

KVN의 광대역 관측 시험 및 결과고찰

오세진¹, 오야마 토모아키², 염재환¹, 니시카와다카시², 노덕규¹, 김승래¹, 이의겸¹, 제도홍¹, 변도영¹, 이성모¹, 정현수¹

¹한국천문연구원 전파천문본부, ²일본국립천문대 미즈사와VLBI관측소

A Study on the Test Results and Wideband Observing of the Korean VLBI Network

Se-Jin Oh¹, Tomoaki Oyama², Jae-Hwan Yeom¹, Takashi Nishikawa², Duk-Gyoo Roh¹, Seung-Rae Kim, Eui-Gyeom Lee¹, Do-Heung Je¹, Do-Young Byun¹, Seong-Mo Lee¹, Hyun-Soo Chung¹

¹Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute

²Mizusawa VLBI Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan

요약 본 논문에서는 한국우주전파관측망의 성능 확장을 위해 광대역 관측시스템의 시험 및 결과에 대해 소개한다. KVN은 1024Mbps 속도로 VLBI 관측을 수행하는데, 4주파수 동시관측을 위한 8192Mbps 관측은 정규 운영을 위해 시험하고 있다. 세계 여러 VLBI 관측국에서는 높은 정밀도와 고분해능의 천체를 관측하기 위해 광대역 관측시스템을 독자적으로 개발하거나 여러 나라와 협력하고 있다. KVN은 K/Q/W/D 밴드의 RF 신호를 주파수 변환을 하지 않고 한 주파수 대역에 대해 최대 2048MHz 대역폭을 직접 샘플링하는 OCTAD 고속샘플러를 도입할 계획이다. 따라서 KVN의 성능확장을 위한 사전연구로서 일본국립천문대와의 협력을 통하여 OCTAD 고속샘플러와 데이터 기록을 위한 OCTADISK2 고속기록기를 현장에 설치한 후, 광대역 관측시험을 통하여 성능을 확인하고 그 결과를 본 논문에서 고찰하고자 한다.

• 주제어 : KVN, KaVA, 광대역 관측시스템, RF대역 직접 샘플링, 고속기록계

Abstract In this paper, we introduce the results of the testing and observation systems for performance wideband expansion in the Korean VLBI Network(KVN). The KVN performs VLBI observations to 1024 Mbps data rate, and 8192 Mbps observing for four simultaneous observation is now evaluating for normal operation. The VLBI stations in several world countries developed their own wideband observing systems to observe the celestial objects with high precision and high resolution or are working with several countries. The KVN is planning to introduce a high-speed sampler, OCTAD, for sampling directly up to 2048 MHz bandwidth for RF signal of K/Q/W/D band in the frequency band without conversion. Therefore, as a preliminary study for the performance scalability of the KVN then through the close cooperation with National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ), the OCTAD high-speed sampler and OCTADISK2 high-speed recorder were installed in the KVN Yonsei station, and verify the performance through a wideband

• Key Words : KVN, KaVA, Wideband observing system, RF Direct Sampler, High-speed recorder

Received 10 September 2016, Revised 1 November 2016, Accepted 20 December 2016

* Corresponding Author Se-Jin Oh, Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, 776 Daedukdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea. E-mail: sjoh@kasi.re.kr

I. 서론

VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 관측시스템은 통신 및 네트워크 기술의 발전으로 인하여 성능이 많이 개선되었으며, 관측자들은 더 높은 각도 분해능과 고화질의 전파영상을 관측할 수 있도록 요구하고 있다. 특히 VLBI 관측은 여러 국제협력 위원회를 통하여 차세대 관측시스템의 규격과 성능, 관측범위 등에 대한 다양한 자료를 제시하고 있다[1]. 천문 VLBI 관측도 기존의 전파망원경의 성능을 개선하는 작업과 새롭게 설치하는 전파망원경의 성능도 특히 VLBI 관측과의 호환성을 확보하기 위해 관측시스템의 규격을 참고하고 있다[2][3].

한국천문연구원(KVNB(Korean VLBI Network)과 협력하고 있는 일본국립천문대 VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)의 경우, 8/16/32 Gbps 기록속도로 2GHz 대역폭 전체 또는 512MHz 대역폭 4개(또는 DBBC(Digital Baseband Converter)의 기능에 따라 다양한 대역폭 및 IF(Intermediate Frequency)로 필터링할 수 있는 관측모드)를 관측할 수 있는 광대역 관측시스템을 전파망원경에 설치하여 시험관측을 수행하고 있다[4]. KVNB의 경우 기존에 설치한 관측시스템은 512MHz 대역폭을 갖는 4개의 주파수를 동시에 관측할 수 있으며, 최대 기록속도는 8192 Mbps인데, 2048MHz 대역폭 전체를 한 번에 샘플링하여 8/16/32Gbps의 기록속도로 저장할 수 있는 시스템은 아직 설치되어 있지 않다.

VLBI 관측으로 천체의 미세구조를 자세히 볼 수 있는 방법은 감도(Sensitivity)를 증가시키는 것인데, 이를 위해서는 전파망원경의 집광면적을 넓게 하거나, 관측 대역폭을 넓게 하거나, 또는 수신기 시스템의 잡음온도를 낮추는 방법이 있다[2][3]. 수신기의 잡음온도를 통한 감도의 향상은 꾸준히 발전하고 있다. 그러나 전파망원경의 집광면적을 넓히는 것은 큰 망원경을 만드는 것인데, 많은 비용이 소요된다. 최근에는 감도를 높이는 방법으로 디지털 통신기술의 발전으로 인해 관측대역폭을 넓히고 데이터 기록속도를 증가시키는 방법이 주로 활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 KVNB의 관측성능 확장을 위해 기존의 협대역 관측시스템과 비교하여 넓은 주파수 대역을 분할하지 않고 한 번에 관측할 수 있는

