

국외 출장 보고서

호주 주경 코팅

(2017년 2월 4일-2월 13일 / 호주 사이딩 스프링 천문대)

2017년 2월

전 영 범
김 승 리
이 충 욱
이 동 주

한국천문연구원

I. 출장개요

1. 출 장 자: 전영범, 광학천문본부 보현산천문대, 책임연구원
김승리, 광학천문본부 변광천체그룹, 책임연구원
이충욱, 광학천문본부 변광천체그룹, 책임연구원
이동주, 광학천문본부 변광천체그룹, 선임연구원

2. 출장기간: 2017년 2월 4일부터 2017년 2월 13일까지(총 10일)

3. 목 적 지: 호주 SSO(Siding Spring Observatory)

4. 출장목적

가. 주경 알루미늄 코팅

호주 관측소에 설치한 외계행성 탐색시스템 1.6m 거울면의 protected silver 코팅을 제거하고, UK Schmidt 망원경 건물의 진공 챔버를 이용하여 알루미늄 코팅을 수행하였다. UKST를 관리하고 있는 AAO(Australian Astronomical Observatory) 와 체결한 주경 코팅 계약에 따라, 1) 거울을 미러셀에서 분리하는 작업, 2) 기존 망원경에 코팅된 protected silver와 Chrom층 제거 작업, 3) 알루미늄 코팅 후 거울 재 설치 작업은 우리 연구원이 직접 수행하고 각각의 세부 작업과정을 사진과 동영상으로 기록하였다.

나. 광학 정렬 및 배플 마스크 조정

외계행성 탐색시스템 1.6m 거울면의 turned down edge에서 발생하는 잡광을 제거하기 위해 지난 11월에 경면 앞에 마스크를 설치하였으나, 누적된 관측영상의 분석을 통해 잡광이 완전히 제거되지 않음을 확인한 바있다. 이에 배플 마스크 크기를 조정하여 잡광을 제거하고 회절 패턴을 일정하게 유지하였다.

다. 시험관측/ 영상분석

영상차감법을 이용한 대용량 자료처리의 측광 정밀도 유지를 위해서는 관측영상의 디스토션과 PSF 분포 패턴이 큰 변화없이 일정하게 유지되도록 하는 것이 매우 중요하다. 2017년 우리는 하중심방향 관측시즌이 시작되기 전에 광시야 광학계의 틸트를 조정하여 디스토션 패턴을 2016년 템플릿 영상과 일치하도록 조정하였다.

라. 마운트모델 업데이트

마운트모델 관측을 통해 모델 계수를 업데이트 하고, 예전 파라미터와 비교하였다.

5. 외국인 접촉현황

일 자	성 명	국적	소 속	비 고
2월6일(월) - 2월10일(금)	Doug Gray Steven Lee	호주	AAO	주경 알루미늄 코팅

II. 세부 수행내용

가. 주경 알루미늄 코팅 (2/5-8)

호주 관측소의 다습한 기후 환경으로 인해 망원경 건설 초기에 설치한 주경의 protected silver 코팅면의 손상이 2015년 말에 육안으로 확인되었다. 이에 본격적인 미시중력렌즈 관측 시즌의 시작에 앞서 기존의 코팅을 제거하고, UKST 건물에 설치된 진공챔버를 이용하여 알루미늄 코팅을 수행하는 계약을 호주천문대(Australian Astronomical Observatory)와 체결하였다. KMTNet의 알루미늄 코팅이 해외관측소 현지에서는 처음 수행되는 까닭에 우리는 각 단계별 작업과정을 나열하고 이를 이중으로 확인해가며 실수와 오류를 최소화하기 위한 사전 모의 작업수행과정을 수차례 실시하였다. 알루미늄 코팅을 담당한 호주천문대 AAO는 이익을 추구하는 일반회사가 아닌 까닭에 작업간 발생 가능한 사고에 대한 보험은 우리 연구원에서 모두 처리하였다. 알루미늄 코팅시 발생 가능한 미리의 파손 위험성에 대한 예측이 어렵기 때문에 보험회사에서는 작업간 발생하는 파손에 대한 보험료는 산출이 불가하여, 다만 KMTNet 관측소와 UKST로 운송하는 전 과정에서 발생하는 파손 및 사고에 대비하여 약 10억원에 해당하는 책임 보험만 가능하였다.

표 1. 단계별 주경코팅 작업내용 및 최소 소요시간

구분	내용	최소 작업량	작업주체
day 1	미러셀 분리용 미러카트 준비	4인 2시간	KASI
	빔프로젝터 및 미러셀 경통 분리	4인 2시간	KASI
day 2	미러분리 및 박스 보관 후 UKST로 이동	4인 3시간	AAO
	CR-7 크롬에칭 용액 제조 및 크롬층 제거	3인 3시간	KASI
day 3	BALZERS 거울표면 클리닝 및 챔버에 인스톨	4인 3시간	AAO
	진공펌핑 및 알루미늄 코팅	2인 4시간	AAO
day 4	경면확인 및 미러 이동	4인 3시간	AAO
	미러셀 인스톨 및 경통 조립	4인 6시간	KASI

표 1에 코팅작업을 수행한 우리연구진과 AAO 기술진의 일정을 고려하여 각 과정에 소요되는 최소 작업시간을 정리하여 나타냈다. 특히 이번 코팅 과정에서는 기존에 적용된 protected silver 면을 제거했기 때문에, AAO에서 일반적으로 알루미늄 코팅면 제거에 사용하는 화학약품 대신 크롬에칭 용액 CR-7을 제조하여 크롬층 제거에 사용하였다. 이 작업은 AAO에서는 한번도 수행해 본적이 없는 과정이기 때문에 우리연구진이 직접 용액을 제조하고 이를 적용하여 크롬층을 제거하였다. 따라서 알루미늄 코팅이 정기적으로 이루어지게 되면 추후 반복되는 코팅과정에서 크롬층 제거 과정은 필요가 없다. 표 1의 둘째 날과 셋째 날에 정리된 것처럼 거울의 이동과 클리닝, 알루미늄 코팅은 AAO 기술진에 의해 이루어진 반면, 거울을 망원경으로부터 분리하고 재조립하는 모든 과정은 망원경 구조에 대한 지식과 조립 경험을 가진 우리연구원들에 의해 이루어지기 때문에 향후 주경 코팅이 정기적으로 이루어진다고 가정하면 미러셀의 분리 및 조립을 위해 주경 코팅을 위해서 최소 우리연구원 4인 정도의 참여가 필요하리라 예측한다.

