

한국우주전파관측망(KVN)을 위한 시각시스템 구축과 성능측정
PERFORMANCE EVALUATION AND IMPLEMENTATION OF CLOCK SYSTEM
FOR KOREAN VLBI NETWORK

오세진, 제도흥, 이창훈, 노덕규, 정현수, 변도영, 김광동, 김효령, 정구영, 안우진, 황정욱
한국천문연구원

SE-JIN OH, DO-HEUNG JE, CHANG-HOON LEE, DUK-GYOO ROH, HYUN-SOO CHUNG,
DO-YOUNG BYUN, KWANG-DONG KIM, HYO-RYUNG KIM, GU-YOUNG JUNG,
WOO-JIN AHN, AND JEONG-WOOK HWANG
Korea Astronomy & Space Science Institute, 61-1 Hwaam, Yuseong, Daejeon 305-348, Korea
E-mail: sjoh@kasi.re.kr
(Received November 29, 2007; Accepted December 5, 2007)

ABSTRACT

In this paper, we describe the proposed KVN (Korean VLBI Network) clock system in order to make the observation of the VLBI effectively. In general, the GPS system is widely used for the time information in the single dish observation. In the case of VLBI observation, a very high precise frequency standard is needed to perform the observation in accordance with the observation frequency using the radio telescope with over 100km distance. The objective of the high precise clock system is to insert the time-tagging information to the observed data and to synchronize it with the same clock in overall equipments which used in station. The AHM (Active Hydrogen Maser) and clock system are basically used as a frequency standard equipments at VLBI station. This system is also adopted in KVN. The proposed KVN clock system at each station consists of the AHM, GPS time comparator, standard clock system, time distributor, and frequency standard distributor. The basic experiments were performed to check the AHM system specification and to verify the effectiveness of implemented KVN clock system. In this paper, we briefly introduce the KVN clock system configuration and experimental results.

Key words: Korean VLBI Network, Active Hydrogen Maser, Clock System

1. 서론

현재 한국천문연구원은 국내에서 최초로 구성되어지는 세계적 수준의 최첨단 VLBI (Very Long Baseline Interferometer) 관측시스템인 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network; KVN) 건설 사업을 2001년부터 2008년까지 추진하고 있다. KVN은 천체에서 오는 우주전파를 합성하여 간섭효과를 갖게 하는 국내 최초의 초장기선 전파간섭계(VLBI) 시스템이며, 이를 이용하면 지름 500 km에 이르는 초대형 전파망원경을 설치한 것과 같은 효과를 갖는 최첨단 시스템이다. 따라서 2008년 KVN 구축이 완성되면 밀리미터파 대역의 전파천문 관측과 초정밀 측지관측을 통하여 외부 은하계나 별 탄생 등 천체의 초기 구조에 대한 연구와 한반도 및 주변 국가들의 지각운동에 관련된 정밀 측지연구, 지구회전운동 연구 등 국가적인 기초기반 연구를 수행할 수 있는

기초과학 연구시설이 될 것이다(김효령 외, 2006).

KVN 시스템은 국내의 3개 지역(울산, 서울, 제주)에 지름 21m급의 첨단 밀리미터파 VLBI 전용 전파망원경이 구축이 되어 전파망원경의 수신기실에 밀리미터파 대역의 수신기와 고속샘플러, 광케이블을 통한 데이터 전송 시스템 등이 설치되고, 관측동에는 전송된 데이터의 분석을 수행하는 자료획득시스템(Data Acquisition System, DAS), 고속기록기(Mark5B) 등이 설치된다. 그리고 수소 원자시계 및 제어 컴퓨터 시스템 등이 관측동에 설치된다(김효령 외, 2006).

