의 상태 유지 및 조

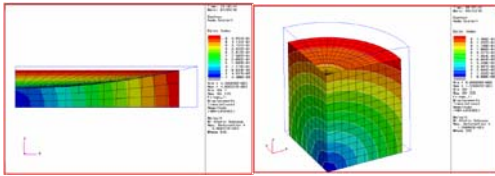


그림 5. 오프너 시스템을 구성하는 반사경을 알루미늄으로 가공하여 300K에서 77K로 냉각시켜 수축한 상태를 유한요소해석으로 계산한 결과. (좌) 주경의 경우. (우) 부경의 경우.

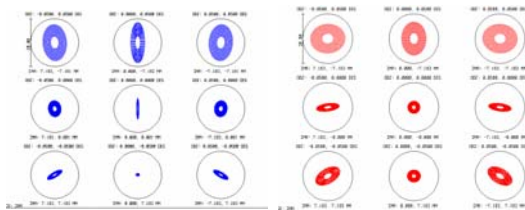


그림 6. KASINIC의 반사경과 마운트를 알루미늄으로 제작한 경우의 Spot diagram. 온도에 따라 homogeneous하게 수축과 팽창을 하기 때문에 광학 성능이 유지된다. 원의 직경은 20 $\mu$ m에 해당한다. (좌) 상온 (300K). (우) 작동온도 (77K).

표 6. 반사경을 알루미늄으로 만든 경우 냉각으로 인한 오프너 시스템의 수축 결과

	300K	77K
곡률반경 (주경)	300	299.164
곡률반경 (부경)	150	149.582
거리 (M1-M2)	148.1	147.687
거리 (M1-Detector)	301.8	300.959

정에 각별히 유의하여야 하며, 상온에서의 광학 상태가 작동온도에서도 유지되도록 설계하는 것이 좋다.

상온에서 작동온도까지 냉각 시키면 수축을 하고 이로 인해 반사경의 곡률 반경 뿐만 아니라 반사경 사이의 거리가 달라지기 때문에 온도에 따른 광학계 성능의 변화를 조사하여야한다. 유한요소해석 도구인 NASTRAN을 이용하여 KASINICS 광학계의 온도에 따른 광학 특성을 조사하였다. 그림 5에서 왼쪽은 오프너 시스템의 주경을 300K에서 77K로 냉각한 경우에 수축하는 과정을 유한요소해석으로 계산한 것이며 오른쪽은 부경을 계산한 것이다. 주경과 부경의 재질은 알루미늄으로 가정하였으며, 알루미늄의 열팽창 계수는 77K일 때  $12.5 \times 10^{-6}$ 을 사용하였다. 표 5에서 알 수 있듯이 상온과 77K에서 광학계의 상태가 매우 다르게 나타난다.

그림 6의 왼쪽은 상온에서 KASINICS의 spot diagram이다. 중앙의 성상은 시야의 중심에 해당하며 오른쪽 상단은 시야각이 0.05도x0.05도로 검출기의 모서리에 해당한다. 성상의 크기가 전체적으로 20 $\mu$ m이내임을 알 수 있다. 성상의 형태가 시야각별로 다른 까닭은 오프너 시스템으로 입사한 빛이 45mm 오프셋 되어있기 때문이다. 오른쪽 그림은 오프너 시스템의 반사경을 알루미늄으로 제작한 경우에 77K에서 spot diagram이다. 상온의 경우와 비교할 때 성상의 크기 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이는 표 6에 제시된 바와 같이 300K의 경우와 77K의 경우에 주경과 부경의 곡률반경이 크게 달라졌지만, 경면이 구면의 상태를 유지하고 거울을 지지하는 마운트의 재질이 반사경의 재질과 같아서 같은 비율로 수축하였기 때문이다.

열해석 결과에 따르면 검출기의 위치를 조정할 수 있다면, 반사경의 재질이 무엇이든 관계없으므로 가공이 쉬운 재질을 사용하면 된다. 그러나 현실적으로 망원경의 초점면에 오프너 시스템을 일치시키기 위하여 망원경의 초점을 조정하고, 동시에 검출기의 초점면을 조정하는 일은 불가능하다. 반사경의 재질로 zerodur를 사용하면, 온도의 변화에 따라 반사경의 형태는 변형되지 않지만, 경면 사이의 거리가 변화하여 검출기에 비초점 영상이 맺힌다. 또한 반사경과 마운트의 열팽창의 차이로 인하여 반사경이 변형될 수 있으므로 반사경 마운트로 특별한 재질을 사용하거나 스트레스를 흡수할 수 있도록 설계하여야 한다. 이러한 이유로 가공에 문제가 없는 한 반사경의 재질로 알루미늄을 사용하는 것이 바람직하다. 반사경과 마운트를 동일 재질로 사용함으로써 열팽창에 따른 구조적인 스트레스를 최소화할 수 있으며, 수축과 팽창시 경면의 곡률반경이 같은 크기로 변화하여 검출기의 초점위치를 변화시키지 않고도 광학적 성능을 유지할 수 있기 때문이다. 또한 KASINICS의 관측 파장 영역이 적외선 영역이므로 가시광 영역을 관측하는 반사경에 비해서 가공 정밀도가 크지 않아도 되므로 알루미늄으로 가공하는 것에 대한 문제는 없다고 판단하여 KASINICS에서 반사경을 포함하여 모든 광기계 부품을 알루미늄으로만 제작하였다.

