



Korea Astronomy and Space Science Institute

기술노트 No. 14-003-124

KVN+VERA VLBI 관측자료 분석 매뉴얼

이상성, 오충식, 정태현

776, Daedeokdae-ro, Yuseong, Daejeon, 305-348, Korea

문서이력

v1.0: 2014.07.10. 기술노트 인쇄본

v1.1: 2014.07.10.~ 오타수정

요약

제 목	국문	KVN+VERA VLBI 관측자료 처리 매뉴얼		
	영문	Data Reduction Manual for KVN+VERA VLBI Observation		
관련과제명	한국우주전파관측망 운영 (2014172001)			
저 자 명				
작성일자	2014년 3월 27일	KMS 공개	공개(O), 비공개()	
기술분류1	기술노트	기술분류2	YC2	
Keyword	KVN, VERA, VLBI, AIPS, DIFMAP, Data Reduction			
초록	한국우주전파관측망(Korean VLBI Network : 이하 KVN)은 동아시아 지역 최초 mm-VLBI (Very Long Baseline Interferometer) 전용 관측 시설이다. KVN은 서울, 울산, 제주도에 위치한 21m 전파망원경 3기로 이루어졌다. 또한, VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry)은 일본국립천문대에서 운영하는 VLBI 전용 관측 시설이다. 4기의 20m 전파망원경이 일본 전역에 걸쳐 위치하고 있다. 이 문서는 KVN과 VERA를 연계한 KVN+VERA 네트워크를 이용한 VLBI 연구관측의 결과를 원활하게 분석하기 위한 KVN+VERA 관측자료 분석 매뉴얼이다. AIPS (Astronomical Imaging Processing System)를 이용한 연속전파원 관측자료 분석 방법을 소개하였고, DIFMAP을 이용한 연속전파원 이미징 분석에 대해 기술하였으며, AIPS를 이용한 메이저원 관측자료 분석을 살펴보았다. 부록으로 AIPS와 DIFMAP 소프트웨어를 설치하는 매뉴얼을 추가하였다.			

목차

1. 서론	1
2. AIPS를 이용한 연속전파원 관측자료 분석 매뉴얼	2
2.1 AIPS 상세 매뉴얼의 예	2
2.2 AIPS의 간단한 소개	2
2.3 AIPS의 TASK, VERB, ADVERB	3
2.4 AIPS의 extension tables	6
2.5 AIPS를 이용한 자료분석 준비	6
2.6 FITS 데이터 로딩 (loading)	7
2.7 FITS 데이터 검사	13
2.8 FITS 데이터 Calibration	19
2.9 FITS 데이터 천체별 분할 및 저장	30
3. DIFMAP을 이용한 연속전파원 이미징 매뉴얼	31
3.1 DIFMAP 시작 및 종료	31
3.2 UV 데이터 검사 및 정리	32
3.3 CLEAN 과 Self-calibration	39
4. AIPS를 이용한 메이저원 관측자료 처리 매뉴얼	45
4.1 데이터 분석의 흐름	45
4.2 Global fringe fitting (Calibrator)	46
4.3 Fringe fitting (maser)	47
4.4 CVEL (도플러효과 보정)	49
4.5 SPLIT	50
4.6 IMAGR	51
참고문헌	55
부록1. AIPS 빠른 설치방법	56
부록2. DIFMAP 빠른 설치방법	60
부록3. 메이저원 관측자료처리 파라미터	63

표 차례

표 1 AIPS의 대표적인 TASK, VERB, ADVERB 들	5
표 2 AIPS의 대표적인 extension table들	6

그림 차례

그림 1 AIPS를 이용한 연속 전파 자료분석 흐름도	7
그림 2 UCAT으로 확인한 로딩된 카탈로그 (R11330C.UVDATA.1)	8
그림 3 IMHEADER로 확인한 카탈로그 헤더정보	9
그림 4 INDXR로 생성한 CL1 및 NX1	10
그림 5 UCAT으로 확인한 MOSRT 결과 카탈로그 (R11330C.MSORT.1)	10
그림 6 IMHEADER로 확인한 MSORT 결과 카탈로그의 헤더정보	11
그림 7 ZAP으로 디스크에서 삭제된 원본 카탈로그 (R11330C.UVDATA.1)	12
그림 8 VLBASUMM으로 확인한 안테나 정보	14
그림 9 VLBASUMM으로 확인한 스캔 정보	15
그림 10 POSSM으로 확인한 Cross-power spectrum (CL1). 각 패널은 각 기선을 표시 하고, 각 패널의 왼쪽부터 IF1, IF2 스펙트럼(위상-위, 진폭-아래)을 보여줌.	17
그림 11 SNPLT로 확인한 첫 번째 Calibration table (CL)의 amplitude 정보. KVN 3기의 IF1,2에 대해 보시됨.	18
그림 12 IMHEADER로 확인한 ACCOR의 결과 (첫 번째 Solution table, SN1)	19
그림 13 SNPLT로 확인한 ACCOR의 결과 (SN1의 Gain 보정량)	19
그림 14 IMHEADER로 확인한 두 번째 Calibration table (CL2)	20
그림 15 POSSM으로 확인한 ACCOR의 결과 (CLCAL로 SN1을 CL1에 적용하여 생성 한 CL2)	20
그림 16 IMHEADER로 확인한 두 번째 Solution table (SN2)	21
그림 17 FRING 완료 후 메시지 창에 나타나는 Good Solution과 Failed Solution의 통 계.	22
그림 18 SNPLT로 확인한 FRING의 결과인 두 번째 Solution table (SN2)의 내용 중 Signal-to-Noise ratio (SNR)의 시간에 따른 분포. KVN 3기의 IF1,2의 경우를 보여 줌. KVNULSAN은 FRING의 기준 안테나로 사용되어 SNR=6을 보임.	22
그림 19 SNPLT로 확인한 FRING의 결과인 두 번째 Solution table (SN2)의 내용 중 Delay (단위: Nano Second)의 시간에 따른 분포. KVN 3기의 IF1,2의 경우를 보여 줌. KVNULSAN은 FRING의 기준 안테나로 사용되어 Delay=0 을 보임.	22
그림 20 SNPLT로 확인한 FRING의 결과인 두 번째 Solution table (SN2)의 내용 중 Rate (단위: mHz)의 시간에 따른 분포. KVN 3기의 IF1,2의 경우를 보여줌. KVNULSAN은 FRING의 기준 안테나로 사용되어 Rate=0 을 보임.	23
그림 21 IMHEADER로 확인한 세 번째 Calibration table	24
그림 22 POSSM으로 확인한 FRING의 결과 스펙트럼. (CLCAL로 SN2을 CL2에 적용하 여 생성한 CL3)	24
그림 23 IMHEADER로 확인한 첫 번째 Tsys table 및 Gain curve table.	25
그림 24 ANTAB 형식으로 편집된 KVN 탐라 안테나(KT)의 Gain 및 Tsys 예. 이때 안테	

나 이름 (KT)이 VLBASUMM으로 확인한 안테나 이름과 일치해야함.	26
그림 25 SNPLT로 확인한 ANTAB의 결과, 첫 번째 Tsys table (TY!)	26
그림 26 IMHEADER로 확인한 세 번째 Solution table (SN3)	26
그림 27 IMHEADER로 확인한 네 번째 Calibration table (CL4)	27
그림 28 POSSM으로 확인한 APCAL의 결과 스펙트럼. (CLCAL로 SN3을 CL3에 적용하 여 생성한 CL4)	27
그림 29 IMHEADER로 확인한 첫 번째 BandPass table (BP1)	28
그림 30 POSSM으로 확인한 BPASS의 결과, BP1	29
그림 31 UCAT으로 확인한 SPLIT의 결과 카탈로그들 (3-6번)	30
그림 32 OBSERVE와 SELECT를 이용하여 UV 데이터 로딩 및 STOKES 선택	32
그림 33 HEADER로 확인한 UV 데이터의 헤더정보	33
그림 34 VPLOT으로 확인한 Visibility amplitude의 시간에 따른 분포. 각 패널은 MIZNAO20 안테나가 포함된 기선의 Visibility amplitude로서, 330일 20시45분부터 55 분까지 분포를 보여줌.	34
그림 35 RADPLOT을 이용하여 확인한 visibility amptiude와 phase의 uv-radius 에 따른 분포. uv-radius의 단위는 파장의 10^6 배.	35
그림 36 RADPLOT을 이용하여 확인한 UVAVE (30초 평균)의 결과 visibility amptiude와 phase의 uv-radius 에 따른 분포. uv-radius의 단위는 파장의 10^6 배.	36
그림 37 MAPPLOT을 이용하여 확인한 Dirty map. 좌표는 상대적인 좌표(mas). 최대값 은 1.17Jy/beam.	37
그림 38 MAPPLOT을 이용하여 확인한 Dirty beam. 좌표는 상대적인 좌표(mas).	38
그림 39 STARTMOD를 이용한 초기모델 위상자가보정 결과. 1Jy 밝기의 점광원을 이 용한 위상자가보정을 통해 rms가 향상됨을 확인함.	39
그림 40 CLEAN의 결과	39
그림 41 RADPLOT로 확인한 CLEAN 모델(적색)과 visibility amplitude (연두색)	40
그림 42 초기 CLEAN의 결과 얻어진 CLEAN 모델과 Residual map.	41
그림 43 CLEAN을 통해 얻어진 CLEAN모델과 Clean map	41
그림 44 CLEAN의 모델을 이용한 위상자가보정의 결과.	42
그림 45 위상 자가보정을 통해 얻어진 최종적 CLEAN map	43
그림 46 위상자가보정을 통해 얻은 최종적 Residual map	44
그림 47 global fringe fitting후 3C345의 delay 양상	47
그림 48 fringe fitting후의 메이저천체 SGRB2M의 SNR	48
그림 49 도플러효과 보정전(좌)과 후(우)의 스펙트럼 변화	50
그림 50 단일채널(peak-256ch) 이미징 후의 메이저스팟의 위치	52
그림 51 복수채널 이미징의 예, 261-290채널을 동시에 이미징한 결과	53
그림 52 확대하여 261-290채널만 나타낸 스펙트럼	53
그림 53 메이저 스팟들의 2차원 분포 맵	54

약어 및 기호 정의

AIPS	NRAO Astronomical Image Processing System
DAS	Data Acquisition System
FITS	Flexible Image Transport System
KVN	Korean VLBI Network
MEM	Maximum Entropy Methods
VERA	VLBI Exploration of Radio Astrometry
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

1. 서론

한국우주전파관측망(Korean VLBI Network : 이하 KVN)은 동아시아 지역 최초 mm-VLBI (Very Long Baseline Interferometer) 전용 관측시설이다. KVN의 핵심연구 분야는 물분자 메이저원, 메탄올 메이저원, 일산화규소 메이저원 관측을 통한 우리은하 내 별의 생성과 진화연구, 초정밀 측성학 관측을 통한 우리은하의 구조 및 운동역학 연구, 그리고 활동성은하핵 (AGN: Active Galactic Nuclei)의 진화연구 등이다. 또한 VLBI 전용 관측시설로서, 체계적인 다주파수 동시관측 모니터링 관측을 통해, 폭발하는 별탄생 영역, IDV (Intraday variable sources), 감마선 폭발 AGN 등의 격변 천체들의 분광특성 및 변광특성을 연구할 수 있다.

KVN은 서울, 울산, 제주도에 위치한 21m 전파망원경 3기로 이루어졌다. 서울 연세대학교 내의 KVN연세전파망원경 (KVNYS), 울산 울산대학교의 KVN울산전파망원경 (KVNUS), 제주도 탐라대학교의 KVN탐라전파망원경 (KVNTN)은 길이 305-476km의 기선 3개를 형성한다. 모든 망원경은 동일한 규격으로 건설되었으며, 안테나의 표면 정밀도는 0.12mm로서 관측 주파수 150GHz까지 관측이 가능하다. KVN은 22, 43, 86, 129GHz에서 동시관측이 가능한 준광학계를 보유하고 있다 (Han, Lee, Kang et al., 2013). 22/43GHz 단일경 시험관측 결과로 두 주파수대역의 빔정렬도는 5' 이내이며, 포인팅 정밀도는 3' 이내, 구경효율은 64%(22GHz), 62%(43GHz), 50%(86GHz), 40%(129GHz) 이다 (Lee, Byun, Oh et al., 2011). KVN 단일경으로 관측된 신호는 KVN DAS (Data Acquisition System)에 의해 디지털화되어 단일경 분광관측에 사용된다. VLBI 관측 모드에서는 DAS에 의해 디지털화된 관측신호는 Mark5B 기록 시스템을 통해 하드디스크에 기록된다. 이때 기록속도는 1024Mbps이며, 256MHz 대역폭의 신호를 하나의 밴드 또는 여러 밴드로 나누어 기록할 수 있다 (Lee, Petrov, Byun et al. 2014).

KVN을 이용한 VLBI 연구관측이 시작되어 연구결과 (Petrov, Lee, Kim et al., 2012)를 생산하는 시점에서 더 많은 사용자들이 KVN을 이용하여 원활하게 관측연구를 수행할 수 있게 하기 위해 KVN을 이용한 관측자료 분석 매뉴얼이 필요로 요구된다.

한편, VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry)는 일본국립천문대에서 건설한 VLBI 전용 관측시설로서 우리은하의 3차원 지도 작성을 핵심연구목표로 한다 (Honma, Oyama, Hachisuka et al., 2000). VERA는 우리은하 내의 물분자 메이저원과 일산화규소 메이저원을 관측하여 정밀도 10 micro-arcsec의 연주시차 및 특이운동을 측정할 수 있다. 우리은하 내 약 천여개의 메이저원을 관측함으로써 우리은하 원반 및 중심 bulge의 3차원 지도를 완성하여 bulge 및 나선 팔의 형태, 회전곡선, 암흑물질의 분포 등을 연구할 수 있다. VERA는 20미터 전파망원경 4기로 이루어졌으며, 기선길이는 1000-2300km의 범위에 있다.

VERA에 설치된 이중빔 시스템은 2.3도 이내 떨어져 있는 두 천체의 동시 관측을 가능하게 한다. 이를 통해 우리은하 메이저원과 외부은하 전파원을 동시에 관측하여 상대적인 측성학관측이 가능하다. 두 천체의 동시관측은 두 천체 사이를 빠르게 오가면 관측하

는 방법 (Fast Position Switching)에 비해 더 효율적인 관측방법으로, 대기에 의한 위상변화를 더 효과적으로 보정할 수 있다. 대기의에 의한 위상변화는 22GHz 이상의 주파수 대역에서 VLBI 측성학관측의 주요 오차요인이 된다.

KVN과 VERA를 연계한 KVN+VERA 네트워크를 이용한 VLBI 시험관측이 수행되었고, 각 분야의 연구그룹에서 성능확인 시험관측들이 진행되고 있다. 또한 각 연구그룹에서 본격적인 연구결과를 발표하고 있다. 많은 국내사용자들이, 본격적으로 시작되는 KVN 및 KVN+VERA 연구관측의 결과를 원활하게 분석하기 위해 KVN+VERA 관측 자료 분석 매뉴얼이 필요하며, 이 매뉴얼은 KVN을 운영하는 우리 연구원에서 국내 사용자를 위해 출판, 보존, 배포해야할 필요가 있다.

2절에서는 AIPS를 이용한 연속전파원 관측자료 분석을 소개하고, 3절에서는 DIFMAP을 이용한 연속전파원 이미징 분석을 언급하며, 4절은 AIPS를 이용한 메이저원 관측자료 분석을 살펴본다. 그리고 부록에서는 본 매뉴얼에 사용된 VLBI 자료처리 소프트웨어인 AIPS와 Difmap의 설치 방법을 소개하였다.

2. AIPS를 이용한 연속전파원 관측자료 처리 매뉴얼

KVN 및 KVN+VERA를 이용한 연속전파원 관측자료의 기본적인 분석방법을 리눅스 운영체제에 AIPS 프로그램의 설치(부록1 참조)를 가정하여 기술한다. 제2절에서는 AIPS에 대한 간단한 소개와 기본적인 AIPS 이용법을 기술하고, KVN 및 KVN+VERA를 이용한 관측 자료 분석의 기본 명령어와 그 사용법, 그리고 특별한 주의 사항 등을 기술한다.

2.1 AIPS 상세 매뉴얼의 예

미국 국립전파천문대 (National Radio Astronomical Observatory: 이하 NRAO)에서 개발한 NRAO Astronomical Image Processing System (이하 AIPS)는 천문관측자료처리 소프트웨어로서 주로 전파관측자료 처리에 널리 사용된다. 사용자들은 본 매뉴얼과 함께 NRAO에서 정리한 AIPS 상세 매뉴얼¹⁾과 AIPS 사용에 도움이 되는 학습서들²⁾을 참고할 수 있다. 본 매뉴얼은 여러 가지 경우에 대해 안내해 둔 상세 매뉴얼에서 KVN 및 KVN+VERA 관측자료 분석에 특화된 부분을 강조하여 정리되었다.

2.2 AIPS의 간단한 소개

1)AIPS cook book: <http://www.aips.nrao.edu/cook.html>

2)AIPS 학습서: http://milkyway.sci.kagoshima-u.ac.jp/~imai/aips_practice.pdf,
http://www-astro.physics.ox.ac.uk/~hrk/AIPS_TUTORIAL/HRK_AIPS_1.html, <http://vsop.mtk.nao.ac.jp/RAWS2007/>

AIPS는 전파간접계 관측자료를 상호대화형 (interactive)으로 분석 및 편집할 수 있다. 관측자료를 이용해서 얻어진 이미징결과를 푸리에 합병 방법 (Fourier synthesis methods)을 이용하여 보정(calibration), 자료합병(construction), 처리결과확인(display), 분석할 수 있다. 구체적으로, VLA 나 VLBI 관측자료의 자기보정(self-calibration) 과 이미지(imaging), CLEAN 이나 MEM (Maximum Entropy Methods)을 이용한 점광원의 분리 (deconvolution), 관측영상 간의 비교, 분할, 및 parameter 분석이 가능하다. 특히 자료처리 결과를 확인할 수 있는 “TV” 화면을 통해 여러형태의 결과를 확인할 수 있는 상호대화형 분석 프로그램이다.

AIPS는 총 467개의 독립적인 응용프로그램으로 이루어져 있는데, 이 응용프로그램을 “TASK” 라고 부른다. 각 사용자들이 분석 시 사용한 TASK와 각 TASK의 parameter들은 “history” 로 기록되어 관측자료 머리말에 보존된다. 자료처리가 끝난 결과는 IAU 표준 자료형식인 FITS 형식으로 기록되는데, 이때 history 등의 머리말이 포함된다. 각 TASK 를 포함한 실행 명령들에 대한 사용법은 “help” 및 “explain” 명령을 이용하여 수시로 안내 받을 수 있다.

2.3 AIPS의 기본 명령어들 (TASK, VERB, ADVERB)

TASK는 AIPS의 응용프로그램 467개의 총칭이며, VERB는 AIPS의 명령어들의 총칭이고, ADVERB는 TASK와 VERB에서 사용되는 input 파라미터들이다. 본 절의 설명은 사용자가 부록1을 바탕으로 리눅스 운영체제에 AIPS를 설치했다는 가정하에 기술하였다.

AIPS 프로그램이 설치된 리눅스 운영체제에서 AIPS를 다음과 같이 시작한다.

```
localhost>aips
```

그리고 3개의 창이 생성되는 것을 확인할 수 있다. 이들은 AIPS_TV, AIPS_MSGRV, AIPS_TEKSRV 이며, 이 중 AIPS_TV와 AIPS_MSGRV는 자료분석과정에서 꼭 필요한 창들이다. 이에 대한 설명은 AIPS 공식 매뉴얼을 참조한다.

TASK는 AIPS에 포함된 응용프로그램들의 총칭으로 aips의 터미널에서 실행 방법은 아래와 같다.

```
> task “TASK명” (예, task “FITLD” )
> go
```

VERB는 AIPS 명령어로서 실행시 아래와 같이 verb 명만 입력한다.

```
> VERB명 (예, task, infile 등)
```

ADVERB는 TASK나 VERB에서 사용하는 parameter로서 사용자가 직접 입력한다. 따라

서 각 사용자는 TASK나 VERB 별로 ADVERB가 의미하는 바를 숙지해야 한다. 입력한 ADVERB의 내용을 확인하는 방법은 아래와 같다.

>inputs 또는 inp

각 TASK에서 이전에 사용된 ADVERB는 아래와 같이 저장될 수 있다.

>tput TASK명

TASK를 실행할 때 사용한 ADVERB는 아래와 같이 불러올 수 있다.

>tget TASK명

실행중인 TASK는 아래와 같이 종료할 수 있다.

>abort

TASK나 VERB의 자세한 설명은 아래 방법 중 하나를 사용하여 볼 수 있다.

>help “TASK 명” (예, help “fitld”)

>explain “TASK 명” (예, explain “clcal”)

모든 TASK나 VERB는 각 이름의 첫 세글자 이상을 입력하면 인식된다. 표1은 AIPS에서 사용되는 대표적인 TASK와 VERB를 보여준다.