첫날 호주관측소에 도착 후 미러셀을 망원경 경통에서 분리하는 작업과정을 그림 1에 나타내었다. KMTNet 망원경에는 18k 모자이크 CCD 카메라의 시험과 전자부 칼리브레이션을 위해 거울의 중심부에 콜리메이터를 설치하였다. 콜리메이터 안쪽에는 LED와 사진 건판을 이용하여 만든 필름이 설치 되어있으며, 카메라의 실험실 테스트를 위해서 LED에 전원을 넣으면 CCD 카메라의 초점면에 USAF 패턴이 CCD 초점면에 상을 형성한다. 빔프로젝터는 1.6m 지름의 거울면 중심부에 6개의 볼트로 고정되어있다. 빔프로젝터를 제거하기 위한 작업이 거울면 바로 위에서 이루어지며, 주경덮개를 개방하면 경통의 중간부분이 막히는 구조로 되어있어, 빔프로젝터를 제거하는 작업공간이 무척 협소하기 때문에 세심한 주의가 필요하다. 빔프로젝터를 제거하고 아래 주경 쿨링팬을 제거하면 미러셀을 경통으로부터 제거 할 수 있는 준비가 끝난다. 미러셀을 경통에서 분리하기 위해서는 유압테이블을 사용한다. 유압테이블은 장비실에 보관하고 있으며, 작업 전에 관측돔으로 가져와 미러셀 받침기둥과 안전걸쇠를 사용하기에 알맞은 높이가 되도록 조립한다. 유압테이블을 최대한 올려 받침 기둥이 미러셀에 살짝 닿을 때까지 올린 다음 받침 기둥의 잭스크류를 돌려 미러셀과 스크류 머리가 완전히 밀착되도록 고정한다. 이후 받침기둥 사이에 있는 안전걸쇠가 미러셀을 단단히 붙잡을 수 있도록 전산볼트를 돌려 미러셀과 유압테이블을 서로 고정한다. 미러셀과 주경을 합한 질량은 약 2톤 정도이기 때문에 미러셀과 유압테이블에 부착된 각 부속품들의 조립이 서로 단단히 이루어졌는지 확인한다. 확인을 마친 후 유압테이블을 살짝 올리면 망원경 경통이 살짝 움직이며 미러셀 아래쪽의 유압테이블이 경통 전체를 떠 받치는 형태가 된다. 이때 미러셀을 고정하고 있는 볼트를 모두 해제하여 미러셀을 경통에서 분리한다.



그림 1. 망원경 경통에서 미러셀을 분리하기 위해 모자이크 CCD 카메라 빔프로젝터와 냉각팬을 제거하고 주경배플을 분리하는 과정

미러셀을 경통에 고정하고 있는 볼트를 모두 제거한 후 유압테이블을 서서히 내리며 각 구조물과 움직이는 파트가 서로 간섭이 일어나는지 여부를 수시로 확인한다. 약 20cm 정도 미러셀이 경통에서 분리되면 망원경 안쪽에 설치한 주경 배플 고정용 지지대가 눈에 보이기 시작한다. 이때쯤 되면 유압테이블을 돔 문쪽으로 잡아당겨 망원경의 RA링과 미러셀이 서로 부딪히지 않도록 적당한 공간을 확보한다. 유압테이블의 4 모서리에는 캐스터가 설치되어있는데, 이중 2개는 고정용이고 2개는 자유롭게 방향전환이 가능하다. 미러셀과 미러를 합한 질량이 약 2톤 정도이기 때문에 작업간에 발이나 손이 캐스터에 끼지 않도록 각별히 주의한다. 유압테이블을 이동시킬 경우에는 잘 움직이지 않게 캐스터에 지렛대 등을 이용하여 서서히 움직이도록 한다. 갑작스럽게 힘을 가할 시 미러셀이 전복될 위험이 항상 존재하기 때문에 미러셀의 작업은 반드시 4명이상이 수행하며 적어도 1명은 전체적인 상황을 주시하며 안전 감독을 수행하여야 한다. 미러셀이 망원경에서 일정 간격 떨어지면 유압테이블을 완전히 내리고 캐스터에 받침을 이용하여 움직이지 않도록 고정한다. 미러셀에서 주경 배플을 제거하고, 거울을 방사상으로 지탱하고 있는 12개 나일론 볼을 시계 반대 방향으로 돌려 거울면과 2.7mm 떨어뜨리고 위치를 기록하였다.

거울면은 예상대로 많이 손상된 상태였으며, 물방울 등이 떨어져 생긴 것으로 추측되는 방사형 얼룩이 많이 관측되었다. 물방울 자국을 확대하여 촬영한 영상을 그림 2에 나타내었다. 육안분석에서는 물등의 액체가 protected silver 코팅의 보호층 아래로 침투하여 은을 부식시켜 코팅면이 손상된 것으로 보여진다. 거울면의 가장자리에 3M 스카치 테이프를 이용하여 코팅면이 벗겨지는 지 시험한 결과 아주 쉽게 코팅면이 벗겨지는 것을 육안으로 확인하였다.

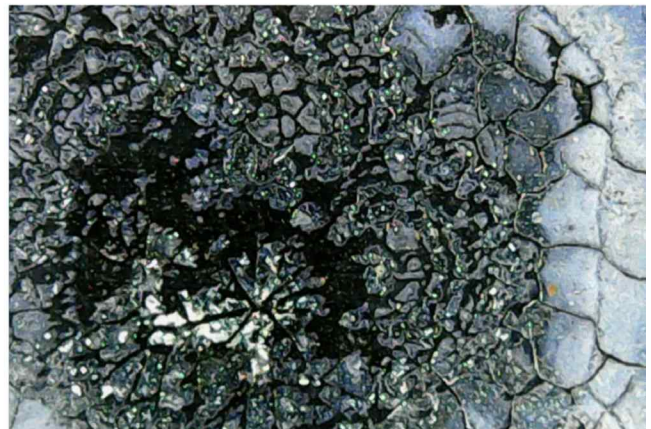
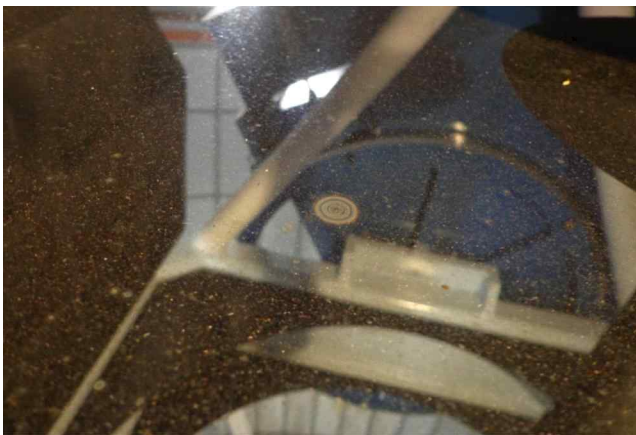


그림 2. 손상된 거울 코팅면의 500배 확대사진. 경면에 떨어진 물방울 및 이물질로 인하여 protected silver 코팅면의 보호막이 손상된 것으로 여겨진다.



그림 3. 미러셀에서 미러 분리 후 미러박스에 포장하여 KMTNet돔에서 UKST 로 이동

둘째날 9시에 AAO의 기술진들이 주경이동을 위해 트럭과 크레인을 가지고 KMTNet돔으로 방문하였다. 전날 분리한 미러셀에서 hiab 크레인을 이용하여 주경을 분리하였고, 이를 주경상자에 안전하게 보관한 다음 트럭에 싣고 UKST건물로 이동하였다. 작업전에 안전 수칙에 대하여 모두 숙지하였고, 작업자들은 모두 안전모를 착용하였다. 크레인 작업이 이루어지는 동안 주경과 상자를 포함하여 크레인 갈고리에 연결된 질량의 총합은 그림 3과 같이 1.4톤으로 측정되었으며, 작업에 사용하는 슬링이나 체인의 인장강도는 3톤 이상으로 크레인 작업에 적합한 상태였다. 한편 측정된 주경의 질량은 970kg 이었다. 미러를 미러셀에서 분리할 때 가장 신경을 썼던 부분중의 하나는 맨손으로 거울을 만지지 않는 것이었으며, 작업이 이루어지는 내내 안전수칙을 항상 준수하였다.



