

# 기술보고서 No. 16-001-147

# KMTNet 광시야 망원경 지향 정밀도

이용석, 이충욱, 차상목, 김승리

776 Daedukdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34055, Korea

요 약

국문 KMTNet 광시야 망원경 지향 정밀도		도			
에 폭	영문 Pointing accuracy of the KMTNet wide field telescope				
관련과제명	외계행성 탐색시스템 운영 (2016183200)				
저 자 명	이용석, 이충욱, 차상목, 김승리				
작성일자	2016년 4월 1일 KMS 공개 공개(O), 비공개( )				
기술분류1	기술보고서 기술분류2 YB3, XE3				
Keyword	지향 정밀도, TPoint	, 마운트 모델, 포인팅	모델, 극축정렬, 위치보정		
	한국천문연구원 광학천문본부에서는 3대의 동일한 1.6 m 적도의				
	식 광시야 망원경으로 우리은하 벌지 영역을 24시간 관측하는 외기				
	행성 탐색시스템(KM	(TNet)을 설치하여 현지	ㅐ 남반구 3개 관측소에서		
	양질의 광시야 측광	영상 자료를 생산하고	있다.		
	양질의 측광자료를	를 위해서는 영상에서 :	관측 대상의 위치를 정밀		
	하게 제어할 수 있어	H야 하므로 망원경의 >	지향 정밀도를 향상시키는		
	일은 매우 중요하다. 우리는 TPoint 소프트웨어를 이용하여 마운트				
	모델을 획득하고 최적화하여 파라미터를 구하고 TCS에 적용하여 지				
	향정밀도를 개선하였다. KMTNet 망원경 지향 정밀도는 TPoint를 사				
	용하여 보정하기 전에 약 50 arcsec RMS였는데, 보정 후에는 10				
	arcsec RMS로 약 5배 정도 향상되었다. KMTNet의 주요 관측대상인				
~ ~	우리은하 벌지 영역의 경우는 지향 오프셋 보정을 통하여 약 2				
조독	arcsec RMS까지 좋아졌다. 수차례 측정된 마운트 모델 파라미터 분				
	식을 통해 방원성 시양 영점 및 극국의 번화를 깔펴줄 두 있었다.				
	이러안 문식은 방원경 기기상태 면와에 내안 중요안 정모를 주기				
	때군에 양우 시스템 뉴지모두 및 상승개선에 큰 도움이 될 것이다. 이 비그가로 트렌 KMTNLat 관계하는 마이거의 서키/이어키며 추가				
	이 보고서를 중해 MMINEL 용시아 당권경을 설시/군중아버 국식 티 고스코 거청은 카모코츠 기가테 코코/우여코 미 미이거 개바코				
	된 기술과 경업을 선군판즉 시스템 판디/운영사 및 방원경 개발사				
	에게 제중아고자 안다. IPUIIL는 법용 마군드(포인당) 모델딩 및 죄 저희 고금그래하고 기차 이고에 버려이 트리 피츠데샤에 대한 기차				
	역와 프도그님이고, 시양 포프셋 보장은 특정 판득대장에 대한 시앙 지미드를 초기거하고 하자자키 스 하는 바바하크 12MTN 4 배미 사				
	니라 다르 맛워겻의	- ㅎㅎ//ᆯ / ᆻᆫ 。   지향정믹도 향상 및	요, Minter 한 한 이 유지보수에 너리 확용되		
	수 있다. 또한 마우	트 모델 획득 및 전용	과정을 상세히 기숙해 높		
	은 첨부 문서는 본동	/ ^ / 8 - 의 내용과 함께 KMTN	Jet 광시야 망원겼의 유지		
	보수 및 정비 단계이	에서 중요한 참고 문서기	· 될 것이다.		

목 차

1.	개 요	••1
2.	마운트 모델 결정 및 TPoint 프로그램	••2
3.	KMTNet 마운트 모델 획득 및 최적화 과정	••7
4.	KMTNet 3개 관측소 지향정밀도 측정 결과	12
5.	우리은하 벌지 영역의 지향 오프셋 보정	15
6.	결 론	18
참.	고문헌	19
부획	록. Tpoint를 사용한 KMTNet 망원경 포인팅 모델 결정 방법	20

# 그 림 목 차

그림 1. 마운트 모델을 만들기 위해 90개의 천체를 이용하여 측정한 지향 오차	4
그림 2. 8개 계수를 이용하여 만든 마운트 모델로 보정 후의 지향 오차	4
그림 3. 1995년 3월 30일 결정한 마운트 모델	6
그림 4. 포인팅 데이터 수집 원리	-7
그림 5. KMTNet 카메라 CCD 배치	8
그림 6. 포인팅 모델 그래프 출력	0
그림 7. KMTNet 칠레 망원경으로 우리은하 벌지 영역을 관측하여 얻은 오프셋 변화1	6
그림 8. PC-TCS 입력소스 변경	0
그림 9. Author mode 인증 ···································	0
그림 10. Author mode 진입 후	1
그림 11. Corrections에서 Flexure disable	1
그림 12. Full Map disable	2
그림 13. FDC utility를 사용해 포인팅 데이터 수집 관측	3
그림 14. 망원경 포인팅 offset	4
그림 15. PC-TCS 상에 offset 값	4
그림 16. 영상 획득 명령 입력	5
그림 17. 영상 확인 명령어 입력	5
그림 18. cenk 좌표 변경	5
그림 19. 별의 중심 좌표 찾기	6
그림 20. 영상의 중앙에 별을 이동	6
그림 21. PC-TCS FDC utility로 포인팅 데이터 수집 관측	7
그림 22. 포인팅 데이터 수집 관측 종료	7
그림 23. point.dat 파일을 tp.dat로 변환	8
그림 24. FTP를 사용해 파일 이동	9
그림 25. TPoint 실행	9
그림 26. TPoint에서 데이터 로딩	9
그림 27. TPoint에서 적도의식 망원경 정보 입력3	0
그림 28. 마운트 모델링	0
그림 29. 마운트 모델링 후 그래프 출력	1
그림 30. PDD와 PHH term을 추가해 획득한 마운트 모델	2
그림 31. 오차가 큰 데이터 마스킹	2
그림 32. 획득한 마운트 모델 파라미터 저장	3

그림	33.	획득한 마운트 모델 그래프 저장	<b>··</b> 33
그림	34.	FTP를 사용한 마운트 모델 결과 파일 전송	· <b>·</b> 34
그림	35.	PC-TCS에 적용하기 위한 파일 이름 변경	• <del>3</del> 5
그림	36.	Flexclass 설정 ······	· <b>·</b> 35
그림	37.	Flexclass correction 활성화 ·····	·•35
그림	38.	Flexure 보정이 되는 추적 모드	· <b>·</b> 36
그림	39.	Display에서 Flexure 활성화 ······	· <b>·</b> 36
그림	40.	마운트 모델 적용 완료	· <b>·</b> 36

표 목 차

표 ].	KMTNet 마운트 모델 계수
<u>一</u> 1. 元 9	치시기스버스코 격전하 2개이 모델게스
표 신.	적소사공업으로 설정한 이개의 로덜개구 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
표 3.	TPoint에서 인식 가능한 포인팅 데이터 파일 형식 예9
표 4.	마운트 모델 그래프 의미
표 5.	CTIO 마운트 모델 계수
표 6.	SAAO 마운트 모델 계수
표 7.	SSO 마운트 모델 계수
표 8.	우리은하 벌지 영역의 오프셋 보정 전과 보정 후 자료
표 9.	마운트 모델 획득에 사용되는 명령어 기능 및 예제

# 약어 및 기호 정의

CCD	Charge-Coupled Device		
DEC	Declination		
FDC	Flexure Data Collection		
H.A.	Hour Angle		
KMTNet	Korea Microlensing Telescope Network		
OTA	Optical Truss Assembly		
R.A.	Right Ascension		
TCS	Telescope Control System		

### 1. 개 요

한국천문연구원 광학천문본부에서는 남반구에 위치한 3곳의 천문대에 동일한 망원경 을 설치하고 우리은하 중심부를 24시간 관측하여 외계행성을 발견하기 위한 외계행성 탐색시스템 KMTNet(Korea Microlensing Telescope Network)을 개발하였다(kim et al. 2010, 2011, 2016). 이 시스템은 직경 1.6 m 광시야 망원경과 2°×2°의 시야를 한 번 에 기록할 수 있는 18k×18k 규모의 모자이크 CCD 카메라로 구성된다(Atwood et al. 2012). 3개의 동일한 관측 시스템은 칠레, 남아프리카공화국, 호주 관측소에 설치되어 수 개월간 시험 관측을 수행한 후 양질의 데이터를 생산하고 있다.

관측 데이터에 발생하는 오차는 크게 습도, 대기의 흐름, 돔 내부의 와류 등 대기에 의한 랜덤오차와 지구자전 효과를 보정하기 위해 사용된 기계장치와 설치과정에서 유 발된 계통오차가 있다. 이 중 주변 환경에 의한 랜덤오차를 낮추기는 어려우나 계통오 차를 최소화하면 데이터의 질을 크게 향상시킬 수 있다. 계통오차를 최소화하기 위해 망원경 설치 직후 극축을 정밀하게 정렬하였다. 극축 정렬 후, 각 관측소에서 약 90여 개의 별들에 대한 지향오차를 측정하여 TPoint를 사용해 마운트 모델링 계수를 계산하 였다. 모델링을 통해 얻은 마운트 모델을 망원경 구동 프로그램인 PC-TCS에 적용하여 망원경의 지향 정밀도를 약 10 arcsec RMS 이내로 향상시켰다. 또한 KMTNet의 주요 관측대상인 벌지 영역의 경우 지향 오프셋 보정을 통하여 지향 정밀도를 약 2 arcsec RMS까지 향상시켰다.