표 1. AIPS의 대표적인 TASK, VERB, ADVERB 들

이름	설명
abort	실행 중인 task 종료
altdef	header에 속도정보를 정의
altswtch	header에서 속도와 주파수 사이의 변환
celgal	header에서 celestial 좌표와 galactic 좌표 사이의 변환
clormsg	AIPS에서 사용하는 메모리에서 메시지 초기화
clname	첫 번째 input 파일 이름 정보 초기화 (indisk, inname, inclass, inseq)
clrstat	AIPS 파일의 status flag 초기화
extdest	AIPS 파일의 extention table 삭제
explain	task 나 verb에 대한 설명을 Help 보다 더 자세히 보여줌
freespac	disk 용량 정보
get	task/adverb 조합 저장
gethead	header 정보에서 parameter 정보 획득
getn	AIPS 카탈로그 번호를 입력하여 AIPS 파일 선택 (indisk, inname, inclass, inseq)
geto	AIPS 카탈로그 번호를 입력하여 AIPS 파일 선택 (outdisk, outname, outclass, outseq)
go	task 실행
help	task 나 verb에 대한 설명을 보여줌
ehex	현재 AIPS ID를 16진수로 표시
imheader	AIPS 파일의 header 를 보여줌
imstat	선택된 상자안의 통계치를 보여줌
inputs	선택된 task에 설정된 adverb 목록을 보여줌
mcats	Image AIPS 파일 목록 나열
pcats	모든 AIPS 파일 목록 나열
prthi	histroy 인쇄 (프린터, 화면, 파일 중 선택)
prtmsg	메모리에 저장된 메시지 인쇄 (프린터, 화면, 파일 중 선택)
put	task나 adverb 의 조합을 불러옴
puthead	parameter를 header에 저장
rename	AIPS 파일의 이름 재설정
restore	task/adverb를 초기화함
run	run 파일을 읽음
spy	현재 실행 중인 task 현황
task	task를 불러옴
tval	tv 서버에 이미지를 보여줌
tvbox	tv 서버에 상
tvclear	tv 서버 삭제
tvlabel	tv 서버에 라벨 부여
tvinit	tv 서버 초기화
tvmovie	tv 서버에 이미지 큐브 보이기
ucat	uv AIPS 파일 목록 보이기
wait	진행 중인 task가 끝날 때까지 대기
zap	AIPS 파일 삭제

2.4 AIPS의 extension tables

AIPS 파일은 여러 관측 정보 및 자료처리 정보를 extension table 에 포함하고 있다. 각 TASK 나 ADVERB 등을 수행한 결과들이 기록되기도 한다. 표2는 대표적인 extension table을 나열하고 있다.

표 2. AIPS의 대표적인 extension table들

이름	설명
NX	관측 스캔, 관측 천체, 주파수 설정 - INDXR로 생성됨
AN	안테나 정보 (좌표, 마운트 등) - PRTAB로 확인
CL	complex gain factor, delay 와 delay rate - SNPLT, CLPLT로 확인
SN	calibration 정보 (amplitude, phase, delay, rate) - SNPLT, TBOUT 확인
BP	bandpass 특성 - POSSM으로 확인
TY	안테나의 Tsys - SNPLT로 확인
GC	안테나 gain - SNPLT로 확인
PL	plot 파일 정보 - LWPLA, TKPL로 인쇄
HI	history 정보 - PRTHI 로 확인
CC	CLEAN components - PRTCC로 확인
SU	관측 천체 정보
FQ	주파수 설정 정보

2.5 AIPS를 이용한 자료분석 준비

AIPS를 이용한 자료분석을 하기 전 다음과 같은 사항을 준비 및 확인한다.

1) FITS 파일 (Visibility 데이터; 상관처리 결과)

상관처리가 완료된 데이터 (visibility) 는 FITS (Flexibility Image Transport System) 형식으로 제공된다. 개별 관측이 여러 FITS 파일로 나뉘어진 경우도 있는데, 이 경우 FITS 파일을 합쳐야한다. FITS 파일이 시간 순으로 나뉘어져 있을 경우 DBCON, FITLD (concat=+1) 등의 AIPS task를 이용하고, 주파수 대역으로 나뉘어져 있을 경우 VBGLU를 이용하여 FITS 파일을 합쳐서 AIPS 카탈로그로 로딩한다.

2) 안테나 이득 (GC), 시스템 잡음 온도 (TY)

VLBI 관측자료의 amplitude calibration은 대부분 안테나의 gain과 gain의 고도별 변화인 gain curve (GC table) 및 관측 중 측정하는 시스템 잡음온도 Tsys (TY table)를 이용한다. 또한 대기의 불투명도 (opacity)를 보정하는데, 이는 관측 전후 또는 관측 중 Sky Dip 관측을 통해 측정할 수 있다. KVN과 VERA는 이 대기 불투명도가 보정된 Tsys*를 제공한다. AIPS에서 GC 및 TY 테이블을 만들기 위해서 ANTAB, TBIN을 사용할 수 있다. KVN에서는 ANTAB 형식의 GC/TY 정보를 제공한다. 반면 VERA에서는 FITS 파일에

TY/GC 테이블을 첨부하여 제공한다.

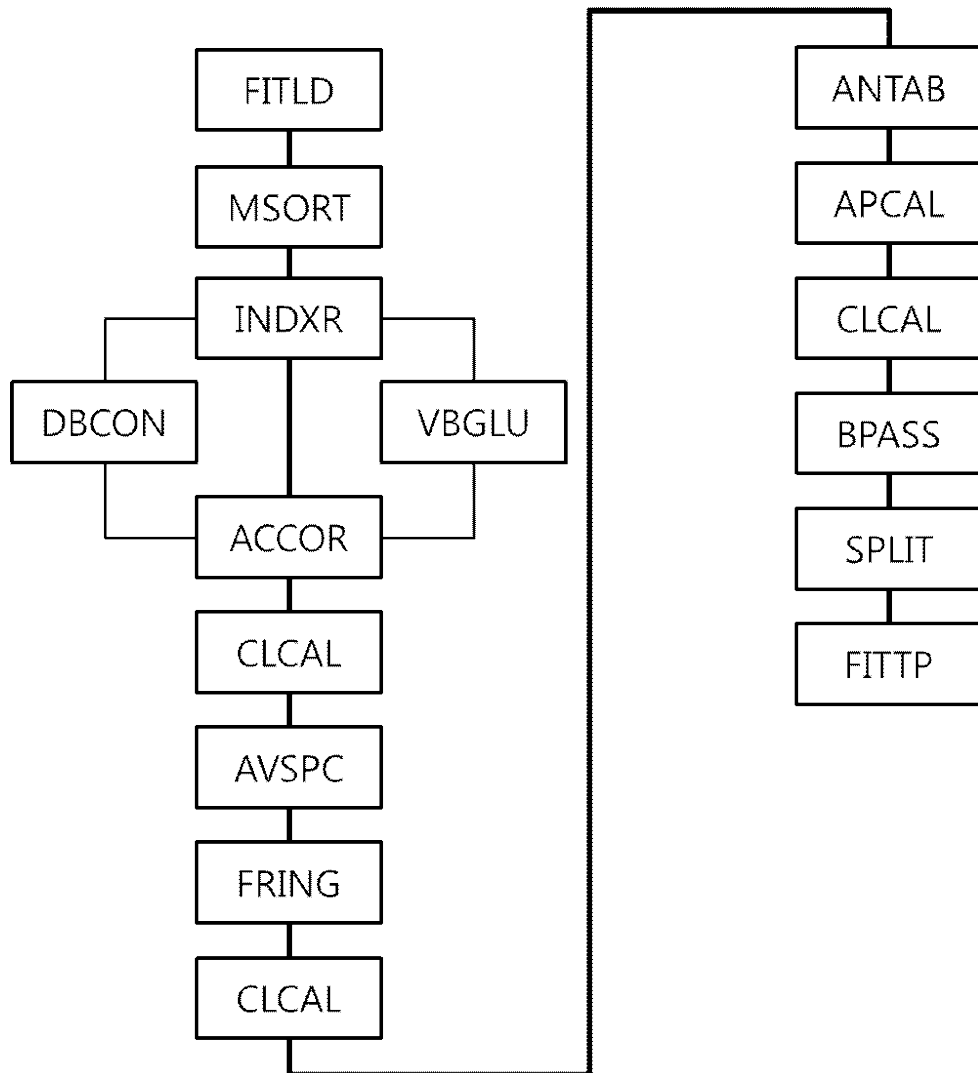


그림 1 AIPS를 이용한 연속 전파 자료분석 흐름도

2.6 FITS 데이터 로딩 (loading)

AIPS를 이용한 VLBI 자료처리의 첫 단계는 FITS 데이터의 로딩이다. FITLD를 이용하여 FITS 데이터를 AIPS 카탈로그로 등록할 수 있다. FITS 파일이 여러 개의 파일로 나뉘어 있을 경우, MSORT를 이용하여 데이터를 정렬하고 DBCON (시간순 병합), VBGLU (주파수 병합)를 이용하여 데이터를 병합할 수 있다. 로딩 또는 병합된 데이터를 추가 분석하기 위해서는 INDXR를 통해 NX 테이블을 생성할 필요가 있다. 때때로 상관처리시 생성되는 첫 번째 CL 테이블을 새로 생성할 필요가 있는데, 이 경우 해당 CL 테이블을 삭제(EXTDEST 사용)하고 INDXR를 이용하여 다시 생성한다.

1) FITLD를 이용한 FITS 파일 로딩

```
>task 'FITLD'
>douvcomp 1
>clint 0.05
>digicor 1 (DIFX 상관처리), -1 (KJCC 상관처리)
>bif 1
>eif 0
>wtthresh 0
>timerange 0
>bchan 0
>echan 0
>doconcat 1 (관측 시간상에서 분리된 두 개 이상의 상관처리 자료 - R11330C1.FITS
와 R11330C2.FITS - 를 합치기 위해 사용)
>infile 'pwd:r11330c1.fits'
>outn 'r11330c'
>go
>infile 'pwd:r11330c2.fits'
>outn 'r11330c'
>go
```

FITLD가 완료되면 'pcat (또는 pc)' 이나 'ucat (또는 uc)' 으로 아래와 같이 로딩된 AIPS 카탈로그를 확인할 수 있다.

```
>uc
AIPS 2: Catalog on disk 1
AIPS 2: Cat Usid Mapname      Class  Seq  Pt    Last access    Stat
AIPS 2:   1 7777 R11320A      .MSORT .    1 UV 15-APR-2013 13:36:39
AIPS 2:   3 7777 R11330C      .UVDATA.  1 UV 15-APR-2013 22:41:03
>
```

그림 2 UCAT으로 확인한 로딩된 카탈로그 (R11330C.UVDATA.1). Cat은 카탈로그 번호, Usid는 AIPS 사용자번호, Mapname은 카탈로그 이름, Class 카탈로그 분류명, Seq는 같은 이름/분류명을 가진 다른 카탈로그 분류번호, Stat는 각 카탈로그의 현 상태를 나타냄.

로딩된 카탈로그의 내용을 IMHEADER를 이용하여 아래와 같이 확인 할 수 있다.

```
>getn 3
AIPS 2: Got(1)   disk= 1  user=7777   type=UV   R11330C.UVDATA.1
>imh
AIPS 2: Image=MULTI      (UV)          Filename=R11330C      .UVDATA.   1
AIPS 2: Telescope=VERA          Receiver=VLBA
AIPS 2: Observer=r11330c        User  #= 7777
AIPS 2: Observ. date=26-NOV-2011    Map date=15-APR-2013
AIPS 2: # visibilities   395633      Sort order  TB
AIPS 2: Rand axes: UU-L-SIN  VV-L-SIN  WW-L-SIN  TIME1  BASELINE
AIPS 2:                SOURCE  FREQSEL  INTTIM  CORR-ID  WEIGHT  SCALE
AIPS 2: -----
AIPS 2: Type      Pixels  Coord value      at Pixel      Coord incr  Rotat
AIPS 2: COMPLEX      1    1.0000000E+00      1.00    1.0000000E+00    0.00
AIPS 2: STOKES       1   -2.0000000E+00      1.00   -1.0000000E+00    0.00
AIPS 2: FREQ        128    2.2968061E+10      1.00    1.2500000E+05    0.00
AIPS 2: IF           2     1.0000000E+00      1.00    1.0000000E+00    0.00
AIPS 2: RA           1      00 00 00.000      1.00      0.000000    0.00
AIPS 2: DEC          1      00 00 00.000      1.00      0.000000    0.00
AIPS 2: -----
AIPS 2: Coordinate equinox 2000.00
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type HI is   1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type AT is   1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type IM is   1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type CT is   1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type FQ is   1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type AN is   1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type SU is   1
AIPS 2: Keyword = 'OLDRFQ ' value = 2.29680605E+10
>
```

그림 3 IMHEADER로 확인한 카탈로그 헤더정보

카탈로그의 관측코드 (r11330c), 관측일 (26-Nov-2011), IF 개수 (2), IF 당 채널수 (FREQ 128), 편광 개수 (STOKES 1), AIPS Table (HI, AT, IM, CT, FQ, AN, SU) 등을 확인 할 수 있다.

2) INDXR를 이용하여 FITS 파일을 indexing

(INDXR이 실행되지 않을 경우 다음의 MSORT를 먼저 수행한다.)

```
>task 'INDXR'
```

```
>getn 3
```

```
>cparm 0
```

```
>cparm(3) = 0.05 (CL table이 없을 경우 생성하되 entry 간격을 0.05분으로 정함)
```

```
>go
```

INDXR 실행 후 NX 또는 CL table이 생성되었는지 IMHEADER를 이용하여 확인한다.

```
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type CL is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type NX is 1
```

그림 4 INDXR로 생성한 CL1 및 NX1

3) MSORT를 이용한 FITS 파일 ‘TB’ (Time-Baseline) 순 정렬
(MSORT 수행 이후 INDXR을 수행하여 새로운 NX table을 생성한다.)

```
>task 'MSORT'
>getn 3
>sort 'TB'
>go
```

MSORT 실행 후 ‘TB’ 순으로 정렬된 새로운 카탈로그 (2번) 를 UCAT으로 확인한다.

```
>uc
AIPS 2: Catalog on disk 1
AIPS 2: Cat Usid Mapname      Class  Seq  Pt    Last access    Stat
AIPS 2: 1 7777 R11320A      .MSORT .    1  UV  15-APR-2013 13:36:39
AIPS 2: 2 7777 R11330C      .MSORT .    1  UV  15-APR-2013 22:57:45
AIPS 2: 3 7777 R11330C      .UVDATA.  1  UV  15-APR-2013 22:57:45
>
```

그림 5 UCAT으로 확인한 MOSRT 결과 카탈로그 (R11330C.MSORT.1)

IMHEADER로 확인했을 때, FITLD로 로딩한 3번 카탈로그와 같은 정보를 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 많은 경우 상관처리된 결과는 ‘TB’ 순으로 정렬되어 있다. 하지만, MSORT를 한번 더 실행함으로써, 상관처리 과정에서 있을 수 있는 정렬 순서의 오류를 보정할 수 있다.

```

>getn 2
AIPS 2: Got(1)   disk= 1  user=7777   type=UV   R11330C.MSORT.1
>imh
AIPS 2: Image=MULTI      (UV)          Filename=R11330C      .MSORT .   1
AIPS 2: Telescope=VERA          Receiver=VLBA
AIPS 2: Observer=r11330c        User #= 7777
AIPS 2: Observ. date=26-NOV-2011   Map date=15-APR-2013
AIPS 2: # visibilities   395633      Sort order  TB
AIPS 2: Rand axes: UU-L-SIN  VV-L-SIN  WW-L-SIN  TIME1  BASELINE
AIPS 2:                SOURCE  FREQSEL  INTTIM  CORR-ID  WEIGHT  SCALE
AIPS 2: -----
AIPS 2: Type      Pixels  Coord value      at Pixel      Coord incr      Rotat
AIPS 2: COMPLEX      1    1.0000000E+00      1.00    1.0000000E+00      0.00
AIPS 2: STOKES      1   -2.0000000E+00      1.00   -1.0000000E+00      0.00
AIPS 2: FREQ      128    2.2968061E+10      1.00    1.2500000E+05      0.00
AIPS 2: IF          2    1.0000000E+00      1.00    1.0000000E+00      0.00
AIPS 2: RA          1      00 00 00.000      1.00      0.000000      0.00
AIPS 2: DEC          1      00 00 00.000      1.00      0.000000      0.00
AIPS 2: -----
AIPS 2: Coordinate equinox 2000.00
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type HI is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type CL is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type NX is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type AT is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type IM is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type CT is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type FQ is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type AN is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type SU is 1
>

```

그림 6 IMHEADER로 확인한 MSORT 결과 카탈로그의 헤더정보

앞으로 MSORT로 정렬된 3번 카탈로그를 이용하여 자료처리를 진행하게 되므로, 하드 디스크 공간 절약을 위해서 ZAP을 이용하여 2번 카탈로그는 삭제할 수 있다. ZAP은 AIPS table 뿐만 아니라 FITS 파일을 불러올 때 AIPS 내부에 저장된 카탈로그까지 모두 삭제하므로, 사용에 각별한 주의를 기울여야 한다. 잘못 사용할 경우 오랜 시간 자료처리한 결과를 모두 삭제할 수도 있다.

```

>uc
AIPS 2: Catalog on disk 1
AIPS 2:  Cat Usid Mapname      Class  Seq  Pt      Last access      Stat
AIPS 2:    1 7777 R11320A      .MSORT .    1 UV 15-APR-2013 13:36:39
AIPS 2:    2 7777 R11330C      .MSORT .    1 UV 15-APR-2013 23:01:16
AIPS 2:    3 7777 R11330C      .UVDATA.    1 UV 15-APR-2013 22:57:45
>getn 3;zap
AIPS 2: Got(1)  disk= 1  user=7777  type=UV  R11330C.UVDATA.1
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type SU
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type AN
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type FQ
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type CT
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type IM
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type AT
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type NX
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type CL
AIPS 2: Destroyed 1 extension files of type HI
AIPS 2: Destroyed UV image file: catno=      3 disk= 1
>uc
AIPS 2: Catalog on disk 1
AIPS 2:  Cat Usid Mapname      Class  Seq  Pt      Last access      Stat
AIPS 2:    1 7777 R11320A      .MSORT .    1 UV 15-APR-2013 13:36:39
AIPS 2:    2 7777 R11330C      .MSORT .    1 UV 15-APR-2013 23:01:16
>

```

그림 7 ZAP으로 디스크에서 삭제된 원본 카탈로그 (R11330C.UVDATA.1)

4) DBCON 이나 VBGLU를 이용한 FITS 파일 병합

하나의 관측을 상판처리할 경우 시간이나 주파수에 따라 여러 FITS 파일로 나누어 상판처리하는 경우가 종종 있다. AIPS에서는 이런 경우 두 개 이상의 FITS 파일을 합치는 TASK를 제공한다.

4-1) DBCON을 이용한 FITS 파일 병합 (시간 순서)

시간 순으로 나뉘어져 있을 경우 각 FITS 파일이 겹치지 않았다면 위와 같이 FITLD 수행시 doconcat=1 로 설정하여 바로 합칠 수 있다. 그리고, DBCON으로도 합칠 수 있는데, 각각의 FITS 파일을 FITLD (doconcat=-1)로 로딩하고, 각 카탈로그를 두 개씩 합칠 수 있다. 시간상으로 겹친 부분이 있더라도 합치는 것이 가능하다.

```

>task 'DBCON'
>getn <첫번째 카탈로그 번호>
>get2n <두번째 카탈로그 번호>
>outname <생성할 카탈로그명>
>go

```

4-2) VBGLU를 이용한 FITS 파일 병합 (주파수 순서)

주파수 순으로 나뉘어져 있는 경우 최대 4개 카탈로그까지 VBGLU를 이용하여 동시에 합치는 것이 가능하다.

```
>task 'VBGLU'  
>getn <첫번째 카탈로그 번호>  
>get2n <두번째 카탈로그 번호>  
>get3n <세번째 카탈로그 번호>  
>get4n <네번째 카탈로그 번호>  
>outname <생성할 카탈로그명>
```

2.7 FITS 데이터 검사

상관처리된 FITS 데이터가 AIPS 카탈로그로 로딩되면 UV 데이터 및 각종 기본 테이블들을 검사하여 관측, 자료복사, 상관처리 등이 제대로 수행되었는지 여부를 검토할 수 있다.