그림 4. UKST 건물로 이동한 주경과 측정된 거울 반사도

UKST건물로 옮긴 주경의 경면에서 검은색 얼룩이 여러 군데에서 목격 되었으며, 전체적으로 먼지층이 거울면 전체를 덮고 있었다. 그림 4의 왼쪽면에 보이는 검은색 스트라이프 자국은 3M 테이프를 이용하여 코팅면을 떼어낸 상태로 코팅면이 쉽게 떨어진 것을 볼 수 있다. 주경의 전체적인 반사율을 측정하기 위해 거울면의 여러 영역에서 반사율을 측정한 결과 거울면 전체에 대해 대체적으로 약 64% 정도의 반사도를 가지고 있으며, 코팅층이 벗겨진 위치에서는 약 30% 정도의 반사도를 가지고 있음을 확인하였다. 반사도를 측정한 후 거울면의 먼지를 제거하기 위해 미리 준비한 코닥사의 photo-Flo 200 희석액을 이용하여 경면에 골고루 적셔 주었다. Photo-Flo 희석액은 사진 인화시에 인화지 표면에 물방울 자국이 남지 않도록 사용하는 용액으로 물의 표면장력을 감소시키는 역할을 한다. 제작사의 권장 희석비율은 약 1:200이며, 많이 사용할 경우 양

금이나 찌꺼기가 생길 수 있으며, 섞을 때 흔들지 말 것을 권고한다. 거울의 린스과정은 크게 2 단계로 이루어졌다. 1단계에서는 린스액을 1명이 뿌리고 다른 한명은 그 뒤를 따르며 솜으로 거울면 전체를 적셔주는 과정이다. 이 과정이 끝난 후에는 여러 명이 차례대로 뒤따르며 거울면의 회석액을 닦아주었다. 린스 과정이 끝났을 때 거울면에서 눈에 띄는 먼지와 물자국은 찾기 어려웠다. 거울면의 먼지 및 이물질을 제거한 후 CR-7용액을 배합하여 크롬층을 제거하였다. CR-7 용액은 미국내에서만 판매가 이루어지는 약품으로 호주에서 약품을 구하기 어려워 MSDS에 제시된 화학식을 이용하여 호주에서 배합하였다. 배합시 주의할 점은 배합에 사용하는 과염소산(perchloric acid)은 초강산으로 분류되며 응집성이 무척 높아 셀룰로우스 등과 접하게 되면 폭발하기 때문에 취급에 무척 조심하여야 한다. 따라서 화학배합은 흡후드가 설치된 AAT 화학 실험실을 이용하여 총 2,500ml를 배합하였다. CR-7용액을 준비한 후에 깨끗이 세척된 거울면에 렌즈 페이퍼를 올려놓고 그 위에 CR-7용액 1,500ml를 뿌려서 티슈가 충분히 적셔지도록 하고 약 20분간 기다렸다. 시간이 지남에 따라 점차 크롬층이 얇아지는 것을 확인하였다. 크롬층이 없어진 후 다시 Photo-Flo 용액을 이용하여 거울면을 린스하였다. 육안으로 보았을 때 거울면은 대체적으로 크롬층이 모두 부식된 것으로 보였으나, 혹시 모를 잔여물을 모두 제거하기 위해 다시 렌즈페이퍼를 덮고 1,000ml의 CR-7 용액으로 크롬층을 적용하였다. 2차례의 부식과정을 마친 후 최종적으로 Phot-Flo 200 회석액과 IPA 등으로 세척하여 거울면을 그림 5와 같은 상태가 되도록 하였다. 크롬층 예칭을 끝낸 시간이 이미 저녁때였기 때문에 AAO 기술진들의 퇴근으로 인해 더 이상 작업이 진행되진 않았다.



그림 5. Photo-Flo 200을 이용한 주경 린스 및 CR-7용액을 이용하여 크롬층을 제거하는 과정

셋째날 이루어진 작업은 최종 클리닝과 알루미늄 코팅이다. 만약 크롬층 에칭 작업과정이 없었더라면 주경을 UKST로 이동하여 린스 작업을 거친 후 바로 클리닝 과정으로 진행됐을 것으로 예상된다. AAO에서 알루미늄 코팅 전에 거울면의 최종 클리닝에 사용한 약품은 BALZERS cleaner #1과 #2이다. BALZERS사는 진공 관련 기기를 취급하는 독일회사로 코팅시 표면 세척제로 BALZERS cleaner #1과 #2 및 클리닝 특수형겔도 판매하고 있다. 몇몇 천문대에서는 동일한 약품을 이용하여 코팅 전 거울면의 클리닝에 사용하는 것을 확인했다. 클리닝 작업은 오전 8시 30분부터 DI water를 이용한 거울면 세척으로 시작되었다. 거울면이 전반적으로 충분히 적셔지도록 DI water를 거울 전체에 골고루 뿌려준 다음 솜을 이용하여 여러 명이 차례대로 뒤따르며 물기를 제거하였다. 이후 DI water 세척을 마친 거울면에 BALZERS cleaner #1을 골고루 펴바른 후 약 10분간을 기다렸다. 10분 정도가 지나자 마치 기름이 굳은 것처럼 약품이 하얗게 변하였다. 이후 솜을 이용하여 깨끗한 거울면이 보일 때까지 반복해서 거울면을 닦았다. 더 이상 거울면에서 하얀 약품이 보이지 않자, 한명이 BALZERS cleaner #2를 거울면에 조금씩 흘리고 나머지 사람들은 뒤따르며 클리닝 특수형겔을 이용하여 매우 빠른 속도로 거울면 전체를 닦아냈다. 이 과정을 2차례 반복 한 후 한쪽에 매우 밝은 광원을 이용하여 거울면의 얼룩이 더 이상 남아있지 않은지 부분적으로 육안 검사를 실시하고, 잔여물이 남아있는 부분에 대해서는 최종적으로 BALZERS cleaner #2를 클리닝 특수형겔에 소량 묻혀 클리닝 하였다. 더 이상 육안으로는 얼룩이 없음을 확인한 이후에는 거울면의 안쪽과 옆면 및 바닥면의 이물질 제거했다.



그림 6. BALZERS cleaners를 이용한 최종 클리닝 및 진공 챔버에 넣기 전 육안검사과정

클리닝을 마친 거울은 UKST 크레인을 이용하여 진공 챔버안으로 이동후 고정하였다. UKST에서 사용하는 진공챔버는 알루미늄 증착시에 챔버를 세워서 사용하며 거울을 넣고 빼낼 때만 챔버를 천정방향으로 향한다. 거울을 진공챔버안에 설치하기 위한 크레인의 좌우 조정은 수동으로 이루어지는 구조여서 작업간에 거울이 흔들리지 않도록 2명이 체인을 손으로 잡고 있어야 하는 불편함이 있었으나, 체인을 잡아당기는 강약을 조정하며 크레인의 위치를 미세조정하기에는 모터를 이용한 크레인보다 사용이 더욱 수월하였다. 챔버에 거울을 넣거나 들어올리기 위해 사용한 슬링의 길이가 조금 길었기 때문에 크레인을 최대한 당겨 올려도 거울의 아랫부분이 챔버의 윗면에 닿았다. 따라서 거울과 챔버의 간섭을 피하기 위해 챔버를 약 45도로 기울여 거울이 챔버안으로 들어가게 한 다음 다시 챔버를 바로 세움으로써 거울을 챔버안에 설치할 수 있었다. 챔버에 거울을 고정한 후에는 이온 브러쉬를 이용하여 거울면에 붙은 먼지를 최종적으로 제거하였다. 이온브러쉬는 위에서 아래로 쓸어내리며 사용한다. 밝은 광원을 이용하여 거울면에 얼룩이나 먼지가 없는지 최종 확인하는 과정에서 우측 하단부분에 얼룩이 발견되어 BALZERS cleaner #2를 이용하여 거울면을 다시 클리닝하였다. 알루미늄 코팅상태를 확인하기 위해 챔버 아래부분에 준비된 슬롯에 샘플 유리를 2개 넣고, 여러 사람이 번갈아 가며 거울면의 클리닝상태를 확인한 다음 최종적으로 진공 챔버를 조립하였다. 모든 작업이 이루어지는 동안 작업자들은 모두 장갑을 착용하여야 하며, 특히 맨손으로 거울이나 진공챔버의 가장 자리를 만지지 않도록 조심하였다.