망원경의 마운트 모델은 망원경의 현재 기기상태를 나타내는 중요한 인자로 망원경 의 설치 직후 극축 정렬에 활용하였다. 또한 마운트 모델의 변화를 통해 망원경의 기 기상태 변화를 검토할 수 있고, 지진 등의 외부 요인으로 인한 극축과 지반의 변화를 추적할 수 있다. 망원경의 유지 보수 단계에서 마운트 모델을 연 1~2회 측정하여 망원 경의 지향정밀도 성능을 유지하고, 향후 망원경의 극축정렬 재조정 필요성 검토 및 물 리적 극축정렬 작업에 활용할 수 있다.

우리는 "외계행성 탐색시스템 개발"과제를 수행하며 남반구 3개 관측소에 광시야 망원경 설치 후, 망원경의 지향 정밀도 향상을 위한 기술과 경험을 정리하였다. 특히 본 기술보고서에서는 범용 소프트웨어인 Tpoint를 활용하여 마운트 모델 계수의 획득 및 적용과 지향 오프셋 보정에 관한 내용을 정리함으로써 향후 KMTNet 광시야 망원 경의 유지 보수 및 성능 개선에 있어 중요한 참고 문서가 될 것이다. 또한 KMTNet 망 원경 뿐 아니라 국내외에 운영 중인 다른 망원경의 지향 정밀도 향상 및 유지보수에 활용할 수 있는 중요한 참고자료가 될 것으로 기대한다.

## 2. 마운트 모델 결정 및 TPoint 프로그램

앞 장에서 소개한 것과 같이 관측 데이터의 질에 영향을 미치는 요인은 랜덤오차와 계통오차가 있다. 계통오차를 최소화하기 위해 망원경의 설치 직후 극축을 정밀하게 정렬하였으나 망원경 OTA의 휨, H.A.과 DEC축의 기계적 오차, 엔코더 기준위치 오차 등과 같은 계통오차는 기계적으로 보정하지 못한다. 이러한 계통오차를 보정하기 위해 서 망원경 설치 후 망원경의 마운트 모델을 결정한다. 망원경 마운트 모델은 기계적, 전자적으로 완벽하다고 가정된 망원경과 실제 설치된 망원경 사이의 차이를 수학적으 로 모형화(modeling) 하는 것이다(한인우 외 1996).

KMTNet 망원경의 마운트 모델은 TPoint software(<u>http://www.tpointsw.uk</u>)에서 제작한 TPoint 패키지를 사용하였다. TPoint는 Patrick Wallace가 개발한 범용 소프트웨어로 여 러 해 동안 AAT, UKST, UKIRT, LPO, WIYN, ARC, Keck, JCMT, WHT, INT, NTT, VLT, Gemini, SOAR, GBT, ALMA, LBT 등의 다수의 해외 망원경에 사용되어온 포인팅 모델 분석 소프트웨어다. TPoint는 커맨드 환경에서 구동이 가능한 pro 버전과 널리 사용되 는 천문 소프트웨어인 The sky에 적용이 가능한 Software Bisque와 TPoint software가 함께 개발한 버전이 있다. KMTNet 마운트 모델 계산에는 TPoint pro버전을 사용하였 다.

KMTNet 망원경의 지향 정밀도 향상을 위해 수행하는 과정을 크게 정리해 보면 다음 과 같고 자세한 단계별 과정은 부록에 정리하였다. 부록에 정리한 각 단계별 과정은 망원경 마운트 모델 적용에 관한 상세 매뉴얼로서 시스템 기기점검 및 유지보수에 있 어서 필수적으로 알아야할 정보와 참고사항을 담고 있다.

1) PC-TCS의 구동 프로그램인 PC-TCS의 FDC(Flexure Data Collection) utility에서 고 도 35도 이상에 있는 전천의 영역에 대해 포인팅 데이터 수집

2) 수집한 포인팅 데이터를 TPoint 소프트웨어를 사용해 마운트 모델 획득 및 최적화
3) 획득한 마운트 모델을 PC-TCS에 적용

TPoint를 사용한 KMTNet 포인팅 모델계산에 사용한 파라미터는 크게 8개이며, 모델 에 사용한 마운트 모델 계수 8개와 H.A.과 DEC방향에서 누적되는 포인팅 오차 관계는 식(1)로 정리되고 각 계수의 정의는 표 1과 같다. 마운트 모델을 구하는 과정과 파라미 터 최적화에 대한 자세한 내용은 다음 장에 기술되어 있다.

$$\delta HA = IH$$
+ PHH×HA  
+ NP×tan(DEC)  
+ CH/cos(DEC)  
+ ME×sin(HA)×tan(DEC)  
- MA×cos(HA)×tan(DEC) (1)  

$$\delta DEC = ID$$
+ PDD×DEC  
+ ME×cos(HA)  
+ MA×sin(HA)

표 1. KMTNet 마운트 모델 계수

계수	정의
IH	망원경의 적경 엔코더 영점(리딩 헤드의 위치) 오차
ID	망원경의 적위 엔코더 영점(리딩 헤드의 위치) 오차
СН	망원경의 기계축과 광축의 어긋남
NP	망원경의 적경축과 적위축의 직각도 오차
МА	망원경의 적경축과 극축 사이의 방위각 오차
ME	망원경의 적경축과 극축 사이의 고도 오차
PHH	적경 엔코더의 눈금간격 오차(엔코더 테이프의 휨)
PDD	적위 엔코더의 눈금간격 오차(엔코더 테이프의 휨)

그림 1은 2016년 2월 26일에 호주에서 마운트 모델을 적용하지 않고 얻은 포인팅 데 이터로서 전천에 대한 지향 오차의 분포를 보여준다. 좌표가 알려진 90개의 천체로 망 원경을 이동시키고 실제 별의 좌표와 망원경의 지향점(영상중심) 사이의 위치오차를 모두 측정하여 얻은 자료를 H.A., DEC 및 천정거리에 대한 상호관계로 나타낸 그림이 다. 측정된 포인팅 오차의 크기는 RMS 277초각에 이른다(왼쪽 아래의 그래프).

그림 2는 마운트 모델링과 파라미터 최적화를 통하여 얻은 8개의 계수를 이용하여 포인팅 데이트를 보정한 후의 지향 오차 분포를 나타낸다. 마운트 모델 적용된 후에 지향 오차가 RMS 9.7초각으로 줄어든 것을 볼 수 있다. 이 때 결정된 각 계수는 표 2 에 정리하였다.



그림 1. 마운트 모델을 만들기 위해 90개의 천체를 이용하여 측정한 지향 오차



그림 2. 8개 계수를 이용하여 만든 마운트 모델로 보정후의 지향 오차

계수	결정 값	불확정도
IH	-11.52	9.587
ID	-222.80	4.256
NP	-66.26	6.099
СН	-212.63	10.089
ME	64.51	4.335
MA	33.55	2.210
PHH	76.48	2.581
PDD	25.52	3.148

표 2. 최소자승법으로 결정한 8개의 모델계수

한인우 등(기술보고서 1996)에 따르면 보현산천문대에 도입된 경위도식 망원경의 마 운트 모델은 망원경의 포인팅 오차를 삼각함수의 배각 수열을 이용하여 수식 (2)와 같 이 나타내었다. 수식 (2)는 삼각함수의 배각수열을 이용하고 있기 때문에 관측된 오차 를 수식으로 표현하여 오차를 최소화 시키는 목적으로는 사용할 수 있지만 마운트 모 델로 결정한 각각의 파라미터가 어떤 물리적 의미를 갖고 있는지 파악하기 어렵다.

$$\begin{split} \delta \mathbf{H} &= \alpha_1 + \alpha_2 \sin \mathbf{H} + \alpha_3 \cos \mathbf{A} + \alpha_4 \sin \mathbf{A} \\ &+ \alpha_5 \cos 2\mathbf{A} + \alpha_6 \sin 2\mathbf{A} + \alpha_7 \cos 3\mathbf{A} + \alpha_8 \sin 3\mathbf{A} \\ \delta \mathbf{A} &= \beta_1 + \beta_2 / \cos \mathbf{A} + \beta_3 \tan \mathbf{H} \cos \mathbf{A} + \beta_4 \tan \mathbf{H} \sin \mathbf{A} \\ &+ \beta_5 \cos \mathbf{A} + \beta_6 \sin \mathbf{A} + \beta_7 \cos 2\mathbf{A} + \beta_8 \sin 2\mathbf{A} \\ &+ \beta_9 \cos 3\mathbf{A} + \beta_{10} \sin 3\mathbf{A} + \beta_{11} \tan \mathbf{H} \cos 2\mathbf{A} + \beta_{12} \tan \mathbf{H} \sin 2\mathbf{A} \end{split}$$
(2)

우리는 TPoint에서 정의하고 있는 물리 파라미터를 이용하여 기존의 보현산천문대에 서 사용한 마운트 모델을 수식 (3)으로 표현하고 각각의 파라미터가 갖는 물리적 의미 를 재해석하였다.

$$\delta H = IH$$

$$- AN \cos A + AW \sin A$$

$$+ ECEC \cos H + ECES \sin H$$

$$- NRX \sin H + NRY \cos H$$

$$\delta A = -IA$$

$$- CA/\cos H$$

$$- AN \tan H \cos A - AW \tan H \sin A$$

$$+ ACEC \cos A + ACES \sin A$$

$$- NRX - NRY \tan H - NPAE \tan H$$
(3)

여기서, IH와 IA는 고도와 방위각의 값을 읽어내는 인덱스의 오차를 각각 나타낸다.