1) IMHEAD (FITS header 검사)를 이용한 UV 데이터 및 테이블 목록 확인

```
> getn <카탈로그 번호>  
> imheader
```

2) VLBASUMM 를 이용한 안테나 및 스캔 정도 인쇄

FITS 파일의 스캔, 관측 천체, 관측 주파수, 안테나 위치 등의 정보를 확인하기 위해서 VLBASUMM 이라는 PROCEDURE (일종의 pipeline)를 사용한다. 이는 PRTAN 이라는 안테나 정보 인쇄 TASK와 LISTR 이라는 스캔정보 인쇄 TASK로 이루어져 있다. 이를 실행하기 위해서는 VLBAUTIL 이라는 PROCEDURE를 실행해야한다.

```
> run vlbautil  
> .... [실행로그확인]  
>getn <카탈로그 번호>  
>docrt 123 (터미널 인쇄할 경우)  
>docrt -1 (파일로 저장할 경우)  
>outprint 'pwd:r11330c_vlbasumm.txt' (파일로 저장할 경우 경로 및 이름지정)  
>vlbasumm
```

안테나의 번호와 이름을 확인하다. 이는 자료처리 중에 특정 안테나를 지정할 때 사용된다. 그리고 스캔 번호, 천체명, 관측 시간 등을 확인한다. 이때 관측 계획 (VEX 등)과

일치하는지 확인한다. 종종 짧은 스캔들이 합쳐져서 긴 스캔으로 표시되기도 한다. 이는 상관처리 시 정해진다.

```
>docrt 123
>vlbasumm
  localhos  PRTAN(31DEC08)  7777      15-APR-2013  23:27:21  Page  1
File=R11330C      .MSORT .   1      An.ver=   1      Vol= 1      User= 7777
Array= VERA      Freq= 22968.060547 MHz      Ref.date= 26-NOV-2011

Array reference position in meters (Earth centered)
Array BX=          0.00000  BY=          0.00000  BZ=          0.00000
Polar X =   5.16666 Polar Y =   8.99071 arcsec
Earth rotation rate =  359.0170438750 degrees / IAT day
GST at UT=0 =   64.5808333333 degrees
UT1-UTC=   -0.3815382  Data time(UTC      )-UTC=   0.0000000 seconds
Solutions not yet determined for a particular FREQID
Mount=ALAZ  Axis offset=  0.0000 meters  IFA      IFB
Feed polarization type =      L      L

Ant   1 = MIZNA020 BX= -3857243.8611 BY= -3108783.4099 BZ= 4003899.4741
Ant   2 = IRIKI   BX= -3521719.5687 BY= -4132174.7528 BZ= 3336994.3255
Ant   3 = OGASA20 BX= -4491068.8940 BY= -3481544.8295 BZ= 2887399.6227
Ant   4 = ISHIGAKI BX= -3263994.6483 BY= -4808056.3558 BZ= 2619949.3944
Ant   5 = KVNYONSE BX= -3042278.8964 BY= -4045902.0207 BZ= 3867376.1335
Ant   6 = KVNTAMNA BX= -3171730.4042 BY= -4292677.6820 BZ= 3481040.4480
Ant   7 = KVNULSAN BX= -3287268.6431 BY= -4023449.6308 BZ= 3687380.1696
```

그림 8 VLBASUMM으로 확인한 안테나 정보

```
File = R11330C .MSORT . 1 Vol = 1 Userid = 7777
Freq = 22.968060547 GHz Ncor = 1 No. vis = 395633
Scan summary listing
```

Scan	Source	Qual	Calcode	Sub	Timerange	FrqID	START
1	4C39.25	: 0000		1	0/20:35:05 - 0/20:40:59	1	1
2	M87	: 0000		1	0/20:43:05 - 0/20:48:59	1	8506
3	3C273	: 0000		1	0/20:51:05 - 0/20:56:59	1	18446
4	3C279	: 0000		1	0/20:59:05 - 0/21:04:59	1	28386
5	4C39.25	: 0000		1	0/21:07:05 - 0/21:12:59	1	38354
6	M87	: 0000		1	0/21:15:05 - 0/21:20:59	1	48294
7	3C273	: 0000		1	0/21:23:05 - 0/21:28:59	1	58234
8	3C279	: 0000		1	0/21:31:05 - 0/21:36:59	1	68174
9	4C39.25	: 0000		1	0/21:39:05 - 0/21:44:59	1	78142
10	M87	: 0000		1	0/21:47:05 - 0/21:52:59	1	88082
11	3C273	: 0000		1	0/21:57:05 - 0/22:02:59	1	98022
12	3C279	: 0000		1	0/22:05:05 - 0/22:10:59	1	107990
13	4C39.25	: 0000		1	0/22:13:04 - 0/22:18:59	1	117146
14	M87	: 0000		1	0/22:21:05 - 0/22:26:59	1	127114
15	3C273	: 0000		1	0/22:29:05 - 0/22:34:59	1	137054
16	3C279	: 0000		1	0/22:37:05 - 0/22:42:59	1	146994
17	4C39.25	: 0000		1	0/22:45:05 - 0/22:50:59	1	156962
18	M87	: 0000		1	0/22:53:05 - 0/22:58:59	1	166902
19	3C273	: 0000		1	0/23:01:05 - 0/23:06:59	1	176842
20	3C279	: 0000		1	0/23:09:05 - 0/23:14:59	1	186782
21	4C39.25	: 0000		1	0/23:19:05 - 0/23:24:59	1	196750
22	M87	: 0000		1	0/23:27:05 - 0/23:32:59	1	206690
23	3C273	: 0000		1	0/23:35:05 - 0/23:40:59	1	216630
24	3C279	: 0000		1	0/23:43:05 - 0/23:48:59	1	226598

Type Q to stop, just hit RETURN to continue

그림 9 VLBASUMM으로 확인한 스캔 정보

3) PRTAN을 이용한 안테나 정보 확인

AN 테이블에 있는 관측시점의 안테나 위치 (X,Y,Z), 안테나 마운트 정보 등을 확인할 수 있다.

```
>task 'prtan'
>getn <카탈로그 번호>
>docrt 123
>go
```

4) PRTAB을 이용한 AIPS table 확인

```
>task 'prtab'
>getn <카탈로그 번호>
>inext '<확인할 테이블 종류>'
>inver <테이블 번호>
```



```
>docrt 123
```

```
>go
```

5) LISTR을 이용한 UV data 및 AIPS table 인쇄

```
>task 'listr'
```

```
>getn <카탈로그 번호>
```

```
>inext '<확인할 테이블 종류>'
```

```
>inver <테이블 번호>
```

```
>docrt 123
```

```
>optype 'scan' (또는 matx)
```

```
>dparm 0
```

```
>go
```

6) POSSM을 이용한 스펙트럼 확인 (CL table)

POSSM을 이용하여 각 안테나의 total (auto) power spectrum 과 각 기선의 cross-power spectrum를 확인할 수 있다.

```
>task 'possm'
```

```
>getn <카탈로그 번호>
```

```
>source '3C279' ''
```

```
>bif 1; eif0
```

```
>bchan 1; echan 0
```

```
>docalib 1
```

```
>gainuse <CL table 번호>
```

```
>aparm 0
```

```
>aparm(8) 1 (total power spectrum을 표시할 경우)
```

```
>aparm(8) 0 (cross-power spectrum을 표시할 경우)
```

```
>aparm(9) 1 (여러 IF를 한꺼번에 표시할 경우)
```

```
>solint -1
```

```
>nplots 6
```

```
>dotv 1 (TV창에 보일 경우)
```

```
>dotv -1 (PL 테이블에 저장할 경우)
```

```
>ourprint 'pwd:<text file name>' (텍스트 파일로 저장할 경우)
```

```
>go
```

이때 1번 CL 테이블의 스펙트럼을 통해 상관처리가 잘 되었는지 확인 할 수 있다.

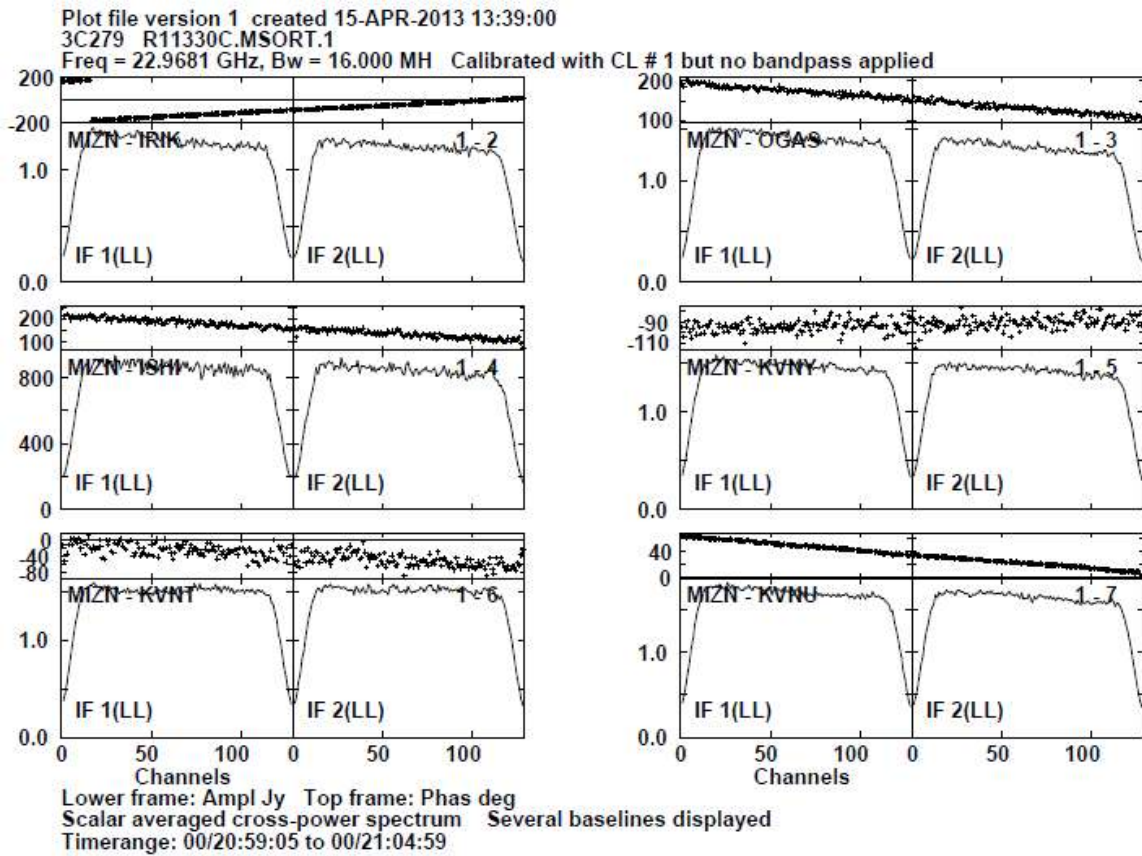


그림 10 POSSM으로 확인한 Cross-power spectrum (CL1). 각 패널은 각 기선을 표시하고, 각 패널의 왼쪽부터 IF1, IF2 스펙트럼(위상-위, 진폭-아래)을 보여줌.

5) SNPLT를 이용한 SN (solution), TY (Tsys), CL (calibration) 테이블 확인

상관처리된 FITS 파일을 검사하는 방법 중 하나로 첫 번째 CL 테이블을 확인하는 것이다. 모든 관측 시간, 모든 IF에 대해 데이터 들이 존재하는지 여부를 확인할 수 있다.

```
>task 'snplt'
>getn <카탈로그 번호>
>inext 'cl'
>inver <CL 번호>
>dotv 1 (TV창에 보일 경우)
>dotv -1 (PL 테이블에 저장할 경우)
>opcode 'amp'
>go
```

이때 1번 CL 테이블의 AMP를 확인하면, 모든 안테나, IF, 시간에 해당하는 데이터가 상관처리 되었는지 확인 할 수 있다.

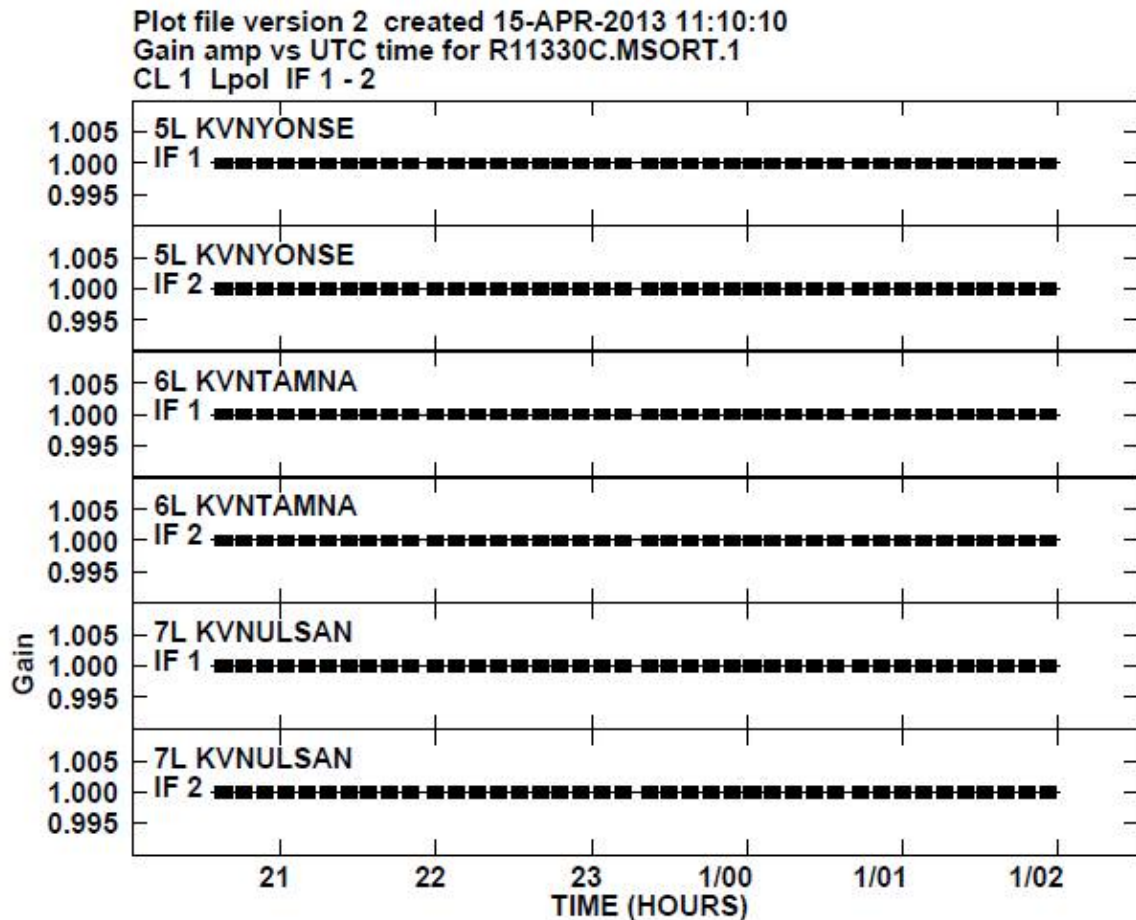


그림 11 SNPLT로 확인한 첫 번째 Calibration table (CL)의 amplitude 정보. KVN 3기의 IF1,2에 대해 보시됨.

6) LWPLA를 이용한 PL 테이블 인쇄

```
>task 'lwpla'
>getn <카탈로그 번호>
>plver <프린트할 테이블의 시작 번호>
>inver <프린트할 테이블의 개수>
>outfile 'pwd:<file name>'
>go
```

2.8 FITS 데이터 Calibration

1) ACCOR를 이용한 디지털 샘플링 보정 및 결과적용

```
>task 'accor'
>getn <cat number>
>solint -1
>go
```

*결과: SN1 table 생성

AIPS 2: Maximum version number of extension files of type SN is 1

그림 12 IMHEADER로 확인한 ACCOR의 결과 (첫 번째 Solution table, SN1)

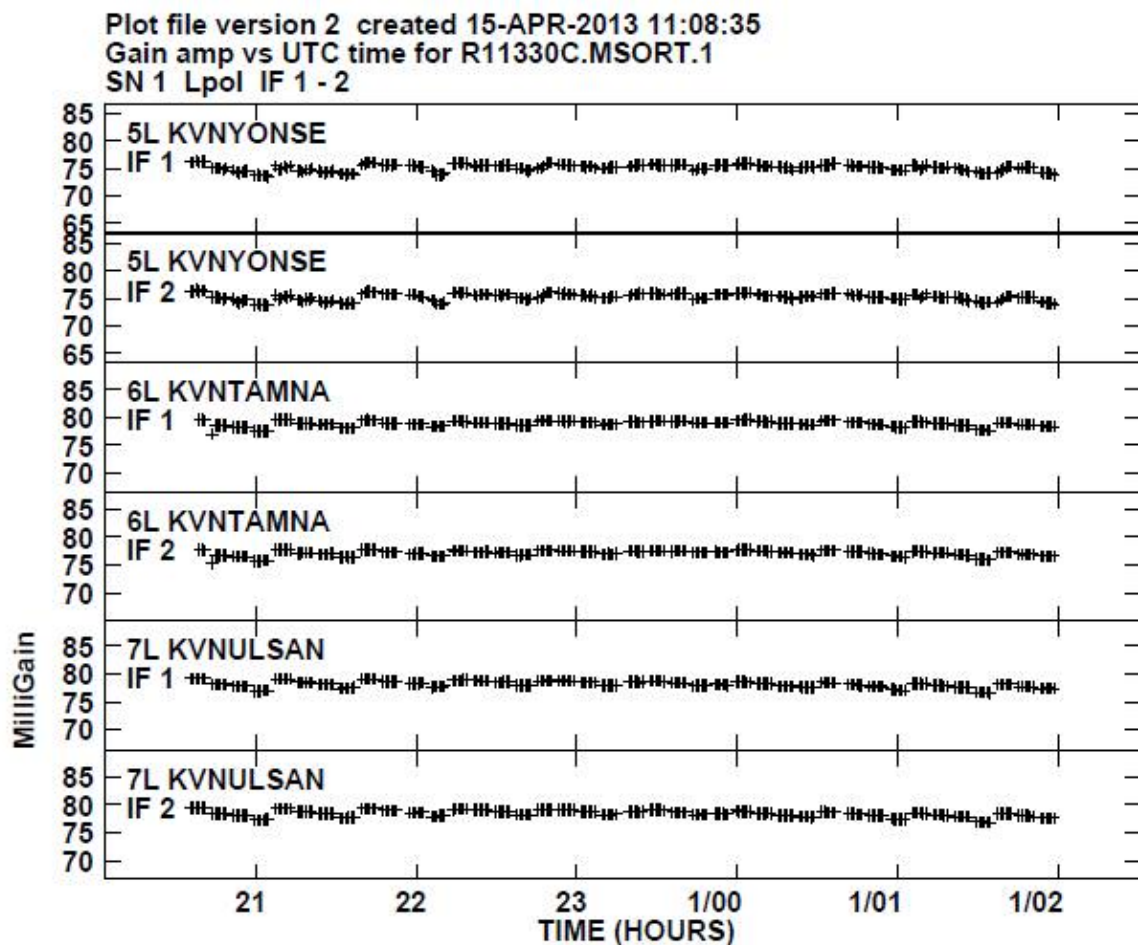


그림 13 SNPLT로 확인한 ACCOR의 결과 (SN1의 Gain 보정량)

```

>task 'clcal'
>getn <cat number>
>snver <적용할 SN table 번호: ACCOR 결과>
>gainver <적용할 CL table 번호>
>gainuse <새로운 CL table 번호>
>go clcal

```

*결과: CL2 table 생성

AIPS 2: Maximum version number of extension files of type CL is 2

그림 14 IMHEADER로 확인한 두 번째 Calibration table (CL2)

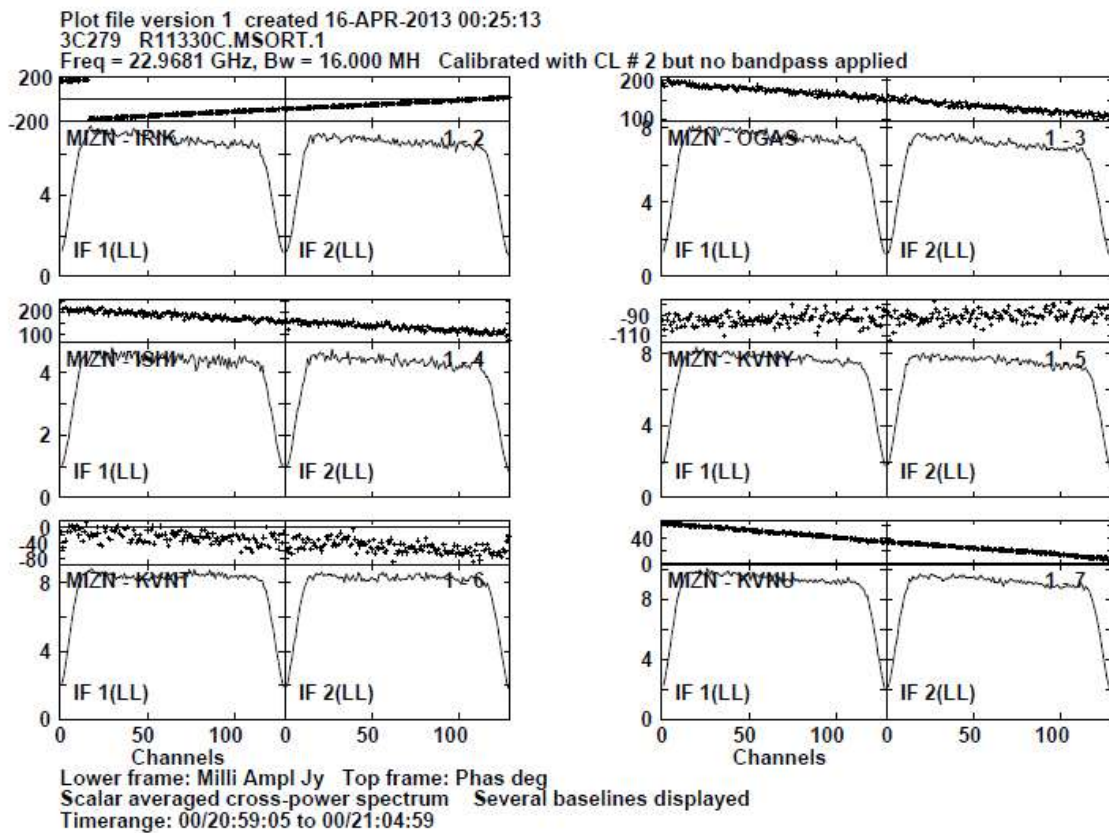


그림 15 POSSM으로 확인한 ACCOR의 결과 (CLCAL로 SN1을 CL1에 적용하여 생성한 CL2)

2) [선택사항] AVSPC를 이용한 스펙트럼 채널 평균

```
>task 'avspc'  
>getn <cat number>  
>avoption 'subs'  
>channel <평균한 채널 개수>  
>go avspc
```

*결과: 스펙트럼 평균된 새로운 카탈로그 생성

3) FRING을 이용한 fringe fitting 및 결과적용

```
>task 'fring'  
>getn <cat number>  
>calsou ''  
>bchan 1  
>echan 0  
>docalib 1  
>gainuse <적용할 CL 번호>  
>doband -1 (bandpass calibration 결과 적용안함), doband 1 (적용함)  
>refant <reference antenna 번호>  
>search 1 2 0 (reference antenna가 없을 경우 antenna의 우선순위)  
>solint (solution interval, minute)  
>aparm 0  
>aparm(7) 7  
>aparm(9) 1  
>dparm 0 (searching window)  
>snver <새로운 SN table>  
>go fring
```

*결과 : SN table

AIPS 2: Maximum version number of extension files of type SN is 2

그림 16 IMHEADER로 확인한 두 번째 Solution table (SN2)


```

FRING2 00:58:06 Time=    1/ 01 56 32, Polarization = 1
FRING2 00:58:08 Time=    1/ 01 57 31, Polarization = 1
FRING2 00:58:11 Time=    1/ 01 58 30, Polarization = 1
FRING2 00:58:13 Found      3348 good solutions
FRING2 00:58:13 Failed on        4 solutions
FRING2 00:58:13 Appears to have ended successfully

```

그림 17 FRING 완료 후 메시지 창에 나타나는 Good Solution과 Failed Solution의 통계.

