

국외 출장 보고서

(2017년 10월 29일-11월 17일 / 남아프리카공화국 SAAO)

2017년 11월

김승리, 이충욱, 이동주, 차상목, 이용석

한국천문연구원

I. 출장개요

1. 출 장 자: 김승리, 이충욱, 이동주, 차상목, 이용석

2. 출장기간: 2017년 10월 29일부터 2017년 11월 17일까지(총 20일)

3. 목 적 지: 남아프리카공화국 SAAO(South African Astronomical Observatory)

4. 출장요약

외계행성 탐색시스템의 주요 연구주제인 우리은하 중심부 관측시즌이 종료됨에 따라 2017년 계획된 시스템 유지보수 작업을 진행하였다. 3월부터 10월까지 이루어지는 우리은하 중심부 관측시즌에는 시스템의 변화와 관측시간의 손실을 최소화하기 위하여 중대한 고장이 아니면 정비 시간을 배정하지 않고, 관측시즌이 끝난 11월에서 2월 사이에 집중적으로 정비를 수행한다. 이로 인해 출장 전에 망원경의 상태를 정확히 이해하고 출장 중 수행할 일들의 목록을 만들어 각 항목에 대한 예상 작업시간과 담당인력을 배정하였다.

이번 출장 중 수행한 작업은 크게 4가지로 분류된다. (1) 망원경 구동부의 노후 부품 교체 및 시스템 성능개선을 위해 추가 제작한 부품의 설치와 미세 조정을 수행하였다. 주요작업으로 광학 성능개선을 위해 망원경의 미러셀을 분리하고 주경면 앞에 배플을 설치하였다. 이와 더불어 망원경 디스크면의 손상을 방지하기 위해 디스크 - 구동롤러 정렬각의 미세조정을 위해 약 8톤의 망원경 경통을 들어 올리고 구동롤러의 정렬각도를 미세 조정하였다. 시작품으로 올해 제작한 필터 셔터를 기존 것과 교체 설치하고 작동상태 여부를 망원경에 설치하여 확인하였다. 또한 추후 혼자서도 필터셔터를 교체할 수 있도록 기존 교체 장치를 개선할 수 있는지 여부를 현장에서 확인하였다. 또한 측광학적 정밀도의 향상을 위해 플랫폼의 설치와 돔 로테이션 기어 리듀서 교환 등의 작업을 수행하였다. 이와 더불어 카메라 시스템 유지보수를 위해 냉각기 내부 소모품 교체 및 냉매 가스충전 후 듀어 진공펌핑과 재냉각을 수행하고, 전자부 보드 업그레이드 교체 및 CMRR과 BIAS 세부 조정을 수행하였다. 이 과정에서 수차례의 돔플랫 관측과 Post amp 회로의 미세조정을 수행하였고 남아공 CCD 카메라의 읽기 특성 및 전자부 바이오스 특성을 면밀히 살펴보았다. (2) 시스템을 운영하며 현지 관측자와 매주 운영회의를 통해 현재까지 발생한 문제들에 대한 실제 상황을 현장에서 확인하고 중요 치수들을 측정하여 기록하였다. (3) 관측도중 발생하는 갑작스런 문제에 능동적으로 대처하기 위해 관측자들이 현장에서 수행할 수 있는 상시 점검요소 및 즉시 대처가 가능한 부품교체에 대한 현장교육을 실시하였다. (4) 남아공천문대 운영팀 및 기술지원팀과의 회의를 통해 2018년도 시스템의 안정적인 운영 방안과 향후에 있을 미리코팅 방법에 대해 협의하였다.

출장 중 계획했던 총 59개 작업의 종류와 소요시간, 작업 결과를 표 1에 정리하였다. 각 항목 중 중요 작업에 대해서는 세부 내용을 보고서에 기록하였다. 작업계획은 고공 작업에 필수적인 시저 리프트의 사용이 겹치지 않도록 시간에 따라 구분하였다. 당초 11월 7일까지 완료하는 것으로 계획하였던 CCD 카메라 전자부 부품 교체 및 성능개선 작업은 전자부 튜닝 및 하드웨어 개선 작업에 시간이 지체되어 출장기간을 연장하였고 11월 14일까지 추가적으로 수행하여 해당 작업을 완료한 후 복귀하였다.

표 1. 작업 계획 및 결과 요약

순 번	구분	작업명	담당자	작업 결과	소요 시간
1	점검 조정	미러커버 기계부 점검	이충욱,이동주 이용석	미러 커버 간섭 등 기계부의 전반적인 점검을 수행하였고, 액 츄에이터 부분의 유실된 베어링을 제작/설치	1
2		미러커버 전기부 점검	이충욱,이동주	전기부 전반적인 점검을 통해 이상 없음을 확인	0.5
3		경면상태 점검	김승리,이용석 차상목	현미경을 이용하여 미러 각 위치별 상태를 사진으로 기록하 고, 현지 스탭의 도움으로 반사율 측정(70%~90%@700nm)	0.5
4	설치 교체	주경배플설치	출장자 모두	미러 리프트 준비/설치 ⇒ 부품unpacking+cleaning ⇒ 미러 셀 분리 ⇒ 배플 설치 ⇒ 미러셀 재설치	4
5		디스크 정렬장치 설치	이충욱,이용석 김승리,이동주	RA disk 면의 마모를 줄이고, 마모량을 정량적으로 파악하기 위해 idle roller를 미세하게 조정할 수 있는 정렬 장치 설치	4
6		플랫 촬영용 돔 스 크린 설치	이동주,김승리	돔 플랫 스크린 조립하여 elevation 46, Azimuth 81 위치에 설치	4
7		FSA 설치	이용석,이충욱	국내에서 새로 제작한 FSA 설치 및 작동 테스트를 성공적으 로 수행	2
8		집 크레인 원격 조 정기 테스트	이용석,이충욱	원격제어 모듈을 이용해 집크레인 원격 제어 회로 구성하였으 며, 이를 활용한 테스트 및 장치 개발을 위한 치수 측정	1
9		DEC 베어링 유흡 착제 설치	김승리	Dec축 Grease 작업 ⇒ Dec 축 베어링에 유흡착제미니붐 설 치(경면 베어링 그리스 낙하방지)	1
10	점검 조정	스크립트관측 실험	차상목,관측자	출장 시 관측에 활용하고, 문제점 파악하여 수정	4
11	설치 교체	돔 회전부 점검 및 기어리듀서 교체	이용석,이충욱	돔 레일, 회전 구동부 점검, dome centering 값 측정, grease 도포	2
12		돔셔터 얼라인 확 인 및 스티커 부착	김승리,이동주 이용석	돔과 망원경의 sync오류 3회(8/8,9/2,10/6⇒ 점검 후 설정값 변경 / 방위 및 돔 셔터 각도를 표시하는 스티커 부착	2
13		전자부 HW개선(1)	차상목	카메라 Utility BD 교체/점검/설정, BOG heater 설치, DMP Heater 설치/시험가동	4
14		전자부 HW개선(2)	차상목	DC regulator 부품교체/개선	4
15		전자부 HW개선(3)	차상목	CMRR/BIAS 조정 후 돔플랫 촬영/분석, 출장 전 1차 돔플랫 촬영/분석, 현지 조정 및 돔플랫 촬영/분석 4회	4
16	점검 조정	전자부 레벨 조정	차상목	T #27(6/27), #29(5/23) 영상 이상: POT/PA 보드 가변저항 불량 가능성 전자부 PA 조정 및 필요시 POT/PA 교체	30
17	설치 교체	AWS 설치	이동주,이용석 김승리	AWS 외부 장착 및 케이블 연결, 프로그램 및 시스템 연동 기상데이터 log의 본원 전송시험	3
18		관측용 PC 업그레 이드 (RAM, SSD)	이용석	Lenovo tiny RAM 16GB /SSD 1050GB 업그레이드 OS, SW 설치	3
19		IC 컴퓨터 SSD 교체	이용석	IC K/M/T/N/G, ICGui, ICSci HDD 이미지를 SSD로 복제 및 교체 (ICSci 1050GB, IC K/M/T/N/G & ICGui 275GB)	4
20		AUX PC 교체 및 USB hub 교체	이용석	AUX PC를 새로 구매한 PC로 교체 및 설정 AUX PC에 연결된 USB 허브 교체	1
21		TCC 교체	이용석	새로 구매한 shuttle PC로 TCC를 교체 시스템 복제 과정 필요	1
22		GPS 시각 모듈 관 측실 설치	이동주,김승리	display가 가능한 스페어 서버(NTP server)를 관측자 모니터 위쪽에 선반 제작하여 설치 및 설정	2

표 1. (계속)

순 번	구분	작업명	담당자	세부내용	소요 시간
23		돔⇒장비실 환기구 냉각팬 설치	김승리,이동주	장비실 실내 온도를 낮추기 위한 방법으로 망원경 돔의 에어 컨 바람이 통하도록, 돔과 장비실 사이에 냉각 팬 설치	2
24		RA 디스크면에 물 흡수 테이프 설치	김승리,이동주	RA 엔코더의 침수 방지를 위해 물흡수 테이프를 RA disk 면 에 설치	2
25		구급함 설치	김승리,이동주	관측중 응급상황에 대비할 수 있도록 구급상자 설치	0.5
26		주경조정나사 및 모서리스편지 설치	김승리,이동주	관측자의 안전을 위해 주경조정 나사 커버 및 망원경 모서리에 스펀지 설치	0.5
27		고장 PT30 #2 탈 거 및 스페어 설치	차상목	(1/3) PT 30 #2 게이지 수치 이상, (1/10) 장비실 콤프레셔 고장 및 교체 ⇒ 장비실 내 팬 설치	2
28		건조공기생성기 점 검/노후부품 교체	차상목	Air dryer 점검 및 부품교체 등 유지보수	4
29		시저리프트 배터리 교체	이용석	시저리프트 배터리 교체 및 스페어 배터리 증류수 충전	1
30	점검 조정	돔/레일/스프로켓/ 볼트 상태점검	김승리,이동주 이용석,이충욱	각 부품의 마모상태 점검 및 교체	4
31		돔 회전시 수평도 측정	이동주,이용석	레이저수준기를 이용하여 돔 레벨 측정	4
32		서터부 마모/커플 링 나사 상태 점검	이용석,이충욱	모터,커플링,스프로켓,레일,서터이어 등 동서터를 구동하는 모 든 부분 점검하고, 필요시 교체, 기록 사진촬영	1
33		방풍막 wheel 점 검	이용석	방풍막 롤러 점검 및 교체	1
34		R2000점검 및 냉 각수 보충	차상목,관측자	냉각수 부분이 파손(1/31, 2/3, 3/2)된 R2000의 전반적인 점검 및 호수 교체 부분, 프로펠러/펌프 연결부 커플링 점검, 냉각수 교체	1
35		UPS 설치	이용석,차상목	현지 전기 기술자인 Carlson Mulaudzi의 도움으로 장비실 UPS 연결	0.5
36		공구상태 점검 공구함 정리	이동주,이용석	산재해있던 볼트 들과 각종 공구류들을 공구함에 분류하여 정 리	2
37		소프트웨어CD, 매 뉴얼, 바인더 정리	이동주	OS, Utility, 기타 장비 매뉴얼을 종류별로 분류하여 바인더에 정리	1
38	자료 수집	안전바 설치 수치 측정	이충욱	돔 서터 작업시 시저리프트에 또하나의 받침을 올려 놓고 작 업하므로, 이에 따른 안전바 설치를 위해 치수 측정	1
39		RA slip 적경값 증감원인 파악	김승리,이충욱 이동주,이용석	idler roller에서 새어 나온 기름이 RA 디스크면에 묻어 미끄러짐이 발생하면서 적경값이 줄거나, 늘어나는 현상이 발생한 것으로 판단	0.5
40		RA oscillating 원 인 파악	김승리,이충욱 이동주,이용석	RA pointing error 또한 RA disk면에 묻은 기름에 의한 증 상으로 판단됨	0.5
41		돔 Sync 오류 원 인 파악	김승리,이충욱 이동주,이용석	돔과 망원경 사이의 sync 오류 원인파악은 하지 못하였으나, 돔 위치 라벨스티커 부착으로 빠른 대처가 가능하도록 함	1
42		돔누수 위치 수집	이동주	관측자로부터 돔 누수 위치를 확인하였으며, 추후 돔 누수 방지를 위한 실링 작업 시에 활용	1
43		시각동기화 시험/ 개선	이충욱	관측 컴퓨터마다 시각 차이 발생 원인을 네트워크 속도로 파악하였 으며, 그에 따른 자동 시각동기화 스크립트 작성/적용	1
44		ICS, IC.M crash 검토	차상목,관측자	ICS crash 후, 재부팅에도 한동안 연결안 됨 (5/28), 1시간 정도 후에 복구, 복구에 시간이 많이 소요도 됨	1

표 1. (계속)