CA는 고도축과 포인팅 축이 이루는 직각도 오차를 나타내고, AN과 AW는 방위각 축에 대한 남북방향 또는 동서방향의 축이 어긋난 오차를 나타낸다. ECEC, ECES, ACEC, ACES는 고도 및 방위방향에서의 비축오차를 각각 코사인항과 사인항으로 나타낸다. NPAE는 방위축과 고도축의 직각도 오차를 나타낸고, NRX와 NRY는 각각 수평 수직 방향에서의 필드 디로테이터의 중심 오차를 나타낸다. 수식(2)와 수식(3)의 관계에서 기 존 모델과 새로운 마운트 모델에서 특징적으로 구분되는 계수는 IH, IA, CA, AN, AW, ECEC 등이다. 이 값들에 대하여 그림 3에 나타낸 기존의 마운트 모델 계수와 비교하 면, 다른 계수에 비해 이 계수들이 결정오차에 비하여 의미를 갖는 것을 볼 수 있다. 한편 각 계수들의 물리적 의미를 해석하면 고도축 및 방위축 인덱스의 위치오차가 각 각 -55.1, 853.6 초각 어긋나 있으며, 방위각에 대해 동서 방향과 남북 방향이 각각 12 초각 어긋나 있고, 기기축과 광축은 -105.2초각 어긋나 있다. 또한 고도방향의 코사인 항 오차가 약 14초각 포함하고 있음을 알 수 있다. 이 분석을 통해 수식 (2)에 나타난 삼각함수의 고차항 계수는 실제로 물리적인 의미를 가지고 있지 않음을 알 수 있다.

고도각 계수

off	set	-55.1 (6.1)	
$\sin A$	$\cos A$	12.1 (2.1)	-1.8 (2.1)
$\cos h$		14.0 (7.8)	
$\sin 2A$	$\cos 2A$	2.6 (2.4)	2.4(1.8)
$\sin 3A$	$\cos 3A$	0.5 (2.5)	-0.9 (1.8)

of	fset	853.6 (2.3)	
$\sin A \tan h  \cos A \tan h$		-2.3 (1.4)	-12.5(2.4)
1/0	$\cos h$	-105.2 (1.9)	
$\sin A$	$\cos A$	1.5 (1.1)	-0.4 (1.7)
$\sin 2A$	$\cos 2A$	1.0 (1.3)	1.1 (0.9)
$\sin 3A$	$\cos 3A$	0.1 (0.7)	-1.7 (0.5)
$\sin 2A \tan h$	$\cos 2A \tan h$	-2.2 (1.7)	-1.9 (1.1)

방위각 계수

표 3. 1.8 m 망원경 마운트 모델 계수 (1995. 3. 30 측정)

그림 3. 1995년 3월 30일 결정한 마운트 모델

### 3. KMTNet 마운트 모델 획득 및 최적화 과정

남반구 관측소에 망원경 설치 직후, KMTNet 망원경의 포인팅 데이터 수집을 수행하였다. 수집한 포인팅 데이터로 TPoint를 사용해 마운트 모델을 계산하였고 마운트 모델 계수 값 중 망원경의 구동축과 극축 사이의 오차 값을 의미하는 ME, MA 값을 참고하여 망원경의 물리적인 극축 정렬 작업에 활용하였다.

물리적인 극축 정렬 작업 후, 망원경의 지향 정밀도 향상을 위한 마운트 모델 획득 을 위한 포인팅 데이터 수집을 수행하였다. 포인팅 데이터의 수집은 정확한 좌표 값을 알고 있는 별로 망원경을 이동시켜 영상을 촬영하고 영상에서 나타나는 별의 위치와 좌표 값과의 차이를 기록하는 방식으로 수집한다.



그림 4. 포인팅 데이터 수집 원리

남반구 관측소에 망원경을 설치할 단계에는 18K 모자이크 CCD 카메라가 설치되지 않았기 때문에 4K 임시 카메라를 이용하여 포인팅 데이터 수집 관측을 수행했다. 하지 만 18K 모자이크 CCD 카메라를 장착한 이후, 두 카메라의 무게 차이 및 광축 변화는 망원경의 지향 정밀도에 오차를 발생하는 원인으로 작용한다. 이에 마운트 모델을 새 롭게 구하기 위해 18K 모자이크 CCD 카메라를 이용하여 포인팅 데이터 수집 관측을 수행하였다. 18K 모자이크 CCD 카메라는 4개의 CCD로 모자이크 되어 있기 때문에 그 림 5와 같이 카메라의 중심부분에 검출기가 없는 빈공간이 존재한다.



그림 5. KMTNet 카메라 CCD 배치

이로 인해 별을 중심으로 보냈을 때 정확히 중심에 별이 위치했는지 판단할 수 없다. 이를 위해 망원경의 포인팅이 끝난 후 망원경을 일정 양만큼 더 보내 별의 위치를 확인할 수 있도록 만든 스크립트를 이용하여 포인팅 데이터 수집 관측을 진행하였다. 포인팅 데이터 수집을 위해 잘 알려진 밝은 천체를 모아놓은 FK5 카탈로그를 사용하였고 전천에 대해 약 90여개의 별에 대해 포인팅 데이터를 수집하였다.

수집한 포인팅 데이터에서 망원경의 좌표와 실제 별의 좌표의 차이 값을 사용해 TPoint로 마운트 모델링을 한다. TPoint는 커맨드 환경에서 동작하는 프로그램으로 윈 도우 운영체제의 명령프롬프트 창을 통해 실행하였다. TPoint를 사용한 마운트 모델링 방법은 다음과 같다.

1) 윈도우즈 명령프롬프트로 TPoint 실행

- 2) TPoint에 수집한 포인팅 데이터 파일 입력
- 3) 망원경의 마운트 정보 입력
- 4) 최소자승법 및 반복계산법을 통한 마운트 모델 피팅(fitting)
- 5) 기본적인 기하학적 계수 외에 사용할 계수 추가 입력
- 6) 추가한 계수를 포함해 최소자승법으로 마운트 모델 피팅
- 7) 마운트 모델 계수 결과 값 출력

- 8 -

8) 불량자료 제거, 특정 계수 상수로 고정 등 최적화 수행하며 4~7번 반복

마운트 모델을 구하는 과정에서는 앞장의 수식(1)에 정리된 H.A., DEC 지향오차와 H.A., DEC, 천정거리 사이의 여러 관계에 대해 최소자승법과 반복계산을 이용해 측정 값을 가장 잘 대표하는 각 모델의 계수를 구하게 된다. 이 과정에서 측정오차가 지나 치게 큰 자료를 제거하거나, 마운트 모델을 결정하는데 오히려 방해가 되거나 계산오 차(sigma)가 큰 계수를 0이나 특정 상수로 고정시키는 작업과 함께, 그에 따른 모델링 결과를 분석하는 과정을 여러 차례 수행하며 가장 타당하고 오차가 적은 마운트 모델 을 구하는 최적화 작업이 진행된다. 이러한 마운트 모델링 과정을 통해 최종적으로 앞 장의 수식(1)과 표 1의 8개 마운트 모델 계수를 얻게 된다.

포인팅 데이터 획득부터 마운트 모델링 작업과 TCS 적용까지 각 단계별 자세한 과 정은 부록으로 첨부하여 추후 망원경의 유지 보수 및 정비 단계에서 매뉴얼로 참고할 수 있게 정리하였다.

TPoint에 포인팅 데이터 입력 시 포인팅 데이터 파일의 형태가 다르면 TPoint에서 데이터 값을 인식하지 못한다. PC-TCS를 사용해 포인팅 데이터를 수집한 경우 TPoint 에서 인식이 가능한 형태로 데이터 파일이 기록되지만, PC-TCS를 사용하지 않은 경우 에는 수동으로 데이터 파일을 작성해야 한다. 수동으로 데이터 파일 생성할 경우, 아래 표 3의 형식으로 데이터 파일을 작성하면 TPoint에서 인식이 가능하다.

r				
KMTNet-SSO	08/29/2015 - C	ass N		
:NODA				
-31 16 16				
21 06 29.81	-76 56 50.80	21 06 05.50 -	76 47 50.20	19 39.08
20 46 20.53	-66 08 05.00	20 46 07.24 -0	65 59 33.90	19 41.45
20 08 35.59	-52 49 39.80	20 08 25.67 -	52 41 40.20	19 44.68
19 56 21.33	-41 49 17.60	19 56 12.42 -4	41 41 37.70	19 47.28
21 58 56.72	-54 54 36.20	21 58 48.34 -	54 46 14.80	19 53.61
21 16 52.02	-53 11 24.30	21 16 43.11 -	53 03 18.90	19 56.12
20 23 31.86	-41 59 40.10	20 23 23.05 -4	41 52 01.60	19 58.69
END				

표 3. TPoint에서 인식 가능한 포인팅 데이터 파일 형식 예

포인팅 데이터 파일의 제일 윗줄에는 망원경의 정보 및 관측일자, 망원경의 flexclass 를 기입한다. 두 번째 줄에는 :NODA라는 구분자를 기입하고 세 번째 줄에는 관측소의 위도 정보를 기입한다. 그 다음에 포인팅 데이터 정보를 기입하는데, 앞쪽에는 별의 R.A., DEC 정보를 기입하고 뒤쪽에 영상의 가운데에 별을 위치시켰을 때의 R.A., DEC 정보와 UT 시각을 기입한다. 모든 포인팅 데이터를 다 기록한 다음에 맨 밑에 END로 데이터의 끝을 입력하면 TPoint에서 마운트 모델링이 가능한 데이터로 인식이 가능하 다.

TPoint로 마운트 모델링을 수행 시, IH, ID, CH, NP, MA, ME의 6개의 기하학적 계수 만을 사용해 마운트 모델링을 진행하게 된다. KMTNet 망원경의 특성상 6개의 기하학 적 계수만으로는 지향 정밀도를 향상시키기 어려우므로 앞에서 기술한 엔코더의 휨에 따른 보정 파라미터인 PHH와 PDD를 추가해 모델링을 진행하여야 한다. 최적의 계수 를 계산한 후, TPoint에서 다음 그림 6와 같은 9개의 그래프를 출력할 수 있다. 각 그 래프의 의미는 표 4에 정리하였다.



