

한국우주전파관측망(KVN)의 영상모의실험

정태현^{1,2}, 이명현^{3†}, 노덕규¹, 김현구¹, 손봉원¹

¹한국천문연구원

²과학기술연합대학원대학교 천문우주과학과

³연세대학교 천문대

IMAGING SIMULATIONS FOR THE KOREAN VLBI NETWORK(KVN)

Tae-Hyun Jung^{1,2}, Myung-Hyun Rhee^{3†}, Duk-Gyoo Roh¹,
Hyun-Goo Kim¹, and Bong-Won Sohn¹

¹Korea Astronomy Observatory, Daejeon 305-348, Korea

²Department of Astronomy and Space Science, University of Science and Technology, Daejeon 305-333, Korea

³Yonsei University Observatory, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

E-mail: thjung@trao.re.kr

(Received November 29, 2004; Accepted February 17, 2005)

요 약

한국우주전파관측망(Korean VLBI Network: KVN)은 우리나라 최초의 초장기선 전파간섭계로 새로운 천문우주 연구 분야 및 측지, 지구물리 등의 연구를 위하여 3기의 21m 최첨단 밀리미터파 전파 안테나를 이용하여 우주를 바라보는 새로운 영역을 개척할 예정이다. 전파간섭계의 성능은 안테나 배열 및 관측 대상 천체의 적위, 그리고 천체의 크기 및 형태에 따른 의존성이 매우 크다. 본 연구는 현재 설정되어있는 KVN 관측소 및 시스템 자료를 근거로 단일 점광원, 다중 점광원, 원형광원 2개, Cygnus A의 5개 모델 영상에 대하여 가상관측을 수행하였다. 적위에 따른 KVN의 UV 궤적 분포로부터 가장 이상적이라고 여겨지는 적위 60도인 천체에 대하여 22GHz의 관측 파장으로 12시간 동안 가상관측을 수행하여 얻어진 UV데이터를 가지고 간섭계 표준 영상처리를 하였다. 그 결과 22GHz에서 예상되는 KVN의 빔 크기에 의해 분해가 되지 않는 모델들의 RMS 대비 최대대비 강도(Jy/Beam)가 대략 점광원의 경우 10000:1, 지름 6mas(milli arcsecond) 원형광원의 경우 5000:1 정도로 매우 높은 반면, 빔 크기보다 큰 모델에서는 115:1 및 34:1 정도로 현저하게 감소하였으며 영상의 복원 정도도 이와 같은 결과를 보였다. 이것은 KVN이 상대적으로 적은 기선의 개수로 인하여 UV평면을 충분히 채우지 못하며, 동시에 짧은 기선이 부족하여 넓은 분포를 가지는 천체들에 대한 영상화능력이 떨어지기 때문이다. 그러나 각 모델과 CLEAN 영상과의 픽셀 좌표비교에서는 12mas 원형광원을 제외하고는 정확하게 일치함을 보였다. 그러므로 KVN의 주요한 관측 대상은 콤팩트한 천체들이 적당할 것이며, 이러한 천체들에 대하여 KVN은 위치측정에 우수한 성능을 보였다.

ABSTRACT

The Korean VLBI Network (KVN) will open a new field of research in astronomy, geodesy and earth science using the newest three 21m radio telescopes. This will expand our ability to look at the Universe in the millimeter regime. Imaging capability of radio interferometry is highly dependent upon the antenna configuration, source size, declination and the shape of target. In this paper, imaging simulations are

[†]corresponding author

carried out with the KVN system configuration. Five test images were used which were a point source, multi-point sources, a uniform sphere with two different sizes compared to the synthesis beam of the KVN and a Very Large Array (VLA) image of Cygnus A. The declination for the full time simulation was set as +60 degrees and the observation time range was -6 to +6 hours around transit. Simulations have been done at 22GHz, one of the KVN observation frequency. All these simulations and data reductions have been run with the Astronomical Image Processing System (AIPS) software package. As the KVN array has a resolution of about 6 mas (milliarcsecond) at 22GHz, in case of model source being approximately the beam size or smaller, the ratio of peak intensity over RMS shows about 10000:1 and 5000:1. The other case in which model source is larger than the beam size, this ratio shows very low range of about 115:1 and 34:1. This is due to the lack of short baselines and the small number of antenna. We compare the coordinates of the model images with those of the cleaned images. The result shows mostly perfect correspondence except in the case of the 12mas uniform sphere. Therefore, the main astronomical targets for the KVN will be the compact sources and the KVN will have an excellent performance in the astrometry for these sources.