VLBI 관측시스템에서 기본적인 부분은 관측된 데이터에 정확한 시각정보를 생성하고 제공하는 시각시스템이라고 할 수 있다. 시각시스템은 VLBI 관측국의 여러 제어 컴퓨터의 시각을 동기시켜 모든 시스템이 정확하게 함께 움직일 수 있도록 해 준다. 일반적으로 전파망

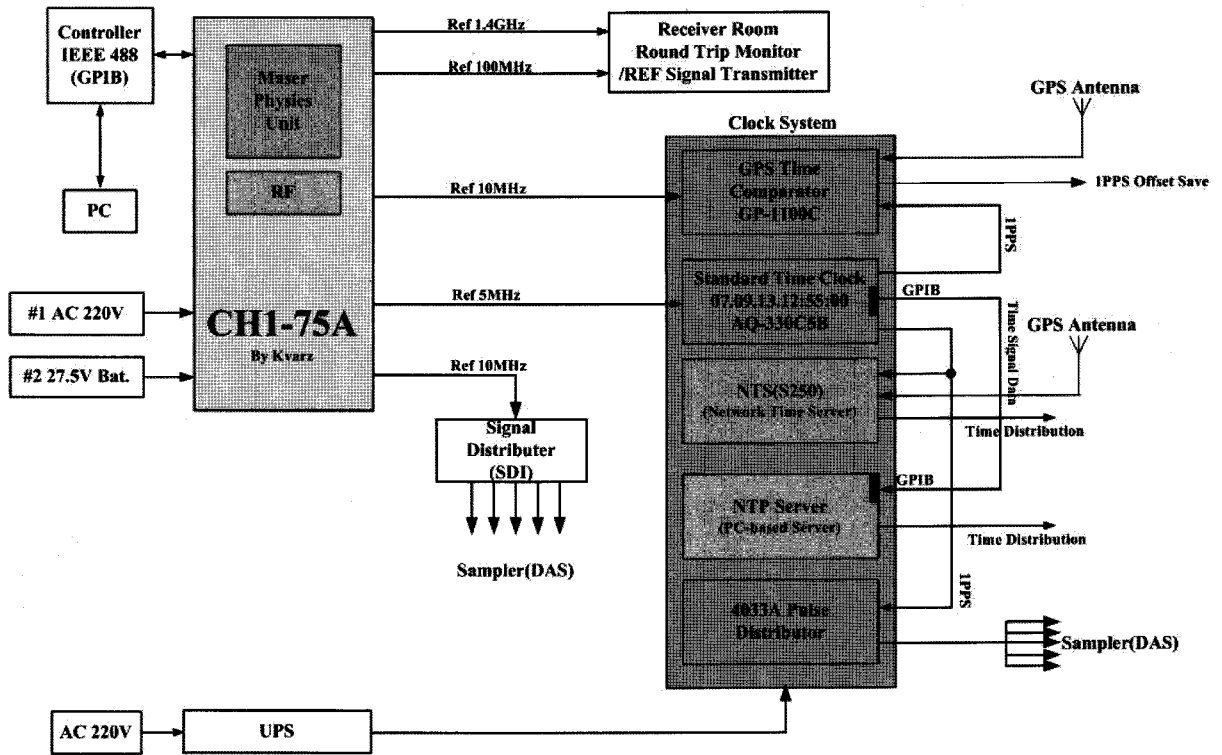


그림 1. 한국우주전파관측망(KVN)에서 사용 제안된 시각시스템 구성도.

원경 1대를 이용한 천체관측(단일경 관측)에서는 GPS (Global Positioning System) 수신기를 관측국의 시각시스템으로 널리 사용하고 있다. GPS 수신기에서 출력되는 시각정보의 안정도는 장기 안정도가 우수하며, 단일경 관측의 경우 관측국에서 관측에 사용되는 시스템들이 GPS 수신기의 출력 시각정보만을 이용하더라도 전체 시스템의 시각동기문제에는 크게 영향을 주지 않는다. 그러나 KVN과 같은 500km 이상 떨어진 전파간섭계의 경우 여러 관측국의 시스템을 동일한 시각시스템을 연결할 수 없기 때문에 각 관측국에 매우 정밀한 시각시스템이 필요하다.