그림 6. 마운트 모델 그래프 출력

표 4. 마운트 모델 그래프 의미

H.A.에 따른 망원경 동서 방향 오차	DEC에 따른 망원경의 DEC오차	천정거리의 오차
Dec에 대한 동서 방향 오차	Fork flexure (HA에 따른 DEC 오차)	HA에 따른 HA와 Dec 사이의 직각도 오차
scatter diagram	Error 분포	하늘에서의 에러 벡터 맵

획득한 마운트 모델을 KMTNet 망원경 구동 프로그램인 PC-TCS에 적용할 수 있게 마운트 모델 결과 파일 이름을 수정해 주어야 한다. PC-TCS에서 마운트 모델을 적용 할 때 flexclass를 설정해야 하는데 마운트 모델 출력 파일을 PC-TCS에서 사용할 수 있도록 pctcsX.tp라는 이름으로 변경해주어야 한다. 여기서 X의 위치에는 PC-TCS에서 flexclass로 인식할 b, c, d 중 하나를 골라 변경하고 PC-TCS에서 모델을 적용할 때 반 드시 파일 이름에 입력한 flexclass를 선택해야 한다. 이러한 과정을 모두 수행해 마운 트 모델을 TCS에 적용하면 망원경의 지향 정밀도를 향상시킬 수 있다.

### 4. KMTNet 3개 관측소 지향정밀도 측정 결과

앞에서 정리한 방법으로 KMTNet 3개 관측소 지향 정밀도를 측정하였다. 각 관측소 별 마운트 모델 계수는 아래에 정리하였다. 마운트 모델 계수의 변화를 보면 모든 관 측소에서 마운트 모델 계수가 변화하는 것을 알 수 있다. 마운트 모델의 계수는 지진 의 영향, 망원경과 피어의 무게로 인한 지반의 안정화에 따른 피어의 변화, 엔코더 리 딩 헤더의 탈부착 작업 등 여러 원인에 의해 변화하는 것을 알 수 있다. 추후 망원경 운영 중 정기적으로 망원경의 마운트 모델을 갱신해서 기존의 계수와 비교를 하면 망 원경 피어의 장기적인 변화 및 망원경의 구조적인 변화 등을 모니터링 할 수 있다. 이 는 관측 시스템 운영에 있어서 망원경의 현재 상태 파악 및 유지 보수 과정의 중요한 자료로 사용할 수 있다.

2014.05.22	수집 Data	Sky RMS	2015.10.01	수집 Data	Sky RMS
CTIO	90	12.9852	СТІО	84	7.5267
Coefficient	Value	sigma	Coefficient	Value	sigma
IH	+32.8673	2.21984	IH	+48.8734	1.25618
ID	-40.7213	6.01882	ID	-28.8060	4.46256
NP	+110.7833	4.54489	NP	+121.2323	2.71137
=CH	+0.0000		ME	+44.8665	4.59760
ME	+32.9101	6.56528	МА	-151.0165	1.71756
МА	-39.8253	3.13548	PDD	+37.2068	2.31429
PHH	+21.5864	4.72744	РНН	+44.3491	2.27475
			FO	-64.5502	6.75107

표 5. CTIO 마운트 모델 계수

표 5는 KMTNet 칠레 관측소 망원경의 포인팅 모델 파라미터 값이다. 망원경 설치 직후인 2014년 5월의 마운트 모델 계수와 2015년 10월의 마운트 모델 계수를 비교해 보면 망원경의 기계적 직각도 오차인 NP항의 값은 1년이 지나도 크게 변화하지 않았 지만 망원경의 극축오차인 MA값이 매우 크게 변화한 것을 알 수 있다. 극축 오차 값 인 MA 값이 커진 이유로는 칠레 관측소를 강타한 지진의 영향으로 피어의 위치가 변 화된 것으로 판단된다.

표 6. SAAO 마운트 모델 계수

2014.07.29	수집 Data Sky RMS		2015.11.03	수집 Data	Sky RMS
SAAO	82	8.7057	SAAO	79	7.4982
Coefficient	Value	sigma	Coefficient	Value	sigma
IH	+100.0000	1.23456	IH	+37.4483	9.19502
ID	-25.0310	5.35524	ID	-53.2154	5.01422
NP	-194.8380	3.90157	NP	-179.2703	5.25152
СН	-176.5504	1.57058	СН	-226.7055	9.47020
ME	+63.3219	5.58676	ME	+58.1202	5.30138
MA	+19.7487	2.54461	МА	+27.0326	2.25185
PDD	+47.7070	2.71250	PDD	+40.0737	2.34144
РНН	+41.3755	3.31731	PHH	+35.3742	2.93399

KMTNet 남아공 관측소 망원경의 마운트 모델 계수는 표 6과 같다. 망원경 설치 직 후인 2014년 7월의 마운트 모델 계수와 2015년 11월의 계수를 비교해 보면 적경축 엔 코더 리딩 헤더 기준 값인 IH 값과 망원경의 기계축과 광축의 오차를 나타내는 CH 값 이 크게 변한 것을 알 수 있다. 이는 망원경 설치 초기에 돔의 누수로 인하여 적경축 의 엔코더 리딩 헤드를 재부착하는 일이 있었는데, 이때 엔코더 리딩 헤드를 재부착 하는 과정에서 인덱스의 위치가 변하게 된 것으로 보인다. CH 값이 차이가 큰 이유로 는 망원경을 설치한 직후 마운트 모델을 만들기 위한 관측을 수행할 때는 18K 모자이 크 CCD 카메라가 설치되지 않았기 때문에 4K 임시 카메라를 이용하여 마운트 모델을 만들었다. 즉, 2014년 7월 포인팅 모델은 4K 임시 카메라를 이용하여 구한 계수이고, 2015년 11월 포인팅 모델은 18K 모자이크 CCD 카메라를 이용하여 구한 계수로 두 카 메라 사이의 광중심축의 불일치로 인해 CH값이 차이가 난 것으로 보인다.

표 7. SSO 마운트 모델 계수

2014	수집 Data	Sky RMS	2015	수집 Data	Sky RMS	2016	수집 Data	Sky RMS
10.30	79	8.0862	08.30	78	7.6191	02.29	90	9.2932
Coeff	Value	sigma	Coeff	Value	sigma	Coeff	Value	sigma
IH	-78.8603	1.63034	IH	+58.2668	9.60173	=IH	+2.4515	
ID	-69.7004	3.40026	ID	-471.3491	3.81292	ID	-220.4308	4.44584
ME	+93.0500	3.27395	NP	-63.0706	4.98872	NP	-76.0359	3.66606
MA	+43.1947	2.02286	CH	-205.6272	9.73701	CH	-227.1369	1.60882
PDD	+41.5763	2.88972	ME	+66.3461	3.95491	ME	+61.3947	4.60129
NP	-63.0826	3.24343	MA	+36.1804	1.92741	MA	+30.8197	2.25707
			PDD	+69.0651	2.32555	PDD	+74.3502	2.56798
			PHH	+27.2292	2.62024	PHH	+23.2636	3.07815

KMTNet 호주 관측소 망원경의 마운트 모델 계수를 표 7에 정리하였다. 호주 관측소 의 경우에도 남아공 관측소와 동일하게 망원경 설치 초기에 돔의 누수로 인해 엔코더 를 재장착하는 일이 있었다. 그리고 2016년 2월 망원경의 적경 적위 축 엔코더 리딩 헤더의 인식 문제로 헤더의 위치를 정렬하는 작업을 진행했기 때문에 호주관측소의 경 우 다른 관측소보다 마운트 모델을 한 번 더 구하여 적용하였다. 이 때문에 호주 관측 소의 마운트 모델 계수를 비교해 보면 엔코더 리딩 헤더의 위치인 IH, ID 값이 크게 변한 것을 알 수 있다.

모든 관측소에 마운트 모델을 적용하면 망원경의 지향 정밀도가 망원경의 요구 사항 인 10 arcsec RMS 이하가 되는 것을 확인할 수 있다. 앞으로 새로운 마운트 모델링을 1년에 1~2회 수행하면 망원경의 극축정렬, 기계적인 특성 변화 및 망원경 피어의 장기 적인 변화 모니터링과 같은 망원경의 유지 보수에 활용할 수 있다.

### 5. 우리은하 벌지 영역의 지향 오프셋 보정

앞에서 서술한 것처럼, KMTNet 망원경의 지향 정밀도는 TPoint를 활용하여 10 arcsec RMS 미만까지 향상되었다. 1.6m 광시야 망원경과 18K 모자이크 CCD 카메라의 조합으로 2x2도 시야를 관측할 수 있기 때문에, 10 arcsec의 정밀도는 관측시야의 0.1% 수준이다. KMTNet을 활용한 과학연구주제 중에서 초신성 탐색, 태양계 소천체 모니터링, 외부은하 다파장 관측 등 밤하늘 전체에 분포한 대상들을 관측하는 경우에 관측시야 대비 0.1%의 지향 정밀도는 연구를 수행하는데 충분히 만족스럽다고 할 수 있다.

KMTNet의 핵심 연구주제인 미시중력렌즈 방법을 이용한 외계행성 탐색을 위해 우리 은하 벌지 영역을 모니터링 관측하고 있다. 측광 모니터링 관측을 통하여 별의 밝기 변화(중력렌즈 현상)를 찾아내고 이를 분석하여 별 주위를 공전하는 행성을 발견하는 것이다. 질량(즉, 중력 효과)이 작은 지구형 행성에 의한 밝기 변화는 진폭이 작기 때 문에, 이를 검출하기 위해서는 정밀 관측 자료가 필요하다. CCD 영상의 바닥고르기 (flat fielding)를 통하여 2차원적인 공간 변화를 보정하고 있지만, 정밀한 모니터링 자 료를 얻기에는 불완전하기 때문에, 망원경 지향 정밀도를 높여서 CCD 영상에 찍힌 별 의 위치를 관측기간 내내 계속 일정하게 유지하는 것이 측광 정밀도를 높이는데 매우 중요한 요소이다.