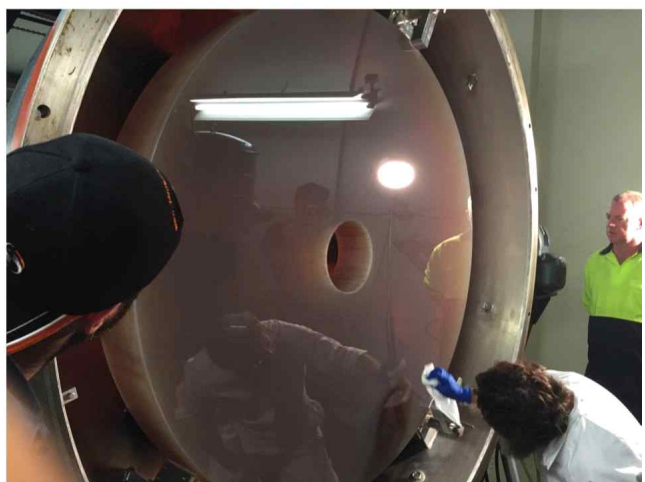


그림 7. 클리닝을 마친 주경을 진공챔버에 설치하는 과정과 이온브러쉬를 이용한 먼지제거 과정

진공챔버의 조립을 마친 후 디퓨전 펌프를 이용하여 진공 펌핑을 시작하였다. 디퓨전 펌프는 그림 8과 같이 원통형 실린더안에 굴뚝 형태의 구조물과 높이에 따라 설치된 다단계의 삿갓형태 노즐로 구성된다. 구조물 아래에서 기름을 가열하여 유증기를 만들면 유증기가 내부에 설치된 삿갓 모양의 노즐을 초음속의 속도로 빠져나가며 아랫방향으로 유증기가 확산된다. 이때 노즐을 빠져나와 아래로 향하는 유증기의 확산으로 인해 위쪽에서 아래 방향의 흡입이 만들어진다. 노즐을 빠져나온 유증기는 그림 8의 실린더 표면에 감겨진 냉각코일을 따라 흐르는 차가운 물로 냉각되어 다시 액체상태로 되어 아래로 모여 순환되는 구조이다. 이 펌프는 가격에 비해 뛰어난 펌프 효율을 가지고 있어 오늘날에도 중진공 어플리케이션에 많이 사용되고 있다. 이번 과정에서는 1시간 30분정도 가동을 통해 10^{-3} Torr 진공도에 도달하였다. 진공 챔버내의 진공도가 10^{-3} Torr에 이르자 glow discharging을 통해 거울면의 이물질 제거하였다. 이 과정은 플라즈마 클리닝이라고도 하며 진공상태에서 약 3000V의 고압을 걸어 기체에서 전자를 분리하여 플라즈마 상태로 만들고 이를 가속시켜 사물의 표면을 클리닝한다. 저온에서 플라즈마를 발생하여 사용하기 때문에 여러 산업용 어플리케이션에 많이 사용되며, 특히 대형 LCD 패널을 생산하는 공정에서 표면의 클리닝에 대표적으로 사용한다. 진공챔버 우측에 설치된 니들밸브를 2.5바퀴 돌려 대기 중의 질소가 진공챔버 안으로 미세하게 들어오도록 조정하였다. 니들밸브 안쪽에는 멤브레인 필터를 설치하여 질소만을 필터링하여 얻는다고 한다. glow discharging 과정에서는 진공 펌프쪽 밸브를 닫고 니들밸브는 계속 열어둔 채로 10분간 3000V의 고전압을 걸어둔다. 이때 음극선에 흐르는 전류는 약 1A이하 이며, 진공 챔버안은 시간이 지남에 따라 점차 보랏빛으로 빛나게(glow) 된다.

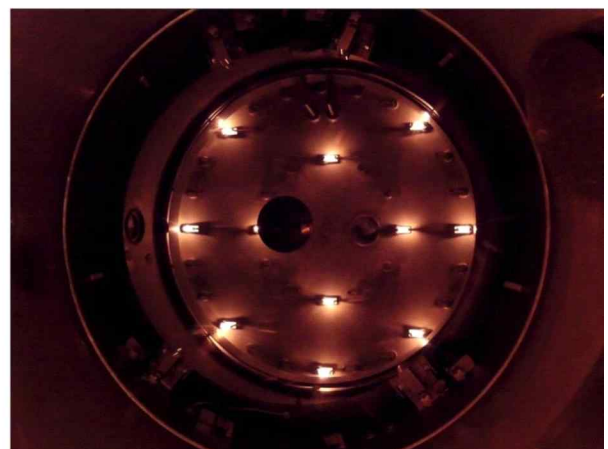


그림 8. diffusion 펌프를 이용한 진공 펌핑과 알루미늄 evaporation 장면

10분간의 glow discharging이 끝난 후 니들 밸브를 잠그고 다시 진공펌프를 가동시키고 진공 밸브를 개방하였다. 이와 동시에 액체질소를 이용하여 챔버 안쪽을 냉각시켜 진공효율을 높였다. 약 2시간 정도 진공펌프를 가동시켜 진공챔버의 진공도가 수 10^{-6} Torr 에 이르자 36개 필라멘트에 고전류를 흘려 알루미늄을 증발시켰다. 필라멘트는 거울면에 균일하게 배치되어 있으며, 한번에 고전류를 흘리기 어려운 까닭에 3차례로 나눠서 필라멘트에 전류를 흘렸다. 필라멘트를 가열한 시간은 약 20초 정도이며, 그림 8에 한차례 필라멘트가 가열되는 장면을 사진으로 나타냈다. 알루미늄의 증착과정은 진공챔버에 부착된 소형 윈도우를 통해 육안으로 상태를 살펴가며 진행하였다. 3차례의 알루미늄 증발이 끝나자 진공챔버에 부착된 윈도우 역시 알루미늄이 증착되어 내부를 들여다보기 어려운 상태가 되었다. AAO에서는 보통 알루미늄을 증발시킨 후 하루 정도를 진공챔버 안에 내버려 둔다고 하여 진공증착 상태는 다음날 확인하기로 하였다.