광대역 관측시스템을 설치하여 시스템의 확장성, 호환성, 감도 증가 등에 대한 사전 관측시험을 수행하고 결과를 고찰하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 KVNB 및 KaVA(KVNB and VERA Array)에 대해 살펴보고, III장에서는 광대역 관측시스템에 대해 기술하며, IV장에서는 실험 및 결과에 대해 고찰한 후 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. KVNB과 KaVA

VLBI와 같은 전파간섭계는 동시 운용하는 관측국수의 제공에 비례하여 양질의 관측 데이터를 얻게 되므로, KVNB이나 VERA가 독자적으로 운영하는 것보다 공동 운영하는 것이 보다 효율적인 과학연구를 수행하는데 도움이 된다. 따라서 한국천문연구원은 KVNB의 3기와 일본국립천문대의 VERA 네트워크의 4기를 연결하는 한·일 VLBI 공동 네트워크 약정을 2002년에 체결하였으며, 이를 한일공동VLBI관측망(KaVA, KVNB and VERA Array)이라고 한다[4]. 앞으로 상하이나 우루무치 등 중국의 전파망원경도 연결하여 동아시아 VLBI 관측망(East Asian VLBI Network, EAVN)(그림 1)을 구축하여 수 천 km 규모로 확장할 계획을 갖고 있으며, 현재 EAVN에 대한 시험관측도 수행하고 있다. 이 경우 관측주파수에 따라 가변적이지만 대략 10기 이상의 전파망원경을 동시에 운용되므로, 한국천문연구원이 위치한 대전에 16 관측국, 8192Mbps, 8192 출력채널의 상관성능을 갖는 상관처리시스템(대전상관기)[4][5]이 설치되어 2010년부터 운영되고 있다.



Fig. 1 The KVNB and East Asian VLBI Network

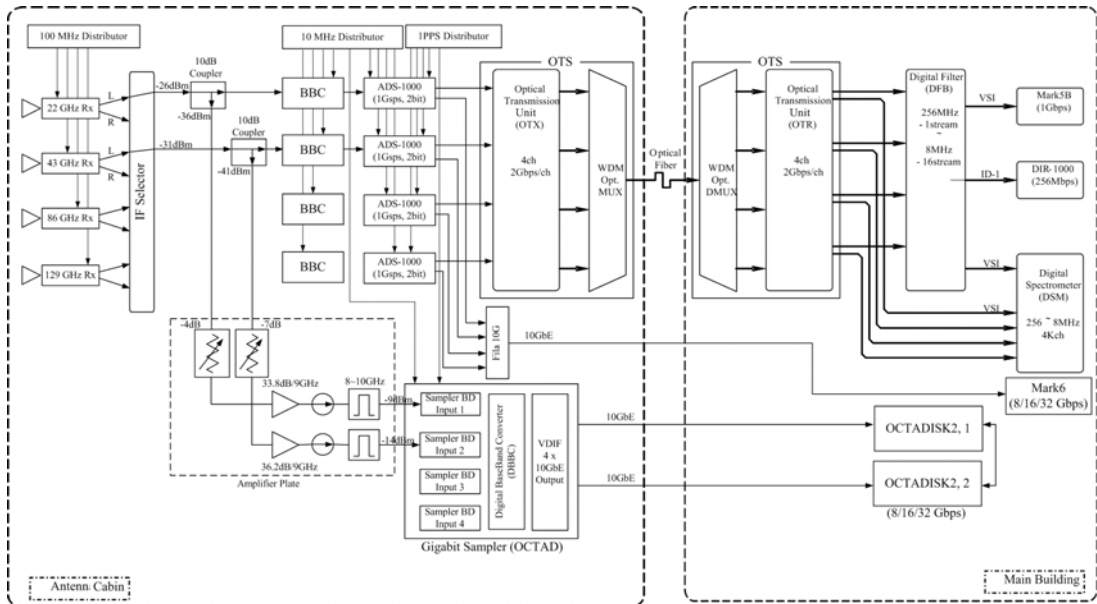


Fig. 2 KVN observing signal flow diagram

III. 광대역 관측 시스템

3.1 광대역 RF 입력

그림 2는 KVN 관측시스템의 구성을 나타낸 것이다. 그림 2의 위쪽은 기존에 운영하고 있는 KVN 4개 주파수 동시 관측시스템이며, 아래쪽의 점선 부분은 이번 실험을 위해 구성한 광대역 시스템의 구성도이다. 그림 2에 나타난 것과 같이 KVN 수신 시스템은 4개 IF(22, 43, 86, 129GHz)에 대해 512MHz 대역폭을 각각 관측할 수 있다[4][6]. 즉, 각 IF에 대해 아날로그 전파신호를 1024MSPS, 2bit로 샘플링을 하면 최대 2048Mbps의 데이터 4개 즉 8192Mbps 데이터가 출력된다. 그림 2의 아래쪽에 나타난 광대역 시스템은 기존 관측시스템의 BBC(Baseband Converter)로 입력되기 전단계의 22GHz와 43GHz RF 부분에 커플러(Coupler)로 분기하여 RF 대역을 직접 광대역 샘플러로 입력될 수 있도록 구성하였다. 22GHz(입력파워 -26dBm), 43GHz(입력파워 -21dBm) LHCP(Left Hand Circular Polarization) RF 부분에 대해 IF 선택기를 거쳐 커플러로 분기하여 광대역 샘플러의 입력 대역폭인 2048MHz를 만들기 위해 필터링을 수행한다. 22GHz는 -9dBm, 43GHz는 -14dBm의 입력파워

를 각각 갖는다. 광대역 샘플러인 OCTAD[7]의 입력 주파수 범위는 8.192~10.24GHz이다. 이 입력 주파수 범위를 만족하기 위해서는 KVN RF 시스템을 변경해 주어야 한다. 즉, KVN 수신 시스템은 512MHz 대역폭을 처리할 수 있는데, ADS-1000 고속샘플러의 주파수 입력범위는 512~1024MHz이다[6]. 만약 ADS-1000과 OCTAD 사이의 상관처리(Zero-baseline)를 위해서는 OCTAD 입력 주파수 범위를 맞추어야 한다. 이를 위해 KVN은 1차 LO(Local Oscillator)는 13.25GHz로 고정되어 있는데, 만약 관측주파수가 21.954GHz이면 1차 LO를 곱하면 8.704GHz가 된다.