이 논문에서는 KVN의 효과적인 천체관측을 위해 구상한 시각시스템과 기존에 KVN의 각 관측국에 설치한 수소원자시계의 성능 측정을 위해 수행한 실험 등에 대해 기술하고자 한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 KVN을 위해 제안한 시각시스템의 구성에 대해 기술하고, 3장에서는 제안한 시각시스템의 규격과 구성에 대해 기술한다. 4장에서는 제안한 시각시스템의 구축과 기존에 설치한

수소원자시계의 성능측정 실험에 대해 논의하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 제안한 시각시스템

천체에서 발생하는 미약한 아날로그 전파신호는 전파망원경의 수신기에서 수신되고 샘플러로 디지털화한 다음 고속으로 저장된다. 이때 디지털화된 데이터를 처리하기 위해서는 언제 전파신호를 저장하였는지, 얼마동안 관측을 수행하였는지에 대한 정보가 필요하다. 따라서 데이터에 시각 스탬프와 같은 정보를 삽입하게 되며, 수신하는 주파수에 따라 매우 정밀한 시각이 필요하다. 이 논문에서는 한국우주전파관측망(KVN)에서 사용되는 기준주파수와 시각시스템을 제안한다. 그림 1에 제안한 시스템의 구성을 나타내었다. 그림 1에서와 같이 전체 시스템의 핵심으로서 매우 안정된 신호를 출력하여 모든 시스템의 기준주파수를 공급하는 수소원자시계와 수소원자시계로부터 공급되는 안정된 신호와 함께 표준시각을 생성하는 표준시계(Standard Time Clock), 그리고 GPS의 시각과 표준시계에서 생성된 시각정보를 비교하

표 1. CH1-75A 수소원자시계의 규격.

항 목	시간/주파수	값/출력수
주파수 안정도	1s	2×E-13
	10s	3×E-14
	100s	7×E-15
	1000s	2.5×E-15
	1hour	1×E-15
	1day	7×E-16
출력주파수	1PPS	2 ch
	5MHz	2 ch
	10MHz	2 ch
	100MHz	2 ch
	1.4GHz	1 ch

표 2. CH1-75A의 위상잡음 규격.

	offset from SSB carrier	Phase Noise, dBc/Hz
위상잡음	1 Hz	< -110
	10 Hz	< -130
	100 Hz	< -140
	1 kHz	< -150
	10 kHz	< -150

는 GPS 시각비교기 등으로 구성된다. 또한 생성된 시각정보를 전송하는 네트워크 시각 서버(Network Time Server)와 PC 기반의 네트워크 프로토콜을 사용하는 서버 등과 신호분배기 등으로 구성된다.

제안한 KVN 시각시스템의 특징은 네트워크로 시각정보를 전송하는 부분으로 2대의 네트워크 시각 서버를 이중으로 구성한 것이다. 이는 KVN의 관측 시스템에서 제어 컴퓨터들은 TCP/IP를 통해 여러 시스템들을 제어하고 있기 때문에 모두 네트워크를 사용하고 있다. 따라서 관측국에서 운용중인 2대의 네트워크 시각서버로부터 시스템 시각을 동기시킬 수 있다. 2대의 네트워크 시각 서버들은 수소원자시계로부터 생성한 1PPS 신호에 의해 시스템을 동기할 수도 있고 다른 한 대는 GPS 신호에 동기되어 네트워크로 시각정보를 전송할 수 있다. 이렇게 구성한 것은 KVN의 전파망원경은 기본적으로 VLBI 관측을 위한 시스템이지만, 만약 3개 사이트가 동시에 VLBI 관측을 수행하지 못하거나, 수소원자시계에 문제가 발생할 경우 KVN의 각 사이트는 단일경 관측도 수행할 수 있도록 계획하고 있다. 따라서 KVN 시각시스템은 단일경 관측을 수행할 경우 GPS 수신기에 의한 시각정보를 네트워크로 전송할 수 있도록

구성되어 있다. 그림 1에 나타난 제안한 시각시스템의 각 구성에 대해 다음 장에서 간략히 기술한다.

3. 제안 시스템의 구성

3.1 수소원자시계

현재 전세계적에서 수소원자시계를 제작하고 있는 곳은 미국, 러시아, 일본, 스위스, 중국 등이며, 주로 주문 제작되고 있다. 특히 미국의 Symmetricom에서 제작하고 있는 MHM-2010(이전의 Sigma-Tau) 모델은 그 성능이 세계적으로 입증되었으며, VLBI 관측국 및 표준시각을 연구하는 곳에서 널리 사용되고 있다. 일본에서는 Anritsu사에서 제작하고 있으며, KVN에서는 수소원자시계를 도입하기 위해 미국, 일본, 러시아에서 생산되는 수소원자시계의 사양을 검토하였으며, 최종적으로 러시아의 Kvarz사에서 생산되는 CH1-75A 모델을 선정하여 KVN의 관측시스템 등에 매우 안정된 기준주파수를 공급하기 위한 장비로 사용하고 있다(오세진 외, 2004). 표 1과 2에 CH1-75A 수소원자시계의 규격을 각각 나타내었고, 시스템은 그림 2에 나타내었다.