순 번	구분	작업명	담당자	세부내용	소요 시간
45		올 인원 PC 화면색상 고장	이동주	컬 때부터 모니터 색상 불량 : 모니터 패널 고장으로 HDMI 케이블을 이용해 외부모니터를 연결하여 사용 가능	1
46	교육 훈련	정전시 UPS 및 DTS 대처요령 숙지	이용석,관측자	시범 및 관측자 교육	1
47		엔코더리더 재조정 방 법 (RA,DEC)	관측자,이용석	RA/DEC 엔코더 리더 조정 및 조정방법 OP 교육	1
48		이슬점 온도 고려 칠 러 온도 세팅 방법	관측자,이용석	이슬점 온도표에 따라 냉각온도 세팅 변경 칠러 냉각수량 확인 교육	0.5
49		냉각기 가스 충전법 교육,	관측자,이용석	PT30/13 가스 충전 및 관측자 인수인계	1
50		포인팅 모델 측정/갱 신	관측자,이용석	미러셀 재설치 및 아이들 롤러 조정, 엔코더 리더 조정 완료 후 포인팅 모델 측정/갱신	4
51		고장난 기어리듀서 월 기어 교체	이충욱, 존	월기어 마모로 사용하지 못하는 기어리듀서를 스페어로 사 용하기 위해, 고장 시 새로 제작한 월기어로 교체하기로 함	0.5
52	협의 요청	미러코팅 협의 및 미러박스 제작	라모톨로,줄리 ALL	기존 Protected Ag 코팅 제거 약품 구매 논의, 코팅 스케 줄 논의, 주경 운반 장비 사용 논의, 주경 박스 제작 논의	0.5
53		차량구매 논의	라모톨로 이충욱	메타스페이스-SAAO 간 논의 진행 중	0.5
54		에어컨 실외기 누수 수리요청	이용석, 존	현재 상태 양호 확인하였으며, 정기 점검 요청	0.5
55		전기 불안정 모니터링 요청	라모톨로,줄리 존,이충욱	SAAO 전체로 들어오는 전력량이나 이상 여부는 모니터링 가능하 지만, 각 망원경으로 오는 전력량은 확인할 수 없다는 답을 얻음	0.5
56		사이트 기술 및 물품 구매 요청	윌리,이충욱 존,줄리,이용석	기술 요청 사항 검토 및 요청 물품 재고 확인 및 사이트 요청, 부동액 등 재고 확인	1
57	교육 훈련	냉각기 가스리버싱 교육(윌리)	윌리,차상목, 관측자	냉각기 R/S swap 방법 인수인계 및 Cryotiger blocked orifice(plugged head) 문제 해결방법 연습	2
58		듀어 진공펌핑/재냉각 (윌리)	관측자,윌리, 차상목,이용석	필요시 듀어 워밍, 진공펌핑, 재냉각을 진행	4
59	기타	관측리포트 내용 검토 및 작업 수행	이동주,이용석	기기상태 노트에 나와 있는 모든 내용에 대해 관측자와 상의하고, 미비한 점들에 대해 재작업 수행	

5. 외국인 접촉현황

일 자	성 명	국적	소 속	비 고
10월 31일(화) ~ 11월 14일(화)	John Stoffels Hilton Kamfer Sinethemba Taaibos Carlson Mulaudzi Jean Bernardo	남아공	SAAO	주경 알루미늄 코팅 관련 협의 관측시스템 관련 점검 협의, 장비지원 주경 반사율 측정, 장비지원 UPS 설치관련 전기기술 지원, 장비지원 기상정보 전송을 위한 네트워크 보안 논의

II. 세부 수행내용

가. 광학계 성능개선

올해 호주 천문대에는 외계행성 탐색시스템 1.6m 망원경 거울면의 turned down edge로 인해 발생하는 잡광 제거를 위해 주경면 바로 앞쪽에 주경의 가장자리를 가리는 마스크(주경 배플)를 설치하였다. 호주에 설치한 배플은 시작품으로 제작된 것으로 내경을 1,600mm에 맞추어 제작하였고, 최적의 구경을 찾기 위해 호주에서 내경 크기를 조금씩 줄여가며 직경 1,580mm에서 광학성과 집광력이 최적화됨을 확인하였다. 이를 바탕으로 배플의 크기를 재설계하여 3세트를 최종 제작한 바 있다. 남아공에서는 새롭게 제작한 배플을 설치하였다. 배플의 디자인은 시작품 제작과정에서 얻은 경험지식에 근거하여 배플 끝단의 서로 맞닿는 부분의 틈을 막을 수 있도록 수정하였다. 경면 앞에 설치한 후 미러셀을 경통에 고정하고 있는 볼트의 길이를 실제 크기에 맞게 제작하였고, 난반사가 일어나지 않도록 아노다이징 처리하여 보완하였다. 이번 배플 설치 전후의 광학계 정렬 상태 확인은 천정방향에서 얻은 관측영상에서 PSF 분포를 추출하여 검토하였다. 시험관측이 이루어진 기간 내내 시상이 좋지 않아 PSF 분포의 미세한 변화를 고려한 미세조정은 아직까지 이루어지지 않았으며, 날씨가 좋은날 관측이 이루어지면 이를 바탕으로 주초점부의 틸트 조정을 수행할 예정이다.



그림 1. 미러셀을 분리하고 배플을 설치하는 장면(돔 내부영상에서 캡처)

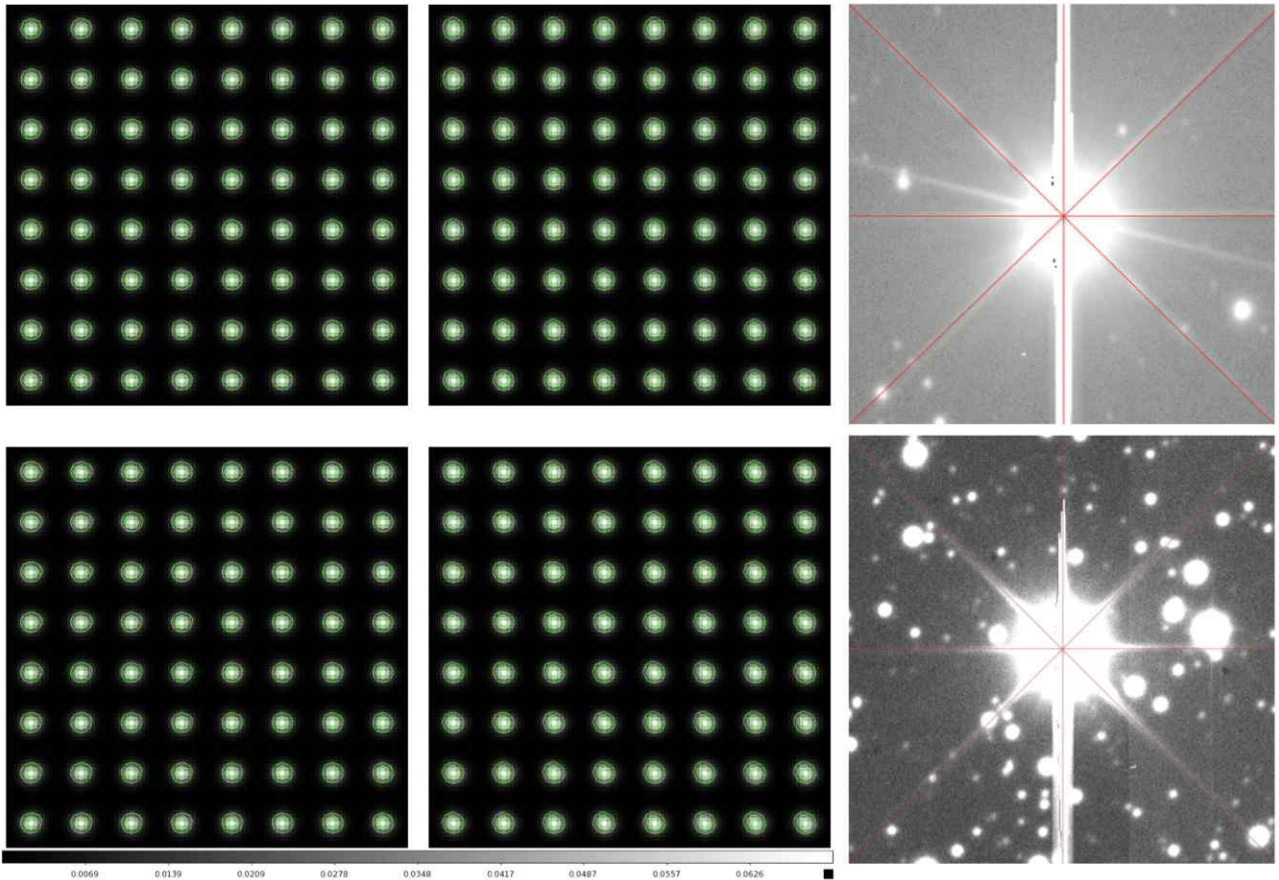


그림 2. 배플 설치 후 얻은 카메라 초점면에서의 PSF 분포 및 별의 영상 비교. 배플 설치 전(우측 위)에 촬영된 영상에서 발견된 스파이더 베인에 의한 회절상과 배플설치 후(우측 아래) 촬영한 영상의 비교를 통해 영상이 개선된 것을 볼 수 있다.

지난 호주 출장에서는 거울의 protected silver 코팅 상태가 좋지 않아 주경의 코팅면을 제거하고, 알루미늄으로 재 코팅 한 바 있다. 이는 호주의 다습한 기후로 인해 습기에 취약한 protected silver 코팅면이 파손되었기 때문인 것으로 파악하고 있으며, 남아공에서도 이런 문제가 있지 않은지 확인하였다. 특히 남아공천문대는 지난 2년간 현지를 방문하여 망원경을 정비하지 못했기 때문에 현미경을 이용한 코팅면의 육안 검사와 더불어 SALT 망원경 광학지원 기술팀 (Sinethemba Taaibos 외)에 의뢰하여 SALT 경면의 반사율 측정에 사용하는 장비를 이용해 반사율을 측정하였다. SALT에서 사용하고 있는 반사율 측정 장비는 호주의 것과 달리 3,000Å 에서 11,000Å 영역의 반사율을 측정할 수 있는 장비로 레퍼런스 거울 샘플을 이용하여 측정 대상의 상대적 반사율을 칼리브레이션 하는 방식이다. 따라서 측정 전에 레퍼런스 거울 샘플을 이용하여 장비를 칼리브레이션해야 하는데, 이때 걸리는 시간이 약 1시간 이상 소요되며, 측정 컴퓨터의 노후로 인해 관측자료가 저장되지 않아 이틀에 걸쳐 측정이 이루어 졌다. 측정된 자료는 8,000Å 이후부터는 측정노이즈가 심하여 온전한 자료로 사용하기 어려웠다. 따라서 그림 3에는 3,000-8,000Å 부분만을 나타내었다. 측정된 반사율을 근거로 아직까지 남아공 망원경의 코팅상태는 양호하다고 판단하고 있으며, 먼지가 많이 쌓인 부분에 대해서 스노우건과 CO2 가스를 이용하여 먼지를 제거하였다. 그림 4에는 코팅면의 확대 사진을 나타내었다.

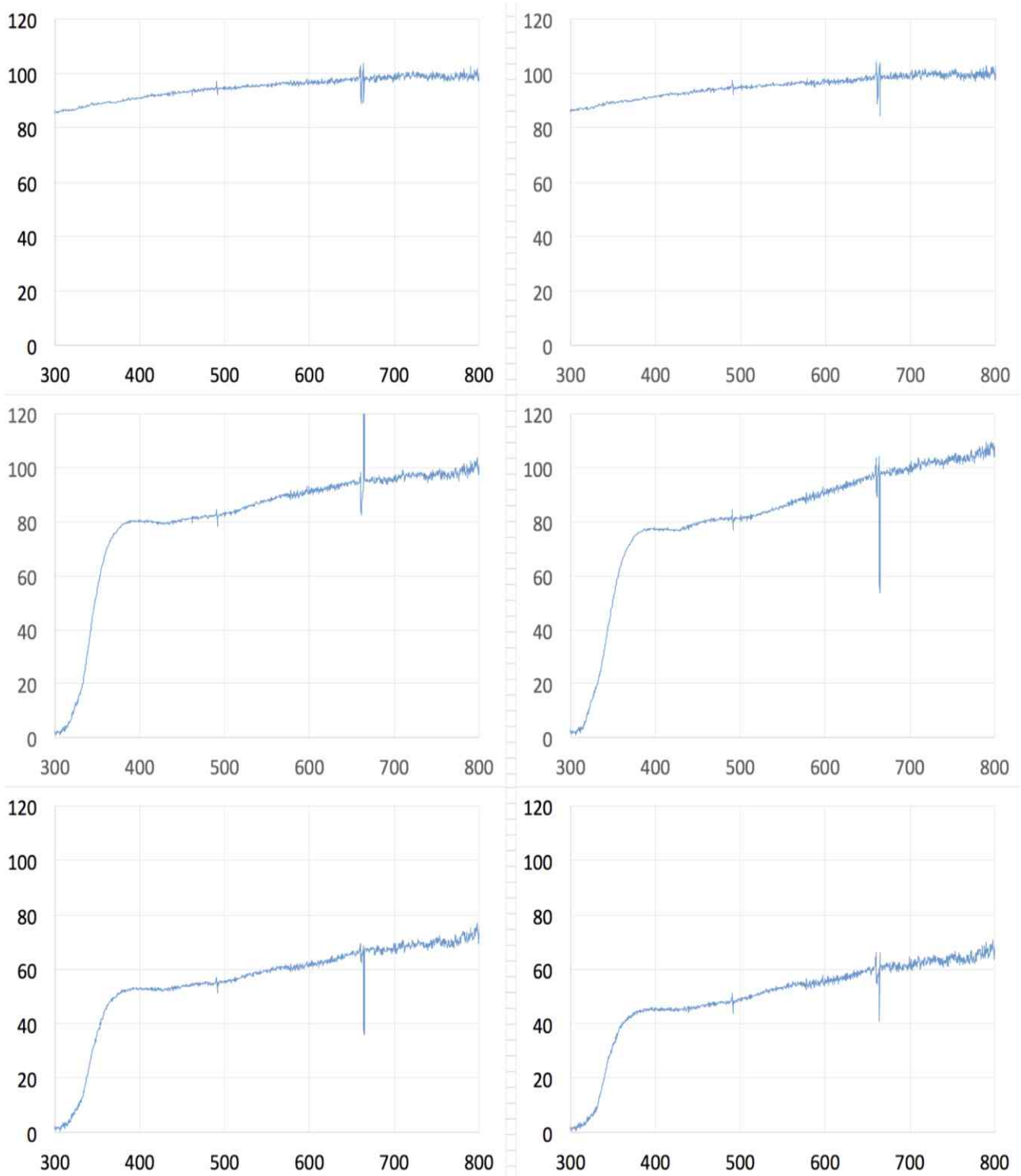


그림 3. 측정된 반사율. 각각의 측정은 2번씩 이루어졌으며, 맨 위는 알루미늄 코팅된 레퍼런스 거울의 반사율을 나타낸다. 중간에는 거울면의 깨끗한 부분에서 측정한 반사율을 나타내었으며, 맨 아래에는 코팅면이 깨끗하지 못한 거울면의 반사율을 측정하였다. 알루미늄 코팅된 레퍼런스에 비해 protected silver 코팅의 반사율이 더욱 뛰어나기 때문에 실제 거울의 반사율 측정치의 최대값은 100%를 넘어설 수 있다. 가로축은 파장을 nm 단위로 나타내었고, 세로축은 레퍼런스 거울면에 대한 상대 반사율을 %로 나타내었다.