OCTAD의 입력 주파수 범위를 만족하기 위해 8.704GHz에 512MHz의 절반인 256MHz를 더하면 8.960GHz가 되어, 512~1024MHz를 입력받는 ADS-1000 고속샘플러와 같은 주파수 범위를 만들어 주기 위해 KVN의 2차 LO를 만들어주어야 한다. 따라서 8.960GHz에 768MHz를 더하면 9.728GHz가 되는데, 이 주파수가 KVN의 2차 LO가 된다. KVN은 7.75GHz에서 10.25GHz의 2.5GHz 주파수 대역을 사용하는데, OCTAD는 8.192GHz에서 10.24GHz의 2.048GHz 주파수 대역을 입력 주파수 범위로 사용한다. 이 경우 그대로 KVN 주파수 입력범위를 OCTAD로 입력하면 7.75GHz 대역에 대한 이미지 부분이 OCTAD

에 입력될 가능성이 있기 때문에 이미지 제거 필터를 사용할 필요가 있다. 그리고 OCTAD를 이용하여 2.048GHz 광대역 관측을 할 경우에는 512MHz 대역폭 4개 중에 첫 번째는 활용하지 않는 것이 바람직하다. 향후 필터 등을 개발하여 OCTAD 고속샘플러의 입력 주파수 범위에 맞도록 시스템을 개량할 필요가 있다.

그림 3은 그림 2의 OCTAD 샘플러에서 광대역 RF 입력을 위해 커플링으로 분기하도록 구현한 신호 분배기를 나타낸 것이다. 그림 4는 일본국립천문대에서 개발한 OCTAD 광대역 샘플러이다.

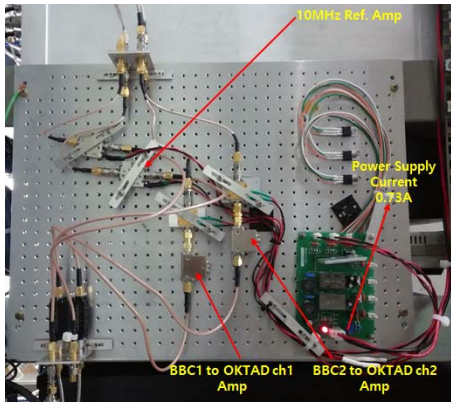


Fig. 3 Signal distribution



Fig. 4 OCTAD wideband sampler

3.2 초고속샘플러(OCTAD)

VLBI에서 초고속 샘플러는 안테나로부터 수신된 천체의 아날로그 신호를 디지털 신호로 고속 변환하여 국제 표준 데이터 전송규격인 VDIF(VLBI Data Interchange Format)[8] 형식으로 변환하는 장치이다. 본 연구의 광대역 시험관측을 위해 활용한 초고속 샘플러는 OCTAD이며, 아날로그 신호입력은 0.1~26 GHz 대역폭을 가지며, 광대역의 RF 신호를 주파수

변환(IF 변환)을 수행하지 않고 직접 샘플링을 할 수 있다. 또한 관측목적에 맞게 2가지 모드인 DBBC와 THROUGH 모드를 지원한다. DBBC 모드는 최대 8192MHz 대역폭의 입력신호를 16384Msps, 3bit로 샘플링하고 샘플러 후단에 내장된 DBBC에 의해 주파수 변환을 통하여 16~2048MHz 대역으로 필터링하여 32~4096Msps의 디지털 데이터를 출력할 수 있으며, 데이터를 기록할 경우 주로 이 모드가 활용된다. THROUGH 모드는 최대 8192MHz 대역폭의 입력신호를 16384Msps, 2bit로 샘플링하여 출력하며, 데이터 기록을 하지 않고 전송을 할 경우 사용한다. 디지털 데이터 출력은 VLBI 관측 데이터의 국제 표준 데이터 전송규격인 VDIF를 기준으로 형식변환을 수행하며, VTP(VLBI Transport Protocol)[9]에 따라 헤더 정보를 더한 후 UDP/IP 패킷으로 변환되어 10 GbE로 출력된다.

표 1은 OCTAD 광대역 샘플러의 규격을 나타내었고 표 2는 OCTAD 광대역 샘플러에 내장된 DBBC 기능을 나타내었다.

Table 1 The OCTAD Specification

Item	Description			
ADC	Port #	1~4		
	ADC	ADC1 or ADC2 selectable		
		ADC1	ADC2	ADC3
	Input BW	0.1~26GHz	0.1~10GHz	0.01~18GHz
	Sampling	Max 16384Msps	Max 8192Msps	Max 4096Msps
Quantization	3bit	3bit	10bit	
SPM	SPM #	1~4		
	Mode	DBBC, THROUGH mode		
Output	Port #	1~4		
	Interface	10GBase-SR SFP+ LC		
	Protocol	IP/UDP/VDIF		

Table 2 Function of the DBBC

Re-sampling rate [Msps]	bits	Channel Min.	Channel Max
4096	2	1	4
2048	2	2	8
1024	2	4	16
512	2	4	16
256	2	4	16
128	2	8	32
64	2	8	32
32	2	8	32
16	2	8	32

3.3 초고속 기록기(OCTADISK2, Mark6)