Keywords: Korean VLBI Network, radio interferometry, imaging simulation

1. 서 론

우리나라 최초의 초장기선 전파간섭계인 한국우주전파관측망(KVN: Korean VLBI Network)은 새로운 천문우주 연구 분야 및 측지, 지구물리 등의 연구를 위하여 2001년도부터 시작되어 현재 2007년 완성을 목표로 하고 있다. KVN은 3기의 21m 최첨단 밀리미터파 전파 안테나를 이용하여 우주를 바라보는 새로운 영역을 개척할 예정이다. KVN 3기의 안테나는 연세대(서울), 울산대(울산), 탐라대(제주)에 각각 건설되고 있으며, KVN 사이트는 초장기선 전파간섭계(VLBI: Very Long Baseline Interferometry)의 가장 큰 특징인 높은 분해능을 얻기 위한 초장기선 및 최적의 합성 빔을 얻기 위하여 선택되었다(김현구 등 2001). 지상에 건설되는 전파간섭계는 지구의 자전을 이용하여 장시간 적분 관측을 수행하는 그 특징상 지상에서의 안테나 배열 및 관측 대상 천체의 적위에 대한 의존성이 매우 크다. 따라서 안테나 위치 및 구성에 관한 연구는 전파간섭계가 건설되는데 있어서 가장 기본적이고 필수적인 연구인 동시에 매우 중요한 연구이다. 이렇게 선정된 KVN 안테나 구성으로부터 다양한 천체에 대한 관측 능력과 효율을 알아볼 필요성이 제기되었다.

일반적으로 이러한 가상 관측 모의실험으로부터 얻고자 하는 것은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째는 최적의 성능을 발휘하는 안테나 구성을 찾아내는 것이고, 두 번째는 다양한 안테나 구성에 따른 영상 및 시스템 성능의 특성을 파악하는 일이다. 이러한 연구들을 근거로 시스템의 구체적인 사양들, 예를 들면 수신기 및 상관기(correlator) 그리고 자료 처리 등에 이르는 기술적인 요소들에 대한 기준을 제시해오고 있다(ALMA MEMO Series; <http://www.alma.nrao.edu/memos/>). 본 연구

표 1. KVN 안테나의 위치정보 및 기선거리.

안테나	경도 (° ' ")	위도 (° ' ")	고도 (m)	기선거리(km)		
				연세	울산	탐라
연세	126 56 35	37 33 44	260	-	305.2	477.7
울산	129 15 04	35 32 22	120	305.2	-	358.5
탐라	126 27 43	33 17 18	320	477.7	358.5	-

에서는 다양한 천체들에 대한 KVN의 영상화 능력이 어느 정도이며, 그 특성들이 어떻게 나타나는지 알아보기 위하여 여러 가지 모델 천체들에 대한 가상 관측을 수행하여 나오는 결과를 비교 분석해 보았으며, 이를 위하여 전파간섭계의 보편적인 화상처리 프로그램인 AIPS(Astronomical Image Processing System)를 사용하였다.

2. 한국우주전파관측망

한국우주전파관측망은 천체에서 오는 우주전파를 3기의 전파망원경으로 동시 관측하여 직경 약 500km에 해당하는 초대형 전파망원경으로 관측하는 것과 같은 분해능을 얻는 최첨단 시스템이다. 현재 KVN은 3개의 지역(연세대, 울산대, 탐라대)에 21m 급의 밀리미터파 VLBI 전용 망원경을 설치하고, 수신기 및 자료획득시스템(Data Acquisition System; DAS), 고속기록기, 수소메이저 시계 및 컴퓨터 제어 시스템을 구성하는 것을 목표로 하고 있다. 전파간섭계의 성능 및 효율을 알아볼 수 있는 가장 기본적인 방법은 UV 분포 및 그에 따른 합성 빔을 분석하는 것이다. UV 분포는 가능한 한 최장의 기선으로 UV 평면을 넓고 고르게 채우는 것이 좋으며, 동시에 합성 빔의 모양이 깨끗하고 주변의 에러 빔의 세기가 작을수록 좋다. KVN 관측소 선정을 위하여 우리나라의 여러 후보지 조합들에 대하여 앞서 언급한 다양한 조건을 만족시키는 UV 분포와 합성 빔 분석에 관한 연구가 수행되었다(김현구 등 2001). 표 1은 최종 결정된 KVN 각 전파망원경의 경위도와 고도, 그리고 기선거리를 보여주고 있다. KVN의 최장기선은 연세-탐라 관측소의 기선으로 477.7km에 이른다. 전파간섭계 시스템에서의 최대 분해능은 관측파장과 최장기선의 거리에 의존하므로, 22GHz의 관측주파수로 천체를 관측하였을 때 예상되는 합성 빔의 크기는 대략 6mas 정도이다.

3. UVCON

UVCON은 사용자에게 의해 주어지는 각 안테나 위치좌표에 대하여 가상 UV데이터를 만들어 내는 AIPS 태스크이다. 이 태스크에서는 안테나 배열 및 특성을 정의한 파일과 천체 모델의 정보로부터 비지빌리티(Visibility)를 생성하며, 주어진 모델에 해당되는 비지빌리티와 각각의 안테나 특성에 따른 가우시안 노이즈가 각 비지빌리티에 대하여 계산된다(AIPS 매뉴얼). 이렇게 생성된 가상 UV데이터는 표준 AIPS UV 데이터 파일 형식으로 저장된다. UVCON 태스크를 이용한 안테나 배열 특성 및 영상모의실험에 관한 연구는 Kogan(1999), Kogan & Perly(2003)을 비롯하여 Conway(2000a,b,c), Wright(2002) 그리고 Yun(2001) 등에 의해서 활발하게 이루어져 왔다. 이와 같은 연구들은 기존에 주어지거나 새롭게 연구되는 간섭계 구성으로부터 UVCON 태스크를 이용하여 다양한 모델에 대한

표 2. 안테나 구성 및 특성 입력파일(UVCON).