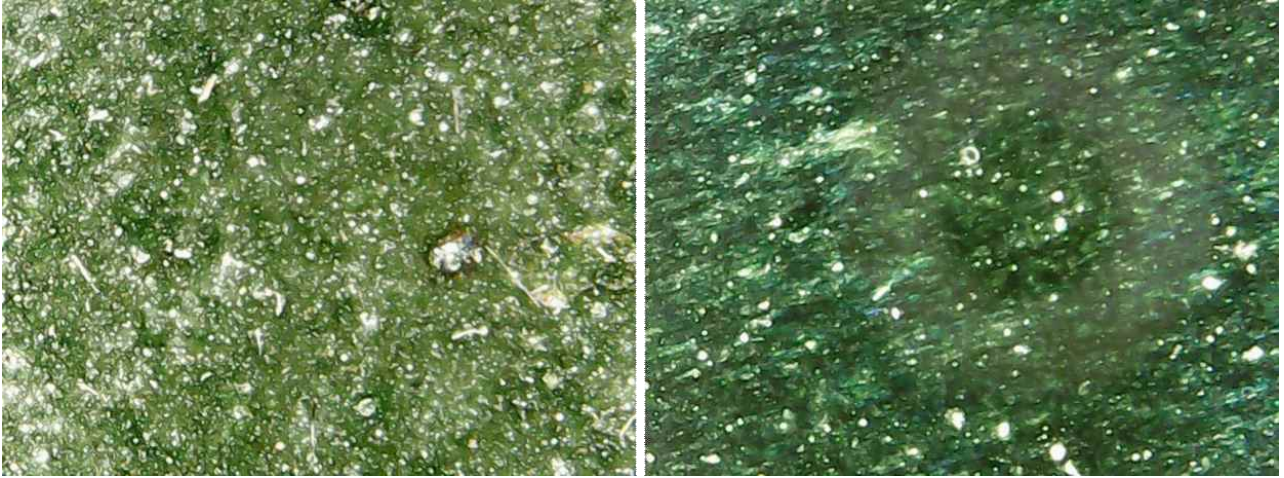


그림 4. 현미경으로 500배 확대한 거울면. 스노우건으로 주경 청소 전(좌)과 후(우). 우측의 사진에서 도 우뚝처럼 약간 밝게 둥그랴게 보이는 모습은 현미경 앞에 놓인 LED 불빛에 현미경의 구조물이 반사되어 생긴 허상이다.

이번 출장에서는 향후 미리 코팅을 수행할 경우를 대비해 남아공 천문대의 미리 코팅 시설을 방문하였다. KMTNet 주경의 크기가 1,640mm이기 때문에 SAAO 1.9 m 망원경 관측소 건물 안에 있는 진공 챔버가 사용에 적당하다. 남아공 현지에서는 다른 건물에 있는 망원경의 거울을 다른 건물로 이동시켜 코팅 작업을 수행한 적이 없고, 망원경이 설치된 건물 1층에 진공챔버가 설치되어 있어 엘리베이터를 이용하여 거울을 아래층으로 내리고 코팅 작업을 수행한다. 따라서 남아공에서는 거울을 망원경으로부터 분리하여 어떻게 1.9m 건물로 옮길 것인가가 매우 중요한 문제로 논의되었다. 최종 논의된 바에 의하면 우선 미러셀을 망원경으로부터 분리한 이후 거울을 미러박스에 담아 1톤 트럭에 싣고 1.9m 건물로 후진하여 건물로 진입한다. 거울과 미러박스의 무게가 1.3톤 정도에 이를 것으로 예상되기 때문에 1톤 트럭에 화물을 적재하는 것에 대해서는 좀더 논의를 하기로 하였으나, 현실적으로 Surtherland 에서는 2톤 이상의 트럭을 구할 수 없기 때문에 만약 트럭을 이용하여 거울을 옮겨야 한다면 5시간 떨어진 케이프타운에서 트럭을 빌려와야 하는 문제가 발생한다. 1.9m 망원경 건물의 정문 가로폭은 2.8m이기 때문에 트럭의 허용 하중 문제가 해결되면 거울을 실은 트럭이 진입하기에는 문제가 없다. 그림 5의 상단 좌측이 1.9m 망원경 건물의 정문이며, 이 문을 지나면 목재로 만든 중간문이 있고, 최종적으로 엘리베이터를 지나야 진공챔버가 있는 방까지 갈수 있다. 엘리베이터가 견딜 수 있는 설계 하중은 4톤이며, 정기검사에서 허용하중 3톤까지 안정성 검사를 받은 상태이다.

트럭이 진공챔버까지 진입하면 건물 천장에 설치된 크레인을 이용하여 미러를 박스에서 빼낸 후 클리닝 삼각대 위에 미러를 내리고 세척한다. 클리닝 작업이 끝나면 고정 프레임에 미러를 고정 시킨 후 챔버에 수직으로 세워 고정하고, 챔버 뚜껑을 닫아 진공 펌핑을 시작한다. 진공펌핑 작업은 호주에서와 마찬가지로 오일 디퓨즈 펌프를 이용하여 진공상태를 만들게 되는데, 펌프의 용량이 작아 진공상태로 만드는데 경험적으로 약 1.5일 정도가 소요된다고 한다. 알루미늄 코팅 작업이 끝나면 역순으로 거울을 박스에 포장하여 KMTNet 건물로 가져오고 거울을 망원경에 설치한다. 남아공 기술진들은 코팅에 총 3일 정도가 소요될 것으로 예상하고 있으며, 코팅에 문제가 있어 재코팅이 필요한 경우에는 진공퍼핑을 고려하여 약 1주일 정도의 시간이 소요될 것으로 예측하였다.



그림 5. 1.9m 돔 내부. 상단 좌측은 건물내부에서 바라본 정문이며, 상단 우측은 중간문이다. 중간문을 거쳐 진공챔버로 이어지는 엘리베이터를 지나면 철제 셔터문이 있는 진공챔버로 갈수 있다.

나. 돔 및 기계부 점검과 성능 개선

KMTNet 관측 시스템을 운영하면서 발생한 고장이력을 보면 돔 기계부 문제에 대한 보고가 가장 많다. 이는 한 관측소에만 국한된 문제가 아니고 세 관측소 모두에서 공통적으로 발생하며 가장 빈번히 발생하는 문제로는 돔 회전부 기어 리듀서 파손, 돔 셔터 구동부 셔터이어 마모, 돔 회전부 스프로킷 마모, 돔 셔터 구동부 커플링 풀림, 돔 셔터 싱크 오류 등이 있다. 이번 출장에서는 기어리듀서 2세트를 새것으로 모두 교체하고 스프라켓 기어와 돔 레일 사이에 윤활을 돕기 위해 그리스를 두텁게 도포하였다. 기어 리듀서는 2016년 9월과 12월에 IRSF에서 2개를 빌려 교체한 바 있다. 리듀서는 대략 1년 주기로 기어 리듀서 내부의 웜기어가 마모됨을 확인하였기 때문에 마모된 웜기어를 교체하여 새로운 리듀서가 도착하기 전까지 임시로 사용할 수 있도록 스페어 웜기어 6개를 남아공 천문대에 비치하였다. 그리스를 두껍게 도포한 까닭에 돔 회전시 발생하던 날카로운 소리는 모두 사라지고 부드럽게 돔이 동작함을 확인하였으나, 근본적으로는 돔 회전 시작과 후반부에 속도가 감속할 수 있도록 3상 모터와 인버터를 이용한 소프트 드라이빙 시스템을 설계하여 적용할 계획이다. 한편 돔 회전 기어 다음으로 고장에 대한 보고가 많은 것이 셔터 이어의 마모문제이다. 남아공은 기술지원을 담당하고 있는 존에 의하여 이미 Ash돔에서 셔터 이어의 마모를 해결할 수 있는 방안이 제시되었고, 현재 이를 적용하고 있다. 즉, 셔터 이어에서 레일과 직접 닿고 있는 부분의 강도가 약해 셔터이어가 3달에 한번 꼴로 닳는 문제를 해결하기 위해 베어링에 사용되는 고강도 철을 기존의 셔터이어에 브레이징하여 사용하고 있다. 이어의 강도가 높아졌음에도 불구하고, 레일이 손상되지 않는 것을 육안으로 확인하였기 때문에 남아공뿐 아니라 칠레와 호주에도 동일한 방법을 적용할 계획이다. 존에 의하면 이 부품을 사용할 경우 경험적으로 약 3-4년 정도 사용이 가능하다고 한다. 돔 스프라켓은 점검당시 마모가 이미 상당히 진행되었음을 육안으로 확인할 수 있었으며, 교체를 위해 남아공 관측소 기술팀에 예비품을 포함한 총 6개의 스프로킷 제작 및 교체를 의뢰한 상태이다. 이와 함께 동력 커플링 연결 나사의 확인, 돔 셔터 엔코더 연결 벨트의 장력에 대해 확인하였다. 점검 결과 연결 나사들은 모두 타이트하게 조여져 있었고 돔 셔터 엔코더에 연결된 타이밍 벨트 장력 또한 이상 없음을 확인하였다.



그림 6. 기어리듀서를 교체하기 전의 돔 회전 기계부 모습과 리듀서 교체를 위해 스프라켓을 제거한 모습. 스프라켓의 톱니가 매우 얇아진 것을 볼 수 있으며 이는 돔이 갑자기 회전을 시작할 때와 멈출 때 레일과의 마찰에 의해 기어가 닳아서 발생한다. 근본적 해결을 위해 소프트 드라이빙 장치를 추가할 예정이다.

운영팀에서는 여러 차례 기계부품 마모에 대해 제작사인 Ash돔에 보고하였는데, 제작사측에서는 돔 수평 높이의 차이가 있을 경우 이러한 문제가 발생할 수 있으며, 돔을 받치고 있는 서포트 롤러의 높이를 동일하게 맞추어 돔의 경사를 없앴으로서 돔 회전부의 스프로킷 마모나 기어 리듀서 고장 등을 해결할 수 있다고 회신 하였다. 이에 이번 출장에서는 레이저 수준기를 이용하여 남아공 돔 회전부를 구성하는 서포트 롤러의 수평도를 측정하였다. 돔 내부에는 망원경이 이미 설치되어있기 때문에 한쪽 시야면에서 하나의 서포트 롤러를 기준으로 서로간의 높이차를 측정한 이후 다른 시야면으로 이동하여 레이저 수준기를 설치하고 기준 서포트 롤러의 높이를 다시 측정함으로써 시야면 마다의 오프셋을 서로 보정하며 각 서포트 롤러간의 높이차를 측정하였다. 총 60개의 롤러 서포트에 대한 오프셋이 측정되었으며, 측정된 오프셋을 이용하여 그림 7의 오프셋 분포도를 그려본 결과 남아공 돔은 남동-북서를 잇는 방향에 놓인 롤러들이 남서-북동 방향의 롤러들 높이 보다 1cm 더 높음을 확인 할 수 있었다. 현재는 다른 천문대는 어떤 분포를 가지고 있는지 확인 후 일괄 대책을 마련하기 위해 자료만 수집한 상태이다.