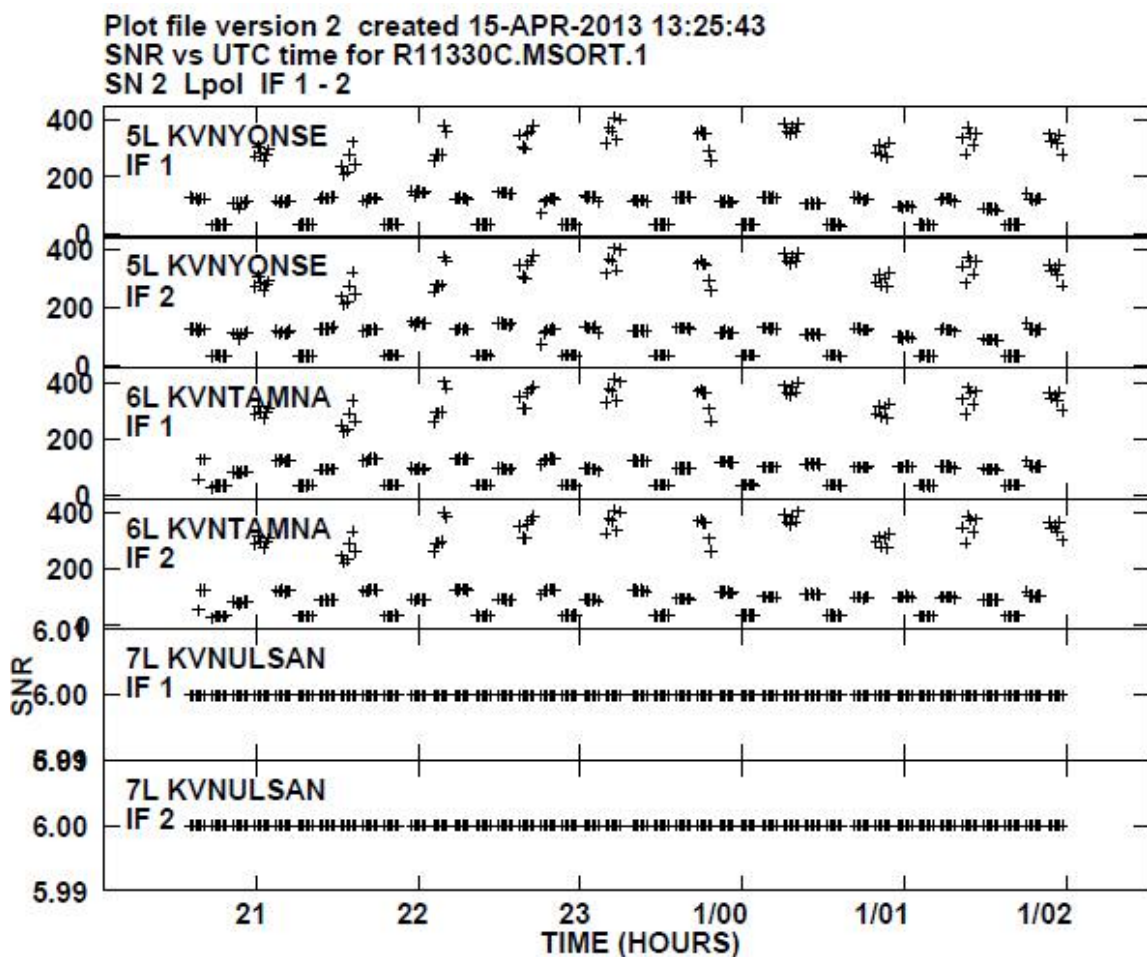


그림 18 SNPLT로 확인한 FRING의 결과인 두 번째 Solution table (SN2)의 내용 중 Signal-to-Noise ratio (SNR)의 시간에 따른 분포. KVN 3기의 IF1,2의 경우를 보여줌. KVNULSAN은 FRING의 기준 안테나로 사용되어 SNR=6을 보임.

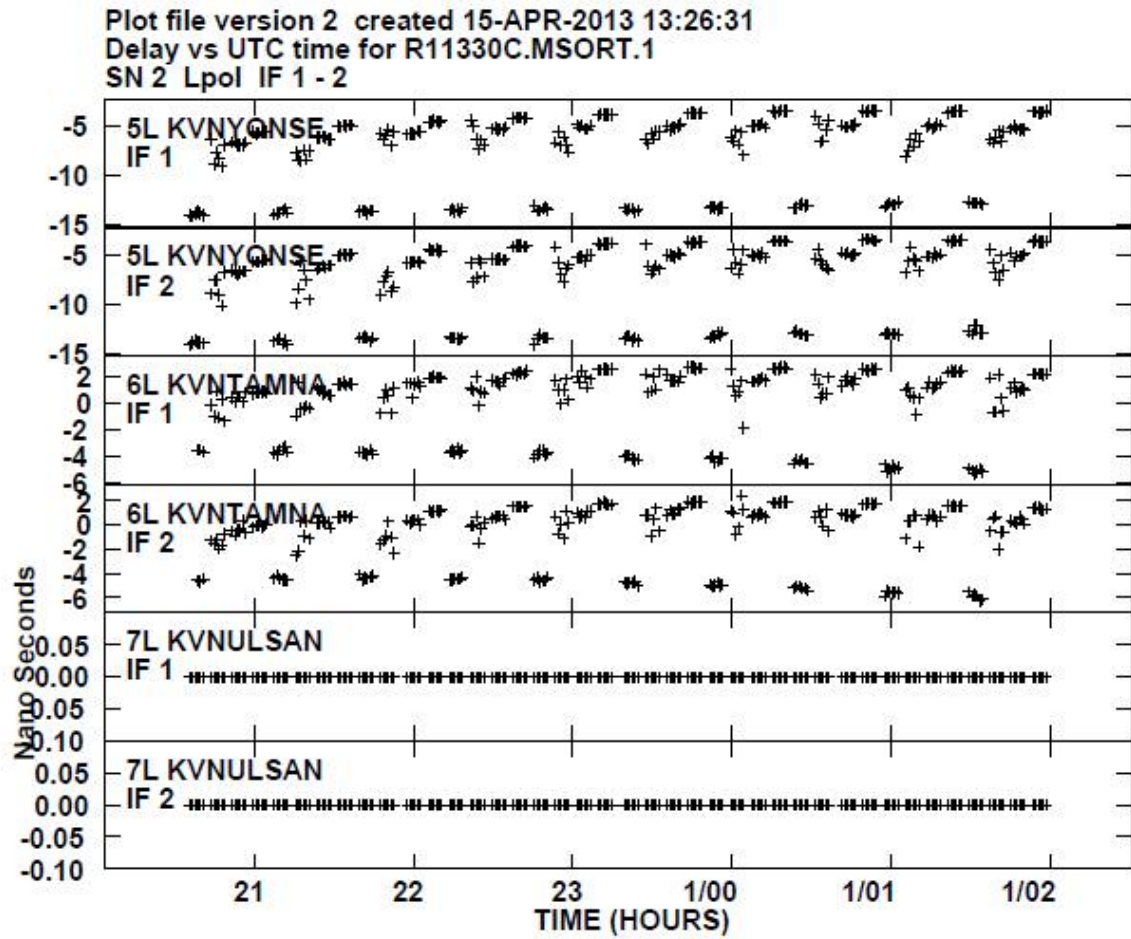


그림 19 SNPLT로 확인한 FRING의 결과인 두 번째 Solution table (SN2)의 내용 중 Delay (단위: Nano Second)의 시간에 따른 분포. KVN 3기의 IF1,2의 경우를 보여줌. KVNULSAN은 FRING의 기준 안테나로 사용되어 Delay=0 을 보임.

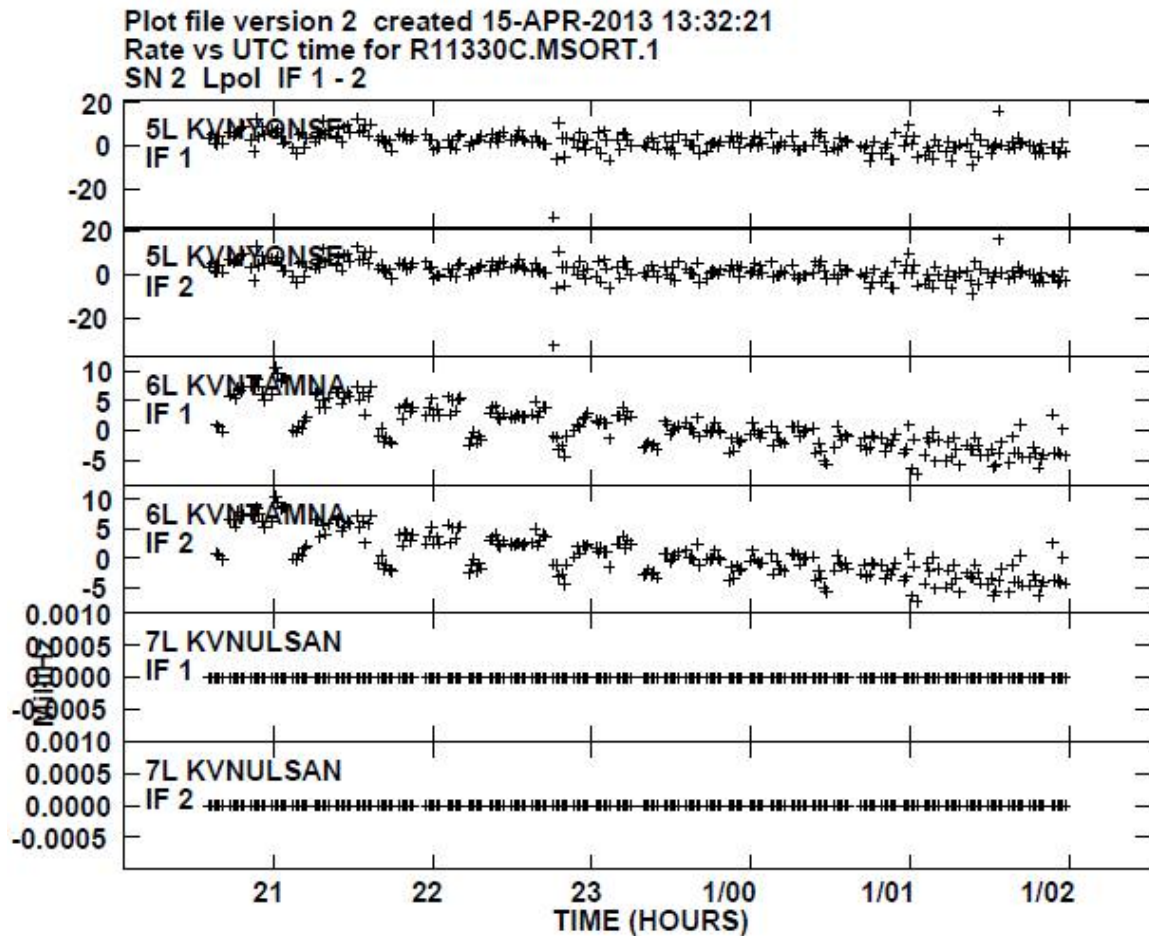


그림 20 SNPLT로 확인한 FRING의 결과인 두 번째 Solution table (SN2)의 내용 중 Rate (단위: mHz)의 시간에 따른 분포. KVN 3기의 IF1,2의 경우를 보여줌. KVNULSAN은 FRING의 기준 안테나로 사용되어 Rate=0 을 보임.

```
>task 'clcal'
>getn <cat number>
>snver <적용할 SN table 번호: FRING 결과>
>gainver <적용할 CL table 번호>
>gainuse <새로운 CL table 번호>
>go clcal
```

*결과: CL table 생성

AIPS 2: Maximum version number of extension files of type CL is 3

그림 21 IMHEADER로 확인한 세 번째 Calibration table

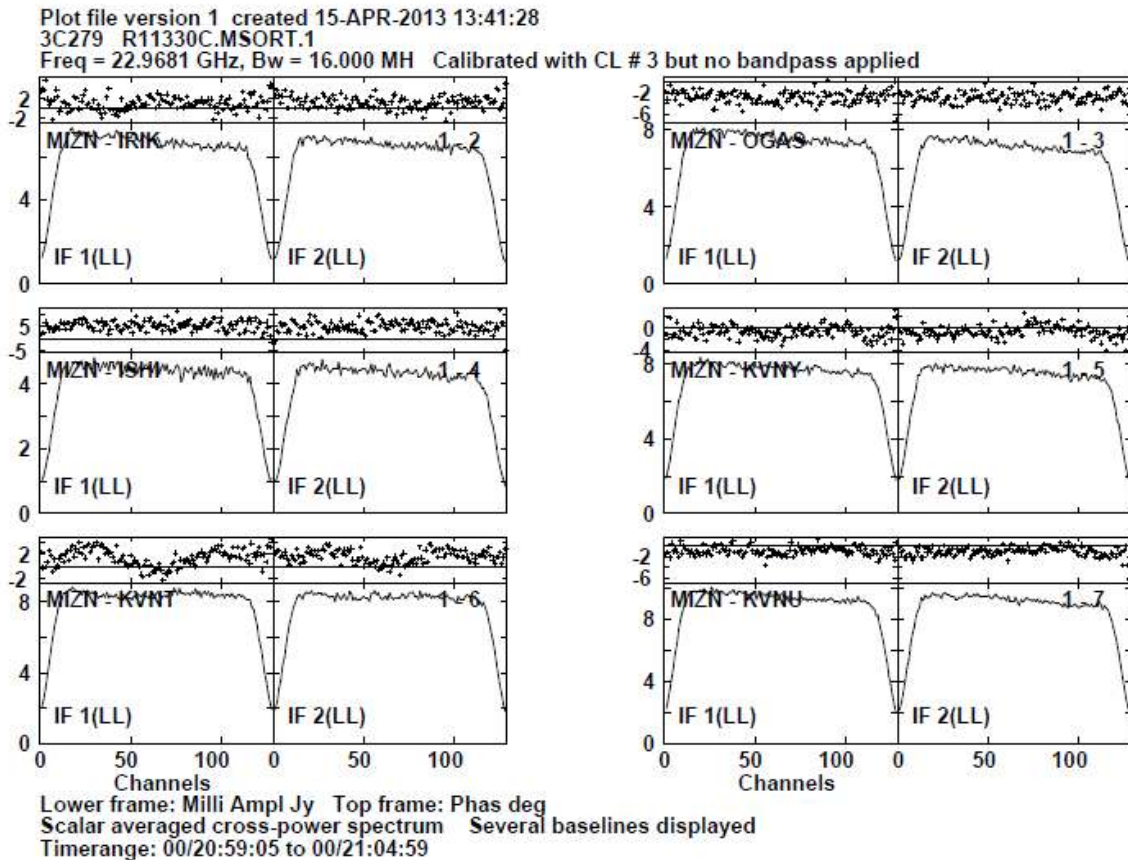


그림 22 POSSM으로 확인한 FRING의 결과 스펙트럼. (CLCAL로 SN2을 CL2에 적용하여 생성한 CL3)

4) ANTAB을 이용한 TY, GC 테이블 생성

FITS 파일에 TY나 GC 테이블이 없을 경우 Array AOC나 각 천문대에서 제공하는 ANTAB 형식의 안테나 gain과 시스템 잡음 온도 정보를 이용하여 TY, GC 테이블을 생성할 수 있다.

```
>task 'antab'
>getn <cat number>
>infile 'pwd:<antab형식 파일>'
>go antab
```

*결과: TY, GC 테이블을 생성

```
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type TY is 1
AIPS 2: Maximum version number of extension files of type GC is 1
```

그림 23 IMHEADER로 확인한 첫 번째 Tsys table 및 Gain curve table.

```

!--- Gains (DPFUs) -----
GAIN KT ELEV FREQ=21000,24000 DPFU=0.07225084 POLY=1.01613943,0.00051701,-0.00000774 /
GAIN KT ELEV FREQ=42000,44500 DPFU=0.07323446 POLY=1.00019745,0.00276757,-0.00003078 /
GAIN KT ELEV FREQ=84000,95000 DPFU=0.05274873 POLY=0.92209714,0.01307414,-0.00013565 /
GAIN KT ELEV FREQ=128000,142000 DPFU=0.03743215 POLY=0.82367327,0.02083154,-0.00020969 /
!
!--- Tsys* Data -----
TSYS KT FT=1.0 TIMEOFF=0.0 INDEX='L1:4','L5:8','L9:16' /
!DOY UT TSYS*
339 09:16:01 86.321 125.207 168.595
339 09:16:06 86.139 124.583 166.724
339 09:16:11 86.242 125.096 168.067
339 09:16:16 86.800 127.065 173.987
339 09:16:21 87.269 128.725 178.670

```

그림 24 ANTAB 형식으로 편집된 KVN 탐라 안테나(KT)의 Gain 및 Tsys 예. 이때 안테나 이름 (KT)이 VLBASUMM으로 확인한 안테나 이름과 일치해야함.

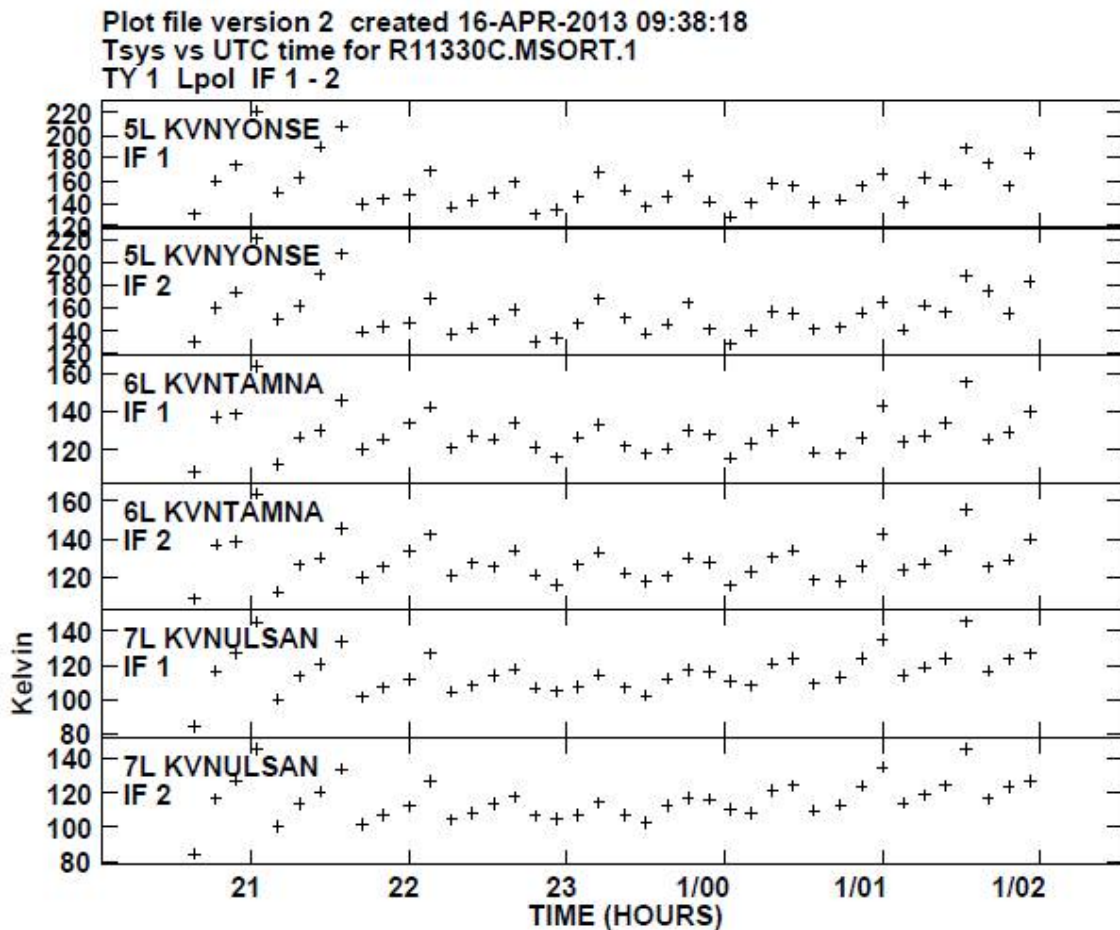


그림 25 SNPLT로 확인한 ANTAB의 결과, 첫 번째 Tsys table (TY!)