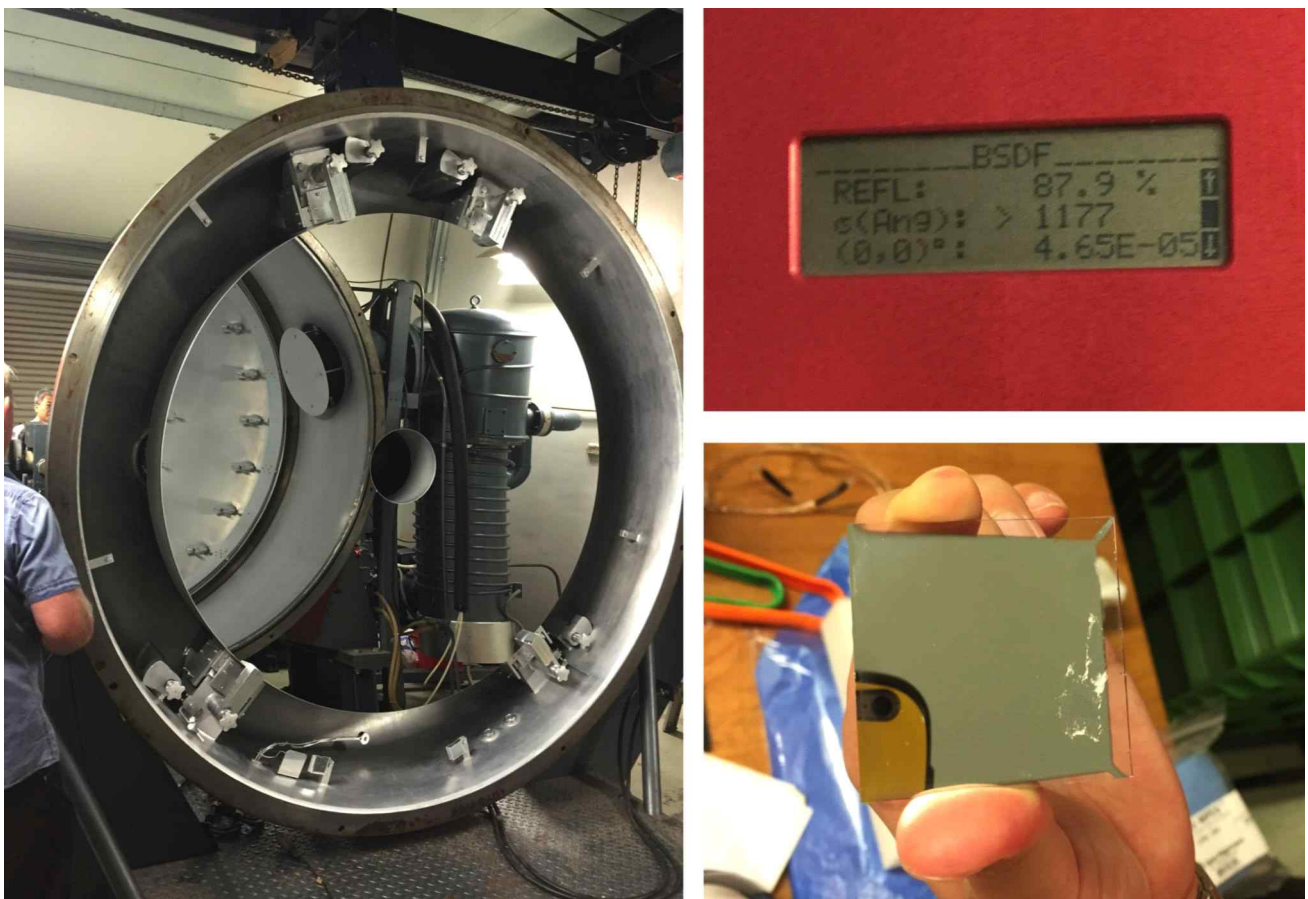


그림 9. 진공챔버를 개방후 알루미늄 증착이 이루어진 거울면의 모습

넷째날 아침에 진공챔버를 개방하였다. 개방 직전에 진공챔버에 연결된 밸브로 질소가스를 충전시켜 알루미늄 코팅면이 질소와 처음 만나게 하였다. 그림 9는 진공챔버를 개방한 후의 모습이다. 육안 검사를 통해 코팅면이 전체적으로 균일하게 이루어진 것을 확인하였고, 크게 눈에 띄는 얼룩은 발견하지 못했다. 다만, 거울의 하단 부분에 다른 곳과는 달리 코팅이 약하게 된 것으로 보이는 손톱정도 크기의 영역이 관측되었다. 추측하기로는 최종 단계에서 이온 브러쉬로 먼지를 제거할 때 이온 브러쉬에 연결된 전선이 거울면에 닿아서 생긴 자국이 아닐까 추측했다. 위치를 기록하고 향후 어떤 현상이 일어나는지 지속적으로 확인할 예정이다. 한편 거울의 반사율에는 큰

영향이 없을 것으로 생각하여, 재 코팅이 필요하지는 않을 것으로 판단하였다. 거울면의 여러 부분에서 반사율 측정기를 이용하여 반사율을 측정한 결과는 약 88%였으며, 샘플로 설치한 유리시편을 이용하여 테이핑 테스트를 수행한 결과 알루미늄 코팅면이 떨어지기는 커녕 오히려 접착제가 테이프에서 떨어져 증착이 잘 이루어졌음을 확인하였다. 코팅상태를 좀더 자세히 관측하기 위해 샘플시편을 500배 확대하여 촬영하여 그림 10에 나타냈다. 준비한 2개의 샘플중 하나는 테이핑 테스트 등으로 지문과 얼룩이 많이 묻은 상태였기에 이 샘플을 이용하여 거친 형상으로 코팅면을 아주 세게 열 번 정도 반복해서 문질러 코팅 경도가 어떤지 테스트해 보았다. 그림 10의 상단에는 깨끗한 상태의 시편을 확대한 사진이고, 아래쪽 좌측의 사진은 경도 테스트를 실시한 후의 사진이다. 거울면에 스크래치 자국이 여러 개 보이고 있다. 따라서 증착된 알루미늄의 경도는 거울면을 일부러 힘을 가해 지속적으로 문지르지 않는 한 벗겨질 염려는 없다고 판단한다. 전체적으로 확대사진의 육안 분석에서 균열이나 핀홀 등은 보이지 않으며 코팅면의 두께에 눈에 띄는 불연속 경계를 찾을 수 없었다. 코팅된 알루미늄의 두께를 가늠하기 위하여 샘플 유리를 통해 태양을 보았으나 태양의 윤곽은 전혀 볼 수 없었다. 샘플 유리는 지속적인 관측을 위해 하나는 관측실 보관함에 보관하고 다른 하나는 망원경과 동일한 환경에서 알루미늄면이 어떻게 변해가는지 확인하기 위하여 망원경 받침대 좌측 하단에 코팅면이 하늘을 향하게 하여 노출된 상태로 보관하였다.