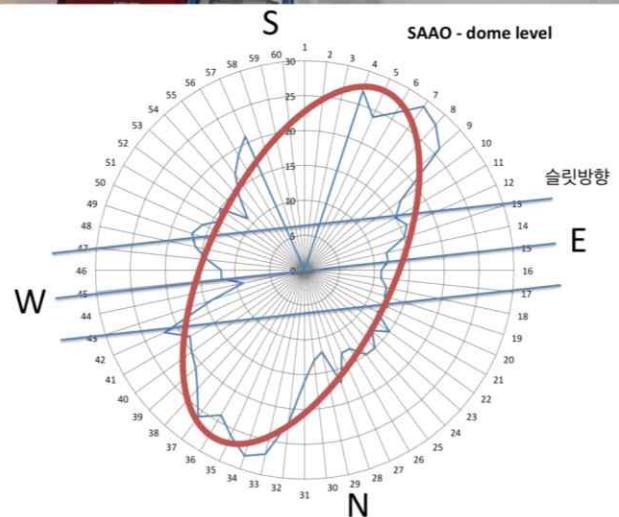
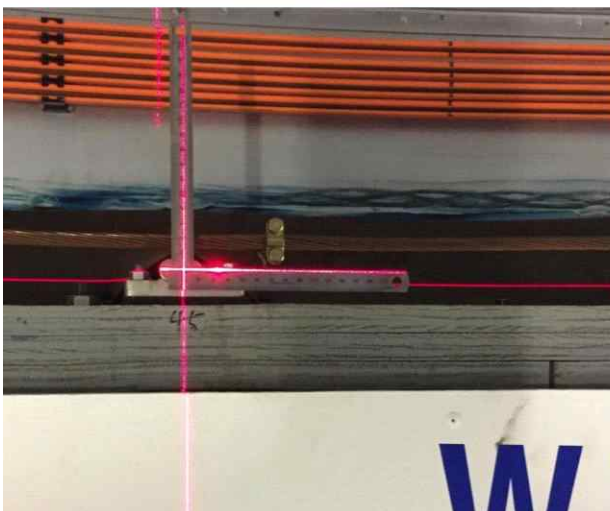


그림 7. 레이저 수준기를 이용하여 각 서포트 롤러간의 높이차를 측정하는 모습. 상단 좌측에 레이저 수준기를 설치한 모습을 나타내었고, 상단 우측에는 레이저 수준기에 의해 만들어진 가로선에 대해 각 서포트 롤러의 오프셋 값을 측정하는 모습을 나타냈다. 하단 좌측에는 레이저 수준기의 기준선에 대해 롤러 서포트의 오프셋을 측정하는 모습을 확대한 사진이고, 하단 우측에 측정된 60개 롤러 서포트의 오프셋 분포를 방사형으로 나타내었다.

KMTNet 광시야 망원경은 적도의식 망원경으로 망원경의 RA 디스크를 2개의 아이들 롤러가 떠받치고 있으며, RA 구동 롤러는 두 개의 아이들 롤러 사이에 디스크와 접촉하여 망원경에 동력을 전달한다. 이때, RA 디스크를 받치고 있는 아이들 롤러와 디스크 면이 완벽하게 정렬되어 있지 않는 경우에는 디스크면에 가해지는 경통의 중량으로 인해 아이들 롤러와 접촉하고 있는 디스크 면이 자체 중량에 의하여 갈리게 된다. 망원경 설치 초기에 디스크와 롤러를 최대한 평행하게 정렬하였으나, 망원경의 운영을 통해 지속적으로 디스크 면이 마모되어 씻가루가 롤러받침 기둥에 쌓이는 것을 확인하게 되었다. 이에 아이들 롤러의 정렬을 위하여 디스크를 들어올리고, 아이들 롤러의 방위각을 미세 조정 할 수 있는 조정장치를 디자인하고 제작하였으며, 이번 출장에서는 이 장치를 이용하여 아이들 롤러의 정렬 각도를 미세 조정하였다.

미세조정장치는 아이들 롤러 방위각을 조정하는 2개의 유압램으로 구성된 미세각 조정장치와 디스크 전체를 들어 올리는 장치로 구성된다. 미세조정각의 값을 읽기 위해 2개의 깊이게이지가 사용되며, 접촉면은 거친 철 표면에서의 유발 오차를 줄이기 위해 매끄러운 유리판과 접촉하도록 고안하였다. 아이들 롤러는 현재 기존 정렬각 대비 동쪽의 경우에는 -155초각을 조정하였고, 서쪽 롤러의 경우에는 -237초각을 조정하였다. 향후 디스크면에서 씻가루 갈림 현상이 관측 되는지 여부에 따라 정렬각도의 조정이 이루어지 계획이다.

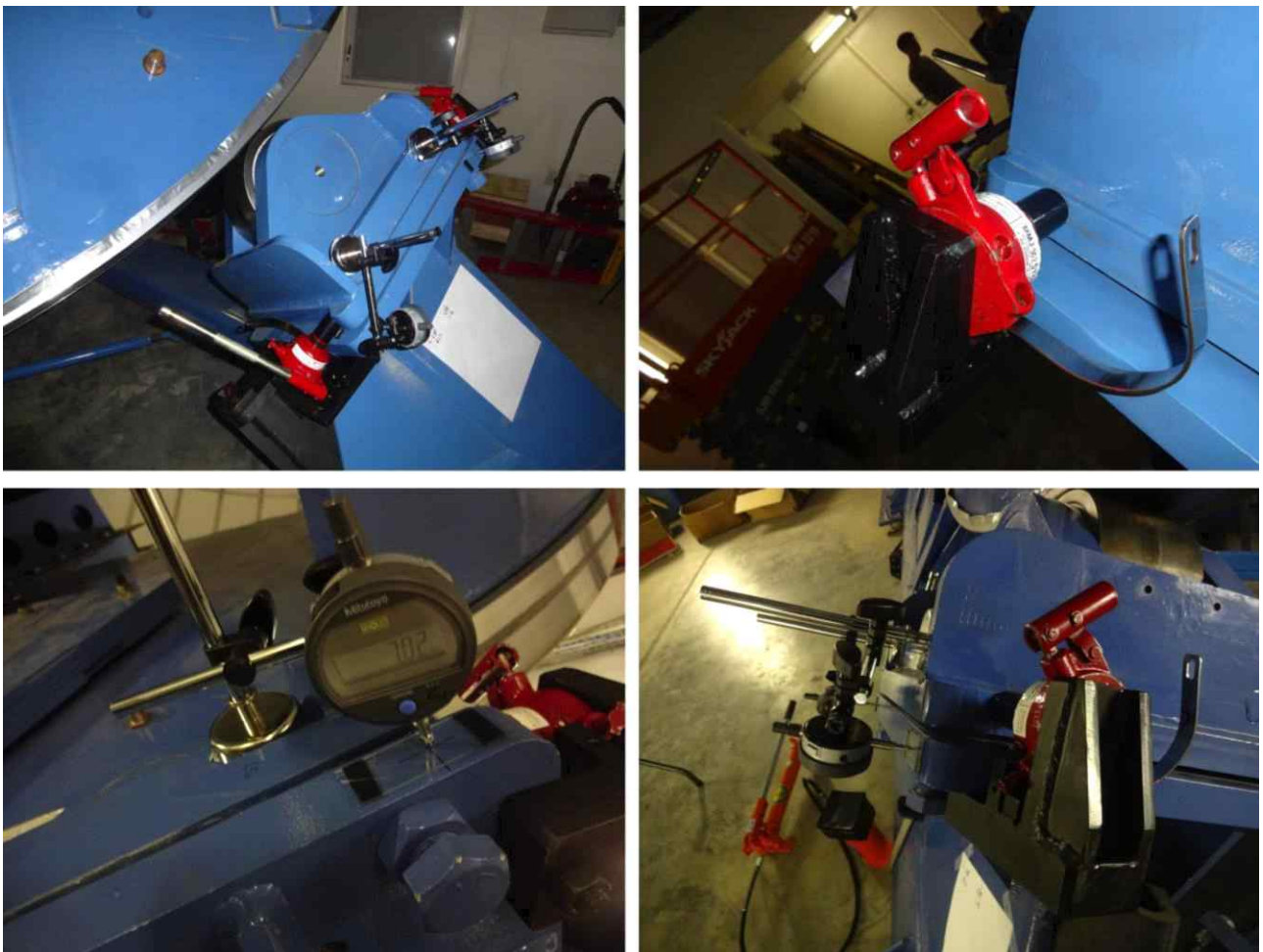
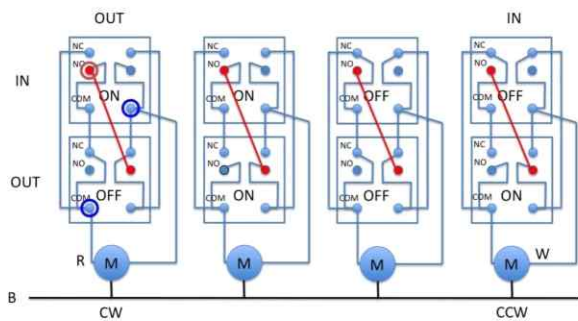


그림 8. 아이들롤러 미세조정장치를 설치한 모습. 아이들 롤러 받침 양옆으로 설치된 유압램을 이용하여 미세하게 정렬각도를 조정하고, 이때 변위를 2개의 깊이게이지를 이용하여 각도로 환산한다. 좌측아래 사진은 깊이게이지와 유리면과의 접촉상태를 나타내었다.

남아공천문대 필터/셔터의 스페어 확보를 위해 국내에서 inch 규격의 디자인을 mm 규격으로 수정하여 필터/셔터부를 제작하였다. 본원에서 측정한 외형은 필터/셔터가 장착되는 가로 426 mm, 세로 183.4 mm 입구 보다 0.5 mm 여유가 있음을 확인하였으며, 이에 대한 실제 장착과 작동 여부에 대한 확인이 이루어졌다. 필터/셔터의 장착은 큰 문제없이 순조롭게 이루어졌으며, 관측 시 사용하는 케이블을 연결해서 필터 및 셔터 구동을 시험해본 결과 필터 구동에는 문제가 없었는데, 셔터 구동에 문제점이 발견되었는데, 이는 항공배송 중 진동으로 인해 셔터 기계부의 볼트가 빠져 생긴 것으로 확인하여 문제를 해결하였다. 한편 향후 다양한 필터를 사용한 관측이 요구될 경우에는 필터를 자주 교체해야 하는 일이 발생한다. 이때마다 필터 교체를 위해 운영팀이 방문하기는 쉽지 않기 때문에 관측자 혼자서도 필터/셔터의 교체가 용이하도록 무선 장치를 이용한 필터/셔터 탈부착 시스템을 구성하기 위한 기초 실험을 실시하였다. 필터/셔터의 탈부착시 가장 힘든 부분은 망원경의 서비스 포지션이 약 20도인 반면, 필터셔터는 무게 중심의 중간 부분을 크레인으로 연결하기 때문에 설치 각도가 90도를 가지게 된다. 이때 인위적으로 무게중심을 바꿀 수 있도록 무게중심 위치를 바꾸어 필터/셔터의 설치각도가 기울어지는지에 대한 실험을 한 결과 혼자서도 간편하게 필터/셔터를 설치할 수 있음을 확인 하였다. 한편, 기존에 필터/셔터 설치에 2인이 필요했던 이유 중의 하나가 한명은 필터/셔터의 설치 각도를 두손으로 잡고, 다른 한명이 크레인을 조종하였기 때문인데, 이번 실험에서 조종장치를 무선화 함으로써 1인에 의한 설치가 가능함을 확인 하였다.

120V AC motor (2a+2b)



Strong arm 12V DC (2a+2b)

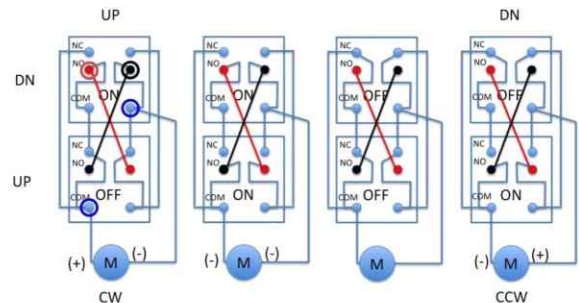


그림 9. 무선 조종 장치를 사용하기 위한 릴레이 배선과 실제 장치에 적용하여 테스트하는 모습

다. 관측시스템 유지 보수 작업

남아공 천문대에서는 카메라 제어 컴퓨터의 하드 디스크 에러로 인해 관측이 멈추는 경우가 발생한 바 있고, 이후 시스템 업그레이드 차원에서 카메라 제어 컴퓨터의 하드 디스크를 SSD (Solid State Disk)로 교체하였다. CCD 카메라를 제어하는 모든 IC 컴퓨터는 500GB 용량의 하드 디스크가 2개씩 장착되어 한 개의 하드 디스크에 문제가 생기더라도 카메라 시스템이 멈추지 않도록 RAID로 묶여 동일하게 복제되어 있다. 기존의 스피들 디스크를 SSD로 교체하기 위해서 하드 디스크의 RAID 기능을 해제하고, 홈 디렉터리의 모든 파일을 백업한 후 디스크 복제 소프트웨어인 Terabyte software를 하드 디스크의 모든 정보를 SSD로 복제하였다. 남아공 관측소에서 SSD로 교체한 IC 컴퓨터는 IC spare 컴퓨터와 IC Science spare 컴퓨터를 제외한 총 7대이며, 이 중 IC Science 컴퓨터는 관측 데이터가 저장될 공간을 위해 1 TB의 SSD로, 나머지 IC 컴퓨터는 250 GB의 SSD로 교체했다.