OCTADISK2 고속기록기는 OCTADISK 시스템을 개량하여 일본국립천문대에서 개발되었다. OCTADISK는 대전상관기의 동기재생처리장치(RVDB, Raw VLBI Data Buffer)[10]의 OCTADDB에서 디스크 모듈을 채용할 수 있도록 개량된 것이다. VLBI 관측데이터의 기록속도가 증가하면 데이터량은 2배씩 증가하게 된다. 그리고 하드디스크에 기록되는 데이터량은 크지만 리눅스 OS기반에서 소프트웨어로 다룰 수 있는 방식이 요구되면서 RAID 형식의 큰 볼륨을 갖는 리눅스 파일 시스템이 도입되었다. 따라서 일본국립천문대는 OCTADISK 모듈을 그대로 사용하면서 컴퓨터 서버와 대용량 리눅스 파일 시스템이 채용된 OCTADISK2 고속기록기를 개발하였다. OCTADISK2는 RAID 구성과 광네트워크 구성에 따라 관측데이터를 최대 32Gbps 속도로 10/40/100GbE를 통해 광대역 데이터 스트림을 기록할 수 있다. 디스크 모듈은 탈부착이 가능하며 안전하게 운송될 수 있도록 설계되었다. 리눅스 파일 시스템이 도입되었기 때문에 파일의 형식을 변환하지 않고 데이터 스트림을 직접 분석할 수 있다. 그리고 인터넷 웹 기반의 GUI 소프트웨어를 통하여 통합 제어, 신호 분석, 데이터 기록 등을 감시할 수 있는 기능도 제공된다. 자세한 규격은 표 3에 나타내었다. 그림 5는 OCTADISK2 시스템을 나타낸 것이다.

이 지원하는 2가지 점에서 향상된 기능을 갖는다.

Mark6의 기본적인 목적 및 성능은 다음과 같다. 우선 기록속도는 기본적으로 16Gbps를 지원하며, 최대 32Gbps를 지원한다. 그리고 일반적으로 널리 사용되는 모든 VLBI 형식을 지원하고, 가격이 비싸지 않고 Mark5 사용자들이 쉽게 Mark6 시스템을 도입할 수 있도록 지원한다. 그리고 e-VLBI를 지원하고 일반화된 이더넷 패킷을 기록할 수 있어야 하며, 표준 리눅스 파일로서 데이터 재생이 가능하도록 지원한다. 그림 6은 Mark6 시스템을 나타낸 것이다.



Fig. 5 The OCTADISK2 recorder/playback



Fig. 6 The Mark6 recorder[11]

Table 3. The OCTADISK2 Specification

Item	Description
Record/Playback	<ul style="list-style-type: none"> • Record (Max, 32Gbps) • Playback 8Gbps (standard) • RAID 0/5, Hotspare/6 • Linux XFS file system
Storage	<ul style="list-style-type: none"> • 2 removable storage module • 12 HDD/SSD units per 1 storage
Data Input/Output	<ul style="list-style-type: none"> • 10/40/100 Gbit Ethernet • Compatible with a wide variety of stream protocol

Mark6 고속기록기는 VLBI 시스템의 감도 향상에 대한 요구를 만족시키기 위해 MIT Haystack 천문대에서 개발되었다[11]. Mark6 시스템은 Mark5[12] 고속기록기의 설계를 기본으로 채용하고 있는데, 데이터 속도는 적어도 8배 이상 빨라진 것과 공개 소프트웨어 및 COTS(Commercial Off-The-Shelf)를 완벽

IV. 광대역 시험관측 및 결과

4.1 Zero-baseline 시험

KVN 연세에 설치한 광대역 관측장비(OCTAD, OCTADISK2)의 성능을 확인하고자 시험을 수행하였다. 광대역 모드의 관측성능을 확인하기 전에 시스템의 설정과 정상적으로 동작하는지 확인하기 위해 기존 관측시스템과의 Zero-baseline 시험을 수행하였다. 일반적으로 Zero-baseline 시험은 서로 다른 관측시스템의 성능을 확인하기 위해 실험실에서 시험을 수행하는 방법이다. Zero-baseline 시험은 2회에 걸쳐 수행하였는데, 첫 번째 구성은 그림 7에 나타낸 것과 같다. 그림 7의 시험은 22GHz 수신기를 통하여

1st LO인 13.25GHz로 다운변환된 RF 신호를 다시 BBC를 통하여 512~1024MHz 주파수 입력 범위(512 MHz 대역폭)를 기존 ADS-1000 고속샘플러로 1024 Msps, 2bit로 샘플링한 후, 2048Mbps 데이터를 Fila 10G를 경유하여 10GbE으로 전송하여 Mark6 고속 기록기에 저장하는 구성이다. BBC를 통하여 ADS-1000 고속샘플러에 입력된 RF 신호에 대해 커플러로 분기한 동일한 신호가 OCTAD로 입력되도록 하였으며, OCTAD도 1024Msps, 2bit로 샘플링한 후 10GbE으로 OCTADISK2에 기록하도록 구성하였다. 이렇게 Mark6와 OCTADISK2에 기록된 데이터를 상관처리 하면 케이블 길이만큼의 지연시간이 발생하지만 같은 신호를 다른 샘플러로 샘플링하고 기록하였기 때문에 상호상관처리를 통하여 프린지(Fringe)와 지연 시간(Delay time)을 찾을 수 있다.