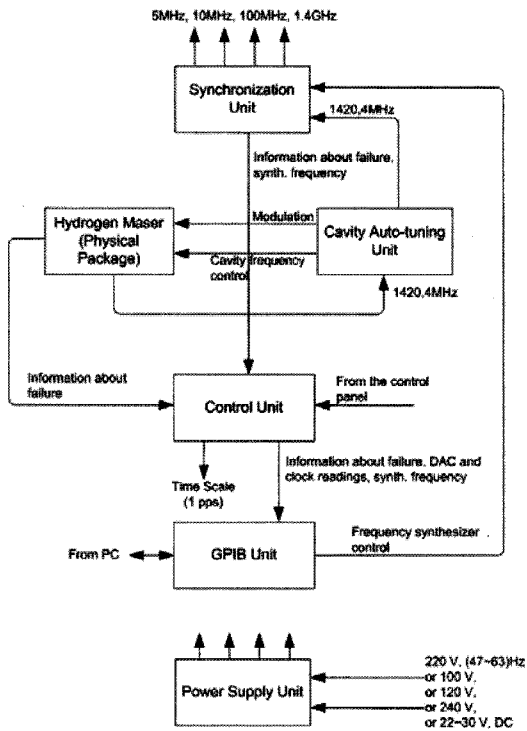
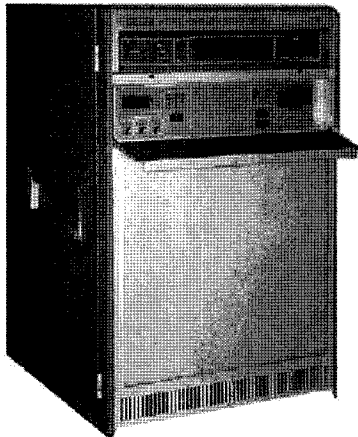


그림 2. CH1-75A 수소원자시계.

3.2 표준시계 시스템

정확한 표준시각을 생성하는 표준시계 시스템은 일본의 Echo사에서 제작한 AQ-330C5B 장비(ECHO사, 2007)를 사용하였다. 이 시스템은 수소원자시계 또는 세슘원자시계와 같이 외부의 정밀한 기준주파수를 입력으로 받아 정밀한 시각을 생성하는 장비로서 표 3에 시스템 특징을, 표 4에 시스템 성능을 각각 나타내었다. 그리고 내장된 배터리 전원에 의해 시스템의 전원공급이 중단되면 약 3시간 정도 시스템을 구동할 수도 있다. AQ-330C5B 시스템은 5 MHz의 수소원자시계 기준

주파수로 생성한 1PPS 신호와 시각코드(BCD 코드, IRIG 코드)를 출력한다.

3.3 GPS 시각 비교기

VLBI와 같이 전파간섭계를 통하여 천체를 관측할 경우 각 관측국에 설치된 기준주파수와 시각 시스템은 그 관측국에서는 정확하지만, 다른 관측국과 비교하여 시각의 offset이 발생하며 이렇게 관측한 데이터를 상관센터에서 처리할 때는 얼마만큼의 offset이 발생한 것인지 확인할 수 없게 된다. 하지만 각 관측국에는 수소원자시계를 기준으로 하는 시각시스템과 함께 GPS 수신기를 사용하기 때문에 이 GPS 수신기로 수신한 시각정보와 각 관측국에 설치된 시각시스템의 시각정보를 비교하여 이 정보를 저장하여 관측한 천체의 시각 offset 정보로 사용한다.