우리은하 벌지 영역 모니터링은 하늘의 특정 위치만을 계속 관측하는 것이며, 관측 기간 내내 망원경이 동쪽부터 천정을 거쳐 서쪽까지 동일한 위치를 매일 반복해서 지 향하게 된다. 그러므로 하룻밤 관측 위치를 따라가며 망원경의 포인팅 오프셋(CCD 영 상에 찍힌 별의 기준 위치에 대한 차이)을 측정하고, 이를 보정함으로써 벌지 영역의 지향 정밀도를 높일 수 있다. 보정은 측정된 오프셋 값으로 H.A.에 따른 R.A., DEC 보 정 표를 만들어 저장해놓고, 망원경 이동 명령을 내릴 때 망원경 제어 프로그램에서 보정 테이블을 참고하여 지향 R.A., DEC 보정 값을 적용한 후 망원경을 이동하는 방식 으로 이루어진다.

2016년 3월에 칠레 관측소에서 얻은 벌지 영역의 오프셋 자료를 그림 7에 제시하였 다. 가로축은 망원경 위치로써 시간각(H.A.)으로 표시하였고, 세로축은 적경 축(위)와 적위 축(아래)의 오프셋 값이다. 3월 1일부터 27일까지 얻은 자료를 검은색 원으로 표 시했고, 0.2의 시간각으로 나눠서 평균(binning)한 자료를 빨간색 점으로 표시했다. 3월 에는 벌지 영역을 하룻밤에 3~4시간 관측하였고 기준 영상으로 사용한 BLG01 영역은 약 1시간 간격으로 관측했기 때문에 하룻밤에 얻은 3-4개 자료를 모두 모은 것이다. 3 월에는 H.A.가 -4.5부터 -1.0까지 동쪽에서만 관측할 수 있었으며 천정부터 서쪽은 5월 이 되어야 관측할 수 있어서, 하늘의 일부 자료만 포함하고 있다. 약 절반의 하늘 위치 에 대한 포인팅 오프셋은 적경 축으로 최대(peak-to-peak) 약 30 arcsec, 적위 축으로 최대 약 20 arcsec로 측정되었다. 비교를 위해 2015년 8월에 얻었던 전체 하늘의 오프 셋 자료를 파란 색으로 표시하였으며, 적경 축으로 최대 약 120 arcsec, 적위 축으로 최대 약 60 arcsec이었다. 칠레 관측소의 경우 2015년 10월에 마운트 모델 결정을 새 로 수행했기 때문에, 2016년 3월의 자료가 2015년 8월보다 오프셋이 줄어든 것으로 판단된다.



그림 7. KMTNet 칠레 망원경으로 우리은하 벌지 영역을 관측하여 얻은 오프셋 변화. (검은 원과 빨간 점은 2016년 3월 자료이고, 파란색 원은 2015년 8월 자료임)

그림 7의 빨간색 점인 오프셋 자료를 이용하여, 오프셋을 보정하기 전에 얻은 자료(3 월 27일)과 보정한 후에 얻은 자료(3월 30일)를 표 8에 제시하였다. 첫 번째 줄은 파일 명이고, 2번째와 3번째는 적경 축과 적위축의 오프셋 값(픽셀 단위이며, 0.4를 곱하면 arcsec 단위가 됨)이다. 오프셋 변화가 큰 적경 축을 보면, 보정 전에는 최대 67 픽셀 이었는데, 보정 후에는 13 픽셀로써 약 1/5로 줄어들었다. 특히, 오프셋 보정 자료가 충분하지 않았던 H.A. = -0.5 위치의 마지막 자료를 제외하면, 적경과 적위 축 모두 최 대 10 픽셀(즉, 4 arcsec) 미만의 값이고, 약 2 arcsec RMS 미만의 정밀도로 추정된다. 이 자료는 2016년 5월에 동쪽부터 서쪽까지 하룻밤 전체의 벌지 영역 오프셋을 얻어서 업데이트할 예정이다. 이런 오프셋 보정은 남반구 3개 관측소에서 동일한 방법으로 진행하고 있으며, 이를 통하여 벌지 영역 전체 관측 자료의 오프셋을 ±10 픽셀(2 arcsec RMS) 이내로 유지할 계획이다.

표 8. 우리은하 벌지 영역의 오프셋 보정 전(왼쪽; 3월 27일)과 보정 후(오른쪽; 3월 30일) 자 료. (2번째와 3번째 줄이 적경 축과 적위 축의 오프셋 값(단위는 CCD 픽셀))

xkmtc.20160327.062550.fits	-30.5 -3.7	xkmtc.20160330.063344.fits 3.1 5.5	,
xkmtc.20160327.062563.fits	-10.2 -11.1	xkmtc.20160330.063356.fits 2.0 7.5	,
xkmtc.20160327.062575.fits	2.4 -8.8	xkmtc.20160330.063357.fits 0.5 8.5	1
xkmtc.20160327.062587.fits	0.1 -5.8	xkmtc.20160330.063375.fits -0.1 -4.1	
xkmtc.20160327.062599.fits	7.8 -4.2	xkmtc.20160330.063387.fits -6.2 -7.9	
xkmtc.20160327.062600.fits	8.5 -3.1	xkmtc.20160330.063399.fits -1.8 -8.5	5
xkmtc.20160327.062618.fits	30.3 4.7	xkmtc.20160330.063411.fits 2.1 -1.0	)
xkmtc.20160327.062630.fits	36.5 8.1	xkmtc.20160330.063423.fits -10.3 -10.5	
1			

#### 6. 결 론

양질의 측광자료 생산을 위해 망원경의 마운트 모델을 구하고 8개의 계수를 TCS에 적용하여 지향 정밀도를 향상시켰다. 남반구 세 개 관측소의 KMTNet 망원경 모두의 포인팅 모델을 획득해 적용하였다. 포인팅 모델 적용 후, 세 관측소 망원경의 지향 정 밀도는 모두 10 arcsec RMS 이하의 값으로 향상 되는 것을 확인하였다. 또한 KMTNet 의 주요 관측대상인 우리은하 중심부 영역의 경우는 추가적인 지향 오프셋 보정을 통 하여 지향 정밀도가 약 2 arcsec RMS까지 향상되었다. 이를 통하여 우리은하 중심부 영역 전체 자료의 정밀도를 2 arcsec RMS이내로 유지할 계획이다.

마운트 모델 적용은 관측시스템의 유지 관리 단계에서 반드시 필요한 작업으로 망 원경의 지향 정밀도 성능 유지를 위해 적어도 1년에 1~2회 계수를 갱신해야 한다. 또 한 지진이나 망원경 엔코더 헤더의 위치 변경과 같은 작업 후에는 망원경의 포인팅 모 델이 변하게 되므로 이를 보정하기 위해 반드시 계수를 갱신해야 한다. 이렇게 수집한 마운트 모델 계수를 통해 KMTNet 관측 시스템의 특성 변화를 알 수 있으며 이를 통 해 망원경 극축정렬 및 기계부 특성 모니터링 등 기계부 유지보수에 활용할 수 있는 운영에 있어 중요한 자료가 된다.

KMTNet 광시야 망원경의 최종 설치 후, 극축 조정, 포인팅 데이터 수집, TPoint 소 프트웨어를 활용한 마운트 모델링 및 지향 오프셋 보정 작업을 진행하여 관련 자료를 수집하였다. 이를 토대로 광시야 망원경의 지향 정밀도 향상 작업 관련 기술 및 노하 우를 축적해 본 보고서를 작성하였다. 이 기술보고서는 앞으로 KMTNet 광시야 망원경 유지 보수 과정에서 망원경의 지향 정밀도 유지에 중요 참고자료로서 활용할 수 있을 뿐 아니라 국내외에서 운영 및 개발 중인 망원경의 설치 및 유지 관리 단계에서 지향 정밀도 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

### 참고문헌

Atwood, B., O' Brien, T. P., Colarosa, C., et al., 2012, Design of the KMTNet large format CCD Camera, Proc. of SPIE, 8446, 84466G

Kim, S.-L., Park, B.-G., Lee, C.-U., et al., 2010, Technical specifications of the KMTNet observation system, Proc. of SPIE, 7733, 77333F

Kim, S.-L., Park, B.-G., Lee, C.-U., et al., 2011, Wide-field telescope design for the KMTNet project, Proc. of SPIE, 8151, 81511B

Kim, S.-L., Lee, C.-U., Park, B.-G., et al., 2016, KMTNet: A network of 1.6 m wide-field optical telescopes installed at three southern observatories, JKAS, 49, 1

TPoint Software website (URL: http://www.tpointsw.uk/)

 $PC-TCS^{TM}$  Version 6.x User's Manual, Comsoft

한인우, 천무영, 박병곤 외 1996, 1.8 m 망원경 마운트 모델, 기술보고서 No. 96-011-011, 한국천문연구원

# 부 록. TPoint를 사용한 KMTNet 망원경 마운팅 모델 결정 방법

- PC-TCS 설치 경로 폴더에 사용할 FK5 Catalog가 있는지 확인한다.
   가. 사용할 catalog는 sortfk5.cat
- 2. FK5 Catalog file의 경로를 PC-TCS의 설정인 PFEdit에서 확인한다. 만일 PFEdit에 경로 가 입력되어 있지 않으면 catalog 파일이 저장되어 있는 경로를 입력한다.
  - 가. Ex) c:\TCSnew
- 3. PC-TCS 실행 전 시각 동기화 후 PC-TCS 실행한다.
- 4. PC-TCS에서 돔 구동 동기화를 위해 Home dome 실행한다.
- 5. 망원경의 위치를 찾고 PC-TCS에 Ready 메시지가 출력되면 Tracking을 실행한다.
- 6. 돔이 Home 위치를 찾고 dome이 멈춘 후 PC-TCS에서 Auto dome 실행한다.
- 7. Point model을 관측하기 위해 PC-TCS 입력 소스를 FK5 Catalog로 변경한다. (그림 8)
  - 가. 위치: PC-TCS 메뉴에서 Source User Catalog 항목에서 sortfk5 catalog 선택한다.