항 목	내 용
Line 1	안테나개수
Line 2	기준 안테나 위치(위도, 경도)
Line 3	변환계수
Column 1	좌표계(적도, 지평, 측지, 간섭계 중심 적도좌표계)
Column 2	안테나좌표 X
Column 3	안테나좌표 Y
Column 4	안테나좌표 Z
Column 5	안테나직경(m)
Column 6	안테나효율
Column 7	안테나시스템온도(K)
Column 8	신호의 디지털 자료 변환계수
Column 9	비교계수(VLBI 경우)

가상관측 UV데이터를 생성하여 영상을 만들어 내고 이들에 대한 분석결과를 제시하였다. 여기서 나온 결과는 실제 관측결과와 약간의 차이는 있으나 다양한 에러 요소들을 고려한 모의실험을 수행할 수 있으므로 전반적인 간섭계 시스템의 효율을 알아보는데 있어서 매우 중요한 의의를 지닌다.

KVN의 가상 UV데이터를 생성하기 위하여 UVCON에서 설정하는 기본적인 설정값은 표 2와 같다(정태현 2004). 각 관측지에 대한 위치좌표는 Equatorial, Local Tangent Plane, Geodetic, Array Centered Equatorial의 네 가지 좌표계중 하나로 기술할 수 있다(AIPS 매뉴얼). 사용되는 변환계수는 Column 1 ~ 5까지 정의되는 안테나좌표 및 안테나직경 단위를 미터로 변환하는 값이다. 이때 각 기준 안테나를 KVN 연세(서울) 안테나로 설정하였으며, 안테나 시스템 온도는 50K, 안테나 효율은 0.6으로 설정하였다. 그리고 신호에 대한 디지털 변환계수는 2비트 샘플링하는 것으로 디지털변환계수 레벨 4로 설정하였다.

4. KVN 영상모의실험

4.1 천체 모델

다양한 천체에 관한 관측 효율을 알아보기 위하여 단일 점광원, 다중 점광원, 원형광원, Cygnus A를 모델 영상으로 선택하였다. 단일 점광원의 영상모의실험은 KVN의 합성 빔의 형태에 대한 이해를 가져다주는 가장 기본적인 영상모의실험이다. 다중 점광원은 KVN 시야의 범위에는 있지만 관측 천체의 중심을 지향하여 관측하지 않는 경우, 관측시야 범위에서 존재할 수 있는 천체에 대한 관측 능력을 알아볼 수 있다. 원형광원은 22GHz로 관측하였을 때 예상되는 합성 빔의 크기인 6mas(milli arcsecond)의 지름을 가지는 것과 합성 빔 크기의 두 배인 12mas 지름을 가지는 것 두 가지로 나누어 선정 하였다. VLBI 영상처리에서 합성되는 빔의 크기보다 천체가 큰 경우에는 합성 빔 주변의 사이드로브(sidelobe)들과 빔보다 큰 영상 영역에서의 천체밝기가 콘볼루션(convolution)되어 영상화질을 저하시키는 현상이 나타난다. 따라서 실제 영상에서 그 특성을 알아보기 위하여 KVN의 합성 빔과 같은 크기의 지름을 갖는 모델과 2배 큰 모델에 대하여 영상모의실험을 수행하였다. 이상의 4가

표 3. KVN 영상 모의실험 설정값.

항 목	설 정 값
관측 주파수(f)	22 GHz
관측 천체의 적위(Dec)	60°
최소 관측 시간각*	-6 hour
최대 관측 시간각*	+6 hour
최소 안테나 고도	30°
적분시간	100 sec
관측 대역폭	256 MHz
픽셀 간격	1.5 mas

* 관측 시간각은 간섭계 중심 안테나에서의 시간각이다.