5) APCAL을 이용하여 amplitude calibration 수행 및 적용

```
>task 'apcal'  
>getn <cat number>  
>tvver 1  
>gcver 1  
>go apcal
```

*결과 : SN 테이블 생성

AIPS 2: Maximum version number of extension files of type SN is 3

그림 26 IMHEADER로 확인한 세 번째 Solution table (SN3)

```
>task 'clcal'  
>getn <cat number>  
>snver <적용할 SN table 번호: APCAL 결과>  
>gainver <적용할 CL table 번호>  
>gainuse <새로운 CL table 번호>  
>go clcal
```

*결과: CL table 생성

AIPS 2: Maximum version number of extension files of type CL is 4

그림 27 IMHEADER로 확인한 네 번째 Calibration table (CL4)

6) BPASS를 이용하여 bandpass calibration 수행 및 적용

```
>task 'bpass'  
>getn <cat number>  
>calsour '<calibrator name>' ''  
>timerange 0  
>docalib 1  
>gainuse <적용할 CL 번호>  
>doband -1  
>solint 0  
>solttype 'L1R'  
>refant <reference antenna 번호>  
>outver <생성할 BP table 번호>
```

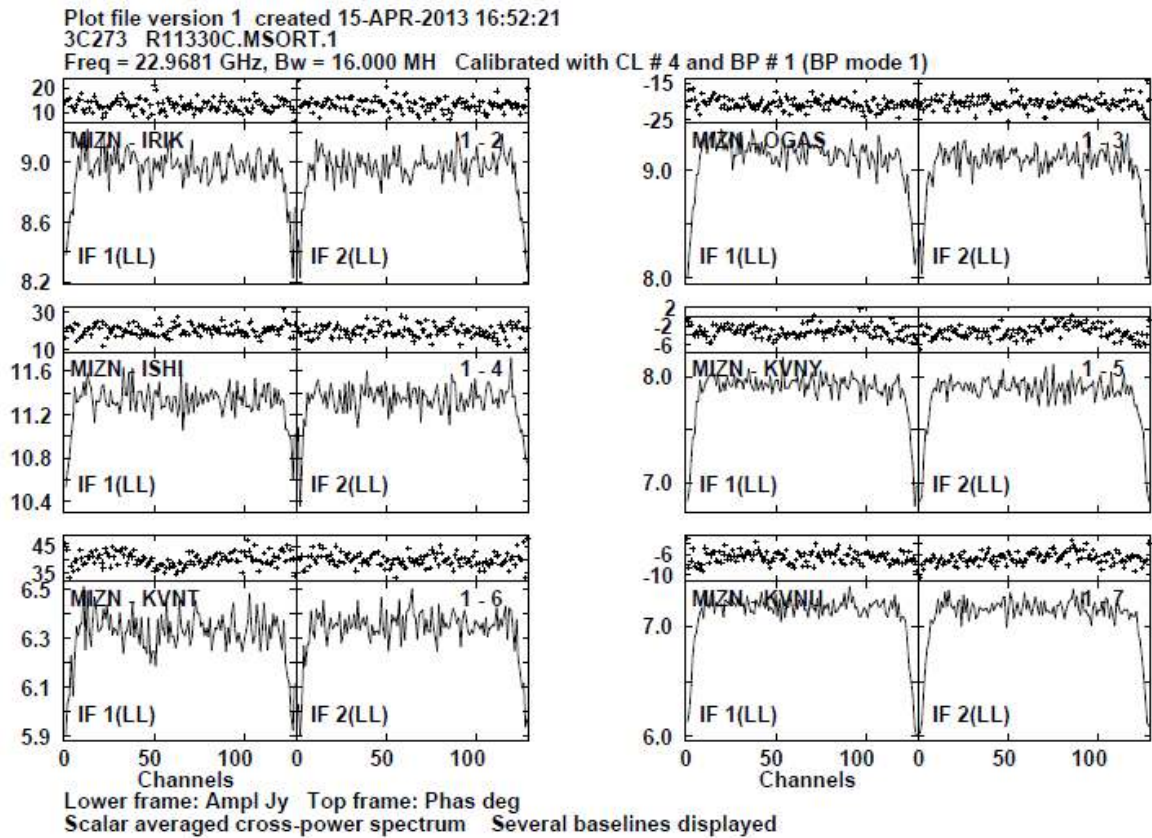


그림 28 POSSM으로 확인한 APCAL의 결과 스펙트럼. (CLCAL로 SN3을 CL3에 적용하여 생성한 CL4)

```
>smooth 1 5 7
>bpassprm 1 0
>go bpass
```

*결과 : BP 테이블 생성

AIPS 2: Maximum version number of extension files of type BP is 1

그림 29 IMHEADER로 확인한 첫 번째 BandPass table (BP1)

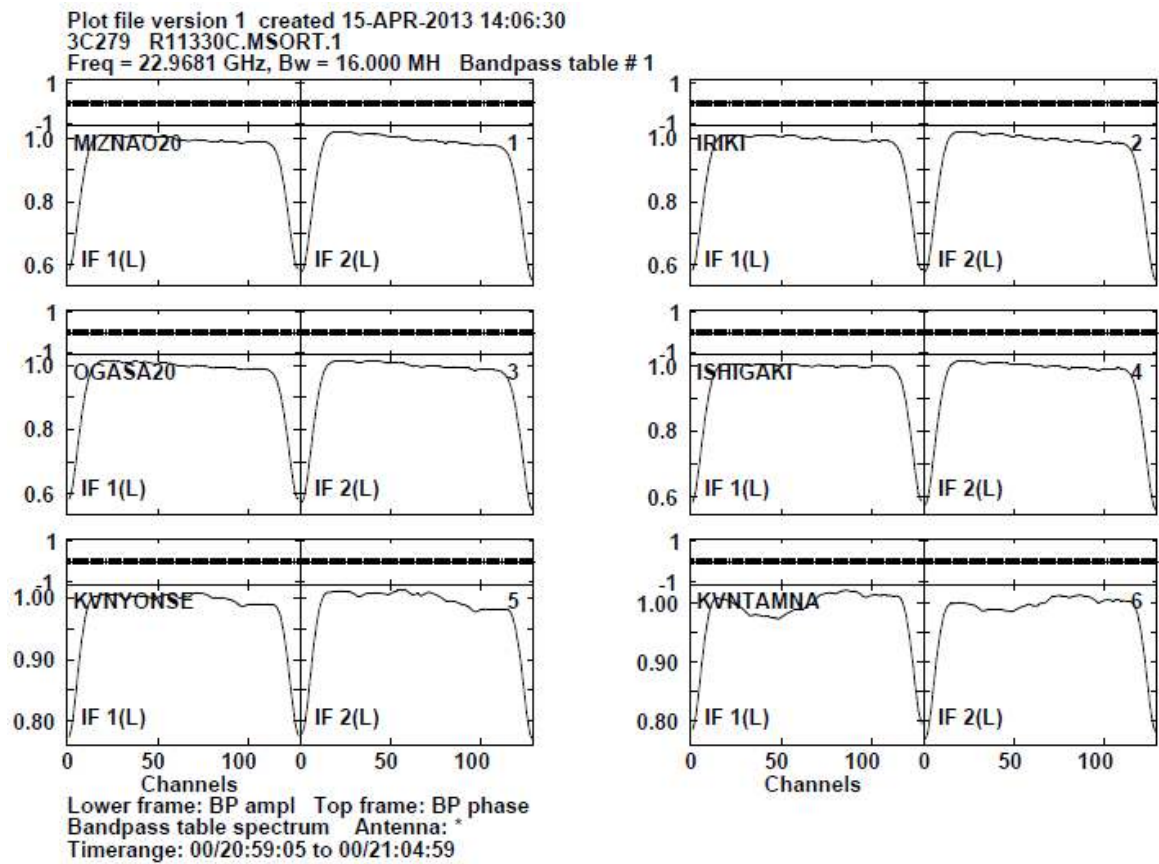


그림 30 POSSM으로 확인한 BPASS의 결과, BP1

2.9 FITS 데이터 천체별 분할 및 저장

1) SPLIT을 이용하여 천체별 분할

AIPS를 통해 fringe fitting 과 amplitude calibration의 결과 (최종 CL table)를 적용하여 각 천체별로 분할할 수 있다.

```
>task 'split'
>getn <cat number>
>source '' (모든 천체 분할), source '3c84' '' (3C84 만 분할)
>bchan 1;echan 128 (분할에 포함할 IF 내 채널 선택, band 가장자리 제거에 유효)
>bif 1;eif 0
>gainuse <적용할 CL 테이블 번호>
>go split
*결과 : 천체별 카탈로그 생성
```

```
>uc
AIPS 2: Catalog on disk 1
AIPS 2:  Cat Usid Mapname      Class  Seq Pt      Last access      Stat
AIPS 2:   1 7777 R11320A      .MSORT .    1 UV 15-APR-2013 13:36:39
AIPS 2:   2 7777 R11330C      .MSORT .    1 UV 16-APR-2013 10:04:39
AIPS 2:   3 7777 M87          .SPLIT .    1 UV 16-APR-2013 10:04:25
AIPS 2:   4 7777 3C273        .SPLIT .    1 UV 16-APR-2013 10:04:30
AIPS 2:   5 7777 3C279        .SPLIT .    1 UV 16-APR-2013 10:04:35
AIPS 2:   6 7777 4C39.25      .SPLIT .    1 UV 16-APR-2013 10:04:39
>
```

그림 31 UCAT으로 확인한 SPLIT의 결과 카탈로그들 (3-6번)

2) FITTP을 이용하여 FITS 파일 저장

```
>task 'fittp'
>getn <cat number>
>outfile 'pwd:<저장파일명>'
>go
```

3. DIFMAP을 이용한 연속전파원 이미징 매뉴얼

AIPS를 이용하여 위상과 진폭의 보정이 끝나 UV 데이터는 DIFMAP (<ftp://ftp.astro.caltech.edu/pub/difmap/difmap.html>) 을 이용하여 calibration 된 천체의 이미징에 사용될 수 있다. 이 장에서는 DIFMAP을 이용하여 연속전파원을 이미징하는 방법을 소개한다.

3.1 DIFMAP 시작 및 종료

1) DIFMAP 설치

DIFMAP 프로그램의 설치에 부록2를 참조하여 설치할 수 있다.

2) DIFMAP 시작 및 종료

FITTP로 저장한 UV 데이터가 있는 디렉토리에서 아래와 같이 DIFMAP을 시작한다.

```
>difmap
```

위와 같이 실행 시 이미지를 보여줄 터미널을 선택해야 한다. 이 경우 interactive 이미징을 위해 일반적으로 X window (“/xwin”)를 선택한다.

DIFMAP을 종료할 때는 아래와 같이 종료할 수 있다.

```
>exit
```

이때 이미징 작업에서 발생하는 명령어와 메시지를 로그에 저장할 수 있다. DIFMAP 종료 시 로그 파일 이름을 지정해 주거나, 기본적으로 difmap_#.log에 저장된다.

각 DIFMAP의 명령어에 대한 설명은 다음과 같이 확인할 수 있다.

```
>help <difmap 명령어>
```


3.2 UV 데이터 검사 및 정리

DIFMAP을 이용한 이미징을 하기 전에 UV 데이터를 검사할 필요가 있다. UVPLOT, RADPLOT을 이용하여 시간 및 uv-distance에 따른 visibility phase와 amplitude를 검사할 수 있다.

1) UV 데이터 로딩

```
>observe R11330C-M87.UVF
```

```
>select ll (stokes LL 선택)
```

```
0>observe R11330C-M87.UVF
Reading UV FITS file: R11330C-M87.UVF
AN table 1: 3551 integrations on 21 of 21 possible baselines.
Apparent sampling: 1 visibilities/baseline/integration-bin.
Found source: M87

There are 2 IFs, and a total of 2 channels:

  IF  Channel      Frequency  Freq offset  Number of  Overall IF
    origin      at origin  per channel  channels   bandwidth
-----
  01      1  2.2976e+10  1.475e+07         1  1.475e+07
  02      2  2.2992e+10  1.475e+07         1  1.475e+07
                                     (Hz)

Polarization(s): LL

Read 566 lines of history.

Reading 149142 visibilities.
0>select ll
Selecting polarization: LL, channels: 1..2
Reading IF 1 channels: 1..1
Reading IF 2 channels: 2..2
0>
```

그림 32 OBSERVE와 SELECT를 이용하여 UV 데이터 로딩 및 STOKES 선택

```
>header (UV 파일 헤더 확인)
```

```
0>header
```

```
UV FITS miscellaneous header keyword values:
```

```
OBSERVER = "r11330c"
DATE-OBS = "2011-11-26"
ORIGIN   = "AIPSlocalhost"    KVN          31DEC08"
TELESCOP = "VERA"
INSTRUME = "VLBA"
EQUINOX  = 2000.00
```

```
Sub-array 1 contains:
```

```
21 baselines    7 stations
3551 integrations    1 scans
```

Station	name	X (m)	Y (m)	Z (m)
01	MIZNA020	-3.857244e+06	-3.108783e+06	4.003899e+06
02	IRIKI	-3.521720e+06	-4.132175e+06	3.336994e+06
03	OGASA20	-4.491069e+06	-3.481545e+06	2.887400e+06
04	ISHIGAKI	-3.263995e+06	-4.808056e+06	2.619949e+06
05	KVNYONSE	-3.042279e+06	-4.045902e+06	3.867376e+06
06	KVNTAMNA	-3.171730e+06	-4.292678e+06	3.481040e+06
07	KVNULSAN	-3.287269e+06	-4.023450e+06	3.687380e+06

그림 33 HEADER로 확인한 UV 데이터의 헤더정보

2) UV 데이터 시간 평균

```
>uvave <적분시간, 초>, true
```

3) DIFMAP 기본 파라미터 설정

```
uvtaper 0,0
uvweight 0,0,false
selftaper 0,0
vflags="bmfel"
rflags="m3"
selfflag fals,0,0
mapsize 1024, 0.05 # have the size of pixels 1/5~1/6 of a minor beam
loglev 10,100,1.4
```

4) VPLOT을 이용한 시간에 따른 visibility 검사 및 flagging

>vplot

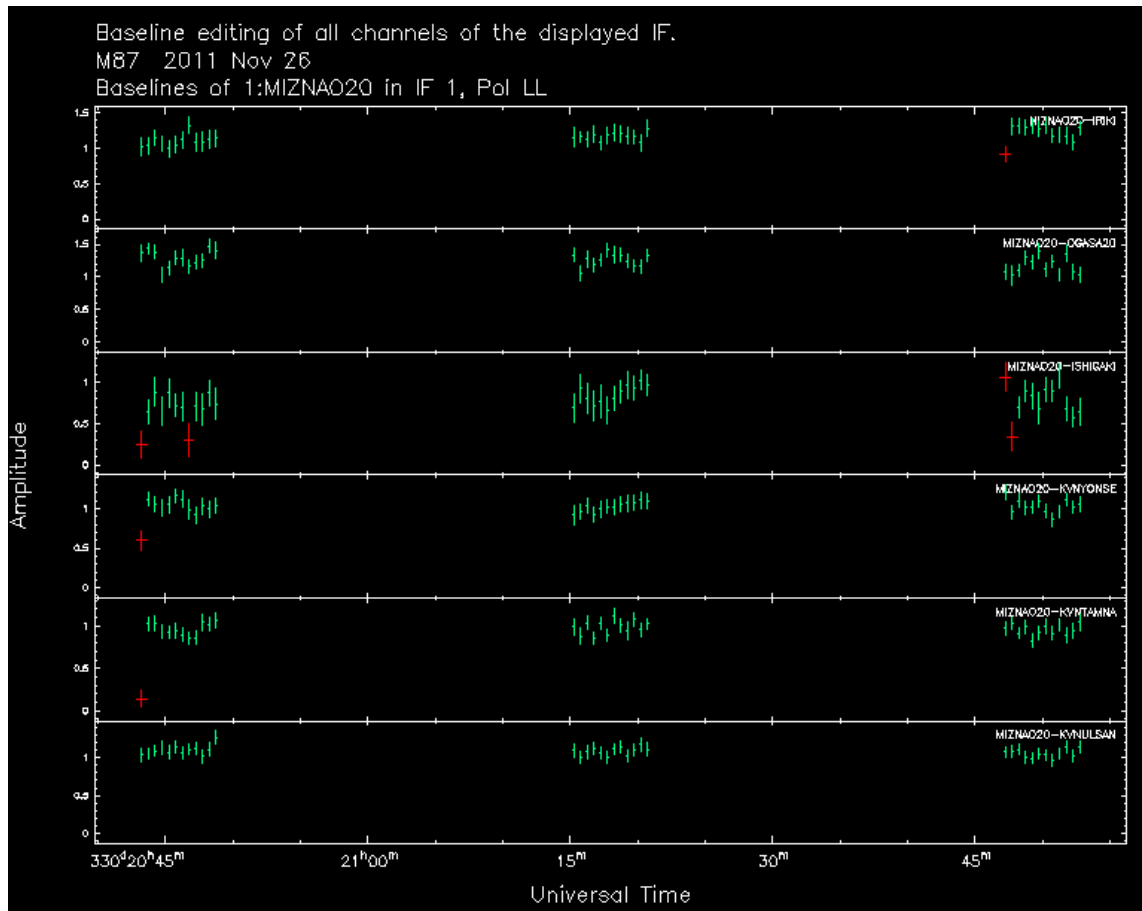


그림 34 VPLOT으로 확인한 Visibility amplitude의 시간에 따른 분포. 각 패널은 MIZNAO20 안테나가 포함된 기선의 Visibility amplitude로서, 330일 20시45분부터 55분까지 분포를 보여줌.

5) RADPLOT을 이용한 UV distance에 따른 visibility 검사

>radplot

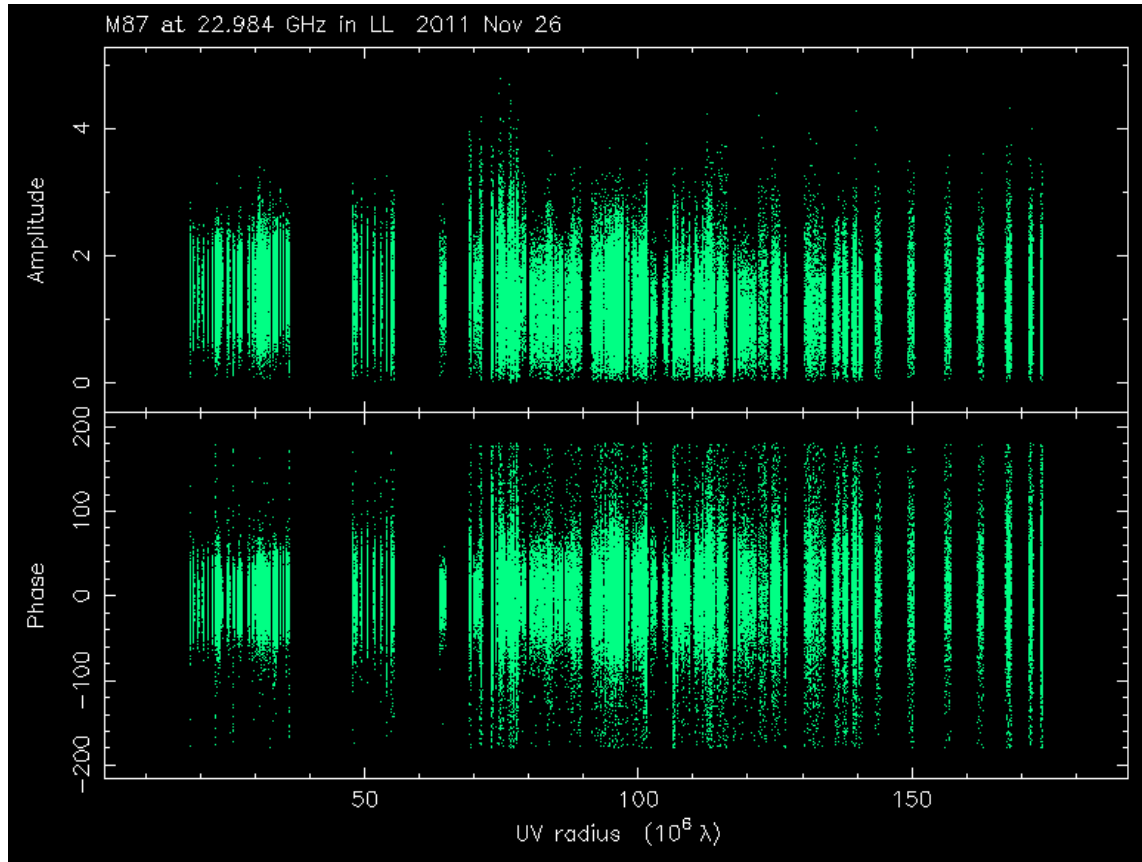


그림 35 RADPLOT을 이용하여 확인한 visibility amplitude와 phase의 uv-radius에 따른 분포. uv-radius의 단위는 파장의 10^6 배.

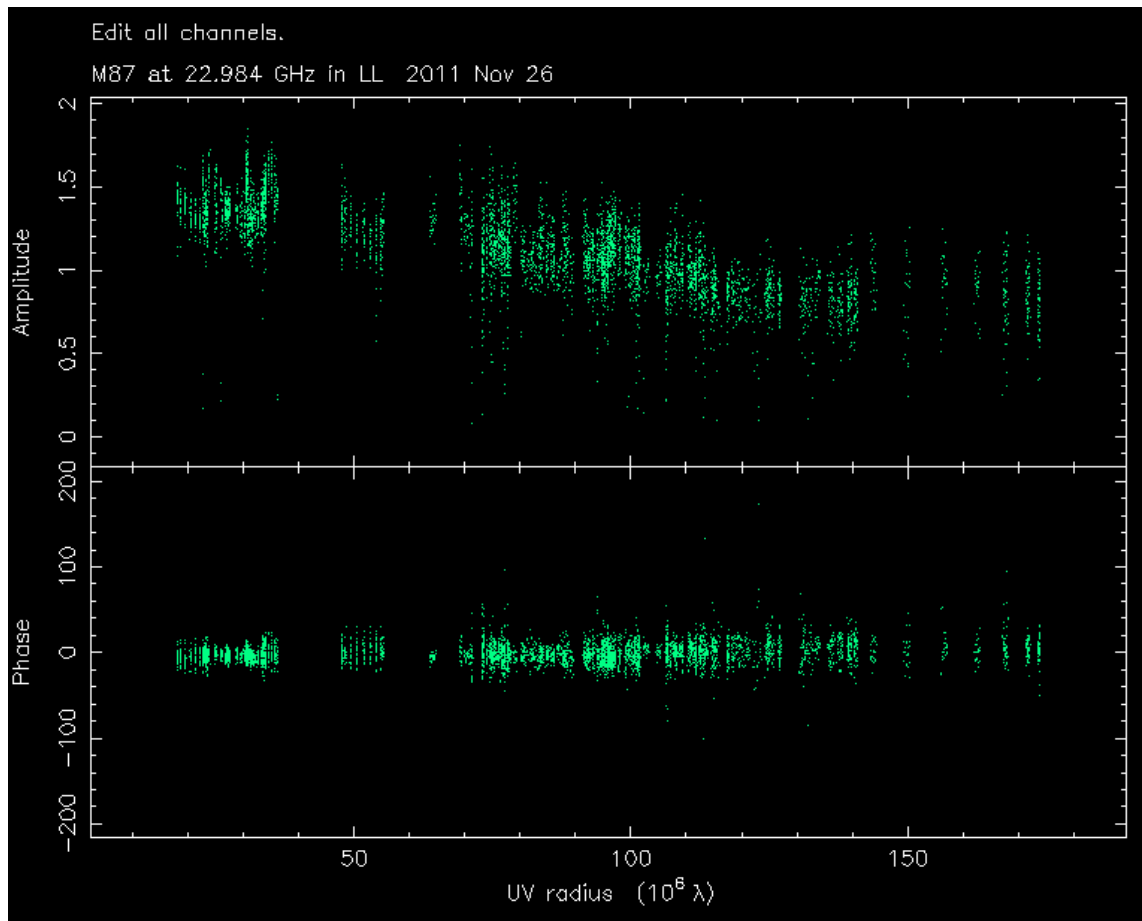


그림 36 RADPLOT을 이용하여 확인한 UVAVE (30초 평균)의 결과 visibility amplitude와 phase의 uv-radius 에 따른 분포. uv-radius의 단위는 파장의 10^6 배.