그림 8. PC-TCS 입력소스 변경

8. PC-TCS의 Author 모드로 접속한다. PC-TCS에서 ctrl+backspace를 누르면 그림 9와 같 은 비밀번호 입력창이 나타나는데 비밀번호를 입력해 auther 모드로 진입한다.



그림 9. Author mode 인증

9. Author mode로 접속 후, 그림 10과 같이 TCS화면 우측 하단에 Remote창이 나오면 Alt+H를 눌러 Remote 창을 숨긴다.



그림 10. Author mode 진입 후

- 10. Rates 항목에서 Flexure를 Disable. Disable되면 항목 왼쪽에 >>표시가 없어진다.
- 11. Parameters Input Corrections항목에서 Flexure를 Disable 한다. (그림 11)



그림 11. Corrections에서 Flexure disable

- 12. Parameter Global Flexclass 항목에서 Flexclass를 모두 비활성화 시킨다.
- 13. Parameters의 utilities menu의 FDC항목으로 이동한다.
- 14. Parameters Utility FDC 항목에서 Full map을 활성화 하면 모든 cell을 관측하므로 Full map을 활성화 시키지 않고 관측을 수행한다. Full Map이 활성화 된 경우 Full Map 항목의 왼쪽에 >> 표시가 생긴다. 그림 12와 같이 >>표시를 없앤다.



그림 12. Full Map disable

- 15. Parameters Utility FDC Purge Data를 하여 전에 관측하였던 file을 초기화한다.
  - 가. Purge data에서 엔터키로 선택을 하지 않고 실행을 시키면 point.dat 파일의 이전에 관측한 자료에 이어 데이터를 수집하기 때문에 반드시 purge data 항목을 선택한 다.
- 16. Execute를 클릭하여 포인팅 데이터 수집 관측 시작한다. (그림 13)
  - 가. 관측 시작 전 tracking과 Auto Dome을 반드시 활성화 시키고 포인팅 데이터 수집 관측을 시작한다.
  - 나. 포인팅 데이터 수집 관측 시 마우스를 움직이면 enter키를 누른 것과 같이 인식해 다음 타겟으로 이동하게 되므로 관측시작 전 마우스는 손이 닿지 않는 곳에 두고 관측한다.
  - 다. Point model 관측 tip
    - (1) 별을 영상의 중앙에 위치시키고 enter를 누르면 다음 타곗으로 이동하며 데이터 수집 관측을 수행한다. 망원경이 이동 후 backspace 키를 누르면 이동한 타겟에 대해 데이터 수집을 하지 않고 skip한다.
    - (2) Full map을 켜지 않고 실행을 하였다고 하더라도 약 80 여개의 영역을 관측해 약
       4시간 반의 시간이 소요된다. 모든 관측 영역을 관측하지 않고 지평선에서 가까

운 몇 개의 영역을 skip해 데이터를 수집한다. 다음 방법을 사용하면 망원경이 다 음 관측할 위치까지 움직이지 않은 상태로 cell을 skip해 데이터 수집 관측의 시 간을 절약할 수 있다.

(3) 망원경이 움직이는 동안에 F9를 눌러 망원경의 동작을 cancel 하면 F9를 클릭한 위치에서 망원경이 멈추게 된다. 망원경이 멈춘 후, ESC키를 제외한 다른 키를 한 번 누르면 〈CR〉 또는 〈BS〉키를 누르라는 안내가 나온다. 이때 backspace를 눌러 cell을 skip한다.

ENE: 8		ABS RDY ABS	3	EI: 38.6
J2000.0	01:33:38.94	TRACK	-78:30:19.3	Az: +10.8
				Secz: 1.60
	01:33:38.97	SLEH PERMIT	-78:30:19.3	PA: -53.1
Novt: # 53	<b>A1:33:38.97</b>		-78:30:19.3	Hag: 6.11
Reference:	: : .		: :	
Offset Vector:	:::		1. 1. 1. 1. A. A.	
<b>Wobble Vector:</b>	::.		: : .	MC: Open
Difference:	+0.1		+0.1	Foc
				Auto: +0.0
Bias:	+0.0000		+0.0000	Shut: Closed
Guide	+10.0000		+7.0000	04
Brift	+100.0000	TRO D	+70.0000	арая
	E Raw	FUC Progress Mor	nitor J	
Current Cell:	1Z Ubje	ect ID: FK5 53	Points (	ollectea
Last	Coll:	HA Error:	arcsecor	ids
Last	06111	δ Error:	arcsecon	ds
Center Objec	t and confirm	with <cr>, <bs> t</bs></cr>	to ignore, <esc></esc>	to abort.

그림 13. FDC utility를 사용해 포인팅 데이터 수집 관측

- (4) 만약 Point model 관측 중, 실수로 ESC를 누른다거나 혹은 예기치 않은 상황으로 관측 중간에 종료가 되었으면 Parameters - Utility - FDC - AZ range에서 AZ 시 작 값에 관측이 멈춘 AZ의 값을 넣어주고, Purge data를 하지 않은 상태로 execute하게 되면 입력한 AZ의 값부터 다시 이어서 관측을 시작하게 된다.
- 17. 18K science camera는 4개의 9K CCD를 mosaic 한 카메라이므로 카메라의 가운데 부 분에 영상이 찍히지 않게 된다. 이러한 이유 때문에 망원경 포인팅 데이터 획득 시

일정 offset 값을 주어 영상을 획득한 후, 별의 위치 차이 값에 offset을 더한 값을 이 동시켜 별을 실제 망원경의 중심에 위치 시켜준다.

가. 망원경이 이동을 하면 그림 14와 같이 ICG 컴퓨터의 pctcs창에 명령어 oo (알파벳 문자)를 입력해 망원경을 offset 시킨다.

TC% tguide 1000 0 DONE: guiding offset move complete TC% tguide 1000 0					
DONE: guiding offset move complete					
DONE: UP STANDBY -4.730 +220.0 -590.0 0 0 0	-5,806 -6,69	1 -1.6	693		
DONE: goto focus and tip-tilt commanded					
BONE: goto focus and tip-tilt commanded					
DONE: pm offset +322.40 -420.40 commanded					
DONE: pm offset -389.60 +991.60 commanded for TCZ co	centering				
					me h
Desktop Size is 1024x768	a	2	NUM	CAPS	SC

그림 14. 망원경 포인팅 offset

ASSESS: WATHOR					
INTEL S	AB	S RDY ABS	}		38.6
R_ Epoch: J2000.0	01:33:38.94	TRACK	-78:30:19.3		+10.8
Connanded :	01:33:38.97	SLEH PERMIT	-78:30:19.3		-53.1
G5 Next: # 53 Reference:	01:33:38.97 : : .		-78:30:19.3 : : .		6.11
Offset Vector:	: : . 0				Onen
Nobil: vouture	+9.1		+8.1		ohen
a Dirictondo,			- A State	Auto:	+0.0
Bias:	+0.0000		+0.0000	Shut	Closed
Guide:	+10.0000		+7.0000 +70.0000		04 1322
UTILLS	Rau FD	C Progress Mon	itor ]		
Current Cell:	12 Object	ID: FK5 53	Points	Collected	
Last	Cell:	HA Error: δ Error:	. arcseco . arcseco	nds nds	
the second second					

나. 명령어 oo를 입력하면 그림 15의 원안의 ∂ Difference에 offset 된 값이 나타난다.

그림 15. PC-TCS상에 offset 값

다. 명령어 oo를 입력하고 3초 뒤 그림 16과 같이 ICS 컴퓨터의 ITerm창에서 go를 입 력해 영상을 획득하다.



그림 16. 영상 획득 명령 입력

라. 영상이 나오면 그림 17과 같이 ICS 컴퓨터의 xterm창에 cenk [file number]를 입력 해 DS9에서 별의 위치를 찾는다. 포인팅 모델에 사용하는 별은 밝은 별(최대 0등 급~최소 7등급)이므로 영상에서 확인 가능하다.



그림 17. 영상 확인 명령어 입력

마. 만약 cenk를 입력해서 나온 DS9에 별이 보이지 않을 경우 vv명령어를 사용해 DS9 에서 모자이크 영상 전체를 출력하여 별을 찾고 그림 18과 같이 /usr/bin/cenk에서 cenk 명령어의 좌표를 변경해야 한다.

Applications Places System 🔮 🕸 🧱 📓	West Sep 5, 10:39:03 resolt	
root KMTN28: data		
File Eds, View Search Terminal Help		
2/PDIA/CSA		
K strip #B - center mix3 - xpm local -view layout vertical -single -height 640 -width 630 -zoom 1.0 -scale zscale -pow XMTM&*Sargu*.fits -orient xy ussault HESG HOSG physical 603 - zpm local view layout vertical -single -height 640 -width 630 -zoom 1.0 -scale zscale -pow XMTM&*Sargu*.fits -orient xy zshair 8020 2350 physical	-pan to 8856 8656 physical -pan to 8628 7350 physical -	- 57 (7%)
- K strip #8 - quarter #659 xpg local vice layout vertical -single -height 640 width 630 -zoom 1.0 -scale zscale -pow MMTNR*Sargv* fits -prient xy	· par MERCELLENCHICK	25
#Parameter settings # Farameter settings # K strip #B - center #xxc*2555 #zoom*0.5* # K strip #B - quarter #xxc*29164 #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0* #zoom*1.0*	um to fac five physical -crans	10
#-original wy #di5 xpa local view layout vertical tile -height 640 width 630 -zoom 0.032 -scale zscale KMTMerSargv*.fits -orient none KM p*Sargv*.fits -orient xy KMTMt*Sargv*.fits -orient none	D&+Sargy+.fils -orient wy #39	TN

그림 18. cenk 좌표 변경

바. cenk 명령어로 출력된 DS9에서 별의 중심을 마우스로 왼쪽버튼을 클릭하여 십자선 을 위치시켜 키보드로 십자모양을 세부 이동해 그림 19와 같이 별의 중심 pixel 좌 표를 찾는다.