따라서 이 논문에서 제안한 시각 시스템에서도 GPS 시각 비교기를 사용하여 표준시계로부터 생성한 1PPS 신호와 시각비교기에 장착한 GPS 수신기의 1PPS 신호를 비교하여 시각 offset을 저장할 수 있도록 구성하였으며, 앞에서 소개한 표준시계와 마찬가지로 일본 Echo사의 GP-1100C 시스템(ECHO사, 2007)을 사용하였다. GP-1100C 시스템은 시스템 자체에서 GPS수신기로부터의 1PPS 신호와 외부 1PPS 입력신호 사이의 시각 차이를 비교한다. 시스템에는 UTC 정보와 현재 시각의 차이를 표시하며, 이 정보는 RS232C 인터페이스를 통하여 모니터링 컴퓨터로 전송된다. 내장된 GPS 수신기는 1575.42 MHz 주파수를 사용하고, C/A 코드와 8개의 위성채널을 수신할 수 있다. 시스템의 정확도(Accuracy)는 $\pm 0.5\mu s$ 이고, 분해능은 10 MHz 기준주파수에 대해 100nsec, 100 MHz 기준주파수에 대해서는 10nsec이다. 시스템의 입력은 1575.42 MHz의 GPS 신호, 외부 1PPS, 10 MHz와 100 MHz 기준주파수이며, 출력은 모니터링된 1PPS 시각 offset 정보와 GPS에 동기된 신호가 출력된다.

3.4 NTS(Network Time Server)

이 논문에서 제안한 KVN 시각시스템에서도 2가지의 NTP(Network Time Protocol)를 이용한 NTS 시스템을 구성하도록 되어 있어 관측국의 시스템 시각동기에 중요한 역할을 담당한다. NTP는 NTS를 구성하는 기본적인 프로토콜로서 일반적으로 시각정보를 제공하는 서버와 그 정보에 따라 시각을 동기시키는 클라이언트로 구성된다. 즉, 서버/클라이언트의 관계는 계층적인 구조로 구성되어 있으며 NTP의 경우 계층을 stratum이라고 부른다(Imamura Kuniyasu, et. al., 2003).

Stratum1은 협정세계시인 UTC (Universal Time Coordinated)에 동기되는 서버가 해당되며, 가장 상위

표 3. AQ-330C5B 시스템의 특징.

AQ-330C5B의 시스템 특징	
• 연(年)의 자릿수에 있어서 1/10000초 자리까지의 광범위한 시각측정이 가능	
• 수동으로 초(sec)의 위상조정 스위치에 의해 정확한 위상조정이 가능	
• 윤초(閏秒) 스위치에 의해 UTC의 윤초 삽입에 대해 한번에 대응할 수 있는 기능	
• 무정전 보상시간은 외부 배터리에 의해 연장가능	
• IRIG 연결단자와 시각 펄스 분배기를 접속하기 위한 인터페이스 기능	

표 4. AQ-330C5B 시스템의 성능.

항 목	성 능
위상조정범위	±100msec, 10msec, 1msec, 100μs, 10μs, 1μs (6단계의 반복방식)
계측분해능	연월일시분초 1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000(BCD 환산으로 64bit)
내장수정발전기	1MHz, ±2×E-6 sec
외부기준주파수	5MHz 0~+13dBm(50Ω)
초 위상의 차이 범위	±0.5sec

표 5. SyncServer S250 시스템의 특징.

SyncServer S250 시스템의 특징	
• 차세대, 광대역 NTP 타임서버	
• GPS 위성을 이용한 1계위 운용	
• UTC 기준 50nsec의 시간 정확도	
• IPv6, IPv4 모두 지원	
• SSH, SSL, SCP, SNMP v3, Custom MIB, HTTPS, Telnet 등 지원	
• 독립적인 시각근원 : GPS, IRIG-B, 10MHz, 1PPS	
• 다양한 출력신호 : IRIG-B, 1PPS, 10MHz	

계층에 위치한다. Stratum2는 stratum1 서버의 시각에 NTP에 의해 동기되는 시스템을 의미한다. 따라서 stratum2 서버는 stratum1 서버로부터 보면 클라이언트에 해당한다. 마찬가지로 stratum3 서버는 stratum2 서버에 대해 클라이언트에 해당한다. NTP는 이와 같은 계층으로 시각동기를 수행하고 있다. 이와 같은 관계로부터 서버와 클라이언트 간의 시각차 정보를 여러 번 얻고 이를 평균하여 네트워크의 지연에 의해 불규칙하게 분포하는 영향을 적게 하는 것과 함께 여러 서버로부터 시각정보를 얻음으로써 안정한 시각정보가 얻어지는 서버에 종속하는 것이 가능하다. 클라이언트는 이러한 정보로부터 자기 시계의 최종적인 시각차를 계산하고 시

스템 시계의 주파수를 조정하여 서서히 시각을 동기되도록 한다. 한 번에 시각이 동기되지 않는 것은 시각정보의 불연속을 방지하기 위한 것이다.