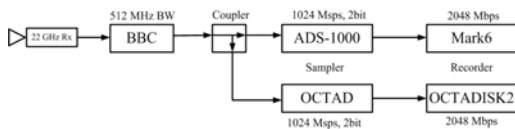
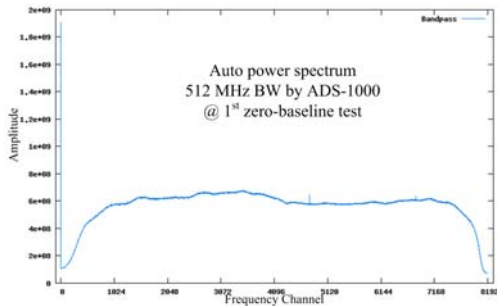
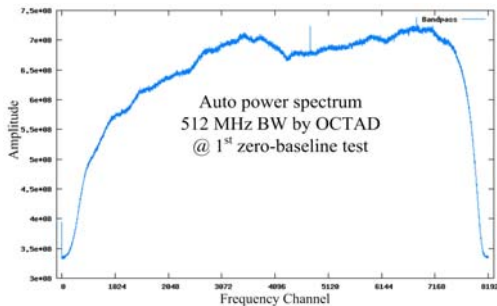


Fig. 7 Basic configuration for 1st zero-baseline test



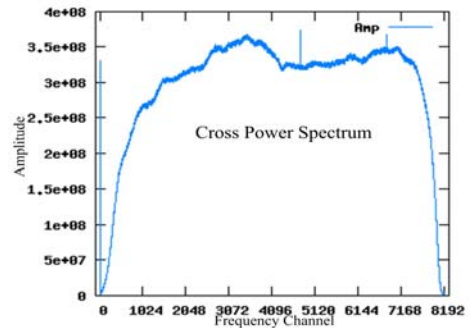
(a) ADS-1000 auto-correlation result



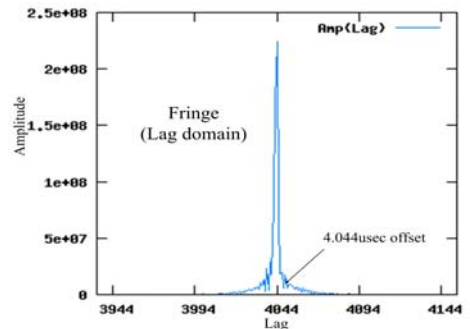
(b) OCTAD auto-correlation result

Fig. 8 Auto-correlation spectrum for 1st zero-baseline test

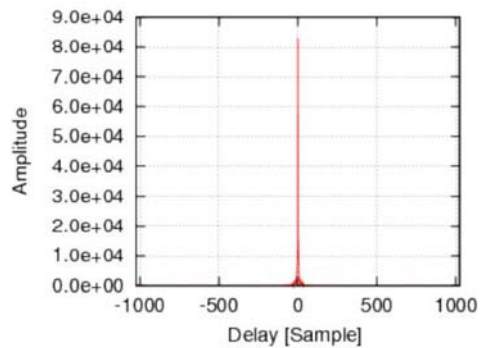
그림 8은 1차 zero-baseline 시험을 통하여 얻은 자기상관결과를 나타낸 것이다. 그림 8(a)은 ADS-1000 고속샘플러의 출력에서 강한 DC 성분이 출력되는 특징이 잘 나타나고 있다. 또한 OCTAD 고속샘플러의 자기상관결과인 그림 8(b)는 그림 7의 BBC 후단에서 신호를 분기하였기 때문에 DC 성분을 제외하고 그림 8(a)와 거의 같은 대역폭 모양을 나타낸다.



(a) Cross power spectrum



(b) Fringe detection



(c) Fringe detection with VERA Mizusawa software correlation

Fig. 9 Cross-correlation spectrum and fringe

그림 9는 1차 zero-baseline 시험의 교차상관스펙

트럼과 프린지를 나타내었는데, 그림 9(a), (b)는 대전 소프트웨어 상관기를 이용하였으며, 그림 9(c)는 VERA 미즈사와 소프트웨어 상관기의 결과를 나타낸 것이다. 두 개 고속샘플러의 입력이 같기 때문에 교차전력 스펙트럼의 모양이 입력 대역폭과 유사하다. 그리고 프린지 신호의 경우 Lag 도메인에서 Mark6를 기준으로 봤을 때 약 $4\mu\text{sec}$ 정도 시각 오프셋이 있는데, 이는 ADS-1000과 OCTAD 고속샘플러 사이의 케이블 길이가 다르기 때문에 발생하는 것이다. VERA 미즈사와 소프트웨어 상관기에서도 약 $4\mu\text{sec}$ 정도의 시각 오프셋을 얻었다.

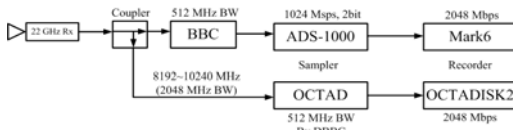
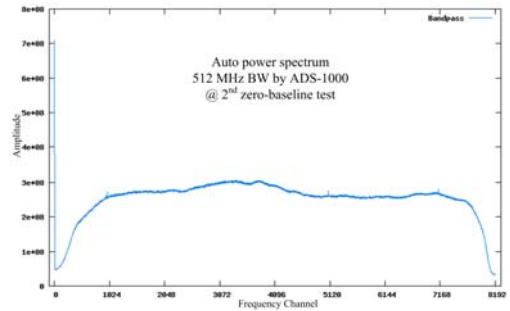


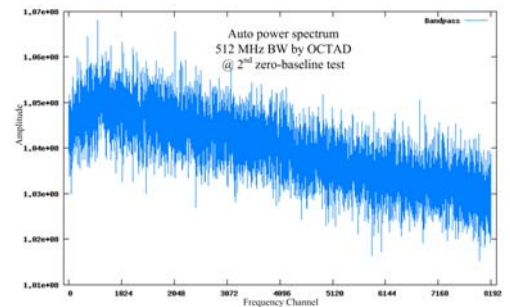
Fig. 10 Basic configuration for 2nd zero-baseline test

그림 10은 1차 Zero-baseline 구성과 유사하나, 광대역 관측장비의 RF 입력부분을 1st LO 이후에 분기하여 OCTAD로 연결하는 구성이다. 이때 OCTAD에 입력되는 대역폭은 2048MHz이며, OCTAD 내의 DBBC 기능을 통하여 512MHz 대역폭으로 변환하여 OCTADISK2에 2048Mbps 속도로 기록한다. ADS-1000을 활용한 기존 시스템은 512MHz 대역폭에 대해 2048Mbps 속도로 Mark6에 기록하는 구성이다. 이때 OCTAD의 대역폭은 8192MHz~10240MHz 범위인데, ADS-1000의 입력 주파수 대역폭은 512MHz~1024MHz이므로 BBC에서 활용하고 있는 2nd LO 주파수를 확인할 필요가 있다. 본 시험에서는 9.728 GHz의 2nd LO를 사용하였으며, USB(Upper Side Band) 로 기록되었다.