그림 19. 별의 중심 좌표 찾기

사. 그림 20과 같이 cc [X좌표 Y좌표]를 입력해 별을 카메라의 정중앙에 위치시킨다. oo 명령어를 입력했을 때와 마찬가지로 PC-TCS의 ♂ Difference에 offset된 값이 출력된다.



그림 20. 영상의 중앙에 별을 이동

아. 별이 영상의 중심부로 이동을 하면 PC-TCS에서 RA Dec이 빨간색으로 깜빡거리게 되는데 이동이 모두 완료되면 PC-TCS의 RA DEC 글자가 파란색으로 변하게 된다. RA, DEC 글자가 파랗게 변한 후, enter를 눌러 다음 관측대상으로 이동한다. 다음 관측대상으로 이동하면 Current Cell 번호가 바뀌게 되고 Points Collected의 숫자가 하나씩 쌓여가며 전에 관측한 Cell과 HA error, ∂ error 값이 적혀있다. 제일 아래 빨간 박스의 글자가 'Moving to Object'로 나오다가 이동이 완료되면 그림 21과 같이 'Center Object and confirm with <CR>, <BS> to ignore, <ESC> to abort'로 출력된다.

Drifts		+18	0.0000	in December 2	70.0000	9688
Current	Cell:	15	Object	ID: FK5 868	Points Colle	ected: 1
	Last	Cell:	12	HA Error: -71.480 δ Error: 570.803	arcseconds arcseconds	
Cente	er Objec	t and c	onfirm wit	h <cr>, <bs> to igno</bs></cr>	ore, (ESC) to a	abort.

그림 21. PC-TCS FDC utility로 포인팅 데이터 수집 관측

18. 포인팅 모델 관측이 끝나면 FDC utility는 자동으로 종료 되어 그림 22와 같이 PC-TCS의 FDC 메뉴가 떠있는 상태로 화면이 출력된다.

δ	Difference:	+373.9	+184.8
	Bias:	+8.8888	+8.8888
	Guide:	+18.8888	+18,8888
	Drift:	+100.0000	+188.8888
C C C C	coordinate Mode: coordinate File: coordinate Epoch:	FDC Incremental Full Kap Az Range Purge Data	Connand File: Current Connand: AR_p Connand CorParamet
R	aster Spiral	Execute	Utilities Menu port Secondary DefPEC

그림 22. 포인팅 데이터 수집 관측 종료

19. PC-TCS를 정상 종료 한 후, PC-TCS가 설치된 경로(C:\PCTCS\TCSnew)에서 point.dat 파일이 관측한 날짜로 생성되었는지 확인한다.

20. 생성된 point.dat파일은 tpoint에서 인식할 수 있도록 파일 변환을 한다. 파일 변환은 PC-TCS 컴퓨터의 PC-TCS 경로 안의 PC-TCS to tpoint converter를 사용해 그림 23 과 같이 변환한다. Command 창을 띄워 PC-TCS 경로로 이동 후, tcs2tpt 명령어를 사 용해 point.dat 파일을 tp.dat로 변환한다. (C:\PCTCS\TCSnew>tcs2tpt point.dat)

MS-DOS Prompt	Contract of the second	VILLET TOTAL STRATEGY		- 1
Auto •		A		
TCSREPY.BAK TCSWIN2X.0BJ TCSWOR~1.PF UART.0BJ PCTCSC.TP POINTD~1.DAT 194 file Press any key t (continuing C:	TCSSAFE.PF TCSWIN2Y.OBJ TP.DAT URANUS.C POINTD~1.TXT e(s) 6,936, to continue \Tcs\kmtnetleg)	TCSSERVO.C TCSWIND.C TPNEW.TP URANUS.OBJ TPDAT~1.OLD 499 bytes	TCSSERVO.083 TCSWIND.083 UART.C VENUS.C KMTNET~1.DAT	TCSWIN2H.0BJ TCSWIND2.C UART.H VENUS.0BJ KMTNET~2.DAT
2 dir	(s) 73,865	.88 MB free		
C:\Tcs\kmtnetl	eg>tcs2tpt point	.dat		
TCS2TPT PC-1	TCS to Tpoint Co	Version nverter	1.2	
Copyright (c)	1995 COMSOFT.	All Rights Reser	ved.	Later Start
KMTNet Telesco	pe 1 Tucson 10/3	1/2013 - Class E	3	
done - process	ed 53 data point	s - data logged	to TP.DAT	
C:\Tcs\kmtnet]	eg>		off by stock of the	State of the state of the

그림 23. point.dat 파일을 tp.dat로 변환

21. AUX(Auxiliary) Computer에서 PC-TCS computer로 접속해서 그림 24와 같이 tp.dat파 일을 가져온다.

- 가. PC-TCS 컴퓨터에서 wftpd 실행한다. (C:\wftpd\WIN32경로)
- 나. wftpd에서 PC-TCS의 경로를 설정하고, ID와 비밀번호를 설정한다.
- 다. AUX 컴퓨터의 커맨드 창에서 TPoint 경로로 이동한다. (C:\AUX Programs\TPOINT)
- 라. FTP를 실행한다. (C:\AUX Programs\TPOINT>ftp)
- 마. PC-TCS computer에 접속한다. (ftp>open [PC-TCS 컴퓨터의 IP 주소])
- 바. wftpd에서 설정한 User name, Pwd 입력한다.
- 사. FTP의 경로는 PC-TCS computer의 C:\ 이므로 생성한 tp.dat 파일이 있는 경로로 이동한다. (경로: C:\PCTCS\TCSnew)
- 아. tp.dat 파일을 AUX 컴퓨터로 복사한다. (ftp> get tp.dat)
- 자. 추후 파일 버전을 쉽게 알기 위해 tp.dat 파일의 이름을 날짜를 추가해 변경한다. (예: tp20150909.dat)

```
C.WWNDOWSkystem32kcmd.exe-ftp

Microsoft Windows XP [Uersion 5.1.2600]

(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\KMINet_CTIO>ftp

ftp> open 192.168.1.115 21

Connected to 192.168.1.115.

220 WFTPD 2.4 service (by Texas Imperial Software> ready for new user

User (192.168.1.115:(none>): cjohnson

331 Give me your password, please

Password:

230 Logged in successfully

ftp> cd tcs\kmtnetleg

250 "C:/tcs/kmtnetleg" is current directory

ftp> lcd c:\tcsdata

Local directory now C:\tcsdata.

ftp> get tp.dat

200 PORT command okay

150 "C:/tcs/kmtnetleg/tp.dat" file ready to send (3677 bytes) in ASCII mode

226 Transfer finished successfully.

ftp> Soft command okay

159 "C:/tcs/kmtnetleg/point.dat" file ready to send (6912 bytes) in ASCII mode

226 Transfer finished successfully.

ftp: 6912 bytes received in 0.000Seconds 6912000.00Kbytes/sec.

ftp> =
```

그림 24. FTP를 사용해 파일을 이동

22. AUX computer에서 TPoint를 그림 25와 같이 실행한다. (AUX 컴퓨터의 C:\AUX program\TPoint 경로내부의 tpoint.exe를 실행)



그림 25. TPoint 실행

23. Tpoint에서 그림 26과 같이 tp.dat파일을 불러온다. (\* indat tp20150829.dat)

This copy of TPOINT is licensed to KASI for use with the three KMTNet 1.6m telescopes in Chile, South Africa and Australia. Supplied 2012 November 7. There are 70 standard pointing terms. Reading procedures from file procs.dat ... The library now contains 464 lines. Reading star catalog entries from file stars.dat ... The catalog contains 210 stars. TPOINT ready for use: type HELP for assistance, END to quit. \* indat tp20150829.dat

그림 26. TPoint에서 데이터 로딩

24. KMTNet 망원경은 적도의 식 망원경이므로 Equatorial 망원경을 선택한다. (\* call equat) (그림 27)

22	15	13.39	-27	41	11.40	22	15	05.50	-27	33	52.20	22	41.44
18	44	28.42	-08	16	03.40	18	44	20.94	-08	08	58.90	22	44.83
19	37	48.42	-06	59	51.50	19	37	40.38	-06	53	01.80	22	47.23
20	18	34.40	-12	27	42.80	20	18	25.87	-12	20	51.30	22	49.80
20	47	04.31	-25	12	47.50	20	46	55.62	-25	05	42.80	22	52.56
21	52	20.03	-23	11	46.10	21	52	12.05	-23	04	41.00	22	55.31
22	15	13.63	-27	41	11.80	22	15	05.71	-27	33	57.80	22	57.57
18	29	02.93	-25	25	06.10	18	28	54.26	-25	17	39.30	23	01.04
19	10	47.05	-21	00	07.50	19	10	41.31	-20	52	56.70	23	04.49
20	03	41.37	-27	39	56.80	20	03	32.59	-27	32	47.80	23	07.06
20	52	48.54	-26	51	32.40	20	52	40.09	-26	44	27.10	23	09.40
19	23	52.14	-44	25	40.70	19	23	39.77	-44	18	04.50	23	21.10
20	20	08.39	-47	39	27.10	20	19	56.48	-47	31	54.80	23	23.81
21	21	48.96	-40	44	19.00	21	21	39.64	-40	36	57.70	23	26.27
21	54	55.15	-37	17	12.40	21	54	46.59	-37	09	56.90	23	28.59
23	04	23.13	-34	39	38.40	23	04	15.62	-34	32	09.20	23	31.10
19	49	25.40	-56	19	12.50	19	49	07.32	-56	11	19.20	23	34.32
20	45	16.45	-51	51	32.50	20	45	03.07	-51	43	50.60	23	36.73
21	49	20.06	-47	13	33.20	21	49	09.62	-47	06	02.30	23	39.75
22	29	36.45	-39	02	51.20	22	29	27.84	-38	55	29.30	23	42.57
23	19	41.45	-32	26	35.20	23	19	33.74	-32	19	10.80	23	45.13
20	02	38.60	-72	51	35.40	20	01	59.78	-72	43	19.50	23	49.26
21	52	13.13	-69	32	37.70	21	51	51.42	-69	24	39.20	23	52.38
22	49	32.37	-51	13	34.90	22	49	22.83	-51	06	02.40	23	54.86
23	35	56.33	-42	31	21.00	23	35	48.44	-42	23	48.50	23	58.21
23	41	28.60	-31	58	59.50	23	41	20.86	-31	51	37.70	00	00.86
EN	D												
Re,	ject	ted obse	ervat	tior	n count =	1.							
*	a1	l equat											
×													

그림 27. TPoint에서 적도의식 망원경 정보 입력

25. 그림 28과 같이 change값이 모두 0이 될 때까지 \* fit 을 입력한다.

