

## 광대역 VLBI 관측을 위한 32Gbps 관측장비의 시험결과 고찰

오세진<sup>1\*</sup> · 염재환<sup>1</sup> · 노덕규<sup>1</sup> · 정동규<sup>1</sup> · 하라다 켄이치<sup>1</sup> · 타케자와 코스케<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국천문연구원 전파천문본부, <sup>2</sup>Elecs Industry

### A Study on the Test Results of 32 Gbps Observing System for Wideband VLBI Observation

Se-Jin Oh<sup>1\*</sup> · Jae-Hwan Yeom<sup>1</sup> · Duk-Gyoo Roh<sup>1</sup> · Dong-Kyu Jung<sup>1</sup>,  
Harada Kenichi<sup>1</sup> · Takezawa Kosuke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, <sup>2</sup>Elecs Industry

**요약** 본 논문에서는 KVN의 광대역 VLBI 관측을 위한 백엔드 시스템으로써 도입한 32 Gbps 급 관측장비의 기본적인 시험결과에 대해 고찰한다. 천문학자들은 천체의 초미세 구조를 관측하고자 성능이 우수한 큰 전파망원경을 만들고 싶지만, 많은 돈이 소요된다. 따라서 민감도를 높이기 위해 수신시스템의 성능개선이나 넓은 주파수 대역폭을 관측하는 방법을 도입하고 있다. 이를 위해 본 연구에서는 넓은 관측 주파수 대역폭을 관측하기 위해서는 아날로그 신호를 초고속으로 변환하는 광대역 샘플링 방법과 디지털 필터링을 수행하는 광대역 샘플러를 도입하였다. 광대역 샘플러(OCTAD-K)는 최대 16Gbps-2bit 샘플링을 지원하며, 디지털필터링 기술을 이용하여 다양한 관측대역폭의 관측을 지원한다. 특히 KVN의 4주파수 동시관측시스템과 VERA의 2-beam 관측시스템을 지원할 수 있도록 설계되었다. 그리고 편파관측도 지원할 수 있으며, 관측데이터의 출력의 표준 VDIF 형식을 지원한다. 본 논문에서는 광대역 샘플러를 도입하기 전 수행한 공장검수와 현장시험을 수행한 후 시스템의 성능결과와 문제점 해결 등에 대해 자세히 기술한다.

• 주제어 : KVN(Korean VLBI Network), KaVA, 32 Gbps 직접 샘플러, 디지털 필터, 광대역

**Abstract** In this paper, we evaluate the basic test results of the 32 Gbps observational equipment introduced as the back-end system for the wideband VLBI (Very Long Baseline Interferometry) observation of KVN (Korean VLBI Network). Radio astronomers want to make a large radio telescope that has excellent performance in order to observe the superfine structure of a celestial body, but a lot of money is needed. Therefore, in order to increase the sensitivity, the performance improvement of the receiving system and the method of observing the wide frequency bandwidth are introduced. To do this, we adopted a wideband sampling method for converting analog signals to digital with ultra-fast speeds and a wideband sampler for performing digital filtering in order to observe a wide observational frequency bandwidth. The wideband sampler (OCTAD-K) supports up to 16 Gbps-2bits sampling and supports a variety of observational bandwidth using digital filtering techniques. In particular, it is designed to support KVN's 4-frequency simultaneous observation system and VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)'s 2-beam observation system. It can also support polKVN(Korean VLBI Network), KaVA(KVN and VERA Array), 32Gbps Direct Sampler, Digital Filter, Widebandarization observations and supports the standard VDIF(VLBI Data Interchange Format) format of observed data. In this paper, the performance of the system and the problem solving are described in detail after performing the factory inspection and field test before the system is introduced.

• Key Words : KVN(Korean VLBI Network), KaVA(KVN and VERA Array), 32Gbps Direct Sampler, Digital Filter, Wideband

Received 12 May 2017, Revised 30 May 2017, Accepted 11 June 2017

\* Corresponding Author Se-Jin Oh, Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, 776 Daedukdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea. E-mail: roypark1984@gmail.com

## I. 서론

VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 관측 시스템은 통신 및 네트워크 기술의 발전으로 인하여 성능이 많이 개선되었으며, 관측자들은 더 높은 각도 분해능과 고화질의 전파영상을 관측할 수 있도록 요구하고 있다. 측지 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 측지 VLBI 관측과의 호환성을 확보하기 위해 관측시스템의 규격을 참고하고 있다[1][2][3].