KMTNet 망원경의 구동부 제어는 구동모터(Kollmorgen) - 엔코더 카운터(EIB) - 서보 제어용 컴퓨터(TCC) - PCTCS 컴퓨터의 순서로 장비들이 연동된다. 남아공 관측소 도착 전날 PC-TCS 컴퓨터의 파워 서플라이가 고장나는 일이 발생했는데, 관측자가 예비품으로 준비해 놓은 PC-TCS의 파워 서플라이로 교체하여 우선 관측을 수행하였다. 추후에도 비슷한 문제가 발생할 경우, 관측시간의 손실을 최소화하기 위해서는 각각의 스페어 컴퓨터를 현재 사용 중인 컴퓨터와 동일하게 설정하고 컴퓨터 랙에 함께 장착함으로써 케이블만 바꾸어 연결하면 정상관측을 할 수 있도록 조치하였다. TCC의 교체과정에서는 SSD를 복제한 후, Kollmorgen과 EIB가 Ethercat 연결이 되지 않음을 확인하였다. 이는 구동 프로그램에 ethercat을 사용하는 네트워크 카드의 MAC 주소가 입력이 되어 있는데, 이 주소가 일치하지 않아 발생한 문제였다. 이를 해결하기 위해 제어 프로그램이 구동되는 경로의 설정파일에 입력되어 있는 MAC 주소를 변경해 주었다.

PC-TCS에서 disable을 장시간 했을 경우 망원경 구동 제어부의 sync가 풀어지는 것을 발견하였다. 이는 TCC 구동 소프트웨어의 설정 중 변경해야 되는 부분이 더 있는 것으로 보인다. 이와 관련하여 추후 TCC 구동 소프트웨어를 살펴보고 설정 값 변경에 대한 이해도를 더 높인 후 문제 해결 방안을 찾아봐야 할 것으로 생각된다. AUX 컴퓨터 예비품도 컴퓨터 랙에 설치하였고, 관측 컴퓨터의 메모리는 기존 4GB에서 16GB로 업그레이드 하였다. OS가 설치된 HDD를 SSD로 교체하여 관측용 컴퓨터의 성능을 개선하였다.

전기가 안정적이지 않을 경우 장비에 치명적인 문제가 발생할 수 있다. 특히 카메라와 같은 민감한 장비일수록 안정적인 전기 공급이 매우 중요하다. 남아공 관측소의 카메라 냉각기의 고장의 원인이 전기 불안정 문제로 판단된다. 갑작스런 순간 정전과 예고없이 발생하는 전압 강하(voltage drop)에 대비하기 위해 5kVA(약 4.2kW)의 UPS를 설치하였다. 카메라 냉각기 3대를 동시에 가동할 경우, 최대 3kW의 전력을 사용한다. UPS 연결은 현지 전기 기술자인 Carlson Mulaudzi에게 배선 연결 및 플러그 변환 지원을 받았다. 현재 남아공 천문대에서 사용하고 있는 PDU 플러그는 NEMA L6-30P로, 남아공 현지에서는 해당 플러그가 삽입 가능한 UPS를 찾을 수 없다. 따라서 C20 to NEMA L6-30R 컨버터가 필요한데 이를 구할 수 없어 PDU의 플러그를 끊어 호환이 가능한 C19 플러그로 변환을 하여 UPS에 연결을 하였다. 추후 이러한 문제를 해결하기 위해 NEMA L6-30P 플러그를 변환할 수 있는 어댑터를 확보할 계획이다.

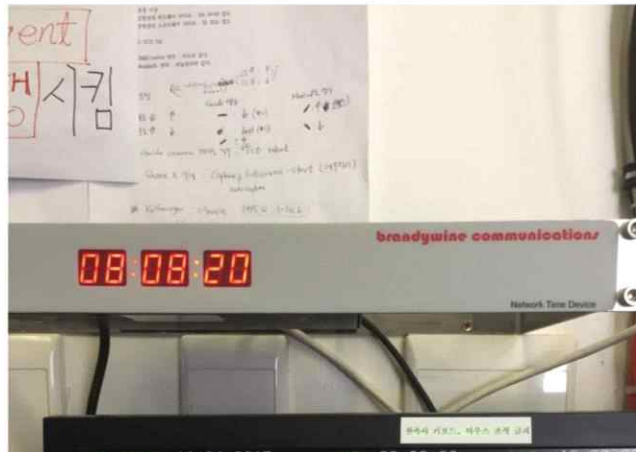


그림 10. 출장기간 동안 이루어진 작업 모습. 컴퓨터 업그레이드, UPS 설치, 기상장비 설치, 돔플랫 스크린 설치, 돔 고도 레터링 설치, 파손된 미러커버 액추에이터 힌지 가공 설치, GPS시계의 관측실 설치

돔과 망원경에서 발생하는 문제를 해결하기 위해서 필수적인 장비가 시저리프트다. 2015년 시저리프트 배터리 충전기의 고장으로 시저리프트를 사용할 수 없었는데, 이 경우 사다리로는 올라갈 수 있는 높이의 한계와 고공 작업에 위험이 따랐다. 따라서 이번 방문을 통해 시저리프트 배터리의 모두 새 제품으로 교체하였고, 기존 사용하던 배터리는 내부에 증류수를 충전하여 예비품으로 보관하였다. 배터리 내부의 극판이 노출된 경우에는 증류수를 충전해 주어야 하며, 이때 내부의 산성용액이 흐르거나 가스가 발생하지 않도록 주의해서 작업해야 한다. 배터리 교체에 따른 배선 연결 시에도 주의가 요구된다. 배터리가 직렬로 연결 되기 때문에 극성이 바뀌지 않도록 해야 하며, 접지선이 (-)극에 연결이 되어 있으므로, 연결 해제시는 (+)극, (-)극, 직렬 연결 와이어 순으로 연결 해제하고 재 연결 시에는 이의 역순으로 진행해야 한다.

KMTNet 관측소와 기상장비간의 거리 차이 때문에 현지 관측소에서 제공하는 기상 정보와 실제 기상 상황에 차이가 있다는 관측자들의 보고와 함께 현지 기상 정보를 직접 가공하여 모니터링하기 위한 목적으로 기상 장비를 설치하였다. 기상장비는 Vaisala 통합형 기상센서 WXT 536으로 기압, 온도, 습도, 강우, 풍속, 풍향을 제공한다. 설치 장소는 GPS NTP 서버의 안테나가 위치한 장비실 옆 벽면에 설치할 계획이었으나, 장비실의 컴프레서 및 냉각장치 구동으로 인한 진동이 심해 풍향 등에 오류 발생 가능성이 있어, 관측실 출입구 쪽에 설치하였다. 실시간 기상 정보 모니터링을 위해 현지에서 획득한 기상 정보 데이터를 본원의 서버로 보내기 위한 전송시험을 진행하였다. Vaisala에서 만든 MCC201 소프트웨어에서 지원하는 FTP 전송은 보안상 취약하므로, 기상 데이터가 저장되는 AUX 컴퓨터에 상용 클라우드 서버인 dropbox를 설치하여 기상 데이터가 실시간으로 업로드 되는 것을 확인하였다.

측광학적 정밀도의 향상을 위해서는 돔 플랫폼 스크린을 설치하였다. 돔과 망원경 사이의 거리를 통해 적정한 돔 플랫폼 스크린의 크기를 검토한 결과 1.86m로 계산되었으며, 따라서 2.0m의 스크린을 제작하였다. 30mm 알루미늄 파이프를 CNC 가공하여 지름 2.2m의 홀라후프 형태로 제작하고, 주름이 가지 않는 나일론 재질의 흰색 천을 이용해 제작하였다. 국내에서 제작된 구조물은 배송을 위해 8조각으로 절단하였으며, 절단 부분의 내부에는 같은 곡률을 갖는 25mm 파이프를 삽입하여 리벳 처리하였다. 돔 플랫폼은 고도(elevation) 46도, 방위각(Azimuth) 81도에 설치하여, 관측 시작 전 촬영이 용이하도록 하였다. 돔 플랫폼 촬영에 사용된 조명은 할로겐 램프를 이용해 제작하였으며, 20,000 ADU의 Flux 값을 얻기 위한 각 필터 별 노출 시간을 B 필터의 경우, 230V에 연결하여 45초, V 필터는 15초, R과 I 필터에서는 110V 트랜스에 연결하여 R 필터 30초, I 필터 10초의 값을 얻었다.

남아공 관측소를 방문한 것은 지난 2015년 하반기 이후 2년 만이다. 지난 2년간 매주 수요일 오전에 진행한 남아공과의 화상회의를 통해 논의되었던 관측 시스템의 문제점들을 전반적으로 점검하였을 뿐 아니라, 호주와 칠레에서 문제가 발생한 부분들에 대해서도 점검하였다. 특히 미러 커버 힌지를 고정하는 볼트가 부러지는 문제는 칠레와 호주 관측소에서만 발생했던 문제였지만, 이번 출장을 통해 남아공 망원경의 미러 커버를 점검하는 과정에서 액추에이터와 OTA 연결부의 부싱 및 볼트 형상의 부품이 유실된 것을 확인하였고, 부품 가공을 남아공 천문대 기술진에게 의뢰하여 새로 가공한 볼트 형상의 부품과 부싱을 조립하여 설치함으로써 미러커버 고장을 미연에 방지할 수 있었다.

라. CCD 카메라 전자부 부품교체 및 성능개선 작업

1) CCD 카메라 전자부 부품교체 및 성능개선

기존 N-CBB(N chip Clock Bias Board) 세트가 손상되어 N-CBB를 새 버전으로 교체하였고, 이에 포함되는 PA(Post Amp) 보드 4장 및 POT 보드 1장 또한 새 부품(여비품)으로 교체하였다. 교체후 POT board와 PA 회로의 설정전압들을 세부조정 해주었다. 그 결과로 N칩의 읽기 잡음이 다른 칩에 비해 개선되었고, Crosstalk의 x-shift가 +0.6에서 +0.0으로 줄어들어 crosstalk 보정이 기존대비 월등히 잘 이루어지게 되는 개선 효과를 얻었다.

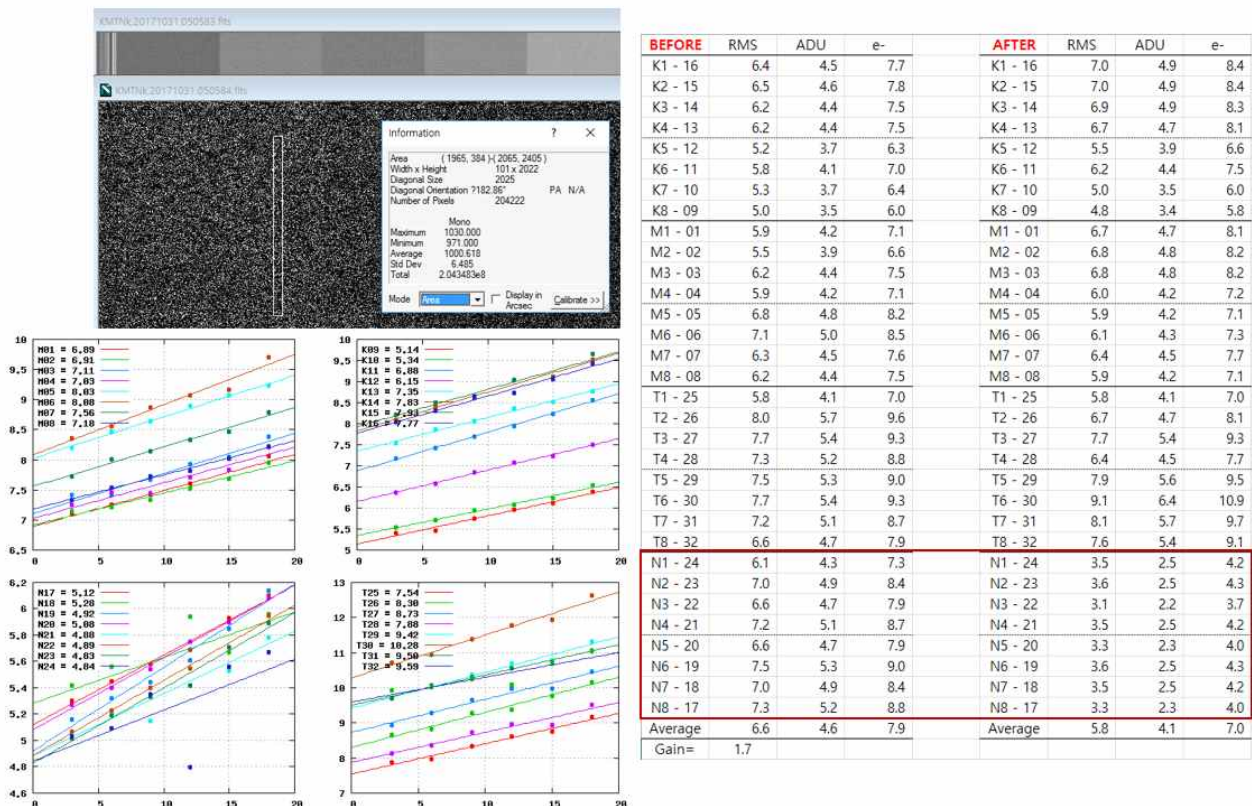


그림 11. CCD 카메라 전자부 부품교체 및 조정 전후 읽기잡음 비교 - 오른쪽 표는 현장에서 왼쪽 위 그림과 같이 2장의 BIAS 영상의 차감을 통해 얻은 채널별 읽기 잡음으로 왼쪽이 부품교체 및 조정 전 오른쪽이 부품교체 및 조정 후 값을 보여준다. K/M/T/N 칩의 32개 채널에 대한 평균이 7.9e-에서 7.0e-으로 개선되었는데, 특히 N 칩의 8개 채널에 대한 읽기 잡음이 2배 가까이 줄어든 것으로 나타났다. 좌측 하단의 그래프는 돔플랫 관측을 통해 얻은 읽기 잡음 특성으로 채널별로 Y 절편이 signal 이 없는 상태의 읽기 잡음 측정값이다. 마찬가지로 다른 칩에 비해 N 칩에서 읽기 잡음이 낮게 분포하고 있다.