그림 11은 2차 Zero-baseline 시험을 통하여 얻은 자기상관결과를 나타낸 것이다. 그림 11(a)은 ADS-1000 고속샘플러의 출력인데, 그림 8(a)와 신호 입력이 동일하기 때문에 같은 결과를 보이고 있다. 그림 11(b)는 그림 10에 나타낸 것과 같이 BBC 앞단에서 신호를 분기한 후 2014 MHz 대역폭에 대해 ADS-1000의 입력범위와 동일하게 설정하여 OCTAD의 DBBC에서 512 MHz 대역폭을 출력하도록 설정했기 때문에 그림 11(a)와는 대역폭의 전체적인 모양은 다르게 출력되는 것을 알 수 있다.



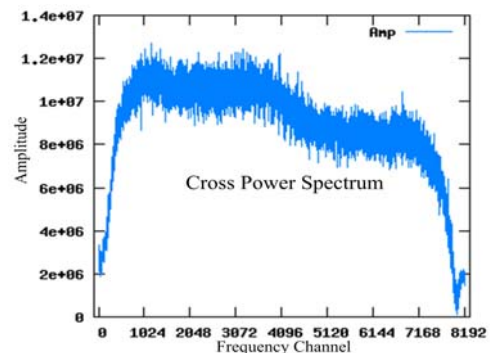
(a) ADS-1000 auto-correlation result



(b) OCTAD auto-correlation result

Fig. 11 Auto-correlation spectrum for 2nd zero-baseline test

그림 12는 2차 Zero-baseline 시험의 교차상관스펙트럼과 프린지를 나타낸 것이다. 1차 Zero-baseline 시험과 설정이 다르지만 교차상관스펙트럼과 프린지가 잘 검출되고 있음을 알 수 있다. 이번 실험에서는 OCTADISK2 기록기를 기준으로 봤을 때 약 $-0.0239\mu\text{sec}$ 정도의 시각 오프셋이 있는 것을 알 수 있다. 설정이 다른 2회의 Zero-baseline 실험을 통하여 실제 관측에서도 프린지를 검출 수 있는지 확인할 수 있게 되었다.



(a) Cross power spectrum

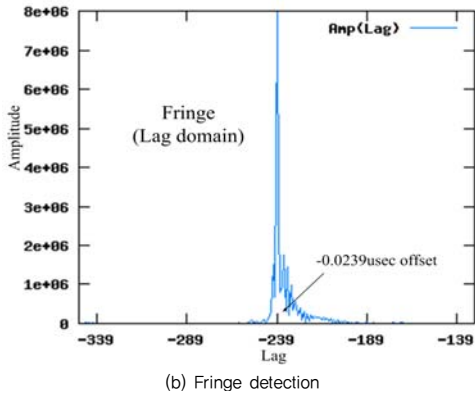


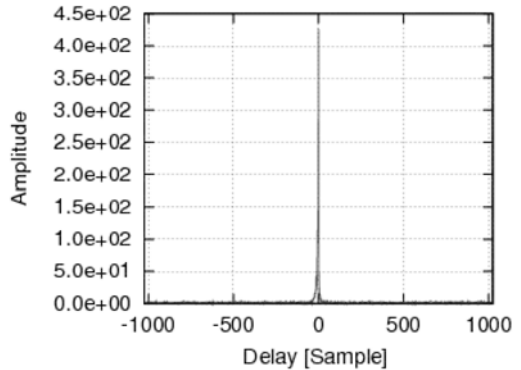
Fig. 12 Cross correlation and fringe

4.2 KaVA에서의 관측시험

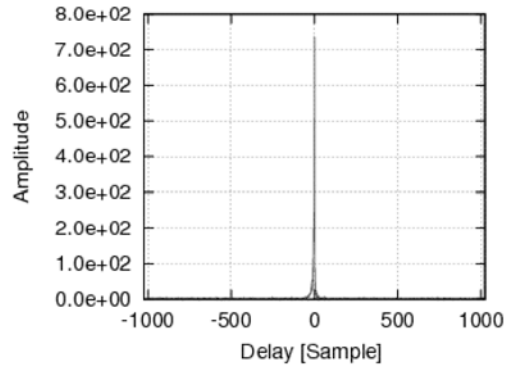
2회의 Zero-baseline 시험을 통하여 설치한 광대역 관측장비에 의한 프린지 검출이 확인되었다. 따라서 실제로 KaVA 관측망에서 KVN 연세(KYS), VERA 미즈사와(MIZ), 이리키(IRK), 오가사와라(OGA)의 4개 관측국을 대상으로 512MHz 4개 관측대역, 즉 총 2048MHz 대역폭에 대해 8192Mbps 광대역 관측시험을 수행하였다. 3.1절에서 설명한 것과 같이 512MHz 대역폭 4개 중에서 KVN 시스템의 첫 번째 IF는 7.75GHz부터 시작하고, OCTAD는 8.192GHz부터 입력하므로 이미지 성분이 관측될 가능성이 있기 때문에 첫 번째 IF는 관측하지 않았다. 시험관측은 22GHz 관측주파수에서 약 3분간, 1024Mbps 정규관측을 수행하는 동안 동시에 8192Mbps 광대역 관측을 동시에 수행하는 방식으로 수행하였다. 관측 천체는 3C279의 강한 전파원이다. 상관처리는 VERA 미즈사와 소프트웨어 상관기로 수행되었다. 4개 관측국의 경우 기선수는 6개이지만, 본 논문에서는 KYS와 VERA 기선만 나타낸다. IF 2~4까지 3개의 IF 중 원인을 알 수 없으나, IF 3은 프린지 검출에 실패하였으나, 그림 13과 14에 나타난 것과 같이 IF 2와 4에서 프린지를 검출하였다.