한국천문연구원(KVN (Korean VLBI Network)과 협력하고 있는 일본국립천문대 VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry)의 경우, 8/16/32 Gbps 기록속도로 2 GHz 대역폭 전체 또는 512 MHz 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]. KVN의 경우 기존에 설치한 관측시스템은 512 MHz 대역폭을 갖는 4개의 주파수를 동시에 관측할 수 있으며, 최대 기록속도는 8192 Mbps인데, 2048 MHz 대역폭 전체를 한 번에 샘플링하여 8/16/32 Gbps의 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 KVN의 관측성능 확장을 위해 기존의 협대역 관측시스템과 비교하여 넓은 주파수 대역을 분할하지 않고 한 번에 관측할 수 있는

광대역 관측시스템을 운영할 계획을 갖고 있는데, 사전연구를 통하여 도입할 시스템을 미리 설치하여 시험관측을 수행하였으며[5], 그 결과를 바탕으로 KVN의 운영규격을 반영하여 제작주문을 하였으며, 이 주문 제작한 광대역 관측시스템의 도입전 공장시험과 현장시험을 수행하고 그 결과를 고찰하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 광대역 관측시스템인 OCTAD-K에 대해 살펴보고, III장에서는 시험을 위한 구성에 대해 기술하며, IV장에서는 실험 및 결과에 대해 고찰한 후 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. OCTAD-K

VLBI에서 초고속 샘플러는 안테나로부터 수신된 천체의 아날로그 신호를 디지털 신호로 고속 변환하여 국제 표준 데이터 전송규격인 VDIF (VLBI Data Interchange Format)[7] 형식으로 변환하는 장치이다. 본 연구의 광대역 시험관측을 위해 활용한 초고속 샘플러는 OCTAD-K[6]이며, 아날로그 신호입력은 0.1~24 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 8192 MHz 대역폭의 입력신호를 16384 Msps, 3 bit로 샘플링하고 샘플러 후단에 내장된 DBBC에 의해 주파수 변환을 통하여 16~2048 MHz 대역으로 필터링하여 32~4096 Msps의 디지털 데이터를 출력할 수 있으며, 데이터를 기록할 경우 주로 이 모드가 활용된다. THROUGH 모드는 최대 8192 MHz 대역폭의 입력신호를 16384 Msps, 2 bit로 샘플링하여 출력하며, 데이터 기록을 하지 않고 전송을 할 경우 사용하는데, 필요에 따라 고속기록계가 준비되면 비트별로 데이터를 기록하고 재정렬을 수행하는 방법으로 데이터 저장을 할 수 있다. 디지털 데이터 출력은 VLBI 관측 데이터의 국제표준 데이터 전송규격인 VDIF를 기준으로 형식변환을 수행하며, VTP (VLBI Transport Protocol)[9]에 따라 헤더 정보를 더한 후 UDP/IP 패킷으로 변환되어 10GbE로 출력된다.

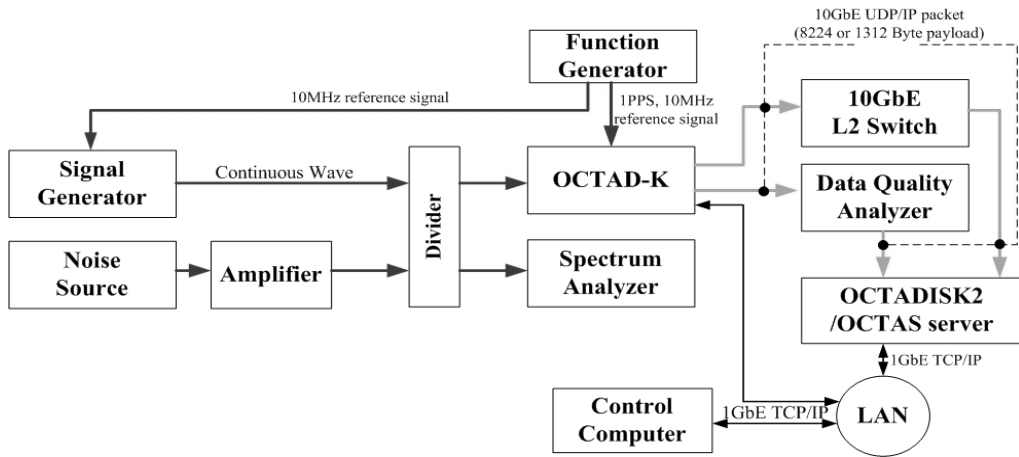


Fig. 1. Configuration of OCTAD-K Factory Investigation Configuration

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

Table 1. The OCTAD Specification

Item	Description	
ADC	Port #	1~4
	ADC	ADC
	Input BW	0.1~24GHz
	Sampling	Max 16384Msps
	Quantization	3bit
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	16
64	2	8	16
32	2	8	16