6) Residual map (Dirty map) 점검
>mapplot map

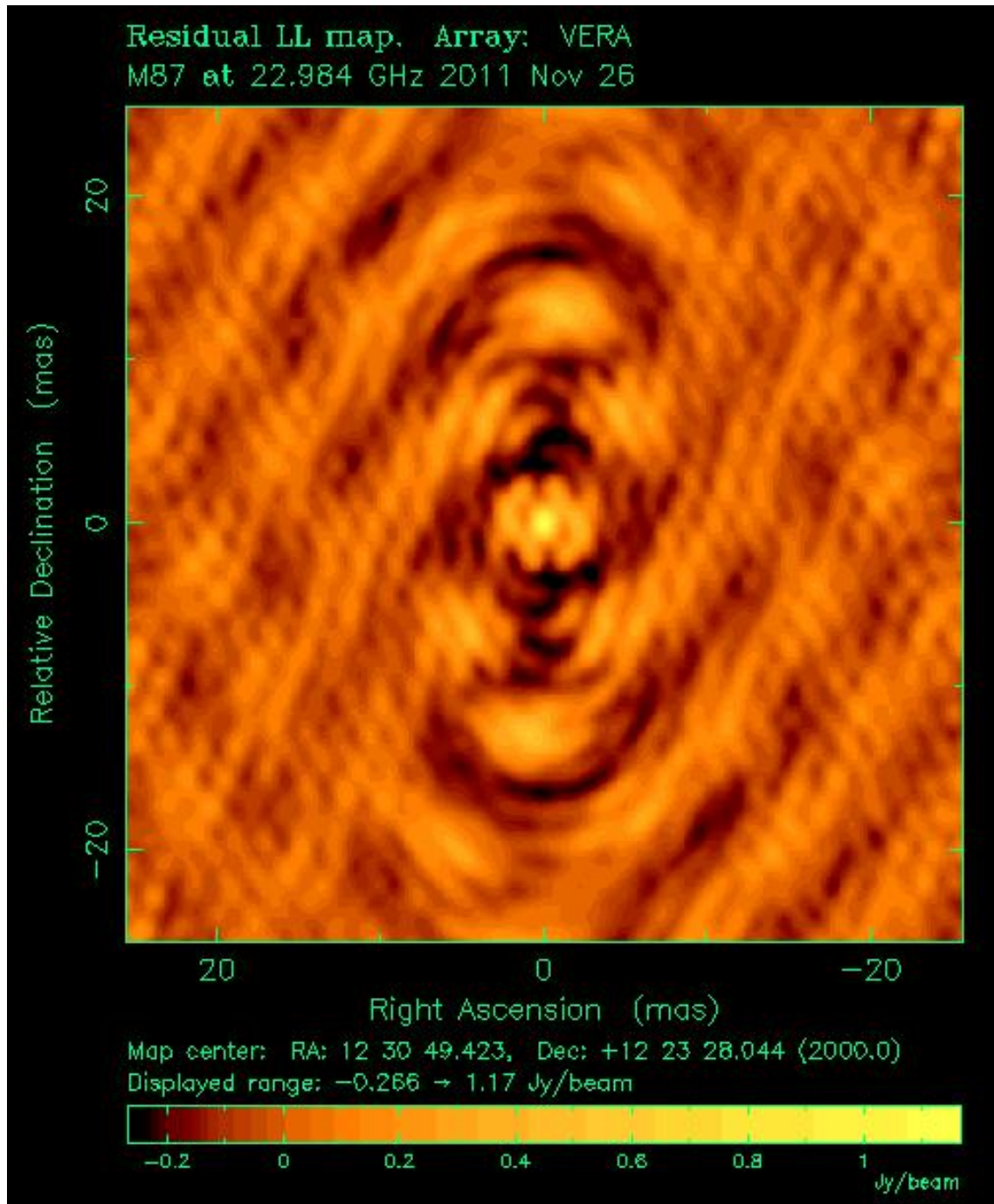


그림 37 MAPPLOT을 이용하여 확인한 Dirty map. 좌표는 상대적인 좌표(mas). 최대값은 1.17Jy/beam.

7) Dirty beam 점검

>mapplot beam

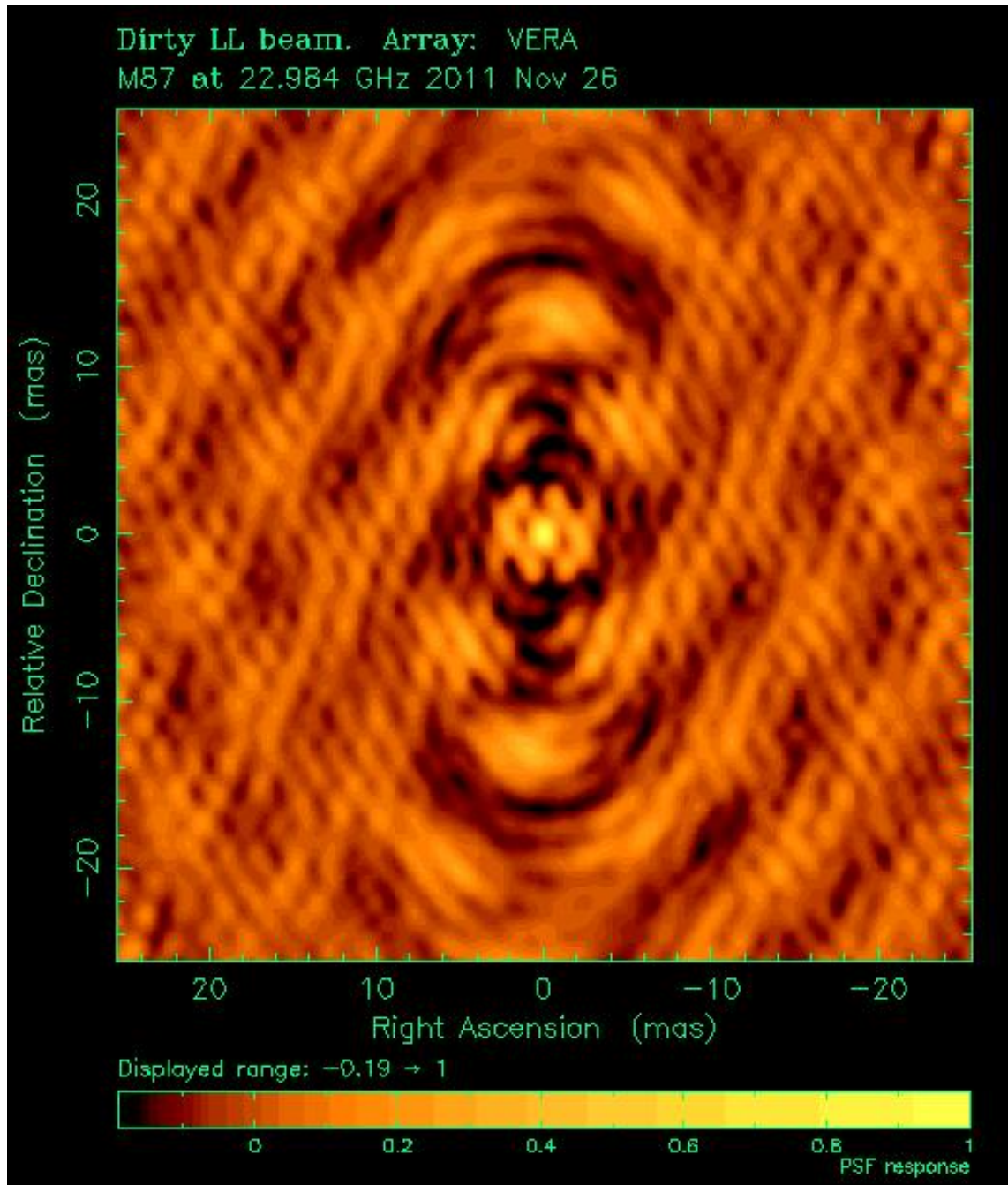


그림 38 MAPPLOT을 이용하여 확인한 Dirty beam. 좌표는 상대적인 좌표 (mas).

3.3 CLEAN 과 Self-calibration

1) 1Jy 점광원으로 위상자가보정 - startmod

>startmod

```
0>startmod
Applying default point source starting model.
Performing phase self-cal
Adding 1 model components to the UV plane model.
The established model now contains 1 components and 1 Jy

Correcting IF 1.
A total of 5 telescope corrections were flagged in sub-array 1.

Correcting IF 2.
A total of 7 telescope corrections were flagged in sub-array 1.

Fit before self-cal, rms=0.334759Jy  sigma=2.683946
Fit after self-cal, rms=0.293773Jy  sigma=2.437251
clrmod: Cleared the established, tentative and continuum models.
Redundant starting model cleared.
0>
```

그림 39 STARTMOD를 이용한 초기모델 위상자가보정 결과. 1Jy 밝기의 점광원을 이용한 위상자가보정을 통해 rms가 향상됨을 확인함.

2) CLEAN

>clean 10,0.1

```
0>clean 10,0.1
clean: niter=10  gain=0.1  cutoff=0
Total flux subtracted in 10 components = 0.759918 Jy
Clean residual min=-0.123544 max=0.406867 Jy/beam
Clean residual mean=-0.000149 rms=0.044061 Jy/beam
Combined flux in latest and established models = 0.759918 Jy
0>
```

그림 40 CLEAN의 결과

CLEAN 과정으로 통해 CLEAN 모델을 구한다. RADPLOT으로 CLEAN 모델이 UV 데이터를 잘 표현하는지 확인하면서 CLEAN을 계속 진행한다.

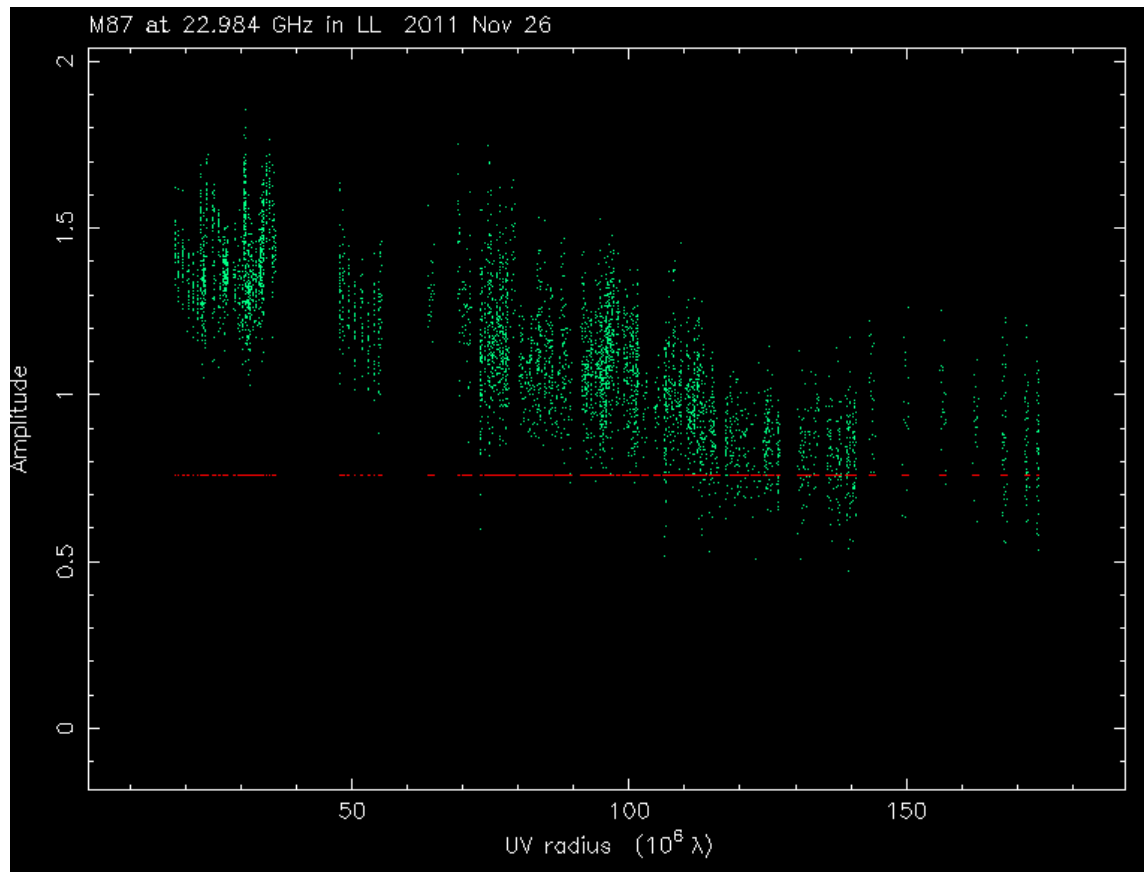


그림 41 RADPLOT로 확인한 CLEAN 모델(적색)과 visibility amplitude (연두색)

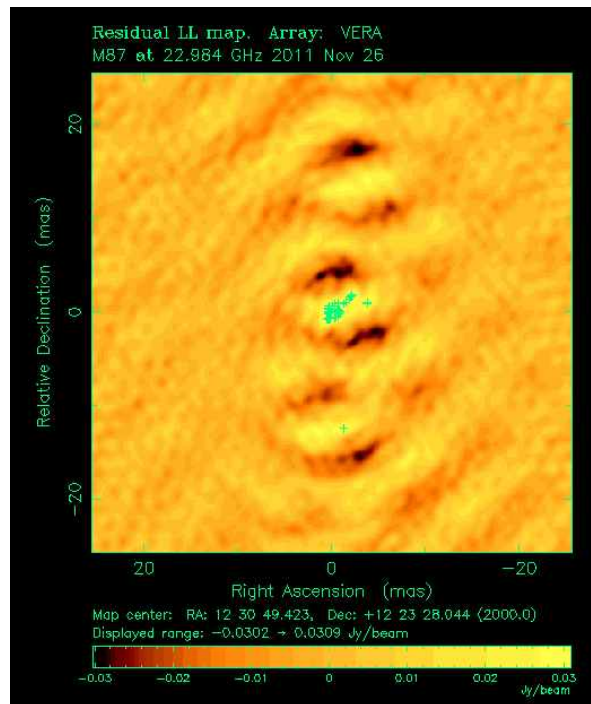


그림 42 초기 CLEAN의 결과 얻어진 CLEAN 모델과 Residual map.

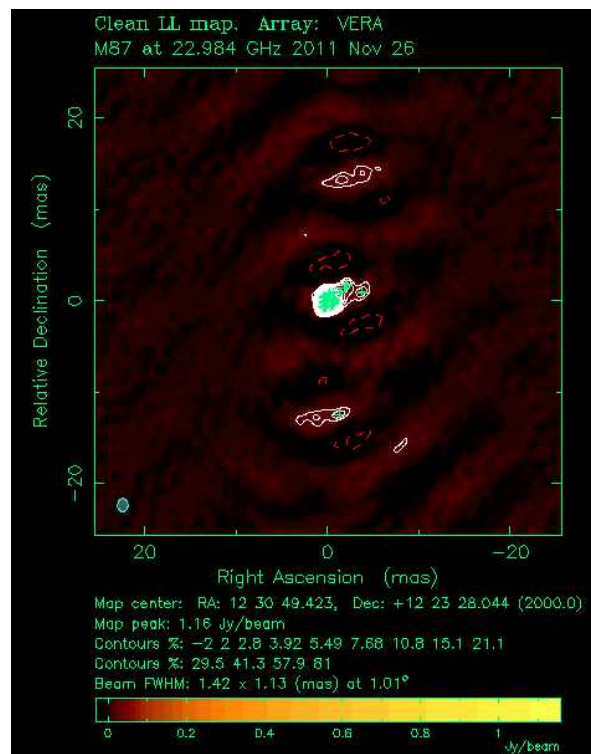


그림 43 CLEAN을 통해 얻어진 CLEAN모델과 Clean map

3) 위상 자가보정

>selfcal

```
0>selfc
Performing phase self-cal
Adding 1 model components to the UV plane model.
The established model now contains 1 components and 0.69853 Jy

Correcting IF 1.

Correcting IF 2.

Fit before self-cal, rms=0.504078Jy  sigma=4.201664
Fit after self-cal, rms=0.504077Jy  sigma=4.201663
0>
```

그림 44 CLEAN의 모델을 이용한 위상자가보정의 결과.

* residual map의 rms noise가 thermal noise와 비슷해질 때까지 CLEAN과 SELF-CAL을 반복한다. 그리고, residual map의 noise 분포가 어느 한 부분에 치우치지 않게 주의한다. 이는 천체 이미지가 덜 되었거나 (양수로 치우침), CLEAN이 과도하게 되었음(음수로 치우침)을 의미한다.

4) 진폭 자가보정

>gscale

>selfcal tru,tru, 500

*위상 자가보정을 통해 얻어진 CLEAN 모델이 visibility amplitude를 잘 표현하면, 진폭 자가보정을 순차적으로 수행한다. 가장 먼저 안테나별 gain을 조절하는 gscale을 수행한다. 이때 각 안테나의 gain 보정 값을 확인한다. 그리고 진폭 자가보정을 수행하는데, 이때 자가보정 interval을 순차적으로 줄여나가면서 corplot을 통해 gain 보정 값을 확인한다.