### 2.5 열잡음 차단

적외선 카메라는 열잡음에 매우 민감하기 때문에 검출기에 천체의 빛을 제외한 어떠한 잡광도 들어가지 않도록 설계하여야 한다. 오프너 시스템의 부경에 cold Lyot stop을 두고 광학계를 밀폐된 미러 하우스 내에 설치하여 주위의 열원으로부터 빛이 스며들어오는 것을 차단하였다. 한편 잡광을 차단하기 위하여 배플을 설치하였다. 미러 하우스와 연결되는 필터휠과 검출기 사이에 각각 배플을



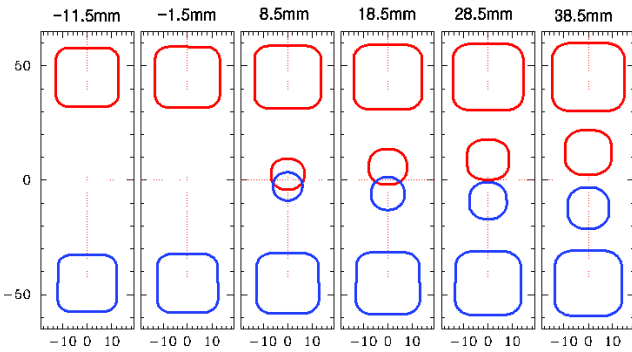


그림 7. 부경 모듈에 설치된 배플 판의 구조. 배플 마운트에는 6장의 배플 판이 위 그림의 순서대로 장착된다. 그림 상단의 숫자는 부경을 기준으로 상대적인 거리를 의미한다.

설치하였으며, 미리하우징 안쪽에는 주경 앞단에는 주경 배플을 그리고 부경 모듈에는 부경 배플을 설치하였다.

부경 배플은 cold Lyot stop 내로 입사하는 잡광 뿐만 아니라 검출기로 입사하는 잡광도 차단하기 때문에 매우 효과적이지만 천체에서 온 빛이 손실되지 않도록 설계하여야 한다. KASINICS에는 6장의 배플 판이 있는 부경 배플 모듈이 있다. 그림 7은 6장 배플 판의 구조이다. 배플 판은 1cm 간격으로 설치되며 가장 바깥쪽의 배플 판은 그림 7의 맨 오른쪽에서 보이는 것처럼 부경으로부터 38.5mm 떨어진 곳에 위치한다. 왼쪽 그림의 배플 판에 있는 위쪽의 빨간 구멍은 망원경에서 오프너 시스템의 주경으로 입사하는 광로이며 아래쪽 파란 구멍은 오프너 시스템의 주경에서 검출기로 입사하는 광로에 해당한다. 오른쪽 배플 판의 가운데 부분의 구멍들을 오프너 시스템의 주경에서 부경으로 반사된 빛의 광로와 다시 부경에서 주경으로 반사되는 광로에 해당한다.

3. 기계부 설계 및 제작

KASINICS는 오프너 시스템을 구성하는 주경과 부경의 재질과 광학계의 마운트를 포함한 기계 부품을 모두 동일한 재질인 알루미늄 (AL6061)을 사용하여 냉각에 의해 수축할 때 스트레스를 받지 않도록 하였다. KASINICS의 반사경을 포함한 모든 광학 부품은 한국기초과학지원연구원에서 제작하였다.

그림 8에서 볼 수 있듯이 오프너 시스템의 주경은 특이한 구조를 갖는다. 중간 부분이 가늘기 때문에 반사경을 부착한 마운트가 변형을 하더라도 경면에 미치는 영향을 최소화 할 수 있도록 하였다. 또한 반사경의 바닥에 볼트 구멍을 만들어 반사경을 장착하기 쉽도록 하였다.



그림 8. 오프너 시스템의 주경의 구조. 마운트가 스트레스를 받는 경우에도 경면에 영향이 가지 않도록 목부분을 잘록하게 설계하였다.

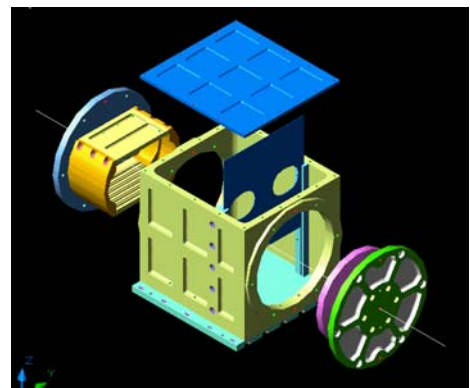


그림 9. 오프너 시스템의 3차원 모델.