### III. 시험 시스템 구성

그림 1은 OCTAD-K의 시험을 위한 기본 구성도

이다. 본 시험에서 사용된 신호 생성기는 Hittite HMC-T2100 모델이며 10~20 MHz의 신호를 생성하는데 활용하였다. 잡음소스는 Agilent 사의 346C이며 10MHz~26.5GHz 잡음신호를 활용하였다. 또한 증폭기는 2단계 연결로서 다음과 같은 구성을 사용하였다.

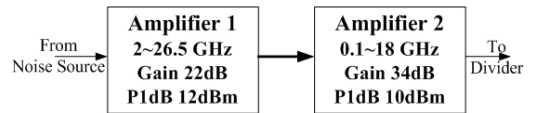


Fig. 2. Example of Amplifier Usage

그림 1의 시험 구성도에서 파워 분배기는 KRYSTAR의 MLDD 2-way 분배기이며 0.5~26.5 GHz를 사용하였다. 그리고 2개의 분배기를 직렬로 연결하였으며, 그림 3과 같다.

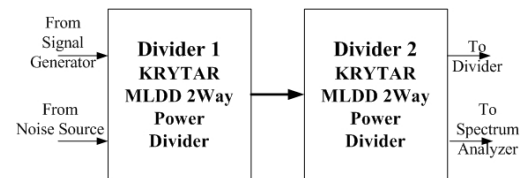


Fig. 3. Example of Power Divider Usage

OCTAD-K의 출력 신호를 비교하기 위해 활용한 스펙트럼 분석기는 Agilent 사의 8563E이다. 함수 생성기(Function generator)는 Tektronix사의 AFG3101이며, single channel로 사용하였다. OCTAD-K 출력

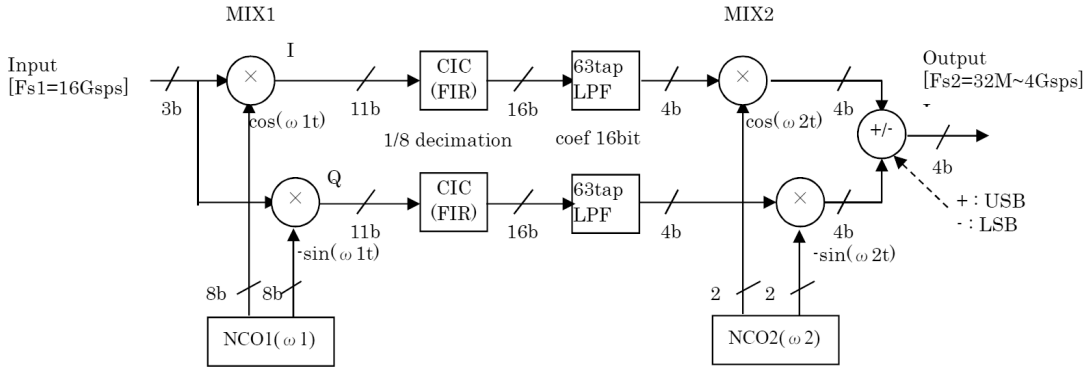


Fig. 4. Configuration of OCTAD-K Digital Filter Configuration

신호는 OCTADISK2[6]를 활용하였으며, 제어 및 모니터링은 제작사의 OCTAS[6] 제어 소프트웨어를 활용하였다. 10GbE은 FORCE S4810P 모델을 활용하였다.

그림 4는 OCTAD-K에 구현된 디지털 필터의 구성도를 나타내었는데, 입력되는 16Gbps 샘플링 신호에 대해 FIR 필터와 63 tap의 필터응답을 갖는 LPF를 통과하여 순환 반복구성방법을 이용한 디지털 필터가 구현되어 있다.