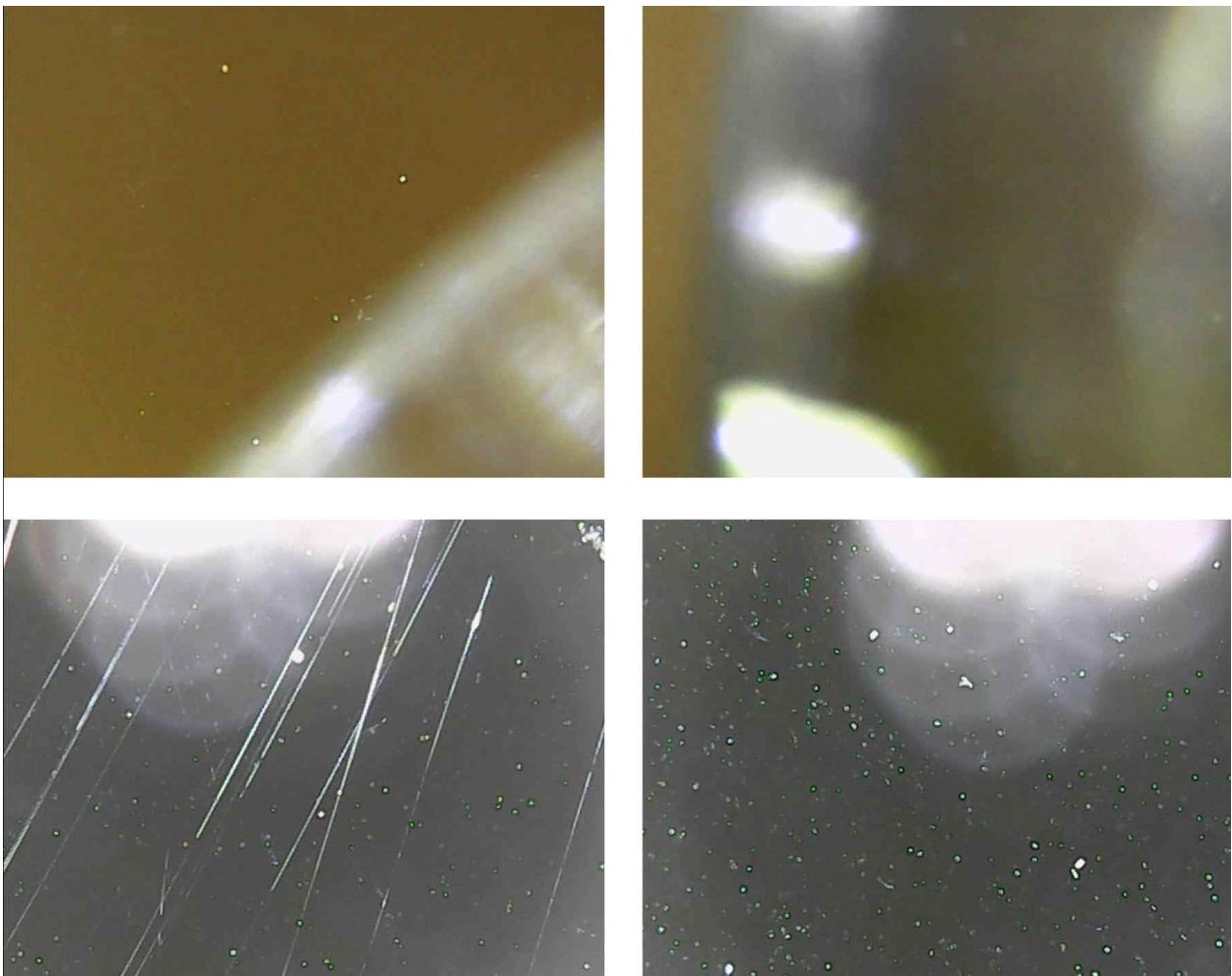


그림 10. 알루미늄 코팅 샘플유리의 500배 확대 사진

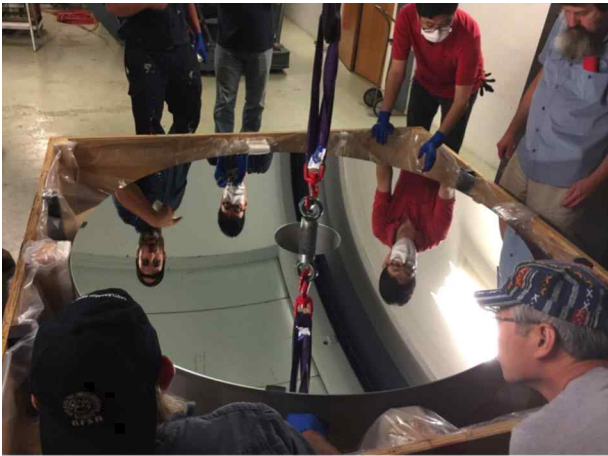


그림 11. 코팅을 마친 거울을 KMTNet돔으로 이동하는 과정

알루미늄 코팅 상태를 확인한 이후 미러박스에 거울을 다시 넣어 UKST 건물에서 KMTNet 돔으로 이동하였다. 이동이 이루어지는 전 과정에서 AAO에서 제시하는 작업간 안전수칙을 모두 준수하였다. 미러셀에서 거울을 분리할 때에는 AAO의 hiab 크레인을 이용하여 돔 건물 밖에서 분리 작업을 수행한 반면, 작업당일에는 바람이 세게 불어 많은 먼지가 날릴 것으로 예상되었다. 또한 미러셀에서 거울을 빼내는 작업과는 달리 인스톨 작업의 난이도로 인해 경험이 있는 우리 연구원이 직접 수행하기로 결정하였다. 돔내에 설치된 체인블럭과 도르래 장치를 이용하여 작업을 진행하였다. 이 과정은 미러셀에 미러를 설치하기 위해서는 돔 문쪽을 바라봤을 때 거울을 중심으로 좌우로 설치된 체인블럭의 작동을 담당하기 위한 인원 2명이 필요하고, 1명이 두 개의 체인블럭과 연결된 공동 후크에 걸리는 힘을 분배하기 위해 체인블럭의 균형 상태를 감시하며 체인블럭의 조작을 지시해야 한다. 또한 거울을 미러박스에서 꺼내고 미러셀에 넣을 때 주변 구조물과의 간섭을 방지하기 위해 거울을 잡고 가이드할 인원도 필요하며, 전체과정을 살펴보면 안전 상태를 감독할 안전 관리요원이 1명 필요하다. 따라서 미러셀에 미러를 넣기 위해서는 작업경험을 가진 최소 6명이 동원되어야 한다. 이번 작업에서는 미러를 미러셀에 넣기 위해 미러셀을 조작하는 과정에서 미러의 하단 부분과 미러셀에 설치된 나일론 볼이 서로 간섭하여 미러의 하단 부에서 동전 크기의 제로듀어 파편이 발생했다. 다행히 거울을 지지해주는 나일론 볼이 손상되지는 않았으며, 거울 또한 두꺼운 바닥의 부분에서 극히 일부가 떨어진 것이기 때문에 거울의 성능에 미친 영향은 없을 것으로 생각하나, 안전한 작업을 위해서는 미러가 장착된 후 약 2톤의 질량을 갖는 미러셀을 미세조정하기 위한 별도의 장치가 매우 필요하다고 판단된다.

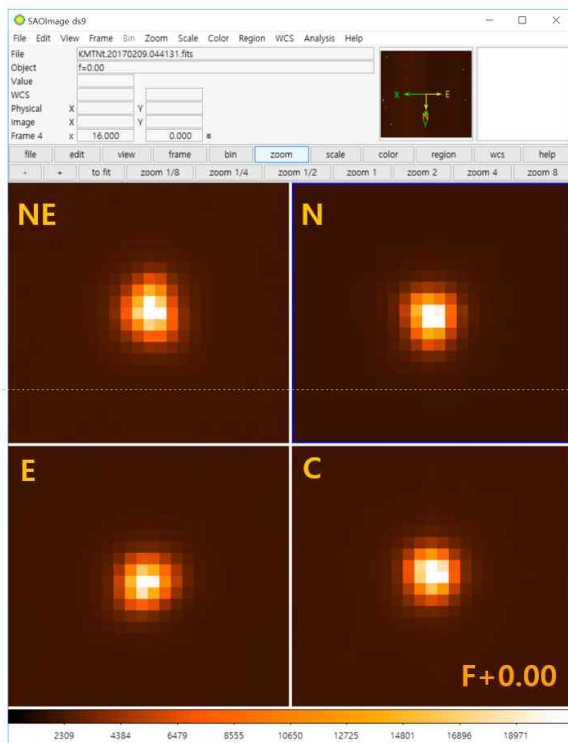
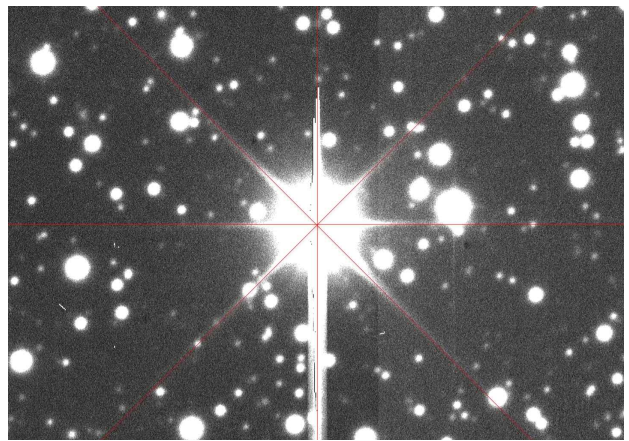