- X-shift on Crosstalk disappeared (moved to 0)

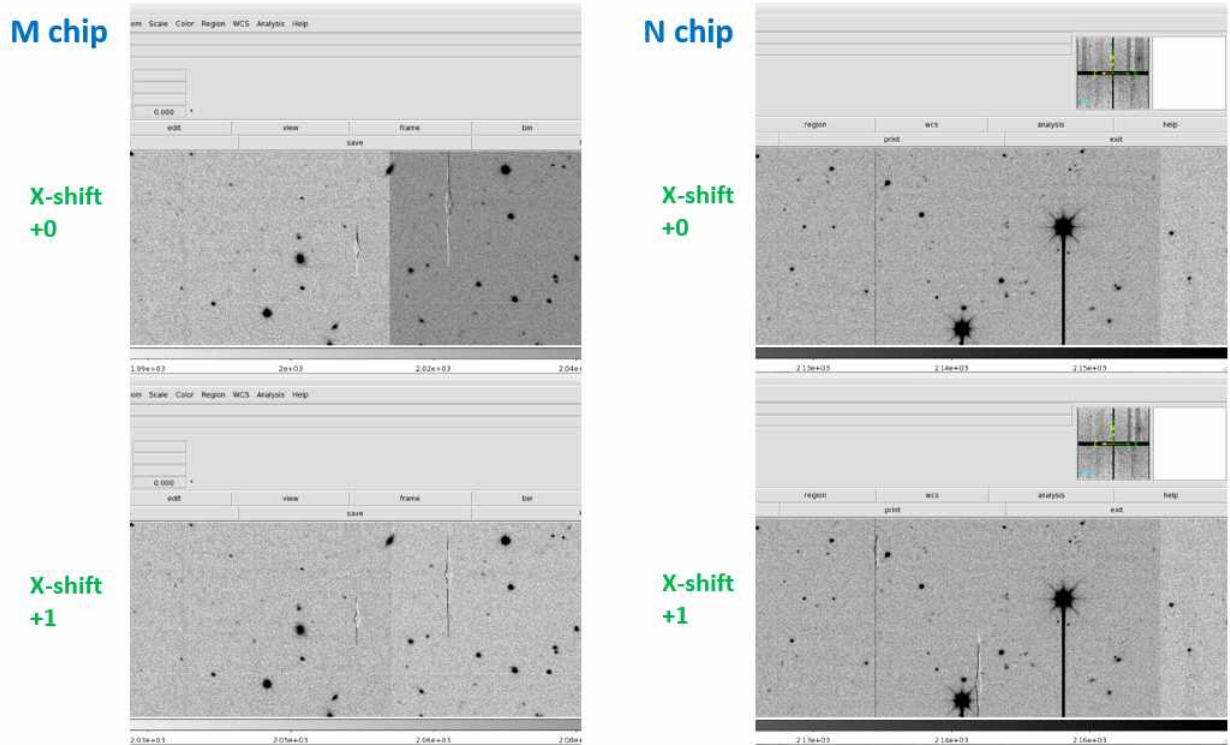


그림 12. Crosstalk x-shift 특성 개선 - N-CBB 교체 후 오른쪽 위의 영상과 같이 x-shift를 +0으로 하여 보정한 이후 crosstalk 패턴이 깨끗하게 사라지는 것을 볼 수 있다. M 칩의 경우에는 x-shift 0.6이기 때문에 +1로 보정한 아래쪽 영상이나 +0으로 보정한 위쪽 영상에서 모두 보정이 깨끗이 이루어지지 않는다.

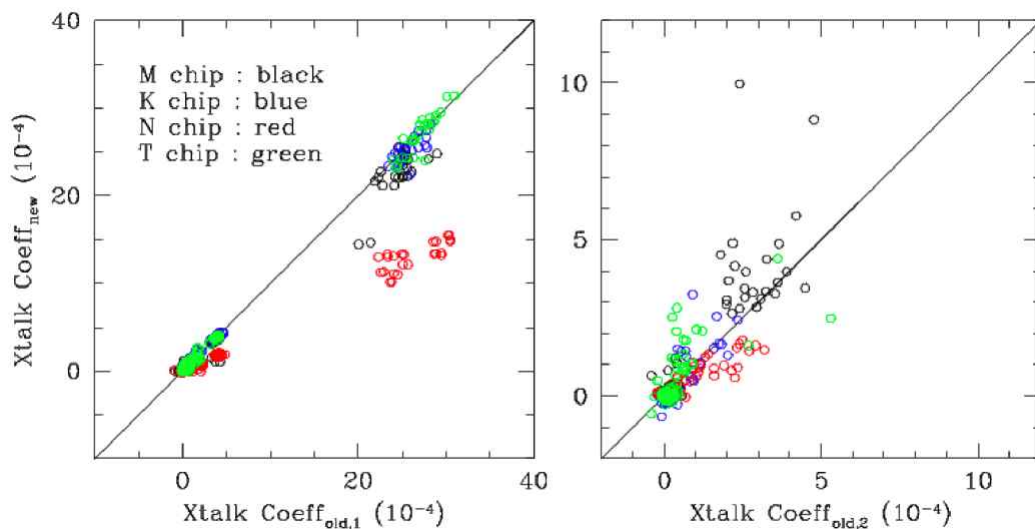


그림 13. SAAO CCD 카메라 crosstalk 계수 변화 - 전자부 부품교체 및 조정 후에 crosstalk 계수는 K/M/T 칩에서는 거의 변화가 없었고, N 칩은 CBB와 PA회로가 통째로 바뀜에 따라 8개의 채널모두 $-1.5E-3$ 가량 변경되었다.

또한 K-CBB와 T-CBB의 floating 되어있던 oscillator 핀을 연결해주어 보드 내부에서 발생 하던 진동 노이즈를 줄여주었고 이로 인해 기존의 영상에서 보이던 나무결(물결) 무늬가 감소하 였다.



그림 14.CCD 카메라 전자부의 CBB 회로 디버깅 - oscillator pin 연결

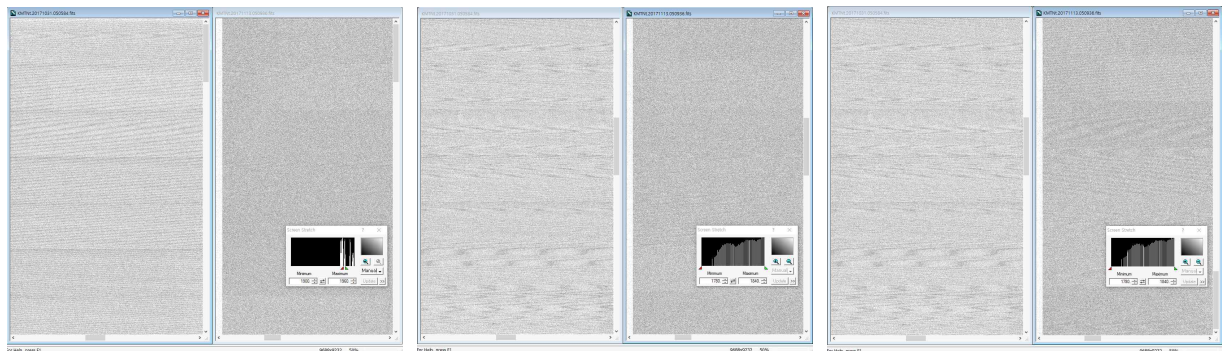


그림 15. CCD 카메라 전자부의 CBB 디버깅 전후 T27 영상 - 각각 3 위치에서 디버깅 전(좌)과 디버깅 후(우)의 BIAS 영상을 비교한 것으로 나무결 무늬로 보이는 잡음의 강도가 이 줄어든 것 을 볼 수 있다.

모자이크 CCD 카메라의 각 K/M/T/N/G CCD 칩을 읽는 전자부에 DC 전원을 안정적으로 공급하는 5개의 Regulator board를 부품교체를 통해 업그레이드 하였다. 보드 내부의 전압 안정화 회로의 캐패시터 부품을 보다 적합한 고용량의 부품으로 교체하여 시스템 노이즈를 줄였다. 업그레이드 된 Regulator board는 버전이 기존 Rev. B에서 Rev. C로 변경되었다.

Regulator board upgrade and noise reducing

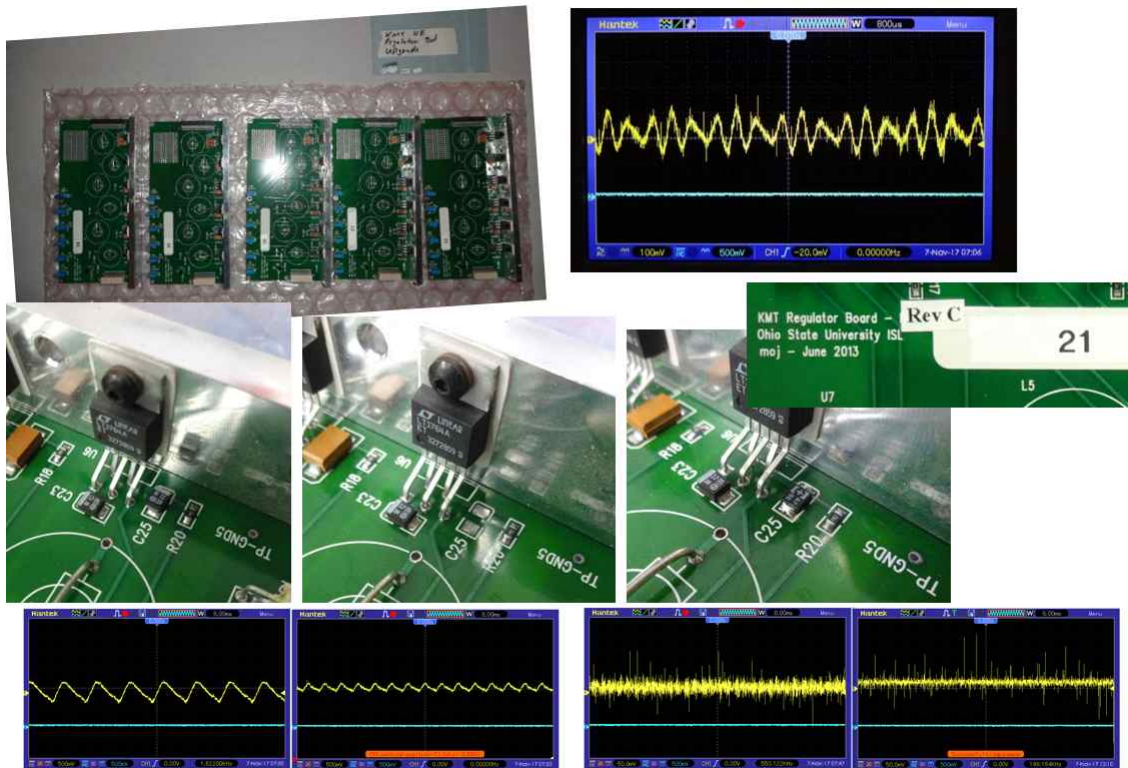


그림 16. CCD 카메라 전자부의 Regulator board 부품교체 및 업그레이드

2) CCD 카메라 전자부 HE 조정 및 성능개선

CCD 카메라 전자부의 HW 부품교체 후 K/M/T/N 4개의 칩에 대한 32개의 PA 아날로그 회로를 조정하여 채널별 CMRR(Common Mode Rejection Ratio on Amplifier circuit)와 BIAS level을 최적 값으로 맞추고 Integrator 회로의 리셋 및 전압설정과 관련된 Droop voltage 조정을 수행하였다. 또한 각 칩에 대한 POT 보드의 설정 전압을 모두 검사하고 세부조정 작업을 시행하였다.

CMRR 조정은 영상밝기 대 오버스캔 세기 변화에 대한 기울기가 최대한 0에 가깝도록 하는 것이 목적이며 우리 시스템에서는 기울기의 역수가 10000이상이 되면 이상적이고 6000 이상이면 우수한 성능이며 3000 이상만 되어도 acceptable 한 정도로 파악된다. BIAS level은 CCD와 PA 회로의 조합으로 결정되는 32개 채널에 대한 BIAS 특성을 고려하여 32개 채널의 BIAS level이 대략 100 ADU 범위 내에서 같은 값을 가지도록 하는 것을 목표로 하였다. CMRR 그래프에서 Y 절편이 BIAS level의 대푯값이다.