#### IV. 시험 결과 및 고찰

본 논문에서 KVN의 VLBI 성능개선을 위해 광대역화를 위해 도입한 OCTAD-K 시스템의 성능을 확인하기 위해 시험을 수행하였으며, 그 결과에 대해 고찰하고자 한다.

제작사에서 수행한 공장시험은 현장에 설치하기 전 KVN에서 요구한 관측모드가 정확하게 구현되었는지 확인하는 과정으로 관측국의 상황과 유사한 시험구성도인 그림 1을 구현하여 시험하였다. 그리고 OCTAD-K에 구현된 관측모드 중에 최고 속도인 32 Gbps 급 기록기를 설치하여 시험하는 것은 데이터 기록 등을 위한 환경이 구축되지 않아 향후 현장설치 후 시험환경이 된 후에 수행하기로 하였다. 본 시험에서는 표 3의 관측모드를 대상으로 수행하였다.

OCTAD-K는 16384Msp/s, 3bit로 최대 8GHz의 광대역 신호를 직접 샘플링할 수 있는데, 다른 OCTAD

시리즈 중에서 가장 속도가 빠른 샘플링 칩을 사용하였다. 운영모드는 관측대역폭을 직접 샘플링하는 TROUGH 모드와 직접 샘플링한 관측대역폭을 필터링을 수행하는 DBBC 모드가 있다. 본 논문에서는 DBBC 모드의 성능 중에 광대역 모드(W mode)와 협대역 모드 중 N-1에 대해서만 중점적으로 수행하였다. 또한 표 3에 나타난 DBBC의 N-5 모드는 KVN의 요구와 다르게 FPGA가 구현되어 있어 시험대상에서는 제외하였다.

Table. 3. Experimental observation mode

Mode	Re-sampling rate [Msp/s]	bits	Channel Max
W-1	4096	2	4
W-2	2048	2	8
W-3	1024	2	16
N-1	512	2	16
N-2	256	2	16
N-3	128	2	16
N-4	64	2	16
N-5	32	2	16

#### 4.1 광대역 모드(W-1) 시험

##### 4.1.1 USB, VDIF 8192byte jumbo 프레임

이 시험은 4096 Msp/s-2bit 모드로서 16384Msp/s, 3bit로 관측대역을 직접 샘플링한 데이터를 DBBC에서 재샘플링인 4096 Msp/s, 2bit로 수행한 것이다. 관측 데이터의 출력은 VLBI 표준인 VDIF이며, jumbo 프레임인 8192 byte를 사용하고 있다. OCTAD-K는 4개 입력에 대해 4개의 샘플러 보드가 있는데, 이 W-1 모드는 OCTAD-K의 최대 관측 대역폭인 8192

MHz를 2048 MHz 대역폭 4개로 분리하여 4개의 샘플러 보드로 샘플링하고, 각 샘플러 보드의 샘플링된 데이터를 DBBC로 필터링을 수행할 수 있다. 이 경우 총 출력 데이터의 속도는 8192 Mbps x 4ea로서 최대 32 Gbps가 되지만, 한 번에 출력 데이터를 저장할 수 있는 기록계가 준비되지 않아 4개의 10GbE 각각에 대해 한 번씩 데이터 출력을 획득하고, 출력결과를 한 번에 나타내도록 설정하였다. 샘플링된 데이터는 USB이며, OCTAD-K의 NCO 및 입력 신호의 정보는 다음과 같다.

NCO 및 입력 CW 신호의 주파수 정보

NCO1 1,024,000,000 Hz, CW1 1,550,000,000 Hz  
 NCO2 3,072,000,000 Hz, CW2 3,600,000,000 Hz  
 NCO3 5,120,000,000 Hz, CW3 5,650,000,000 Hz  
 NCO4 7,168,000,000 Hz, CW4 7,700,000,000 Hz

입력된 CW 신호의 세기는 -12dBm이며, DBBC 이득은 10dB이다. 또한 DBBC의 결과를 확인하기 위해 자기상관처리를 수행할 때 FFT point 수는 4096이다. 그림 4에 W-1 모드의 시험결과를 나타내었다.