그림 12. KMTNet 돔내에 설치된 체인블럭을 이용하여 미러셀을 미러에 설치하는 과정

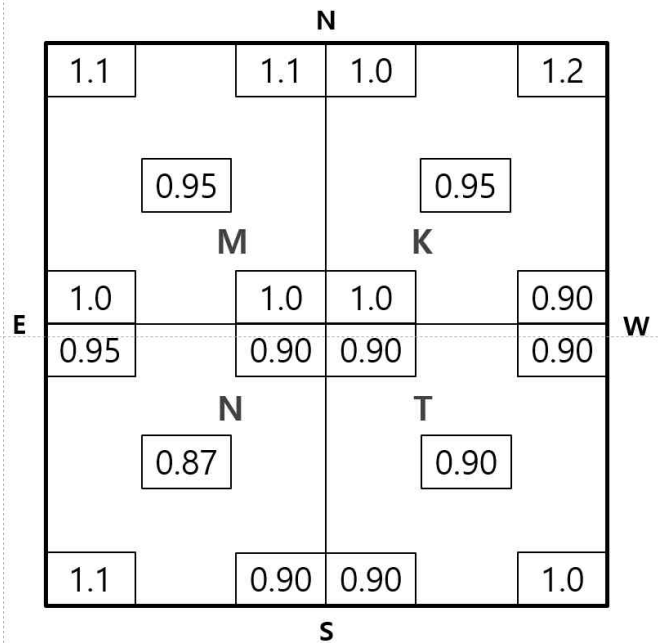
미러셀에 거울을 넣은 후 미러셀 가장자리를 따라 설치된 12개의 나일론 볼을 조정하여 나일론 볼이 거울을 살짝 접촉하도록 거리를 조정하고, 거울면 바로 위쪽에 주경 배플을 재 설치하였다. 주경 배플은 최초 설치한 1600mm 직경 크기에서 2mm 줄여 1598mm 구경으로 조정하였다. 한편 서쪽에서 미러를 접촉하고 있는 나일론 볼 중 2개의 나사산이 마모되어 더 이상 조정이 불가능했다. 이로 인해 12개중 10개의 나일론 볼은 거울과 살짝 닿은 상태를 유지하고 나머지 2개는 접촉을 하지 않는 상태로 망원경을 사용해오고 있었다. 처음 미러셀을 분리하여 나일론 볼과 거울과의 접촉 상태를 확인했을 때 거울면과 접촉하고 있는 10개의 나일론 볼이 거울옆면에 약 3cm 정도 회전하며 남긴 접촉 흔적이 있었는데, 이는 관측 타겟이 주로 동쪽에서 시작하여 서쪽으로 이동하는 패턴을 가짐에 따라 망원경 경통의 움직임에 의한 중력방향 변화로 거울을 미러셀 내에서 회전시킨 것으로 보인다. 이를 보완하기 위해 큰 토크를 가하여 2개 조정 나사를 미러셀에서 분리한 후에 나일론 볼과 조정 나사 사이에 스페이서를 넣어 재설치 하였다. 반면 나머지 하나는 나사산의 파손이 심각하여 추가적인 기계가공이 필요한 실정이다. 거울의 위치를 확인 한 후에 미러셀을 경통에 조립하였다. 이 과정에서 약 2톤에 해당하는 유압테이블을 움직여 위치를 조정하는 과정에서 주경배플을 고정하고 있는 전산볼트와 경통 하단면 사이에 간섭이 발생하여 주경 배플이 휘어지며 주경의 가장자리 부분에서 약 5mm 굽힌 흔적을 만들었다. 이 역시 무거운 유압테이블을 이동하려다 보니 많은 작업인원이 유압테이블을 끄는 데만 집중하고 전체 조립 과정을 잘 살피지 못해 발생한 일로써, 전체 작업이 이루어지는 동안 안전관리에 전념할 인원이 1명 필요하고, 유압테이블을 미세조정할 수 있는 추가적인 기계 장치가 절실히 필요함을 확인하였다. 휘어진 배플을 다시 재조정하여 설치 후 미러셀을 경통에 무사히 조립 할 수 있었다.

나. 광학 정렬 및 배플 마스크 조정

외계행성 탐색시스템 1.6m 거울면의 turned down edge에서 발생하는 잡광을 제거하기 위해 지난 11월에 경면 앞에 마스크를 설치하였으나, 누적된 관측영상의 분석을 통해 잡광이 완전히 제거되지 않았음을 확인하였다. 이에 배플 마스크 크기 직경을 1595mm에서 1593mm로 재조정하여 설치하였다. 그림 13은 밝은 별을 관측한 시험 관측영상에서 스파이더 베인에 의해 사선방향으로 만들어진 회절무늬의 각도가 정확히 90도 간격으로 보이고 있음을 육안 확인하였다. 이번 작업에서는 미리셀을 분리하기 전에 거울과 경통 및 미리셀의 위치를 모두 정확히 기록하고 이를 기준으로 재조립하였기 때문에 조립이 끝난 후 많은 시간을 들이지 않고서도 주경과 주초점 광학계의 틸트를 미세 조정하여 4개 칩에서 별의 영상이 서로 비슷한 형태를 만들 수 있었다. 망원경의 주경을 설치하고 관측한 영상의 각 영역에서 측정한 시상을 그림 13에 나타내었다.



PSF on focus (Zoom 16)



FWHM on focus (arc-sec)
at seeing < 0.9 arc-sec

그림 13. 주경배플의 설치 모습과 밝은 별의 관측으로 구한 회절 무늬 및 PSF와 측정된 시상

다. 시험관측/ 영상분석

영상차감법을 이용한 대용량 자료처리의 측광 정밀도 유지를 위해서는 관측영상의 디스토션과 PSF 분포 패턴이 큰 변화없이 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 특히 2016년에 관측된 영상 템플릿을 2017년에도 적용하여 자료처리 할 계획이기 때문에 2017년 우리은하 중심방향 관측 시즌이 본격적으로 시작되기 전에 관측영상의 디스토션 패턴을 2016년 템플릿 영상과 일치하도록 조정하는 일이 중요하다. 우리는 광학계를 재조립하여 시스템을 재구성한 후 은하중심 방향을 관측하였으나, 아직 은하중심부의 관측대상 고도가 그리 높지 않아 만족스러운 정도의 영상을 얻지는 못하였다. 이후 추가적으로 관측된 영상에서는 시상이 좋지 않아 더욱 영상 차감분석에 사용하기 어려운 관측자료 밖에 얻지 못하였다. 관측된 은하중심방향 영상에서 시상이 가장 좋은 영상을 선정하여 2016년 템플릿영상과 비교하여 차감영상을 만들고 차감된 영상이 2016년 관측된 자료와 어떻게 다른지 검토한 결과 별의 위치는 크게 바뀌지 않았음을 육안으로 확인하였다. 그러나 2016년에 천정 부근에서 관측된 영상과 비교한 결과에서는 이번 시험관측에서 얻은 관측영상이 낮은 고도에서 관측된 것을 고려하더라도 고정밀 측광에는 적합하지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 2017년 본격적인 관측이 시작되면 2017년에 관측된 영상들을 이용하여 템플릿을 다시 만들어야 할 것으로 예상된다. 이를 고려하면 은하중심방향 관측시즌 초반에는 2016년 템플릿을 이용하여 실시간 자료처리에 활용하고 대상타겟이 천정 근처로 오는 2017년 6월 초에 관측된 자료를 이용하여 새로운 템플릿을 다시 만든 후 이를 적용하여 관측자료를 다시 처리해야 할 것으로 예상된다. 그림 14에 BLG01 관측영역의 K-칩으로 관측된 영상 중심부에서 1/64에 해당하는 영역을 비교하여 나타내었다. 한 개의 칩을 가로축과 세로축으로 각각 8등분하여 자료처리 하며, 이 영역이 가로축과 세로축으로 각각 4번째에 위치한 조각이기 때문에 편의상 0404 패치라고 한다. 그림에서 좌측영상은 미러셀의 조립과 광학 정렬을 마친 후 시험관측된 영상을 2016년 자료처리 파이프라인을 이용하여 영상차감한 결과이고 우측의 영상은 2016-07-31T13:29:38에 관측된 영상의 차감결과이다. 좌측영상이 우측영상에 비해 전체적으로 회전한 듯한 느낌이 드는 이유는 광학계의 재조립 이후에 디스토션 계수의 변화가 발생했기 때문으로 생각한다.