2회의 zero-baseline 시험을 통하여 KVN 연세에 설치한 광대역 관측시스템(OCTAD, OCTADISK2)들이 정상적으로 동작하는 것을 확인한 후 천체를 이용한 시험관측에서 그림 13과 14처럼 IF2와 4에서 프린지를 검출하는데 성공하였다. 따라서 시스템의 안정도와 연구관측을 위해서는 향후 장시간의 기록

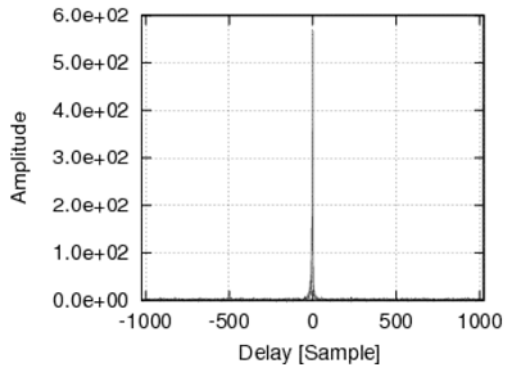
시험과 상관처리 결과를 도출하여 관측천체에 대한 다양한 분석을 수행할 필요가 있다. 그리고 이번 시험관측에서 프린지 검출에 실패한 IF 3에 대한 추가적인 분석도 수행할 필요가 있다.



(a) IF2 fringe on KYS-MIZ baseline



(b) IF2 fringe on KYS-IRK baseline



(c) IF2 fringe on KYS-OGA baseline

Fig. 13 Fringe detection of IF2 on KYS-VERA each station

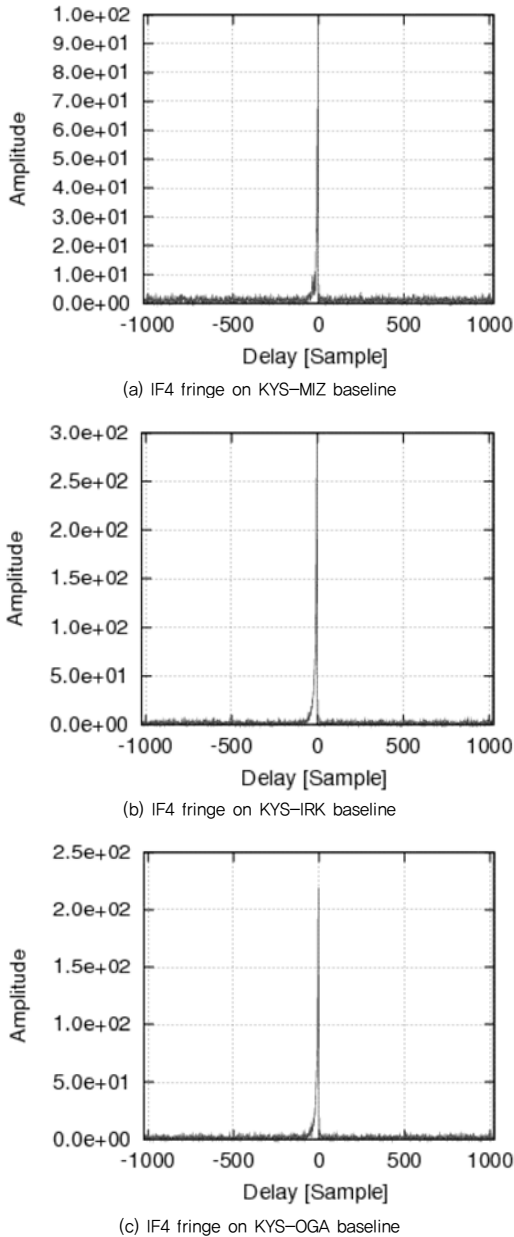


Fig. 13 Fringe detection of IF4 on KYS-VERA each station

V. 결론

본 논문에서는 한국우주전파관측망의 성능 확장을 위해 광대역 관측시스템의 구성과 시험관측 결과에 대해서 고찰하였다. KVN은 8192Mbps 속도의 광대

역 관측을 정상적으로 수행하기 위해 시험하고 있는데, 향후 16/32Gbps로의 성능 확장도 고려하고 있다. KVN은 1024, 2048Mbps 급의 KaVA 관측망을 공동으로 운영하고 있는데, 8192Mbps 급 이상의 광대역 관측 및 운영도 일본국립천문대와 협력할 필요가 있다. 따라서 일본국립천문대가 개발한 광대역 관측시스템인 OCTAD 고속샘플러와 OCTADISK2 고속기록기를 KVN 연세에 설치하여 기본적인 시험관측을 수행하였다. OCTADISK2로 기록한 데이터와 KVN 연세에 설치되어 있는 기존의 광대역 기록기록기인 Mark6와의 호환성 시험도 수행하였다. 2회에 걸친 Zero-baseline 시험에서 KVN 연세에 설치한 광대역 관측시스템과 기존 관측시스템 사이에 프린지 검출에 성공하였다. 또한 KVN 연세에 설치한 광대역 관측시스템과 VERA 3개 관측국과의 실제 천체관측을 통한 프린지 검출도 성공하여, 광대역 관측시스템의 유효성을 확인하였다.