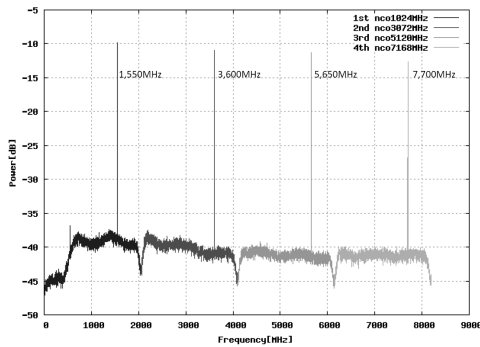


Fig. 5. Test result of W-1 mode of OCTAD-K by saving with USB part

그림 5의 결과는 앞에서 기술한 것과 같이 ADC1~4 칩에 대해 동시에 기록한 것은 아니고, 순차적으로 데이터를 저장한 후 한번에 그림으로 나타낸 것이다. 그림 5에 나타난 것과 같이 CW 신호에 대한 대역폭은 2048 MHz이며, CW 신호 1,550, 3,600, 5,650, 7,700 MHz 신호가 주파수 축에 잘 표시되고 있음을 알 수 있다. OCTAD-K에서 설정한 NCO 주

파수에 대해서도 각 2048 MHz 대역폭에 대해 대역 1~4도 NCO 1024, 3072, 5120, 7160 MHz 주파수가 잘 적용되어 DBBC 대역폭을 잘 표현되고 있음을 알 수 있다.

#### 4.1.2 LSB, VDIF 1280 byte 프레임

이번 시험은 4.1.1과 마찬가지로 4096 Msps, 2bit 모드에 대해 입력 신호의 LSB 부분을 획득하고, VDIF 정보는 1280 byte로 출력되도록 시험하였다. 4.1.1에서 수행한 시험과 같으나 DBBC 모드의 LSB를 획득하고 VDIF 파일의 사이즈에서 차이가 나는 것을 제외하고 같은 시험이다.

시험을 위해 설정한 OCTAD-K의 NCO 및 입력 CW 신호의 주파수 정보는 다음과 같다.

NCO 및 입력 CW 신호의 주파수 정보

NCO1 1,024,000,000 Hz, CW1 498,000,000 Hz  
 NCO2 3,072,000,000 Hz, CW2 2,544,000,000 Hz  
 NCO3 5,120,000,000 Hz, CW3 4,590,000,000 Hz  
 NCO4 7,168,000,000 Hz, CW4 6,636,000,000 Hz

그림 6에 대역폭의 LSB 부분과 CW 신호에 대한 스펙트럼 모양을 나타내었다. 그림 6에 나타난 것과 같이 LSB 대역을 기록하였기 때문에 스펙트럼의 순서가 그림 5와 비교하여 반대인 것을 알 수 있다.

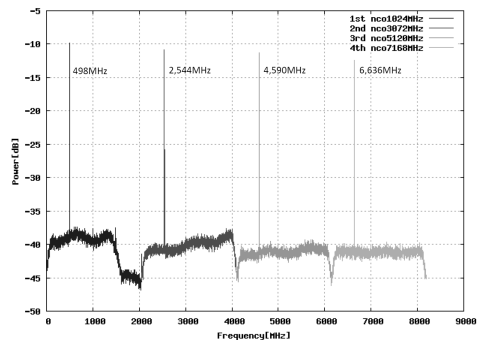


Fig. 6. Test result of W-1 mode of OCTAD-K by saving with LSB part

#### 4.2 W-3 모드 시험

이번 시험은 1024 Msps, 2bit의 DBBC 모드이며 VDIF의 다채널 jumbo 프레임(8192 byte payload)의 출력을 갖는다. CW 아날로그 신호는 ADC1에 입력

되며 OCTAD-K의 DBBC CH1~4에서 처리된다. 각 채널의 NCO 및 CW 신호의 주파수 설정은 다음과 같다.

NCO 및 CW 신호 주파수 설정

CH1: NCO 256,000,000 Hz

CH2: NCO 768,000,000 Hz

CH3: NCO 1,280,000,000 Hz, CW: 1,300,000,000 Hz

CH4 : NCO 1,792,000,000 Hz

위에 나타난 설정에서 알 수 있듯이 CH3에만 CW 신호가 출력되도록 하였다.