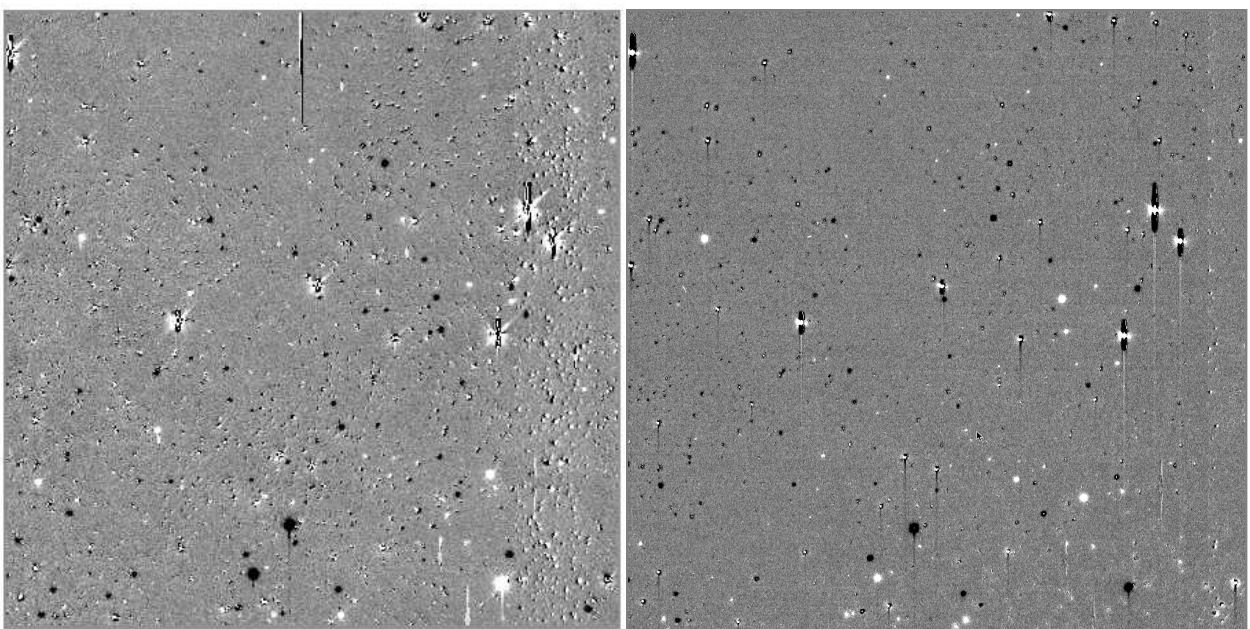


그림 14. BLG01 필드에서 관측된 K-칩 중심부(0404 patch) 차감영상 비교.

라. 마운트모델 업데이트

이번 시험관측에서는 2월 8일과 10일 2차례에 걸쳐 마운트모델 관측을 수행하였다. 광축정렬이 이루어지면 망원경의 기계축과 광학축 사이의 오차각이 발생하기 때문에 이에 대한 보정이 필요하다. 망원경의 마운트모델에 사용하는 파라미터는 8개로써 관측프로그램의 전산자원의 한계로 인해 주로 1차항 계수로 구성된 모델을 이용한다. IH와 ID는 각각 적경축과 적위축에 대한 인덱스 값을 나타내는 변수이고 PHH와 PDD는 각각 적경축과 적위축의 엔코더의 누적 오차를 나타내는 변수이다. IH와 PHH 및 ID와 PDD는 서로 상호 보완의 관계에 있으며, 마운트 모델을 선형회귀할 때에는 IH 값이 0으로 수렴하는 경우가 종종 발생하여 이번 분석에서는 IH의 값을 0으로 고정시켰다. NP는 적경축과 적위축의 직각도에서 발생하는 오차각을 대표하는 변수이며, CH는 광학중심축과 기계중심축과의 오차각을 나타낸다. ME와 MA는 망원경 구동부를 받치고 있는 마운트의 진북에 대한 고도와 방위각 오차를 각각 나타낸다. 그림 15에 나타난 결과를 보면 2016년 2월 26일 수행한 마운트모델과 이번에 2번 실시한 마운트 모델의 각 파라미터 및 불확정도는 매우 유사한 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 한편 2월 8일 수행한 마운트 모델 결과와 2월 10일 수행한 결과에서는 CH값의 변화가 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 망원경의 조립 후 2월 8일 광학계를 미세 조정한 이후 마운트 모델 관측을 수행하였고, 2월 10일 광학정렬 작업을 재수행한 이후에 마운트 모델 관측을 다시 했기 때문이다. 따라서 다른 파라미터에 비해 광축과 기계축과의 오차각을 대표하는 변수에서 가장 큰 값의 변화가 발생하였다. 최종적으로 업데이트한 마운트모델의 계수는 그림 15의 가장 우측이며, 모델 적용결과 포인팅 오차는 RMS 9초각 이내이다. 시간각과 적위축에 대한 분포를 우측에 나타내었다.

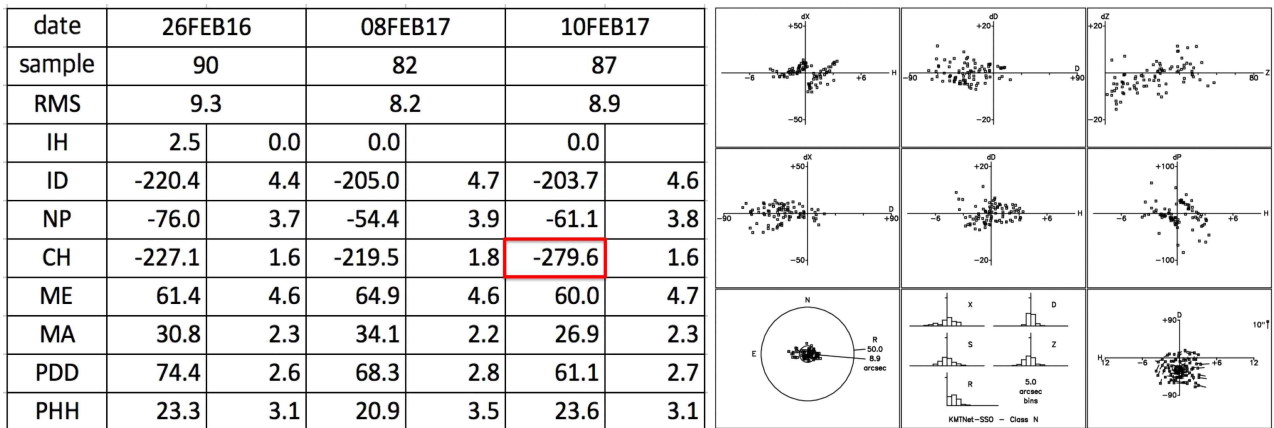


그림 15. 마운트모델 값의 비교와 최종 관측된 마운트모델 관측 그림