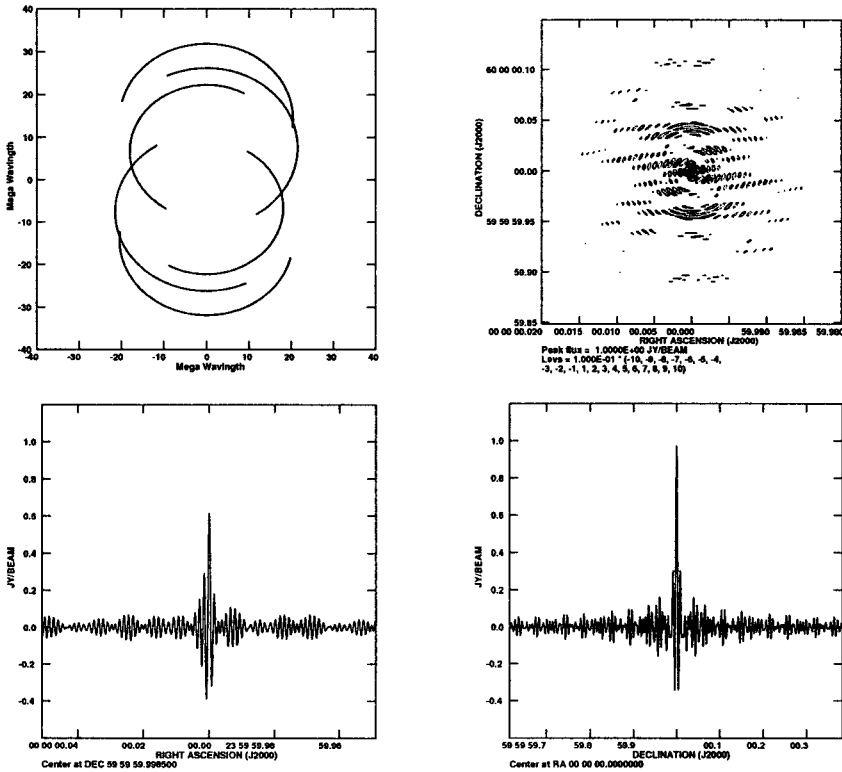


그림 1. 적위 60도에서의 UV 궤적(좌상), 합성 빔 모양(우상), 합성 빔의 가로축 단면도(좌하) 그리고 합성 빔의 세로축 단면도(우하).

지 모델들은 1Jy의 세기를 갖는 천체들로 설정하였다. 그리고 매우 높은 밝기강도를 가지는 코어부분과 상대적으로 낮은 밝기강도를 가지며 매우 넓은 영역에 걸친 제트구조를 가지고 있는 Cygnus A를 모델로 선정하여, 복잡한 구조를 가진 천체 모델에 대한 KVN의 영상화 능력을 알아보하고자 하였다. 이때 사용된 Cygnus A의 영상은 VLA에서 관측된 영상이다.

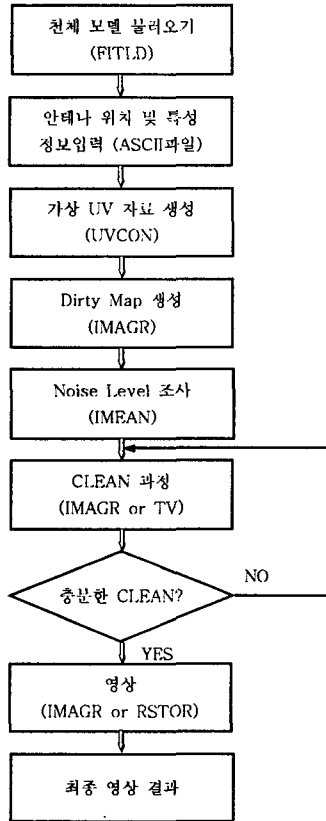


그림 2. 영상모의실험 순서도.

4.2 가상관측 설정 및 과정

KVN 영상모의실험은 대기에 의한 위상 흔들림 효과나 안테나의 지향정밀도에 따른 오차 및 다른 환경적 요인들에 의한 오차를 고려하지 않은 경우를 가정하고 수행하였다. 이러한 KVN 영상모의실험의 기본적인 설정값을 표 3에 정리하였다. 현재 KVN에서 최우선적으로 설치 될 예정인 수신기는 22GHz 및 43GHz 대역의 수신기이기 때문에 우선 22GHz에서 영상모의실험을 수행하였다. 천체의 적위는 가장 이상적인 UV 궤적 및 합성 빔의 분포를 보이는 적위 60도로 설정하였다(그림 1). 관측시간은 관측 가능한 전 시간(Full Time Tracking)을 가정하여 KVN 간섭계 중심 안테나(연세대 관측소)의 자오선으로부터 $-6 \sim +6$ 의 시간각에 이르는 12시간 관측을 수행할 경우로 설정하였다. 또한 관측 가능 안테나 고도는 30도로 설정하였으며, 적분시간은 100초, 관측대역폭은 256MHz 단일 채널 관측으로 설정하였다. 구경합성관측을 통하여 얻어지는 비지빌리티는 전체 UV 평면을 다 채우는 이상적인 경우가 아니므로, 각 UV 샘플 점들로부터 관측되는 값을 적당한 함수로 콘볼루션(convolution)하여 UV 평면상의 각 픽셀 간격에 대해 다시 샘플링 하는 과정을 거치게 된다(Thompson et al. 2001). 그러므로 픽셀 간격(cell spacing)은 영상모의실험을 수행하는데 있어서 또 하나의 중요한 요소이다. 본 연구에서 픽셀 간격은 합성 빔 크기 6mas의 1/4인 1.5mas로 설정하였다(정태현 2004).

표 4. 모델에 따른 영상모의실험의 결과.

모델	CLEAN	RMS(Jy/Beam)		최대밝기강도(Jy/Beam)		최대밝기강도: RMS	
	횟수	Dirty Image	Clean Image	Dirty Image	Clean Image	Dirty Image	Clean Image
점광원	81	2.94×10^{-2}	9.45×10^{-5}	1.00 (256,256)	1.00 (256,256)	34:1	10582:1
다중점광원	1204	1.01×10^{-1}	1.90×10^{-4}	1.03 (448, 64)	9.96×10^{-1} (320, 64)	10:1	5053:1
원형광원 (6mas 지름)	1133	1.85×10^{-2}	1.28×10^{-4}	5.85×10^{-1} (256,257)	6.59×10^{-1} (256,257)	32:1	5148:1
원형광원 (12mas 지름)	966	5.64×10^{-3}	1.27×10^{-3}	8.64×10^{-2} (256,255)	1.46×10^{-1} (256,257)	15:1	115:1
Cygnus A	672	1.94	6.26×10^{-1}	20.8 (368,314)	21.3 (368,314)	11:1	34:1

괄호안의 숫자는 512×512 영상에서의 픽셀 좌표값이다.