#### 4.2.1 신호세기가 센 입력 신호

천체로부터 오는 신호는 세기가 매우 미약한 신호이나, 이번 실험에서는 사용된 CW 신호의 세기가 센 경우에 대해 시험을 수행하였다. 본 실험의 결과를 그림에 나타내었다. 그림 7에 나타난 것과 같이 1220MHz에서 spurious 신호가 검출되고 있는데, 이는 입력 세기가 센 CW 신호의 하모닉 신호의 alias이다. 이 경우 DBBC 이득블록은 포화상태가 되며 3번째 하모닉 신호(3900MHz = 1300 x 3)가 생성된다. 이 신호가 DBBC 이득블록에 의해 처리될 때, 목적대역(target band)은 기저대역(base band)으로 변환된다. 따라서 spurious 신호는 3900MHz에서 2620MHz로 천이하게 된다(3900-1280(NCO)). 이 피크 신호는 -60MHz( $f_s=1024\text{MHz}$ )에서 폴딩 노이즈의 원인이 된다. 따라서 DBBC 블록의 데이터로 출력되기 전에 목적 대역은 256 MHz로 변환된다. 그래서 spurious 신호는 -60MHz에서 196MHz로 천이한다. 그림 7에서 3번째 채널의 데이터는 (1024-1525 MHz) 대역에서 추출된다. 따라서 이 결과에서는 (196+1024=1220MHz) 오프셋 신호가 출력되고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 높은 세기의 입력 CW 신호에 대한 하모닉 신호가 샘플러의 입력으로 들어가 발생하는 오프셋 신호가 함께 출력되고 있음을 알 수 있다. 또한 천체의 신호는 매우 미약하기 때문에 실제로 관측에서는 이러한 천체신호는 입력되지 않기 때문에 샘플러의 성능을 검증하기 위해 입력된 신호로서는 너무 세기가 센 것을 알 수 있었다. 본 실험에 사용된 CW 신호의 신호세기는 -12dBm이며 비트분포는 bit0, bit1, bit2, bit3 = 26%, 24%, 24%, 26%임을

확인하였다.

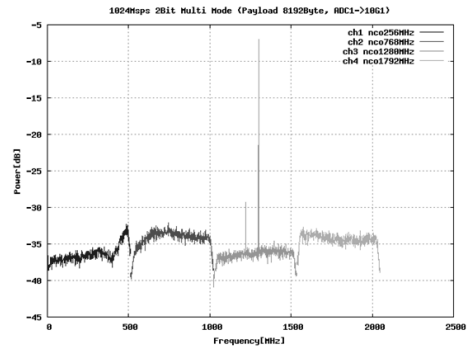


Fig. 7. Test result of W-3 mode of OCTAD-K with strong spurious signal appeared

#### 4.2.2 신호세기가 약한 입력 신호

앞에서 기술한 것과 같이 신호의 세기가 센 경우 원래 신호의 하모닉 신호가 입력되는 경우가 있기 때문에 -12dBm의 CW를 신호를 -18dBm으로 세기를 줄여서 입력하였으며, 이때 비트분포는 15%, 35%, 35%, 15%의 전형적인 분포를 보이는 것을 확인하였다. 또한 이 신호에 대해 앞의 시험조건을 동일하게 적용하여 시험한 결과를 그림 8에 나타내었다.

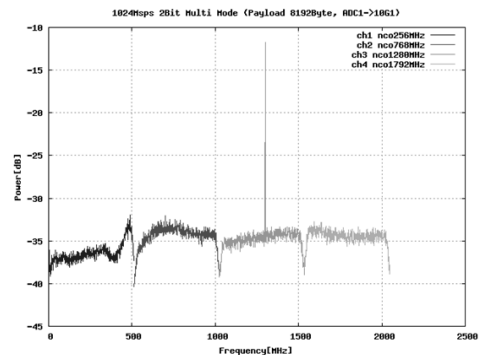


Fig. 8. Test result of W-3 mode of OCTAD-K with correct signal, which means that strong spurious signal disappeared

그림 8에 나타난 것과 같이 입력신호에 대한 하모닉 신호가 사라진 것을 확인할 수 있으며, 설정한 1300MHz의 CW 신호가 잘 출력되고 있는 것을 알 수 있다.

### 4.3 협대역(N-1) 모드 시험

OCTAD-K에 채용된 협대역 모드는 N-1~N-5 모드가 있는데, 이번 공장시험에서는 광대역 모드의 시험에 중점을 두었고, 협대역 모드는 신호가 제대로 출력되는지 확인만 하였다. 특히 N-1 모드는 256 MHz 대역폭을 갖는데, 512 Msp/s, 2bit로 재샘플링을 수행하고 있으며, 그 시험 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 경우 CH6번에 CW 신호인 1300 MHz 신호를 인가하였으며, 정확한 위치에 인가한 CW 신호가 잘 출력되고 있는 것을 알 수 있다. 이때 사용된 CH6번의 NCO 주파수는 1408MHz이다.