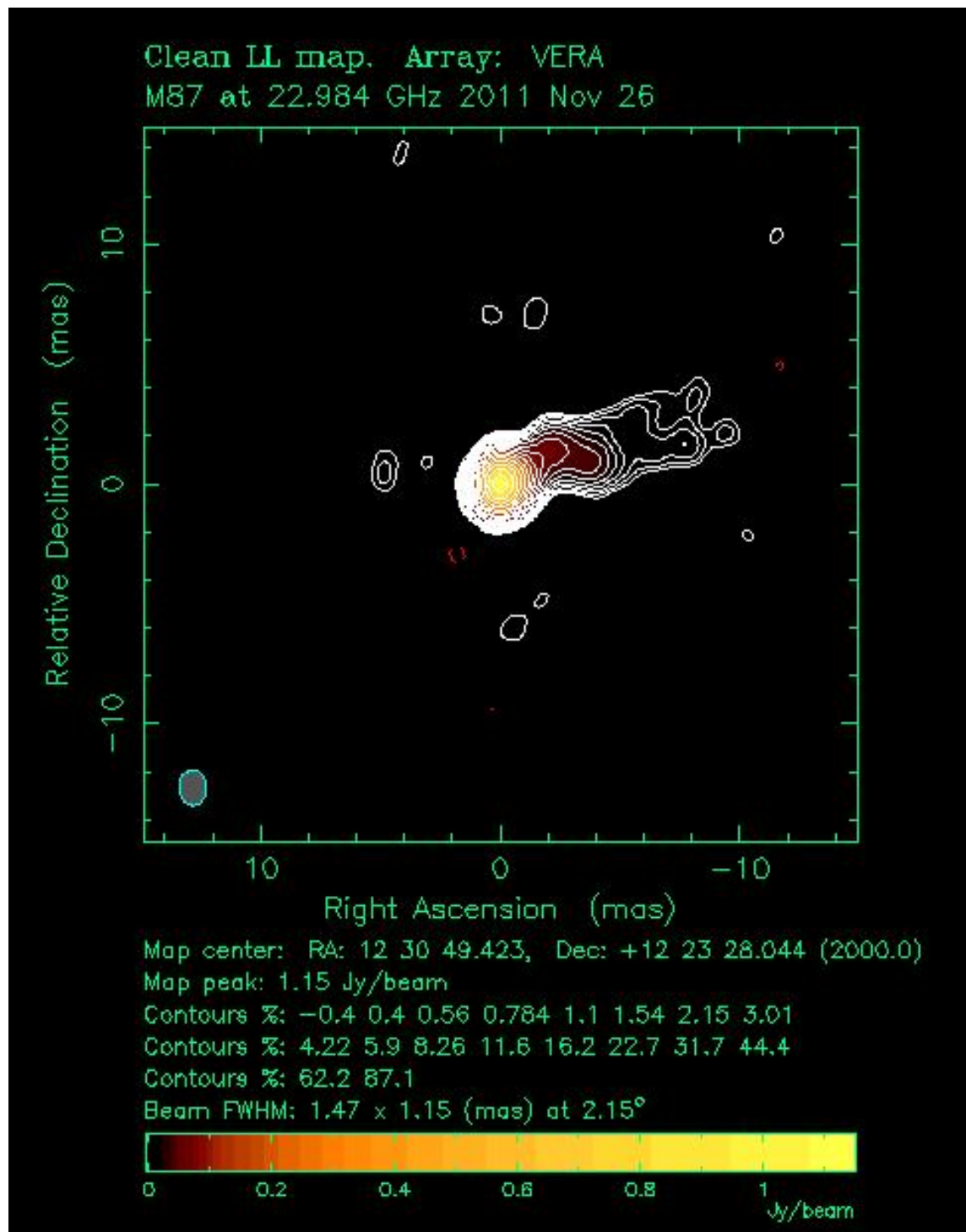


그림 45 위상 자가보정을 통해 얻어진 최종적 CLEAN map

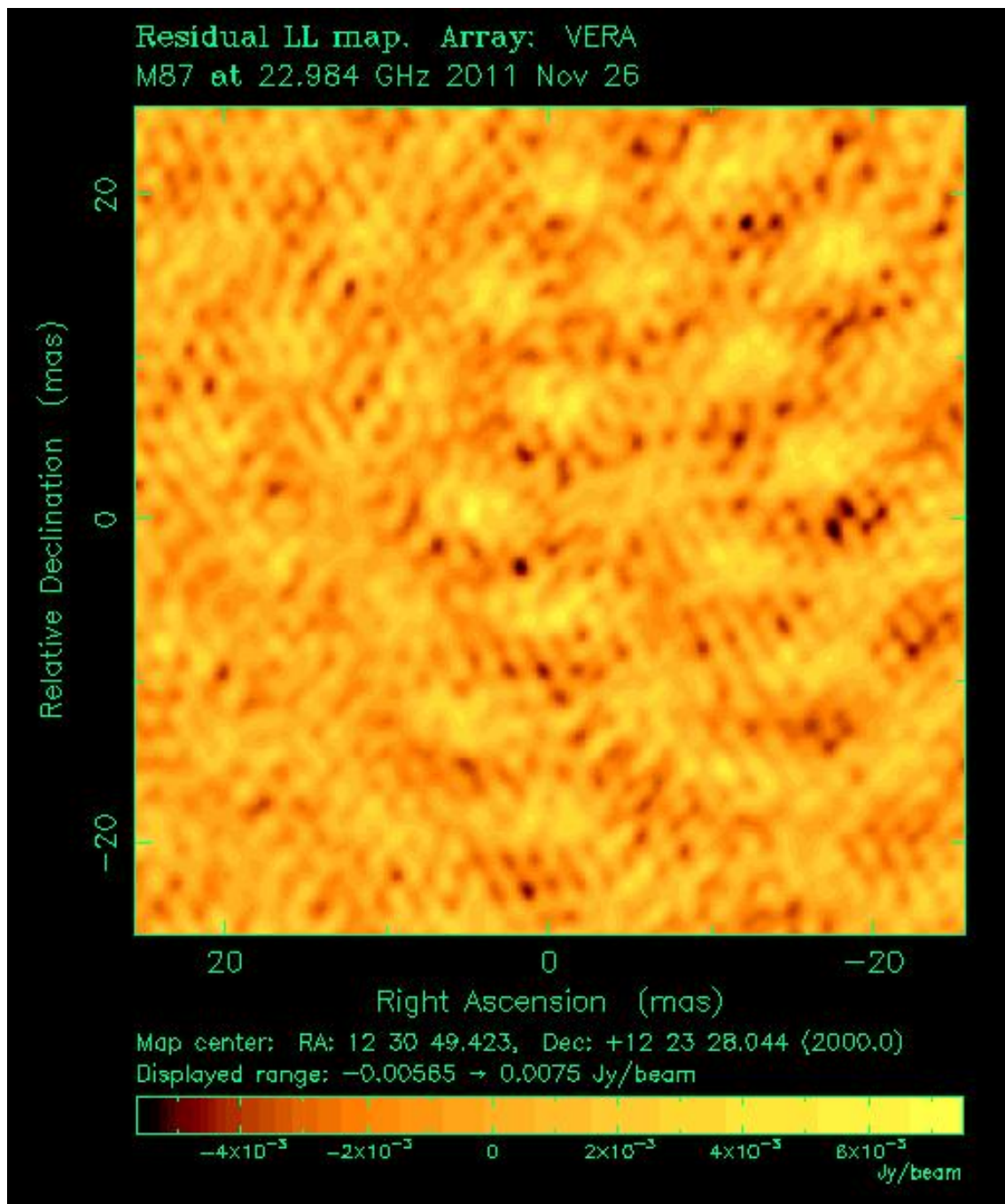


그림 46 위상자가보정을 통해 얻은 최종적 Residual map

4. AIPS를 이용한 메이저원 관측자료 처리 매뉴얼

여기서는 AIPS의 자료처리중 스펙트럼 라인관측에 관한 분석내용에 대해 다루도록 한다. 스펙트럼 라인관측은 별탄생영역과 만기형성에서 주로 보이는 메이저원이 대부분이며, 여기서 다루는 것은 R11027B FITS 데이터로 KVN+VERA로 관측되었으며 SgrB2M이라고 하는 메이저 천체가 포함되어 있다. 이 메이저 천체는 22GHz의 강한 H₂O 메이저 방출선을 보인다.

4.1 데이터 분석의 흐름

데이터 분석의 순서는 아래에 나열된 명령어순으로 적용되었으며, 1에서 6번까지의 내용은 연속과 천체와 공통된 부분으로, 앞부분에서 이미 설명되어 있으므로 이 절에서는 7번부터 설명한다. 각 명령어에 사용되는 상세 파라미터는 부록3을 참고할 수 있다.

1. FITLD : FITS파일로부터 이미지나 UV-data를 읽는 작업
2. MSORT : UV-data를 정렬하여 새 파일로 복사하는 작업
3. INDXR : UV-data를 정렬하여 index파일을 만드는 작업
4. ACCOR : 자기상관된 값을 이용하여 상호상관에 적용하는 작업
5. APCAL : 스펙트럼의 강도를 실제 Jy값으로 변환시키는 명령어
6. BPASS : 스펙트럼에서 적용된 bandpass의 값을 보정하는 명령어
7. FRING : delay, rate를 구하기위해 data를 fringe fitting하는 작업
8. CLCAL : SN table의 값을 이용하여 CL table를 만드는 작업
9. CVEL : 지구의 운동에 의한 도플러 효과를 보정하는 명령어
10. SPLIT : 생성된 테이블들을 각 천체에 대해 적용시키는 명령어
11. IMAGR : SPLIT으로 생성된 데이터로 천체의 그림을 그리는 명령어

4.2 Global fringe fitting (Calibrator)

메이저 천체와 같은 라인 관측에서는 한 개의 메이저원(spot) 당 극히 제한된 채널 (10채널이내)에서 신호가 발생한다. 그러므로 좁은 주파수 범위에서는 delay등을 구하기가 힘이 들기 때문에 밝은 calibrator 천체를 통해 우선적으로 global fringe fitting을 하여 clock offset 보정을 한다. 여기서는 3C345라고 하는 천체를 이용하여 global fringe fitting을 수행하였으며, 관련 파라미터는 다음과 같다.

> task 'fring'

CALSOUR "3C345"" -> 프린지 피팅할 천체를 넣는다

BCHAN 1 -> 연속파 천체이므로 모든 채널을 입력한다

ECHAN 0

ANTENNAS 0 -> 모든 안테나 사용

DOCALIB 1 -> 앞에서 사용한 캘리브레이션 테이블을 적용한다

GAINUSE 0

REFANT 2 -> 프린지피팅에서 사용할 기준 안테나를 지정한다

SOLINT 1 -> 프린지 피팅에서 각 1분마다 값을 구한다

APARM 0,0,0,0,0,0,4,0 -> SNR cutoff값을 4로 지정한다

DPARM 0,200,200,0,0,0,0,1,0 -> delay & rate를 찾는 범위를 지정하고, rate값을 0로 fix한다

> task 'clcal' -> 프린지 피팅에서 나온 sn 테이블을 적용하여 cl 테이블을 만든다

INTERPOL "AMBG" -> cl 테이블을 만들 때 interpolation하는 함수의 종류를 지정한다

SNVER 3 -> 적용할 sn 테이블 번호

REFANT 2 -> 기준으로 사용한 안테나번호

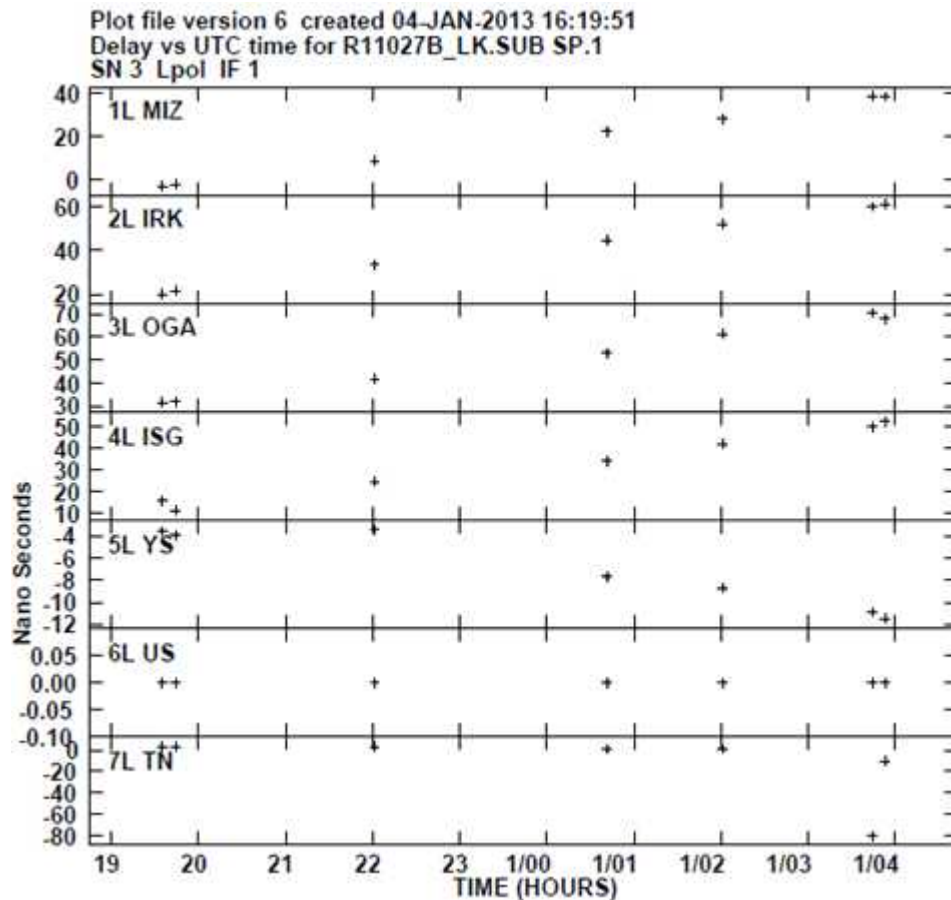


그림 47 global fringe fitting후 3C345의 delay 양상

4.3 fringe fitting (maser)

global fringe fitting후에 얻어진 delay값을 적용하여 메이저 천체에 대해 다시 프린지 피팅을 수행하였다. 연속파 천체의 경우 전 채널을 대상으로 프린지 피팅을 하지만 메이저 천체의 경우 피크 채널 한 개만으로 프린지 피팅을 한다. 스펙스럼을 확인한 결과 197번 채널이 가장 센 플럭스 값을 갖고 있어서 197번 채널을 대상으로 프린지 피팅을 수행하였다. 기본적인 파라미터는 4.2에서 수행한 것과 동일하며, 다른 값을 쓰는 것을 나타내었다. 프린지 피팅 후 snplt를 이용하여 메이저원의 SNR을 확인해 보면 그림 48과 같이 나타난다.

> task 'fring'

CALSOUR "SGRB2M"

-> 프린지피팅을 할 대상 메이저 천체

BCHAN 197

-> 메이저의 경우 한 채널만을 대상으로 프린지 피팅을 한다

ECHAN 197

DPARM 1,-1,0,0

-> 메이저의 경우 delay는 구하지않고 rate만 구한다.

> task 'clcal'

SNVER 4

-> 메이저에 대한 캘리브레이션 테이블을 만든다

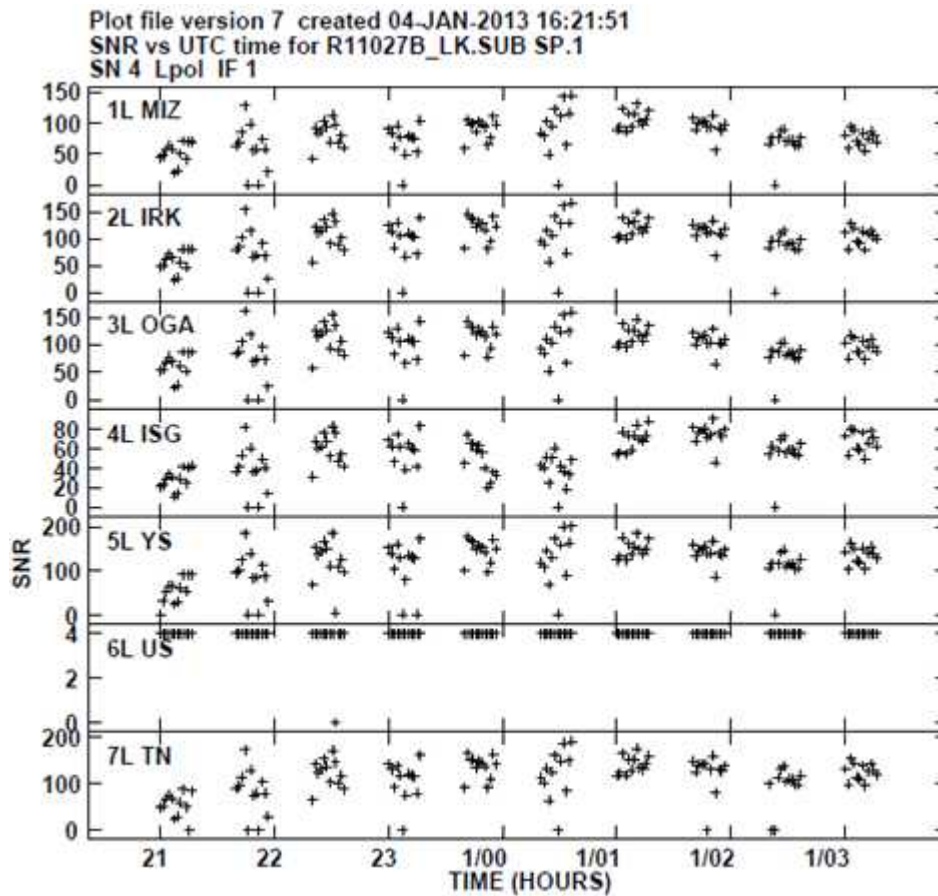


그림 48 fringe fitting후의 메이저천체 SGRB2M의 SNR

4.4 CVEL (도플러효과 보정)

일반적으로 VLBI관측에는 각각의 안테나 위치에서 지구 자전이나 공전에 의한 도플러 효과가 다른 값을 갖게 된다. 그러므로 관측시 도플러 효과 보정이 들어가지 않고 나중의 데이터 분석 과정에서 이 값을 보정해주어야 한다. AIPS에서는 SETJY, TABED, CVEL이라는 세 명령어로 도플러 효과 보정을 한다.

```
> task 'setjy'
```

```
SOURCES "SGRB2M"''''
```

```
SYSVEL 5 -> 메이저의 systemic velocity를 조사하여 넣는다
```

```
RESTFREQ 2.223E+10 5080000 -> 메이저의 기준주파수를 넣는다
```

```
VELTYP "LSR"
```

```
VELDEF "RADIO"
```

```
FREQID 1
```

```
APARM 256 0 -> sysvel에서 적용한 값이 256채널로 옮겨진다
```

```
> task 'tabed'
```

```
-> aips에서 cvel이 잘 작동하도록 array이름을 바꾼다
```

```
INEXT "AN"
```

```
OPTYPE "KEY"
```

```
APARM 0,0,0,3
```

```
KEYWORD "ARRNAM"
```

```
KEYVALUE 0
```

```
KEYSTRNG "VLBA"
```

```
TIMERANG 0
```

```
> task 'cvel'
```

```
-> cvel을 이용해 타겟 천체의 도플러효과를 보정한다
```

```
SOURCES "SGRB2M"''''
```

```
APARM 0,0,0,0,0,0,0,0,2,0
```

```
BADDISK 0
```

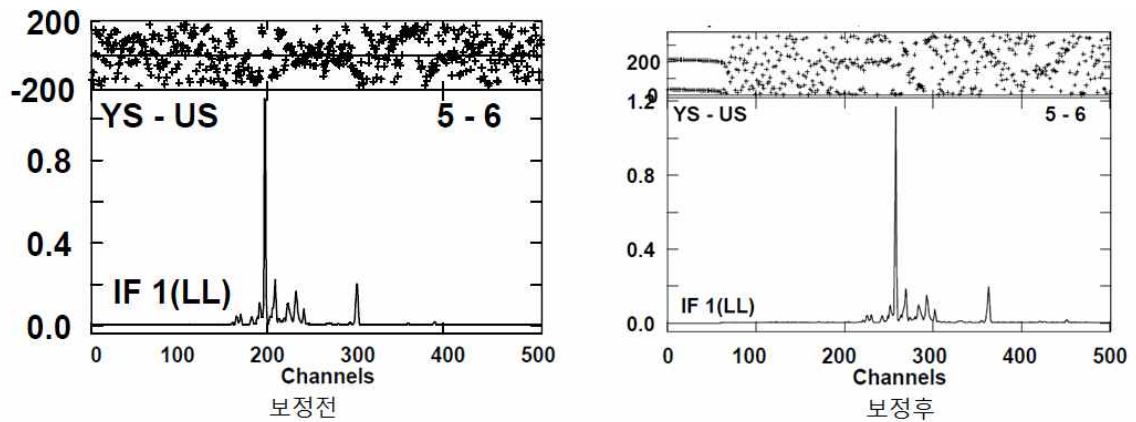


그림 49 도플러효과 보정전(좌)과 후(우)의 스펙트럼 변화

4.5 SPILT

메이저에 대한 모든 calibration이 끝났으므로 최종 CL table을 적용하여 맵을 그릴 준비를 한다. IF 번호를 지정하고 모든 채널, 모든 시간에 대해 최종적으로 나온 CL 테이블을 적용하여 split 파일을 만든다.

```
> task 'split'
INNAME "R11027B"
INCLASS "CVEL"
SOURCES "SGRB2M"
TIMERANG 0
BIF 0
EIF 0
BCHAN 0
ECHAN 0
SUBARRAY 0
DOCALIB 1
GAINUSE 4
DOBAND 1
BPVER 1
APARM 1
```

--> 메이저의 경우 지정된 IF에 채널을 그대로 보존한다

4.6 IMAGR

(1) 이미징 (단일 채널)

도플러효과 보정에 의해 peak 채널이 197번에서 256번으로 이동하였다. 여기서는 split 파일을 이용해 단일채널 256번의 메이저를 이미징한다. peak 채널을 기준으로 fringe fitting을 했으므로, imagr로 그려지는 메이저 스팟이 맵의 중심에 오는 것을 확인한다.

```
> task 'imagr'
INNAME "SGRB2M"
INCLASS "SPLIT"
INSEQ 1
INDISK 6
SOURCES "SGRB2M"
QUAL -1
CALCODE " "
TIMERANG 0
SELBAND -1
SELFREQ -1
FREQID -1
SUBARRAY 0
ANTENNAS 0
BASELINE 0
DOCALIB -1
GAINUSE 1
DOPOL -1
PDVER -1
BLVER -1
FLAGVER -1
DOBAND -1
BPVER 0
SMOOTH 0
STOKES " "
BCHAN 256
```

-> 그림을 그릴 채널을 입력

ECHAN 256

CELLSIZE 2E-4

-> 맵의 픽셀 사이즈를 지정한다

IMSIZE 512

-> 하나의 맵에 사용되는 픽셀의 수를 지정한다

NFIELD 1

NITER 200

-> clean과정을 수행하는 횟수를 지정한다

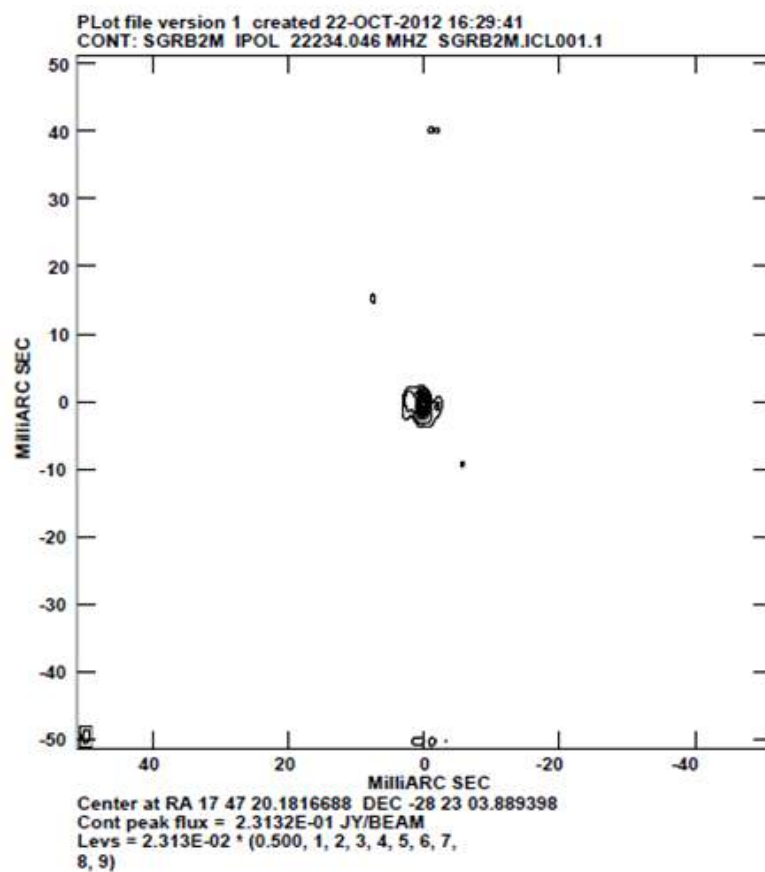


그림 50 단일채널(peak-256ch) 이미징 후의 메이저스
팟의 위치, (0,0)의 위치에 있는 것을 알 수 있다.