이러한 시험관측을 통하여 향후에는 장시간의 관측과 데이터 분석을 통하여 광대역 관측시스템에 의한 천체관측의 감도가 어느 정도 향상되는지 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] Arthur Niell, Alan Whitney, and Bill Petrachenko et al., "VLBI2010: Current and Future Requirements for Geodetic VLBI Systems," VLBI2010 A vision for Geodetic VLBI, pp. 15~18, September 2005.
- [2] Takahashi F., Kondo T., and Koyama Y., *Very Long Baseline Interferometer*, Ohmsha, 2000, pp. 35-55.
- [3] Thompson, A. R., Moran, J. M., and Swenson, G. W.Jr., *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, 2nd Ed., (New York:John Wiley & Sons), 2001, pp. 289.
- [4] Duk-Gyoo Roh, Se-Jin Oh, and Jae-Hwan Yeom et al., "2008 Annual Report on Korea-Japan Joint VLBI Correlator and Receiver Development," Korea Astronomy and Space Science Institute, pp. 3-100, 2008.
- [5] Se-Jin Oh, Duk-Gyoo Roh, and Jae-Hwan Yeom et al.(2011, October), Performance Evaluation for

VLBI Correlation Subsystem Main Product, Journal of The Institute of Signal Processing and Systems, 12(4), pp. 322-331.

- [6] Se-Jin Oh, Duk-Gyoo Roh, Kiyooki Wajima et al.(2011, December), Design and Development of a High-speed Data Acquisition System for the Korean VLBI Network, Publication of the Astronomical Society of Japan, 63, pp. 1229-1242.
- [7] Elecs Industry Co. Ltd., "RF Direct Sampler OCTAD Series,"2015.
- [8] <http://www.vlbi.org/vdif>
- [9] http://www.vlbi.org/2012.10.16_VTP_0.9.7.pdf
- [10] T. Oyama et al., "The development and performance of a new 4Gbps disk recorder and eVLBI systems using a 10GbE network," 2008 General Meeting of IVS, 2008. 3.
- [11] <http://www.haystack.edu/tech/vlbi/mark6/index.html>
- [12] A. R. Whitney, "Mark 5 Disk-Based Gbps VLBI Data System," in *New Technologies in VLBI*, edited by Y. C. Minh, ASP Conference Series, Vol. 306, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, C

저자소개



오 세 진 (Se-Jin Oh)

1996년 2월 영남대 전자공학과(공학사)
 1998년 2월 영남대 전자공학과(공학석사)
 2002년 2월 영남대 전자공학과(공학박사)
 2001년 9월~2002년 12월 대구과학대학 교수
 2002년 12월~현재 한국천문연구원 책임연구원
 ※관심분야: 디지털신호처리, VLBI상관기 및 천문 관측기기 개발



오야마 토모아키 (Tomoaki Oyama)

1995년 3월 치바대학 전자공학(공학사)
 2001년 3월 동경대 천문학과(이학석사)
 2005년 3월 동경대 천문학과(이학박사)
 1995년~2005년 일본국립천문대 VERA연구원
 2005년 4월~현재 일본국립천문대 연구원
 ※관심분야: 전파천문, VLBI상관처리



염 재 환 (Jae-Hwan Yeom)

2005년 8월 한양대 정밀기계공학과(공학석사)
 2005년 9월~현재 한국천문연구원 선임연구원
 ※관심분야: 디지털신호처리, VLBI상관기 개발



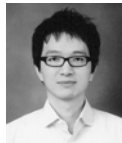
노 덕 규 (Duk-Gyoo Roh)

1985년 2월 서울대 천문학과(이학사)
 1994년 8월 동경대 천문학과(이학석사)
 1997년 8월 동경대 천문학과(박사수료)
 2005년 11월~2009년 3월 한국천문연구원 그룹장
 1985년 4월~현재 한국천문연구원 책임연구원
 ※관심분야: 전파천문, VLBI상관기 개발



김 승 래 (Seung-Rae Kim)

2013년~현재 한국천문연구원 연구원
 ※관심분야: 수신기 개발, 전파신호처리 및 관측기기 개발



이 의 겸 (Eui-Gyeom Lee)

2002년 8월 연세대 천문우주학과(이학사)
 2014년 2월 연세대 교육대학원(교육학석사)
 2013년 6월~현재 한국천문연구원 연구원
 ※관심분야: VLBI 전파망원경 운영 및 개발



제 도 흥 (Duk-Gyoo Roh)

2002년 2월 KAIST 전기및전자공학과(공학박사)
 2002년 9월~현재 한국천문연구원 선임연구원
 2015년 5월~2016년 9월 한국천문연구원 전파기술 개발그룹 그룹장
 ※관심분야: 전파천문, VLBI수신기 개발



변 도 영 (Do-Young Byun)

1994년 2월 서울대 천문학과(이학사)
 1996년 2월 서울대 천문학과(이학석사)
 2004년 8월 서울대 천문학과(이학박사)
 2004년 9월~현재 한국천문연구원 책임연구원
 2014년 6월~현재 한국천문연구원 KVN그룹 그룹장
 ※관심분야: 전파천문, 관측소프트웨어 개발



이 성 모 (Seong-Mo Lee)

2012년 (주)하이게인인테나
 2012년 9월~현재 한국천문연구원 연구원
 ※관심분야: 전파망원경 유지보수 및 관측기기 개발



정 현 수 (Hyun-Soo Chung)

1992년 3월 일본 동경대 천문학과(이학박사)
 1992년~현재 한국천문연구원 책임연구원
 2006년~2009년 한국천문연구원 KVN그룹 그룹장
 ※관심분야: 전파천문, 주파수보호