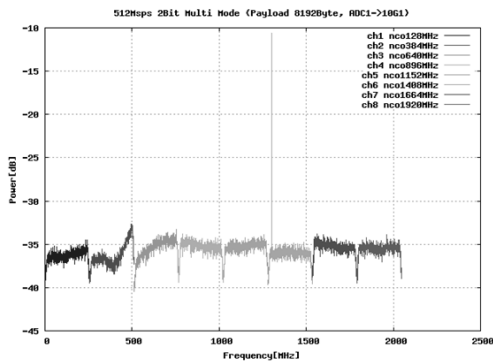


Fig. 9. Test result of N-1 mode of OCTAD-K with 8 channels

이상의 실험결과를 통하여 KVN의 광대역 관측을 위해 도입하는 OCTAD-K 초고속 샘플러 시스템의 기본적인 성능을 확인하였다. 시험과정에서 문제점으로 발견된 인가된 CW 신호의 세기가 너무 큰 경우에 하모닉 신호가 샘플러에 영향을 주는 것을 확인하였다. 즉, 천체의 신호는 매우 미약하기 때문에 입력 천체신호에 대해서는 문제가 발생하지 않는 것을 확인하였다. 그리고 FPGA 설계에 반영되지 못한 N-5 모드는 제작사에서 설계를 진행하고 있으며, 향후 설치하여 설치 후 시험을 수행할 예정이다. 향후에는 실제 설치 후 관측을 통한 시험결과를 도출하고 그 결과를 비교할 예정이다.

## V. 결론

본 논문에서는 KVN의 광대역 관측시스템으로의 확장을 위해 32Gbps 급 광대역 샘플러 백엔드 시스템을 도입하기로 하였다. 이를 위해 KVN은 제작사에 관측에 필요한 관측모드의 규격추가와 최대 16 Gsp/s-2bit의 샘플링 모드를 지원할 수 있는 시스템을 요청하였다. 이 광대역 샘플러 백엔드 시스템을 도입하기 전에 시스템의 기능과 성능을 확인하기 위한 공장시험을 수행하였으며, 실제 관측시스템과 동일한 조건으로 시뮬레이션 시험을 통하여 광대역 샘플러가 정상적으로 동작되는 것을 확인하였다. 시험과정에서 발견된 강한 신호세기의 CW 신호에 대해 하모닉 신호가 출현하는 것을 확인하였으나 실제 천체의 미약한 신호에서는 발생하지 않는 것을 확인하였고, 협대역 N-5 모드의 경우 FPGA 설계가 정상적으로 수행되지 않은 것을 확인하였고, 향후 수정을 진행될 예정이다. 32Gbps급 광대역 샘플러의 도입은 KVN의 성능개선과 향후 KaVA(KVN and VERA Array)를 통한 이미지 민감도를 향상시키는데 매우 큰 역할을 할 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] 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.
- [5] Se-Jin Oh, T. Oyama, and Jae-Hwan Yeom et al. (2016, December), A Study on the Test Results

and Wideband Observing of the Korean VLBI Network, Journal of The Institute of Signal Processing and Systems, 17(2), pp. 83-92.

[6] Elecs Industry Co. Ltd., "RF Direct Sampler OCTAD Series," 2015.

[7] <http://www.vlbi.org/vdif>

## 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 천문관측 기기 개발



### 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



### 정 동 규 (Dong-Kyu Jung)

2004년 8월 충남대 천문학과(이학사)  
2006년 8월 충남대 천문학과(석사수료)  
2012년 1월~현재 한국천문연구원 연구원  
※관심분야: VLBI상관처리, 천문관측기기 개발



### 하라다 켄이치(Harada Kenichi)

Elecs Industry Co. Ltd, 주임연구원  
프로젝트 리더  
※관심분야: VLBI관측기기, 광전송 시스템, 초고속 샘플러 개발



### 타케자와 코스케(Takezawa Kosuke)

Elecs Industry Co. Ltd, 연구원  
※관심분야: VLBI관측기기, 광전송 시스템, 초고속 샘플러 및 고속기록계 개발