(2) 이미징 (복수 채널)

메이저 천체의 경우 일정한 영역안에 적개는 수십개 많게는 수천개 이상의 메이저
스팟들이 존재한다. 그러므로 메이저 천체의 이미징은 스펙트럼을 참고하여 각각의 피
크 채널을 찾고, 거기에 해당하는 메이저 스팟들을 모두 찾아 위치를 구하고 2차원 분

포맷을 작성하는 것이 일반적이다. 메이저의 위치를 찾기 위해 우선 그림 50와 같이 복수채널 이미징을 실시하고, 최소 3개채널 이상에서 같은 위치에 보이는 것이 메이저 스팟이라고 추정할 수 있다. 여기에서는 264, 269, 274, 280, 284채널에 해당하는 곳에 메이저 스팟이 있는 것이 확인되었고 스펙트럼과 비교하면 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. `imagr` 태스크의 파라미터는 단일채널 이미지와 같으며 다른 부분은 다음과 같다.

```
>task 'imagr'
```

```
BCHAN 261
```

-> 복수채널 이미징에 사용할 채널을 지정한다

```
ECHAN 290
```

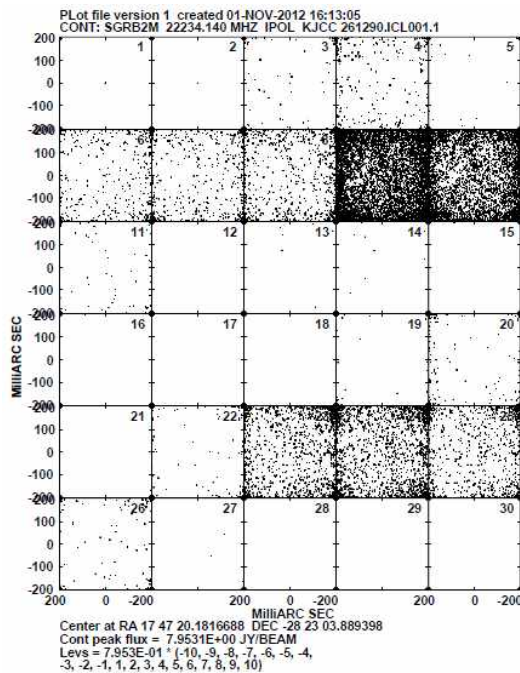


그림 51 복수채널 이미징의 나타낸 스펙트럼

예, 261-290채널을 동시에 이미징한 결과

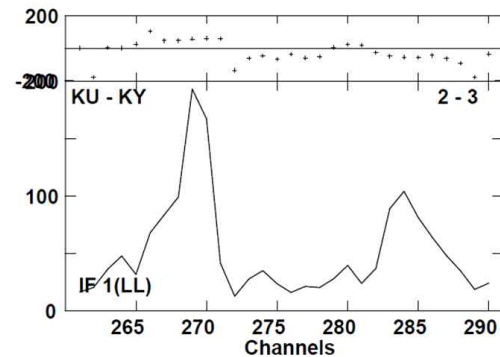


그림 52 확대하여 261-290채널만

그리고 각 스팟들의 피크채널들을 다시 한 채널씩 이미징하면 프린지 피팅시 사용한 기준 메이저 스팟에 대한 상대위치를 찾을 수 있다. 그림 52는 메이저 스팟의 2차원 분포맵을 보여준다.

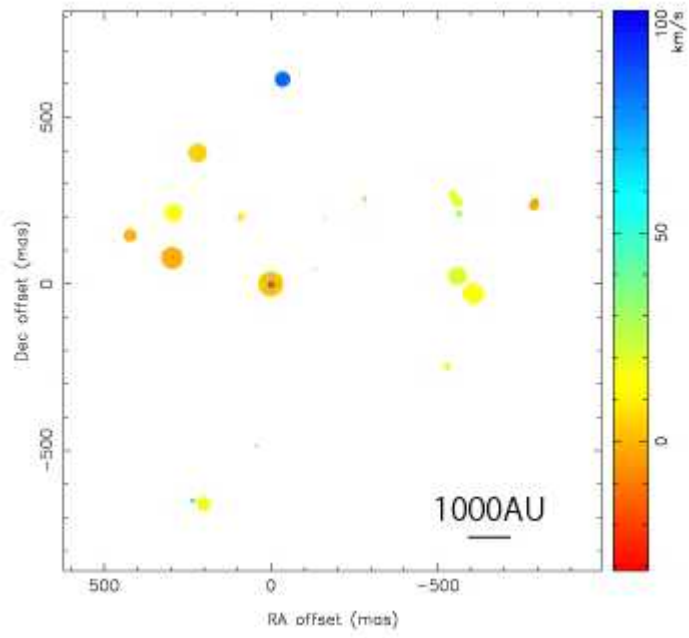


그림 53 메이저 스팟들의 2차원 분포 맵

참고문헌

- Han, S.-T., Lee, J.-W., Kang, J. et al., 2013, Korean VLBI Network Receiver Optics for Simultaneous Multifrequency Observation: Evaluation, PASP, 125, 539
- Lee, S.-S., Byun, D.-Y., Oh, C. S. et al., 2011, Single-Dish Performance of KVN 21 m Radio Telescopes: Simultaneous Observations at 22 and 43GHz, PASP, 123, 1398
- Lee, S.-S., Petrov, L., Byun, D.-Y.. et al., 2014, Early Science with the Korean VLBI Network: Evaluation of System Performance, AJ, 147, 77
- Petrov, L., Lee, S.-S., Kim, J. et al., 2012, Early Science with the Korean VLBI Network: The QCAL-1 43 GHz Calibrator Survey, AJ, 144, 150
- Honma, M., Oyama, T., Hachisuka, K. et al., 2000, J-Net Galactic-Plane Survey of VLBI Radio Sources for VLBI Exploration of Radio Astrometry (VERA), PASJ, 52, 631

부록 I. AIPS 빠른 설치방법

written on 17 March 2012 (Taehyun Jung)

```
# This document explains how to install AIPS on your linux machine
# by using binary installation. Here, I assume the Linux OS is CentOS 5.5.
```

for MAC users, please see <http://www.aips.nrao.edu/Mac.shtml>

```
# For the AIPS version, I would strongly recommend to use recent version
# of AIPS such as 31DEC11 or 32DEC12
```

if the '#' mark is presented in front of command set, it means that you need
to superuser privilege, on the other hand, '\$' mark means user account is
OK.

1. download the "Install Wizard" file on the AIPS website :
<http://www.aips.nrao.edu/dec10.shtml>
install.pl

2. make a directory where AIPS program will be installed.

```
#mkdir /opt/aips (AIPS ROOT)
#chmod -R 777 /opt/aips
```

3. copy the install wizard file to the AIPS ROOT

now you have insall.pl file at the directory : /opt/aips/install.pl

4. give a permission for execution to install.pl

```
#chmod +x install.pl
```

5. please copy and paste following lines to the end of /etc/services

```
#vi /etc/services
```

```

sssin          5000/tcp          SSSIN          # AIPS TV server
               - 56 -

```

ssslock	5002/tcp	SSSLOCK	# AIPS TV Lock
msgserv	5008/tcp	MSGSERV	# AIPS Message Server
tekserv	5009/tcp	TEKSERV	# AIPS TekServer
aipsmt0	5010/tcp	AIPSMT0	# AIPS remote FITS disk access
aipsmt1	5011/tcp	AIPSMT1	# AIPS remote tape 1
aipsmt2	5012/tcp	AIPSMT2	# AIPS remote tape 2
aipsmt3	5013/tcp	AIPSMT3	
aipsmt4	5014/tcp	AIPSMT4	
aipsmt5	5015/tcp	AIPSMT5	
aipsmt6	5016/tcp	AIPSMT6	
aipsmt7	5017/tcp	AIPSMT7	

6. Lets start AIPS binary installation!

```
$. /install.pl
```

```
AipsWiz: ==> a binary installation? [Y/N, default N] : Y
```

```
Screen 0: INTRODUCTION
```

```
AipsWiz: ==> Press <ENTER> or <RETURN> to get started: [Enter]
```

```
Screen 4: Group Ownership
```

```
AipsWiz: ==> What group should be used for AIPS? [username] [Enter]
```

```
Screen 4b: Group Write
```

```
AipsWiz: ==> Allow sjoh to have write access? [YES] [Enter]
```

```
Screen 5: Site Name
```

```
AipsWiz: ==> Your site name: [required, no default] (for example) KVN
```

```
Screen 5a: Site type
```

```
AipsWiz: ==> Press <RETURN> to confirm, or enter N or n to deny
[Y]: [Enter]
```

```
Screen 5b: Architecture Confirmation
```

```
AipsWiz: ==> Enter the architecture for this system [LNX64] (mostly)
[Enter]
```

```
Screen 6: Additional hosts if any
```

AipsWiz: ==> Enter new hosts (no commas!) or LOCALHOST to reset:
(mostly) [Enter]

Screen 7: User Data Areas

AipsWiz: ==> Data Areas: (Here you need to specify your data area
specifically) /opt/aips/DATA/LOCALHOST_1

Screen 8: Printers

AipsWiz: ==> Your choice (default: Accept): [Enter]

AipsWiz: ==> Do your printer(s) use A or A4 paper? [A]: A4

Screen 9: Tape Drives

AipsWiz: ==> Your choice (default: Accept): [Enter]

Screen 9B: Tape Hosts

AipsWiz: ==> Your choice (default: Accept): [Enter]

Screen 11: FINAL REVIEW before installing!

(Please, check all the settings are correctly specified! If Ok, then)
[Enter]

AipsWiz: ==> Confirm: start the install with these settings [Y]: [Enter]

--> Now, the installation script starts downloading the necessary files.

MAKE.BMNJ - Press <RETURN> to acknowledge...: [Enter]

CVS password: [AMANAGER]

MAKE.BMNJ - Press <RETURN> when ready to proceed...: [Enter]

AipsWiz: ==> Press <ENTER> to continue...: [Enter]

--> Then, you should see following messages, which imply the
successful
installation of AIPS.

AipsWiz: =====> We're DONE! Let's have a nice Banana Split!
<=====

AipsWiz: Here are the final setup instructions for running AIPS

1. Reference the LOGIN.SH file in your .profile file
(dot it now too, via ". ./LOGIN.SH")

2. Check that it works:

```
aips notv tpok
```

(this will not start a TV or tape servers).

Try 'print 2 + 2' for a very basic test.

3. Make a cron entry for the do_daily.LOCALHOST file that the MAKE.MNJ created, so you can run the AIPS 'midnight job'. This is optional but strongly recommended.

AipsWiz: That's it. You should now have the latest AIPS! Enjoy.

7. Final setup

You need to tell the AIPS \$PATH to your shell. Here is an example. Please add following lines to your .tcshrc or .cshrc

** In case of tcsh or csh :

```
setenv aips /opt/astro/aips  
source /opt/astro/aips/LOGIN.CSH
```

** In case of bash :

```
export aips=/opt/aips  
source /opt/aips/LOGIN.SH
```

8. Enjoy AIPS!!

If you have any question, feel free to ask! Cheers!

부록 2. DIFMAP 빠른 설치방법

```
# PGPLOT & Difmap installation guide by Taehyun Jung (2013 May 31)
# OS : Linux (Ubuntu 10.04 or later)
#
# To install difmap on your machine, following items need to be installed.
# --> pgplot, fortran compiler (g77 or gfortran), and X11 libraries
# Here, I assume that you have installed pgplot at /usr/local/pgplot
# and g77 libraries on the standard path.
#
# If you use Ubuntu linux distribution, you can install those items
# with "sudo apt-get install g77 libX11-dev libncurses-dev"
# You can download pgplot & difmap from ftp.astro.caltech.edu
# packages : difmap2.4l.tar.gz & pgplot522.tar.gz
#
# You need a privilege of super user for installation
# If you have any comment or question, please contact to me.
```

```
# 1. PGPLOT installation
```

```
1. move your pgplot file to /usr/local/src
mv pgplot522.tar.gz /usr/local/src
```

```
2. uncompress the file
cd /usr/local/src
tar xzvf pgplot522.tar.gz
```

```
3. create pgplot root directory
mkdir /usr/local/pgplot
cd /usr/local/pgplot
```

```
4. copy the driver.list file to the pgplot root directory
cp /usr/local/src/pgplot/drivers.list .
```

```
5. select device you install on drivers.list
   I recommend you to remove (uncomment) an exclamation mark (!)
   in front of following drivers
```

GIF, VGIF, PS, VPS, CPS, VCPS, TEK4010, XTERM, XWINDOW, XSERVE

6. create a makefile

```
/usr/local/src/pgplot/makemake /usr/local/src/pgplot/ linux g77_gcc
```

7. edit your SHELL environment to tell the location of pgplot on your machine

add following lines to your .bashrc (.tcshrc or .cshrc) or /etc/profile

```
# PGPLOT (for bash shell)
export PGPLOT_DIR=/usr/local/pgplot
export PGPLOT_DEV=/xwin
export PGPLOT_LIB=/usr/local/pgplot
export LD_LIBRARY_PATH=/usr/local/pgplot
export PGPLOT_FONT=/usr/local/pgplot/grfont.dat
```

```
# PGPLOT (for cshell or tcshell)
setenv PGPLOT_DIR /usr/local/pgplot
setenv PGPLOT_DEV /xwin
setenv PGPLOT_LIB /usr/local/pgplot
setenv LD_LIBRARY_PATH /usr/local/pgplot
setenv PGPLOT_FONT /usr/local/pgplot/grfont.dat
```

8. now you can test your pgplot by executing demos

```
/usr/local/pgplot/pgdemo1
```

```
/usr/local/pgplot/pgdemo2
```

```
/usr/local/pgplot/pgdemo3
```

...

there are 17 demos you can try!

Now, let's install difmap

1. move your difmap file to /usr/local/src

```
mv difmap2.4l.tar.gz /usr/local/src
```

2. uncompress the file

```
cd /usr/local/src
```

```
tar xvzf difmap2.4l.tar.gz
```

3. move difmap to uvf_difmap

```
mv uvf_difmap /usr/local
```

```
cd /usr/local/uvf_difmap
```

4. configure difmap

```
./configure linux-i486-gcc
```

5. run makeall & makemanual

```
./makeall
```

```
cd doc
```

```
./makemaunal
```

6. create a symbolic link to difmap execution file

```
ln -s /usr/local/uvf_difmap/difmap /usr/local/bin/
```

7. now you can enjoy difmap

부록 3. 메이저원 관측자료 처리 파라미터

부록 3.1 Global fringe fitting (Calibrator)

tget fring	SMOOTH 0	tget clcal
INNAME "R11027B";	IN2NAME " "	INNAME "R11027B"
INCLASS "MSORT"	IN2CLASS " "	INCLASS "MSORT"
INSEQ 1	IN2SEQ 0	INSEQ 1
INDISK 6	IN2DISK 6	INDISK 6
CALSOUR "3C345""	INVERS 0	SOURCES " "
QUAL -1	NCOMP 0	SOURCE " "
CALCODE " "	FLUX 0	CALSOUR " "
SELBAND -1	NMAPS 0	QUAL -1
SELFREQ -1	CMETHOD " "	CALCODE " "
FREQID -1	CMODEL " "	TIMERANG 0
TIMERANG 0	SMODEL 0	SUBARRAY 0
BCHAN 1	OUTNAME " "	ANTENNAS 0
ECHAN 0	OUTCLASS " "	SELBAND -1
CHINC 0	OUTSEQ 0	SELFREQ -1
ANTENNAS 0	OUTDISK 6	FREQID 1
DOFIT 0	REFANT 2	OPCODE "CALI"
SUBARRAY 0	SEARCH 5,1,6,3,7,4,0	INTERPOL "SIMP"
UVRANGE 0	SOLINT 1	CUTOFF 0
WTUV 0	SOLSUB 2	SAMPTYPE " "
WEIGHTIT 0	SOLMIN 0	BPARM 0
DOCALIB 1	APARM 0,0,0,0,0,0,4,0	ICUT 0.1
GAINUSE 0	DPARM 0,200,200,0,0,0,0,1,0	DOBLANK 0
DOPOL -1	SNVER 0	DOBTWEEN 1
PDVER -1	ANTWT 0	SMOTYPE "VLBI"
BLVER -1	BADDISK 0	SNVER 3
FLAGVER 0		INVERS 0
DOBAND -1		GAINVER 0
BPVER 0		GAINUSE 0
		REFANT 2
		BADDISK 0

부록 3.2 fringe fitting (maser)

tget fring	BPVER 0	tget clcal
INNAME "R11027B"	SMOOTH 0	INNAME "R11027B"
INCLASS "MSORT"	IN2NAME " "	INCLASS "MSORT"
INSEQ 1	IN2CLASS " "	INSEQ 1
INDISK 6	IN2SEQ 0	INDISK 6
CALSOUR "SGRB2M"	IN2DISK 6	SOURCES " "
*rest " "	INVERS 0	SOURCE " "
QUAL -1	NCOMP 0	CALSOUR " "
CALCODE " "	FLUX 0	QUAL -1
SELBAND -1	NMAPS 0	CALCODE " "
SELFREQ -1	CMETHOD " "	TIMERANG 0
FREQID -1	CMODEL " "	SUBARRAY 0
TIMERANG 0	SMODEL 0	ANTENNAS 0
BCHAN 197	OUTNAME " "	SELBAND -1
ECHAN 197	OUTCLASS " "	SELFREQ -1
CHINC 0	OUTSEQ 0	FREQID 1
ANTENNAS 0	OUTDISK 6	OPCODE "CALI"
DOFIT 0	REFANT 2	INTERPOL "AMBG"
SUBARRAY 0	SEARCH 5,1,6,3,7,4,0	CUTOFF 0
UVRANGE 0	SOLINT 1	SAMPTYPE " "
WTUV 0	SOLSUB 10	BPARM 0
WEIGHTIT 0	SOLMIN 0	ICUT 0.1
DOCALIB -1	APARM 0,0,0,0,0,3,0	DOBLANK 0
GAINUSE 0	DPARM 1,-1,0,0	DOBTWEEN 1
DOPOL -1	SNVER 0	SMOTYPE "VLBI"
PDVER -1	ANTWT 0	SNVER 4
BLVER -1	BADDISK 0	INVERS 0
FLAGVER 0		GAINVER 0
DOBAND -1		GAINUSE 0
		REFANT 2
		BADDISK 0

부록 3.3 CVEL (도플러효과 보정)

tget setjy	tget tabed	tget cvel	tget tabed
INNAME "R11027B"	INNAME "R11027B"	INNAME "R11027B"	INNAME "R11027B"
INCLASS "MSORT"	INCLASS "MSORT"	INCLASS "MSORT"	INCLASS "CVEL"
INSEQ 1	INSEQ 1	INSEQ 1	INSEQ 1
INDISK 6	INDISK 6	INDISK 6	INDISK 6
SOURCES "SGRB2M" ""	INEXT "AN"	OUTNAME " "	INEXT "AN"
QUAL -1	INVERS 1	OUTCLASS " "	INVERS 1
BIF 0	OUTNAME " "	OUTSEQ 0	OUTNAME " "
EIF 0	OUTCLASS " "	OUTDISK 6	OUTCLASS " "
ZEROSP 0	OUTSEQ 0	SOURCES "SGRB2M" ""	OUTSEQ 0
OPTYPE " "	OUTDISK 6	QUAL -1	OUTDISK 6
CALCODE " "	OUTVERS 1	TIMERANG 0	OUTVERS 1
SYSVEL 5	BCOUNT 1	SELBAND -1	BCOUNT 1
RESTFREQ 2.223E+10	ECOUNT 0	SELFREQ -1	ECOUNT 0
5080000	OPTYPE "KEY"	FREQID 1	OPTYPE "KEY"
VELTYP "LSR"	APARM 0,0,0,3	SUBARRAY 0	APARM 0,0,0,3
VELDEF "RADIO"	KEYWORD "ARRNAM"	FLAGVER 0	KEYWORD "ARRNAM"
FREQID 1	KEYVALUE 0	DOBAND 1	KEYVALUE 0
APARM 256 0	KEYSTRNG "VLBA"	BPVER 0	KEYSTRNG "VERA"
	TIMERANG 0	GAINUSE 0	TIMERANG 0
		APARM 0,0,0,0,0,0,0,2,0	
		BADDISK 0	

부록 3.4 SPILT

tget split	OUTCLASS " "
INNAME "R11027B"	OUTSEQ 0
INCLASS "CVEL"	OUTDISK 6
INSEQ 1	DOUVCOMP 1
INDISK 6	APARM 1
SOURCES "SGRB2M" ""	NCHAV 1
QUAL -1	CHINC 1
CALCODE " "	ICHANSEL 0
TIMERANG 0	BADDISK 0
STOKES " "	
SELBAND -1	
SELFREQ -1	
FREQID -1	
BIF 0	
EIF 0	
BCHAN 0	
ECHAN 0	
SUBARRAY 0	
DOCALIB -1	
GAINUSE 0	
DOPOL -1	
PDVER -1	
BLVER -1	
FLAGVER 0	
DOBAND -1	
BPVER 0	
SMOOTH 0	

부록 3.5 IMAGR

부록 3.5.1 이미징 (단일 채널)

tget imagr	CHANNEL 0	ROBUST 0	IM2PARM 0
INNAME "SGRB2M"	NCHAV 1	UVBOX 0	NGAUSS 0
INCLASS "SPLIT"	CHINC 1	UVBXFN 1	WGAUSS 0
INSEQ 1	BIF 0	XTYPE 5	FGAUSS 0
INDISK 6	EIF 0	YTYPE 5	MAXPIXEL 0
SOURCES "SGRB2M"'''	OUTNAME " "	XPARM 0	IN3NAME " "
QUAL -1	OUTDISK 6	YPARM 0	IN3CLASS " "
CALCODE " "	OUTSEQ 0	NITER 200	IN3SEQ 1
TIMERANG 0	OUTVER 0	BCOMP 0	IN3DISK 1
SELBAND -1	IN2NAME " "	ALLOKAY 0	IN4NAME " "
SELFREQ -1	IN2CLASS " "	NBOXES 0	IN4CLASS " "
FREQID -1	IN2SEQ 0	CLBOX 0	IN4SEQ 0
SUBARRAY 0	IN2DISK 6	BOXFILE " "	IN4DISK 0
ANTENNAS 0	CELLSIZE 2E-4	OBOXFILE " "	FQTOL -1
BASELINE 0	IMSIZE 512	GAIN 0.1	DOTV -1
DOCALIB -1	NFIELD 1	FLUX 0	GRCHAN 0
GAINUSE 1	DO3DIMAG -1	MINPATCH 51	BADDISK 0
DOPOL -1	FLDSIZE 0	BMAJ 0	
PDVER -1	RASHIFT 0	BMIN 0	
BLVER -1	DECSHIFT 0	BPA 0	
FLAGVER -1	UVTAPER 0	OVERLAP 0	
DOBAND -1	UVRANGE 0	ONEBEAM -1	
BPVER 0	GUARD 0	OVRSWTCH 0	
SMOOTH 0	ROTATE 0	PHAT 0	
STOKES " "	ZEROSP 0	FACTOR 0	
BCHAN 256	UVWTFN " "	CMETHOD " "	
ECHAN 256'	UVSIZE 0	IMAGRPRM 0	

부록 3.5.2 이미징 (복수 채널)

tget imagr
BCHAN 261
ECHAN 290