가상관측 영상모의실험 순서도를 나타내면 그림 2와 같다. 영상 모델로는 천체들의 FITS 파일들이 될 수 있으며, 영상 모델의 입력 없이 UVCON 태스크에서 점광원, 원형광원 그리고 타원형의 기본모델을 생성할 수 있다. 생성된 가상 UV데이터는 각 기선에 대하여 관측 시간 동안 (u, v, w)의 공간 푸리에 성분에서 관측되는 천체의 밝기강도 정보 및 위상 정보와 가중치(weight)의 값들로 구성된다. Dirty 영상에서의 픽셀 간격 및 크기는 1.5mas의 픽셀 크기와 512×512 영상으로 설정하였고, 천체의 밝기강도(flux) 정보를 잘 복원할 수 있는 natural weighting을 주었다(Cornwell 1995).

5. 결과 및 해석

그림 1에서 적위 60도의 UV분포 및 합성 빔의 모양에 따른 단면도들을 보면 KVN의 합성 빔의 특성을 볼 수 있다. 가로 및 세로축 단면도에서 중심 빔 옆의 첫 번째 사이드로브가 매우 크고 강한 음의 세기를 가지고, 중심 빔으로부터 멀어짐에 따라 사이드로브의 크기가 일정한 패턴을 가지며 감소한다. 이러한 KVN의 합성 빔 분포에 대한 다섯 가지 영상 모델들에 대한 가상 관측 결과를 정리하면 표 4와 같다. 단일 점광원에 관한 영상모의실험은 512×512 영상의 중심에 1Jy의 세기를 가지는 영상을 이용하였다. 생성된 Dirty 영상으로부터 측정된 밝기의 RMS 값은 2.94×10^{-2} Jy/beam이고 CLEAN 과정을 거치고 남은 잔여 영상 밝기의 RMS 값은 9.45×10^{-5} Jy/beam으로 CLEAN 과정 이후 영상 전체의 잡음 정도가 매우 낮아진 동시에, RMS에 대한 최대밝기강도의 비율은 10582:1로 크게 향상되었다. 최종적으로 얻어낸 영상에서 최대밝기강도는 256×256 위치에서 1.00Jy/beam으로 복원되었다. 그림 3에서는 단일점광원의 CLEAN 영상과 그 영상을 가로축으로 자른 단면도를 나타내었다. 그림 1에서 나타난 Dirty 빔의 단면도와 비교해 볼 때, 사이드로브들이 잘 없어졌음을 알 수 있다. CLEAN 과정을 통하여 81개의 CLEAN 성분들을 찾아내었으며, CLEAN 영역이 설정된 곳뿐만 아니라 영상 전체의 잡음정도도 잘 감소되었음을 알 수 있다.

점광원 16개의 모델을 표 5와 같이 균일하게 분포시켜 영상모의실험을 수행하였다(그림 4). 각 점광원들의 밝기강도는 단일 점광원에 비하여 조금 낮게 얻어졌으나 입력된 1Jy의 99%에 이르렀으며, 복원위치의 차이는 없었다. 이러한 결과는 실제 지향되는 관측 대상 천체 주변의 관측시야 영역에 점광원과 같은 밝은 전파원이 있을 경우에도 그 전파원에 관한 밝기와 위치 정보를 잘 얻을 수 있

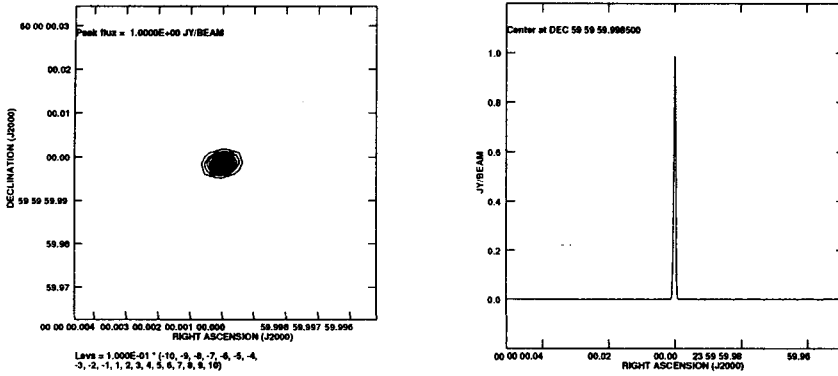


그림 3. 단일 점광원에 대한 CLEAN 영상(좌) 및 가로축 CLEAN 단면도(우).

표 5. 입력된 다중 점광원의 위치 및 복원된 밝기강도와 위치.