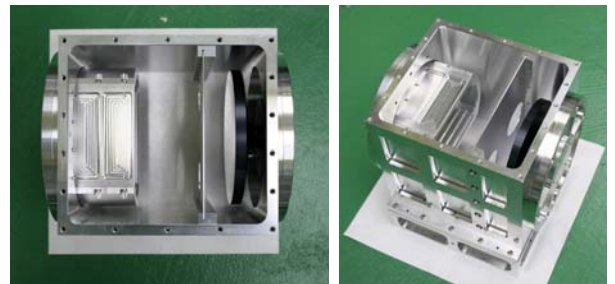


그림 10. 제작 조립된 KASINICS 광학계. 커버가 탈거된 상태이며 black painting은 하지 않은 상태이다. 박스 내에서 오른쪽에 주경이 있고 왼쪽에 부경과 부경 배플이 있다. 가운데판은 주경 배플임.

반사경의 장착에 접착제를 쓰지 않음으로써 고 진공에서 유발될 수 있는 가스 방출을 배제하였다. 뿐만 아니라 극저온에서 접착제의 성능을 알 수 없기 때문에 발생할 수 있는 위험요소를 제거하였다.

그림 9는 오프너 시스템의 3차원 모델이며 각 부품의

표 7. 광학부 부품의 무게

item	number	unit mass (gram)
mirror housing	1	2,250
bottom plate	1	739
top plate	1	391
M1 adaptor	1	449
M2 adaptor	1	574
primary mirror (M1)	1	580
secondary mirror (M2)	1	21
M1 baffle guide	2	73
M1 baffle plate	1	64
M2 baffle slot	2	96
M2 baffle side cover	2	70
M2 baffle plate	6	21
total		5,672

목록과 무게를 표 7에 정리하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 주경 모듈과 부경 모듈 그리고 미러 하우징으로 구성되어 있다. 주경 모듈은 주경과 주경 어댑터로 구성되며 부경 모듈은 부경과 부경 어댑터 그리고 부경 배플로 이루어진다. 주경과 부경을 정밀 가공이 어려운 내벽을 피하고 외벽에 장착함으로써 반사경의 변형을 최소화 하였다. 미러 하우징에는 슬롯을 설치하여 주경 배플의 탈착이 용이하도록 하였다. 배플 및 기계 구조물은 Aeroglaze Z306을 사용하여 black painting을 하여 적외선이 반사하지 않도록 하였다. 또한 각 부품에는 locating pin을 사용하여 조립과 해체 시 광학계의 상태가 유지될 수 있도록 하였다. 그림 9는 제작 조립된 KASINICS의 광학계로서 아직 black paint을 하지 않은 상태이다.

4. 결론 및 토의

KASINICS는 국내에서 처음으로 개발되는 본격적인 근적외선 적외선 카메라 시스템이다. 적외선 카메라가 열잡음에 매우 민감하기 때문에 열잡음을 차단하기 위한 장치를 마련하였다. 먼저 KASINICS 내에 오프너 시스템이라는 광학계를 설치하여 망원경의 주경 이외의 곳에서 들어오는 열잡음을 완전히 차단하고 다양한 배플을 설치하여 내부의 잡광이 검출기로 입사하는 것을 방지하였다.

진공 상태에서 발생하는 가스방출 (outgasing)이나 저온 상태에서 물성의 변화 등을 고려하여 설계하였다. KASINICS의 광기계부를 구성하는 모든 부품을 알루미늄으로 제작하여 예기치 않은 가스방출로 인한 검출기의 손상이 없도록 하였으며, 온도 변화에 따른 수축과 팽창 시 부품 사이에 변형이 최소화 되도록 하였다.

오프너 시스템을 구성하는 반사경을 마운트의 재질과 동일한 알루미늄으로 제작하여 온도에 따른 광학 성능의 변화가 없도록 하였다. 또한 광학계 분해 조립이 편리하도록 부분 조립품을 모듈화 하였다.

KASINICS를 구성하는 부품의 설계와 제작이 완료되었으며 현재 광축 정렬과 광학계의 성능을 측정하고 있다. 이후 전체 시스템을 조립하여 내년 1월에 소백산천문대 60cm 광학 망원경에 장착하여 시험 관측을 할 예정이다.

참고문헌

강지나, 이성호, 진호, 박수중, 문봉곤, 김상호, 박장현, 2004, 한국우주과학회지, 21, 467

경재만, McGregor, P., 성언창, 김호일, 1997, 1.8m 망원경용 근적외선 관측시스템 개념 설계 (대전:KAO 기술보고서)

문봉곤, 이성호, 박수중, 진호, 김용하, 육인수, 한원용, 2004, 한국우주과학회지, 21, 453

Kingslake, R., 1978, Lens Design Fundamentals (Orlando, Academic)

Murphy, D. C., 1994, in Infrared Astronomy with Arrays: The Next Generation, ed. I. McLean (Dordrecht, Kluwer), 301

Offner, A., 1975, Opt. Engineering, 4, 130