CMRR을 조정하기 위해서는 돔플랫 촬영을 통해 채널별 CMRR 그래프와 기울기를 얻고 이를 바탕으로 각 PA를 미세 조정한 후 다시 돔플랫 촬영을 통한 CMRR 분석을 반복한다. 이번 남아공 전자부 조정에서는 7차례의 돔플랫 촬영 및 분석작업과 4차례의 조정 작업을 수행하였다. 각 PA의 CMRR 회로를 미세조정하기 위해서는 Function generator로 허위신호를 +/- 파형으로 생성하여 회로에 주입하고 허위신호의 voltage level을 조정하여 오버스캔 영상에서 허위신호의

교란이 생기지 않도록 아날로그 회로의 가변저항을 미세하게 조정해준다. BIAS 조정은 초기에 CCD 연결 없이 돔플랫 측정 결과와 오버스캔 영역의 세기를 고려하여 1차적으로 크게 조정한 후에 돔플랫 측정을 거듭하면서 차츰 미세하게 변경해주고, 최종적으로는 CCD 연결 후 실제 BIAS 영상을 보며 미세하게 조정해준다. 다음 그림에서 CMRR과 BIAS의 조정방법 및 앞서 기술한 과정으로 수행된 남아공 CCD 카메라의 CMRR과 BIAS의 조정결과를 이어서 보여준다.

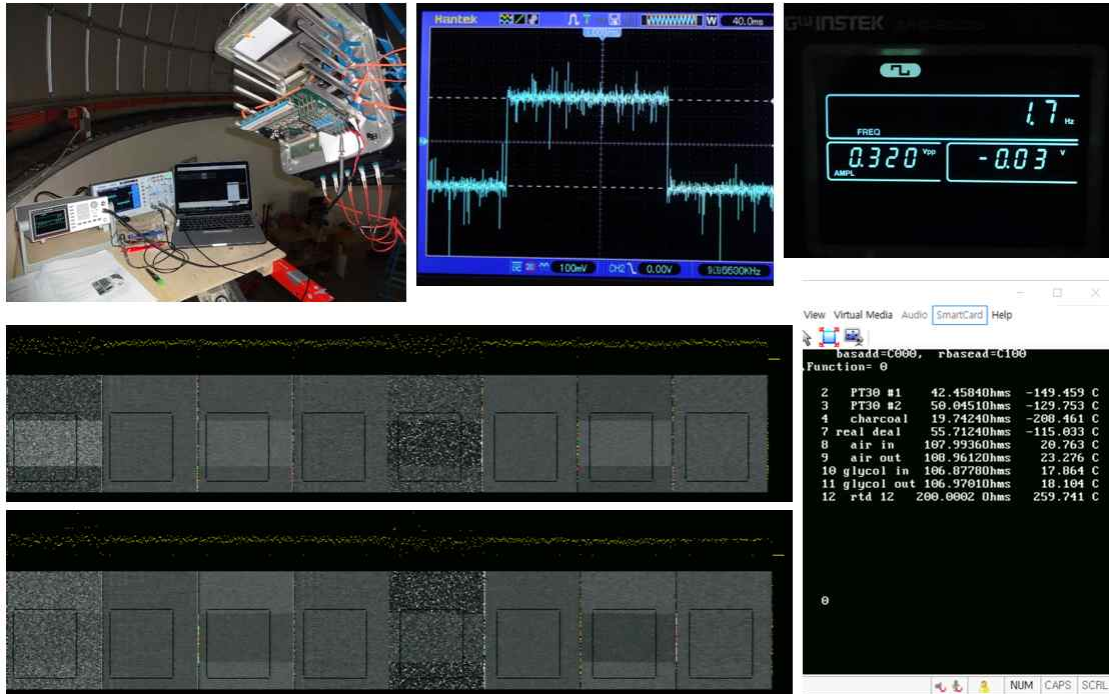


그림 17. CCD 카메라 전자부의 CMRR 조정 모습

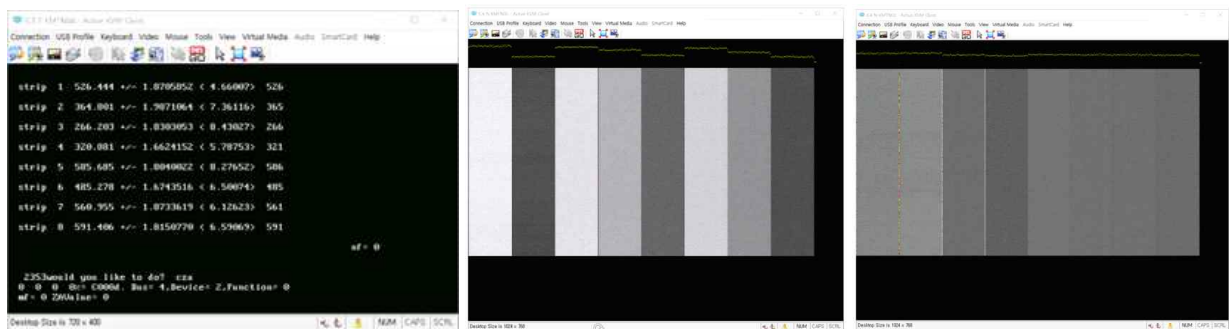


그림 18. CCD 카메라 전자부의 BIAS level 조정 화면 - 초기에 좌측 화면의 실시간 출력 오버스캔 레벨 값을 참고하여 각 채널별 BIAS level을 조정한 후에, 최종적으로는 CCD를 연결한 상태에서 실시간 BIAS 영상을 보며 bias level을 조정한다. 좌측이 조정 전, 우측이 조정 후 bias 실시간 출력 영상이다.

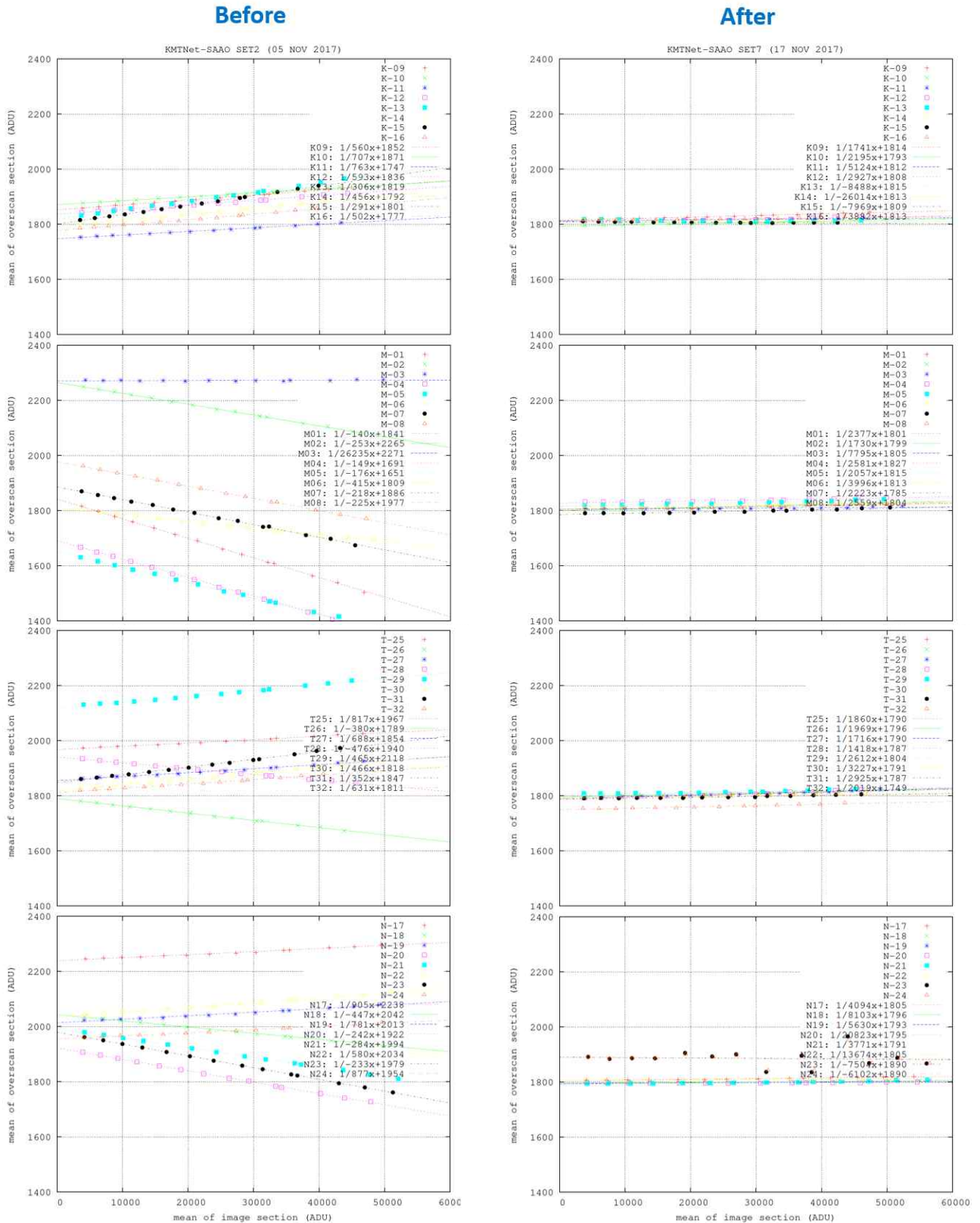
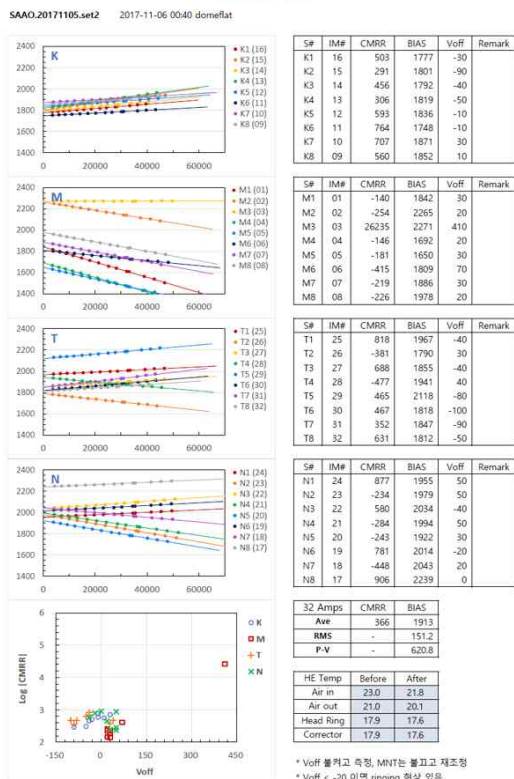


그림 19. CCD 카메라 전자부의 CMRR 및 BIAS 조정결과 - 좌측이 조정 전 우측이 조정 후 모습이다. CMRR 기울기가 기존대비 0에 가까워지고 Y 절편으로 대비되는 BIAS level도 32개 채널이 1800 ADU 근처로 조정되었다. N23, N24 채널은 BIAS level이 변하는 양상을 보이는데 output drain voltage를 설정하는 가변저항이 안정적이지 못한 것이 원인인 것으로 파악되고 있으며, 이는 조만간 가변저항 조정 및 전압 재설정 작업을 통해 안정화 시킬 계획이다.

Before



After

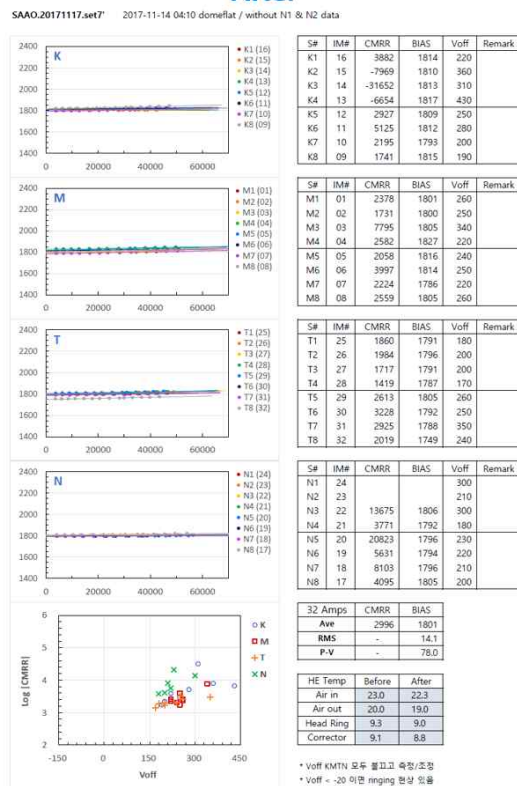
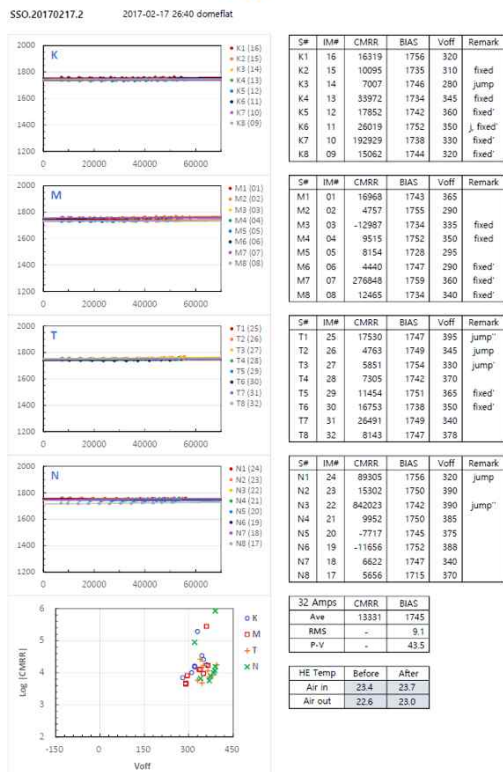