점광원 번호	픽셀 위치* (pixel, pixel)	복원된 밝기강도 (Jy/Beam)	픽셀위치** (pixel, pixel)
1	64 448	9.95×10^{-1}	64 448
2	192 448	9.96×10^{-1}	192 448
3	320 448	9.93×10^{-1}	320 448
4	448 448	9.93×10^{-1}	448 448
5	64 320	9.91×10^{-1}	64 320
6	192 320	9.92×10^{-1}	192 320
7	320 320	9.91×10^{-1}	320 320
8	448 320	9.89×10^{-1}	448 320
9	64 192	9.89×10^{-1}	64 192
10	192 192	9.91×10^{-1}	192 192
11	320 192	9.92×10^{-1}	320 192
12	448 192	9.91×10^{-1}	448 192
13	64 64	9.93×10^{-1}	64 64
14	192 64	9.93×10^{-1}	192 64
15	320 64	9.96×10^{-1}	320 64
16	448 64	9.95×10^{-1}	448 64

*입력 모델로 사용된 영상에서 점광원 위치

**CLEAN 영상에서의 점광원 위치

다는 것을 알려준다.

KVN의 예상되는 합성 빔 크기인 6mas의 지름을 가지는 경우와 12mas로 두 배의 지름을 가지는 원형광원에 대한 모의실험에서는 합성 빔의 주변의 사이드로브의 영향에 의해 점광원과는 다른 결과를 보였다. 6mas 지름을 가지는 원형광원의 경우(그림 5), Dirty 영상의 단면도에서 중심 빔에 대한 첫 번째 사이드로브가 약 30% 정도였으며, CLEAN 과정을 통하여 첫 번째 사이드로브의 크기가 중심 대비 6%까지 낮아졌다. 하지만 이때 얻어진 최대 밝기강도는 6.59×10^{-1} Jy/beam으로 입력 값에 비해 약 44% 정도 감소하였다. 12mas의 지름을 가지는 원형광원의 경우(그림 6), X자 모

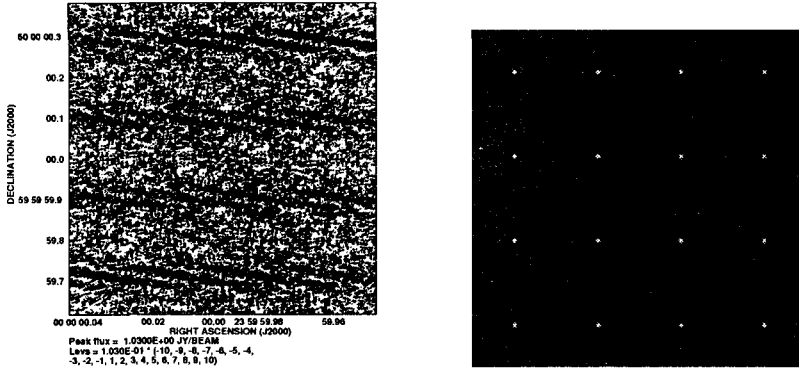


그림 4. 다중 점광원에 대한 Dirty 영상(좌) 및 CLEAN 영상(우).

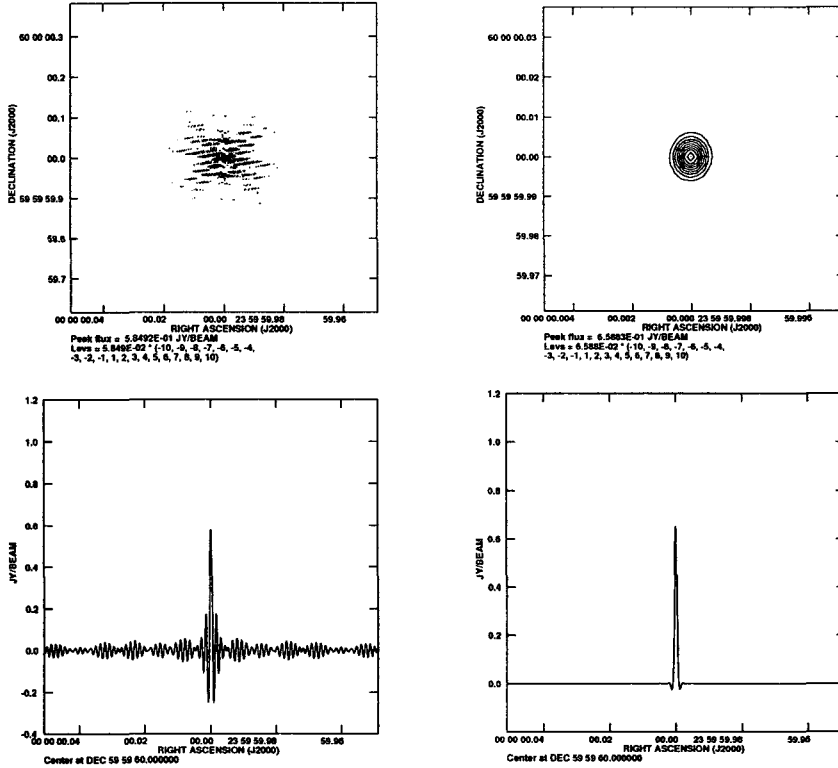


그림 5. 지름 6mas 원형광원에 대한 Dirty 영상(좌상), Clean 영상(우상), Dirty 영상 단면도(좌하), Clean영상 단면도(우하).