1 10				
	coeff	change	value	sigma
1	IH	-0.000	+72.25	34.945
2	ID	-0.000	-487.17	10.589
3	NP	+0.000	-65.40	19.208
4	CH	+0.000	-216.53	35.658
5	ME	+0.000	+48.50	11.437
6	MA	-0.000	+34.85	7.210
Sky R	MS = 29.8	5		
Popn	SD = 31.0	4		
Obser	vation #76	is a possil	ble outlier	r candidate.
×				

그림 28. 마운트 모델링



26. \* call e9 를 입력하여 6가지 geometrical term과 3가지 flexure를 출력한다. (그림 29)

- 가. FAUTO 명령어를 입력하면 위에 나온 결과 6가지의 term이 아닌 여러 가지 term을 사용해 최적의 파라미터를 계산한다. 하지만 이 경우, PC-TCS에서 인식하지 못하는 term을 사용해 fitting을 하므로 포인트 모델 파라미터를 PC-TCS에 적용하려면 FAUTO 명령어를 사용하지 말고 PC-TCS에서 인식을 할 수 있는 term을 사용해 fitting 한다.
- 나. PC-TCS에서 사용할 수 있는 term을 추가해 파라미터를 구할 경우 (예를 들어 PDD, PHH term을 추가하는 경우) <\*use pdd phh>를 입력하고 새로 fit을 한다. 또 한 사용하지 않을 term을 빼주고 싶다면(예를 들어 CH) <\*lose CH>를 입력하고 새 로 fit을 한다. (그림 30)

그림 29. 마운트 모델링 후 그래프 출력



그림 30. PDD와 PHH term을 추가해 획득한 마운트 모델

27. 오차가 큰 데이터를 삭제한다. 모델 fit을 할 때 outlier candidate가 나오는 오차가 큰 데이터 번호를 삭제한다. (\*mask [삭제할 관측 데이터 number]) (그림 31)



그림 31. 오차가 큰 데이터 마스킹

28. \* outmod result\_[관측날짜].dat 를 입력하여 파라미터 출력 값을 result\_[관측날짜].dat 파일명으로 저장한다.

fit	•				
	coef	f	change	value	sigma
1	IH		-5.081	+53.18	10.207
2	ID		-1.657	-472.91	3.579
3	NP		+0.973	-62.28	4.845
4	CH		+4.931	-200.96	10.247
5	ME		+1.145	+67.46	3.711
6	MA		-0.482	+35.56	1.779
7	PDD		-2.282	+66.75	2.220
8	PHH		+0.408	+27.66	2.424
Sky RM	IS =	7.00			
Popn S	:D =	7.40			
Observ	ation	<b>#71 i</b> s	s an outl	ier candid	ate.

그림 32. 획득한 마운트 모델 파라미터 저장

- 가. 그래프의 저장(컬러) gc p [file name.eps]을 입력하면 컬러 그래프가 저장된다.
- 나. 그래프의 저장(흑백) gc b [file name.eps]을 입력하면 흑백 그래프가 저장된다. (그림 33)

	coeff		change	value	sigma
1	IH		+0.000	+53.18	10.207
2	ID		+0.000	-472.91	3.579
3	NP		-0.000	-62.28	4.845
4	CH		-0.000	-200.96	10.247
5	ME		-0.000	+67.46	3.711
6	MA		-0.000	+35.56	1.779
7	PDD		-0.000	+66.75	2.220
8	РНН		-0.000	+27.66	2.424
Sky RM	S =	7.00			
Popn S	D =	7.40			
Observ	ation	<b>#71</b> is	an outl:	ier candida	ate.
*.e9 *gcb	test.	eps			

그림 33. 획득한 파라미터의 그래프 저장

29. 저장한 포인팅 모델 파라미터를 PC-TCS에 적용하기 위하여 FTP를 사용해 PC-TCS computer상의 PC-TCS가 설치된 경로에 그림 34와 같이 복사한다.(ftp> put 파일명)



그림 34. FTP를 사용한 마운트 모델 결과 파일 전송

- 30. PC-TCS computer에서 사용하는 PC-TCS 경로로 이동해 복사해 넣은 파일의 사본을 만든다.
  - 가. 사본을 만드는 방법은 Ctrl+C, Ctrl+V를 하면 Copy\_result날짜.dat로 새로운 파일이 생성된다.
  - 나. 기존에 사용하던 pctcsd.tp파일(만약 pctcsd.tp파일이 없다면 pctcsb.tp 혹은 pctcsc.tp 파일)의 이름을 [pctcsd파일생성날짜.tp.old]로 변경해 기존 버전을 백업한다.
  - 다. A와 B의 과정이 완료되면 그림 35와 같이 사본 파일의 이름을 pctcsX.tp로 바꾼다. 파일이름의 X의 자리에는 class를 의미하는 알파벳, b, c, 혹은 d를 넣어줄 수 있다. 이때, 파일이름은 전부다 소문자로 입력한다. 예를 들어 pctcsd.tp로 저장을 하였으

면 PC-TCS에서 flexclass를 설정할 때, 반드시 class D로 설정해야 한다. 만약 예전 에 사용하던 pctcsd.tp파일이 있는 경우는 기존 파일 이름을 pctcsd기존설정날 짜.tp.old로 변경하여 backup한다.

Name	Size	Туре
petesd.tp	1KB	TP File
kmtnet20131030.dat	1KB	DAT File
Tp.dat	4KB	DAT File
tcs.pf	2KB	PF File
Point.dat	7KB	DAT File
kmtnet20131029t.dat	1KB	DAT File

그림 35. PC-TCS에 적용하기 위한 파일 이름 변경

31. PC-TCS를 실행시키고 Author mode로 전환하여 Parameter - Global - Flexclass에서 flexclass를 파일이름에서 설정한 class로 설정한다. (그림 36)

Node:	Kel	jboard		Connar
File			Flexclas	Current C
Epoch:	TO	D	class A class B	Connand
A		-G1	class C	rations Menu
COSINE	0	Linits	≥class D	Paths Se

그림 36. Flexclass 설정

32. Parameter-Input-Corrections 메뉴에서 Flexure를 enable한다. (그림 37)



그림 37. Flexure correction 활성화

33. Rates 메뉴에서 Flexure를 enable 시켜준다. Tracking에서 flexure가 활성화 되면 tracking을 켰을 때, 그림 38과 같은 'TRACK+f' 메시지를 확인할 수 있다.

			DEC	
TEMP: 8		ABS RDY ABS		89.5
Epoch: J2000.0	22:18:06.78	TRACK+f	-31:18:18.0	-89.8
	22:17:19.04	SLEW PERMIT	-31:10:55.3	+90.2

그림 38. Flexure 보정이 되는 추적 모드

34. Parameter - Global - Display 메뉴에서 Flexure를 enable한다. (그림 39)

Reference: Offset Vect	tor:		
[Display-	ur.	1	-0.5
ePoch »Aberration »Refraction »Flexure	Ctrl E	+0. +10. 100.	0000 0000 0000
diff Sec		boar	ł
rise/set	F4		MPNA
»Errors Screen Saver	13	Linit	Global s Fle

그림 39. Display에서 Flexure 활성화

35. PC-TCS 메인 화면에서 Epoch 왼쪽 편에 F라는 알파벳이 보이면 Flexure가 활성화 완료된 것이다. 아래 그림 40에서 보이는 ARF는 Aberration, Refraction, 그리고 Flexure 항목이 모두 활성화 된 것이다.

09/09/2015 2457275.05	UTC 13	3:12:07 22:21:26 isabled		+00:02:33.3 Tube HES1	
ACCESS: AUTIMIN TEMP: 0		ABS RDY AB	DEC		89.5
ARF ) ach: J2000.0	22:18:06.78	TRACK+f	-31:18:18.0		-89.8 1.00
Connanded :	22:17:19.04	SLEW PERMIT	-31:10:55.3		+90.2

그림 40. 마운트 모델 적용 완료

#### 표 9. 마운트 모델 획득에 사용되는 명령어 기능 및 예제

명령어	인자	입력창	기능	예제
vv	파일번호	xterm	RAW 영상을 모자이크 영상으로 재구성하여 DS9으로 출력	vv 01234
00		IC 컴퓨터 pctcs	모자이크 카메라의 중심부에 위치 한 별을 영상에 찍힐 수 있도록 망원경을 일정량 offset	00
cenk	파일번호	xterm	oo 명령어로 망원경을 offset 시 킨 후 마운트 모델 관측에 사용할 별이 위치한 일정 부분만 DS9으 로 출력	cenk 01234
сс	X, Y 좌표	IC컴퓨터 pctcs	카메라의 중심에 별이 위치할 수 있도록 망원경 이동	сс 8688 7228
indat	파일이름	TPoint	마운트 모델 계산을 위해 관측 데 이터 로딩	indat 160401.dat
fit		TPoint	마운트 모델 계산	fit
call		TPoint	마운트 모델 계산 후 그래프 출력	call e9
use	파라미터	TPoint	마운트 모델에 파라미터 적용	use pdd
mask	데이터번호	TPoint	오차가 큰 데이터 삭제	mask 1
outmod	파일이름	TPoint	마운트 모델 파라미터 저장	outmod result.dat
gc	파일이름	TPoint	모델링 그래프를 저장	gc -b 160401.eps