그림 20. SAAO CCD 카메라 CMRR/BIAS 조정 전/후 측정값 및 V_offset 분포 정리

SSO



SAAO

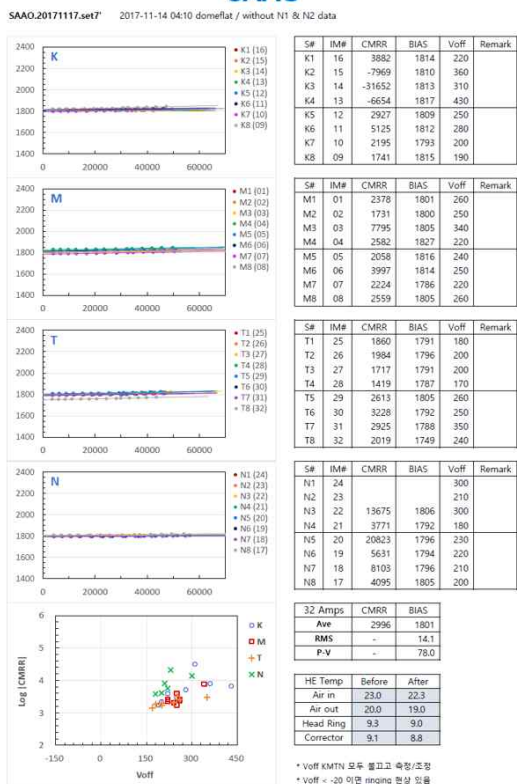


그림 21. SSO와 SAAO의 CCD 카메라 CMRR/BIAS 조정 후 측정 값 및 V_offset 비교

PA 회로의 Droop voltage 조정 결과 T 칩의 saturation 레벨이 기존 60000 ADU 근처에서

65000 ADU 근처로 변경되어 CCD 측정 범위가 보다 적절히 개선되었다. T22 채널은 기존보다 떨어졌고 측정오차 또한 크게 나타났는데 이는 차후에 검토할 필요가 있다.

Droop voltage adjustment

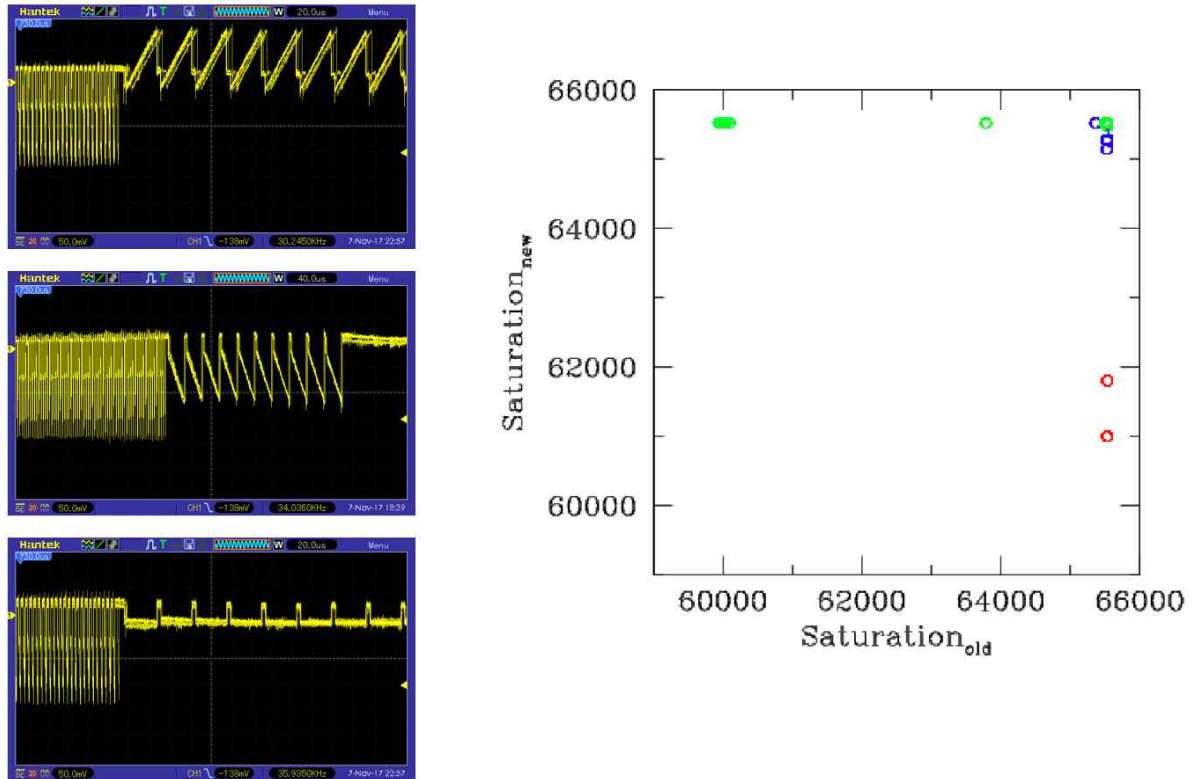


그림 22. PA Integrator 회로의 Droop voltage 조정화면 및 saturation level 변화

마. CCD 카메라 시스템 부대장비 부품교체 및 유지보수 작업

1) 듀어 냉각기 등 카메라 부대장비 유지보수

빈번히 발생하던 듀어 냉각문제를 해결하기 위해 듀어 냉각기 3기의 internal adsorber를 모두 교체하였다. 이 부품의 수명은 보통 1년에서 2년으로 파악되고 있으며, 향후 이 부품을 교체하지 않고 외부에 보다 대용량의 external adsorber를 설치하여 교체 및 유지보수가 보다 용이하도록 관리 할 계획이다. 또한 기존의 고장난 콤프레서를 탈거하고 새로운 예비품을 설치해 두어 향후 고장 등의 문제 발생시 즉각적인 대처가 가능하도록 조치하였다.



그림 23. CCD 카메라 듀어 냉각기 콤프레서 작업

듀어 냉각기 이외에도 Air dryer 유지보수, R2000 유지보수, 카메라 냉각 콤프레서 전용 UPS 설치, 서지 전압 프로텍터 추가설치, PDU 예비품 추가 설치, 컴퓨터랙 UPS 추가설치 작업이 이루어 졌다. 특히 그간 많은 문제를 일으켰던 카메라 냉각 콤프레서를 위해 전류공급이 불안정한 남아공 사이트의 특성을 반영하여 콤프레서 전용 UPS를 장비실에 설치하여 향후 안정적으로 전력이 공급되도록 하였고 이로 인해 콤프레서 내부장치 및 냉매순환에 있어 예기치 않은 기계적 손상이나 오염물 발생이 예방될 것으로 기대한다. 장비실 UPS 설치 과정에서 배전반 설정을 면밀히 확인하였고, 향후 혼동을 방지하기 위해 라벨을 충분히 부착해 두었다.



그림 24. 장비실 카메라 냉각기 콤프레셔 전용 UPS 설치 및 배전반 확인

2) 듀어 진공 펌핑 및 냉각

카메라 냉각기 콤프레셔 작업 완료 후 듀어 냉각이 이루어 졌다. 콤프레셔 작업 동안에는 듀어를 워밍한 후 펌핑을 충분히 해주어 기존에 듀어 내부에 축적되어 있던 수증기 제거 및 outgasing을 해주었다. 1차 냉각에서 PT13 차콜의 냉각이 잘 이루어지지 않아 Return/Supply gas line reversing을 수차례 진행하였는데도 차도가 없어 다시 듀어와 냉각 시스템을 워밍한 후에 2차 냉각을 수행한 결과 정상적으로 냉각이 이루어 졌고, 진공도도 10^{-7} torr 수준으로 잘 유지되었다. 1차 냉각 시 기존에 gas line에 잔존해있던 불순물의 영향이 있었던 것으로 보이며, 2차 냉각에서 불순물이 새로 교체한 adsorber에 흡착되어 문제없이 냉각이 이루어 진 것으로 파악하고 있다. 다음 그림은 이번 남아공 카메라 듀어의 1, 2차 냉각 시 얻은 온도/압력 곡선을 보여준다.

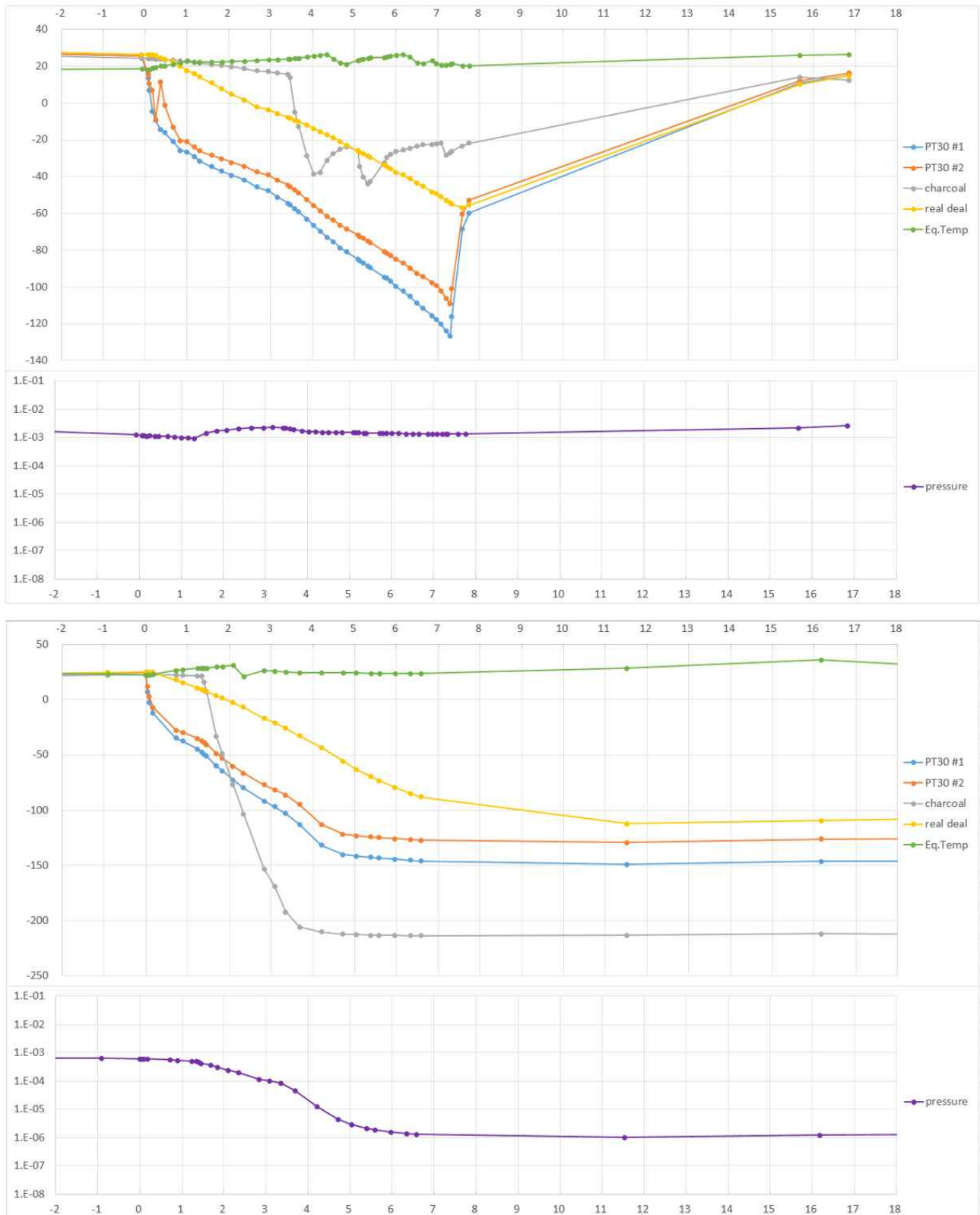


그림 26. 남아공 카메라 듀어의 냉각 곡선. 위쪽이 1차 냉각, 아래쪽이 2차 냉각 시 얻은 온도/압력 곡선으로 냉각시간은 12시간 가량 소요되었고 냉각 후 CCD 온도는 -110°C 이고 진공도는 10^{-7} torr 수준으로 떨어졌다.

3) 장비운용 유지보수 교육 및 연수

이번 방문기간 동안 상주관측자와 냉각기 가스충전법, 이슬전 온도 고려 칠러온도 설정법, 포인팅 모델 측정/갱신, 냉각기 가스라인 리버싱 방법, 듀어 진공펌핑/재냉각 방법, 관측 수행방법 등에 대해 교육 및 연수가 현장에서 이루어졌고 이를 통해 향후 관측시스템 유지보수와 관측자료 양질 향상에 기여할 것으로 기대한다.

또한 상기 작업을 가능한 한 상주관측자와 함께 수행하며 시스템 배경지식 및 유지보수에 대한 연수가 이루어졌으며 더불어 기존의 관련 배경지식이 없던 상주관측자를 통해 기존에 작성된 매뉴얼을 하나하나 검토하는 과정이 있었고 이를 통해 몇몇 매뉴얼의 개정 작업이 이루어졌다. 매뉴얼은 꼼꼼한 초안 작성도 중요하지만 작성 후 실제로 무경험자와 함께 실습해보며 오류를 고치고 완성도를 높이는 작업이 필수적으로 요구된다.



그림 27. 카메라 장비 유지보수 작업 및 상주관측자 연수. 왼쪽 위부터 가스리버싱, 듀어 진공펌핑, 콤프레셔 냉매가스 충전, 냉매가스 충전 매뉴얼, 건조공기생성기 유지보수 작업의 모습이다.