양의 강한 사이드로브들의 영향이 Dirty 영상에서 강하게 나타나고 있음을 볼 수 있고, CLEAN된 이후에도 좌우 방향으로 강한 음수세기를 갖는 허상이 나타나고 있음을 등고선도와 단면도를 통해서 알 수 있다. 사이드로브가 CLEAN 과정을 거친 후에도 그대로 존재하였으며, 최대 밝기강도가 1.46×10^{-1} Jy/beam으로 입력된 1Jy의 15% 정도에 지나지 않았다. 이것은 천체의 크기가 합성 빔

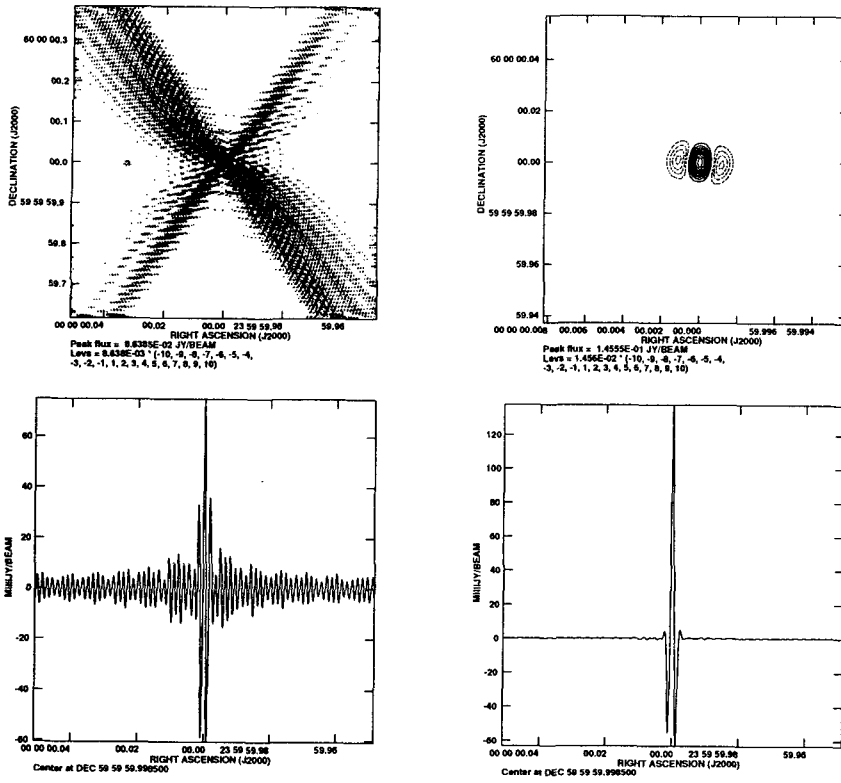


그림 6. 지름 12mas 원형광원에 대한 Dirty 영상(좌상), Clean 영상(우상), Dirty 영상 단면도(좌하), Clean 영상 단면도(우하).

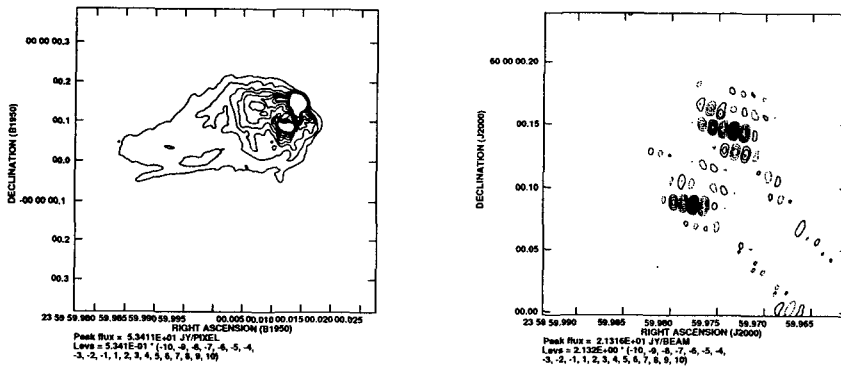


그림 7. Cygnus A의 입력영상(좌) 및 입력영상의 코어부분을 같은 등고선 준위에서 확대하여 본 CLEAN 영상(우).

보다 큰 경우 CLEAN 알고리즘이 잘 적용되지 않음을 의미한다.

Cygnus A는 복잡한 구조를 가지며 넓은 영역에 걸쳐있는 천체로, 합성 빔보다 큰 원형광원에서 처럼 영상 복원 능력이 현저하게 감소하였다(그림 7). 총 672번의 CLEAN 반복과정을 거쳤으며, 모

델로 사용된 영상의 최대 밝기강도는 53.4Jy/beam이었고, CLEAN 영상에서 나타난 최대 밝기강도는 21.3Jy/beam이었다. Cygnus A와 같이 넓은 영역에 걸쳐 존재하며 상대적으로 낮은 세기의 제트 구조를 가지고 있는 천체의 CLEAN 과정은 사이드로브들에 의해 낮은 세기의 제트 구조들이 잘 드러나지 않으므로 Weighting 및 Tapering을 변화시켜 가면서 세밀한 CLEAN을 하는 과정이 필요하다. 그러나 KVN의 경우, Cygnus A와 같은 복잡한 구조를 가지고 있는 천체는 UV 궤적이 UV 평면을 충분히 채우고 있지 않아서, 모델 천체 각 부분의 입력되는 데이터가 충분하지 않다. 따라서 Dirty 영상에서의 CLEAN 영역 설정이 어려우며, 실제 영상의 형태를 복원하는 것은 매우 어려웠다.

6. 결론 및 토의

최종적으로 얻어지는 간섭계 시스템의 영상화질은 기선의 개수와 안테나의 배치에 따른 합성 빔의 크기나 모양에 의해 좌우되며, 사이드로브에 의한 영향을 최소화 시킬 수 있는 UV 궤적분포 및 적절한 관측대상의 선택, 그리고 세밀한 영상처리 과정에 달려있다. 본 연구에서는 5개의 모델(단일 점광원, 다중 점광원, 6mas 원형광원, 12mas 원형광원 그리고 cygnus A)에 대하여 안테나 지향정밀도 및 대기효과 등의 오차요인들을 제외하고, 안테나 시스템온도가 50K라는 가정하에 KVN 가상관측 영상모의실험을 수행하였다. 그 결과 단일 점광원 및 다중 점광원 그리고 22GHz 합성 빔의 크기를 갖는 6mas 원형광원에서는 높은 RMS 대비 최대밝기강도를 가지는 반면 합성 빔의 크기보다 큰 모델의 경우에는 사이드로브에 의해 모델 천체의 밝기강도가 콘볼루션되어 CLEAN 알고리즘의 성능저하를 가져와 영상 화질이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이것은 KVN의 짧은 기선 개수가 부족하여 공간주파수가 낮은 성분들을 잘 관측하지 못하기 때문이다. 이러한 결과는 높은 분해능을 목표로 하는 VLBI 시스템에서는 전파어레이와는 달리 짧은 기선의 안테나들이 부족하여 널리 퍼져있는 천체를 관측하는 데는 적합하지 못하다는 일반적인 사실을 뒷받침 한다. 입력된 모델과 최종 CLEAN 된 영상에서의 최대밝기 위치변화는 12mas 지름의 원형광원에서 적외 방향으로 2 픽셀의 이동이 있었지만 나머지 모델에서는 동일한 위치에서 최대 밝기강도가 측정되었다. 합성 빔 크기보다 큰 천체의 경우 이와 같은 최대 밝기강도에서의 위치변화가 어느 정도 있을 것이라고 예상되었지만, Cygnus A의 경우 코어부분이 상대적으로 매우 강한 최대 밝기강도를 가지고 있어 사이드로브의 영향에도 불구하고 위치변화가 나타나지 않았다. 이는 표 5의 다중 점광원에서 나타난 결과와 더불어 본 연구가 이상적인 조건하에서 모의실험을 수행하였다고 하더라도 KVN이 우주측지(Astrometry)를 할 수 있는 가능성을 보여준다고 여겨진다.

그러므로 KVN의 주요한 관측 대상 천체는 콤팩트한 천체가 될 것이며, 이러한 천체들에 대하여 KVN은 밝기강도 및 위치 복원에 우수한 성능을 나타내었다. 또한 KVN은 향후 밀리미터 영역에서의 관측이 가능하기 때문에 본 모의실험의 22GHz 관측 주파수에서 6mas의 분해능보다 높은 주파수 영역에서 더욱 높은 분해능으로 콤팩트한 천체들에 대한 밝기강도 복원 및 우주측지에 대한 효율을 극대화 시킬 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 KVN의 가상관측은 안테나효율 및 시스템온도 이외의 오차 발생요인들을 제외한 이상적인 경우를 가정하였으므로 그 한계가 존재한다. 특히 전파간섭계에서 위상의 흔들림은 각 기선의 상대적인 경로차이에 영향을 주기 때문에, KVN과 같은 긴 기선의 VLBI 시스템에서는 천체의 밝기강도가 감소하는 코히어런스(coherence) 손실을 가져온다. 따라서 향후 연구에서는 KVN 시스템

의 안테나 지향오차 및 대기의 효과에 대한 위상 흔들림 효과를 고려한 가상 관측 모의실험을 수행할 계획이다.

감사의 글: UVCON에 관하여 많은 도움을 준 National Radio Astronomy Observatory의 Dr. Leonid Kogan께 감사를 드립니다. 본 연구는 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2002-070-C00045)으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 김현구, 노덕규, 정현수, 민영철, 김광동, 한석태 2001, KVN을 위한 UV 분포와 합성 빔 분석, 기술 보고서 No.01-003-040 (대전: 한국천문연구원)
- 정태현 2004, 석사학위논문, 연세대학교
- Conway, J. 2000a, ALMA Memo Series, No.283
- Conway, J. 2000b, ALMA Memo Series, No.291
- Conway, J. 2000c, ALMA Memo Series, No.292
- Cornwell, T. 1995, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, vol.82, Very Long Baseline Interferometry and the VLBA, eds. J. A. Zensus, P. J. Diamond & P. J. Napier (California: BookCrafters Inc.), pp.41-42
- Kogan, L. 1999, ALMA Memo Series, No.247
- Kogan, L., & Perly, R. 2003, EVLA Memo, No.65
- Thompson, A. R., Moran, J. M., & Swenson, G. W. 2001, Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy (New York: Wiley-Interscience Publication), pp.126-129
- Wright, M. C. 2002, ALMA Memo Series, No.430
- Yun. M. S. 2001. ALMA Memo Series. No.368