이와 같이 KVN의 표준시계 시스템으로 생성한 시각정보를 관측시스템과 관련된 모든 컴퓨터의 시각을 동기하기 위해 전송하여야 한다. 이를 위해 이 논문에서는 2가지 방법을 도입하였다. 첫 번째는 표준시계 시스템인 AQ-330C5B의 출력을 GPIB 인터페이스를 이용하여 PC 기반의 서버에 시각정보를 전송하는 방법이다. 마찬가지로 PC 서버에도 GPIB 인터페이스가 설치되어 있으며, NTP를 이용하여 시각정보를 관측국의 컴퓨터에 전송한다. 두 번째는 Symmetricom사의 SyncServer

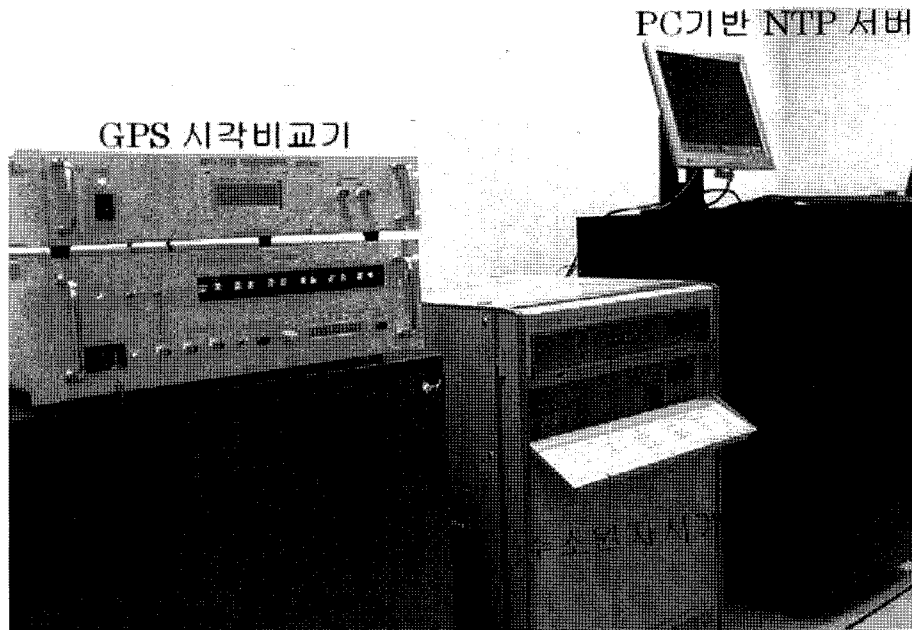


그림 3. 수소원자시계와 시각시스템을 연결한 실험.

S250 실험시스템(Symmetricom사, 2007)을 이용하여 우선 UTC 정보를 GPS 수신기로 수신한 후 표준시계인 AQ-330C5B의 출력인 1PPS 신호를 입력받아 시각동기를 맞추어 네트워크로 시각정보를 전송하는 방법이다. PC기반의 시각서버는 일반적인 PC 규격에 GPIB 보드가 장착되어 있다. SyncServer S250 시스템은 자체적으로 GPS 수신기가 장착되어 있으며, 시스템 특징은 표 5에 나타내었다.

SyncServer S250은 자동적으로 GPS, IRIG-B, 1PPS, 10MHz 기준신호에 동기되며, 입력신호를 잃어버리거나 찾았을 때 현재의 기준신호에서 이용 가능한 다음 신호로 자연스럽게 넘어가도록 설계되어 있는 것이 가장 큰 특징이다. 이 기능은 다른 주파수 소스나 백업에 의해 효과적으로 운용하는데 필요한 기능이라고 할 수 있다.

4. 시스템 구축 및 성능시험

4.1 시각시스템 성능시험

이 논문에서 KVN의 효과적인 관측과 시각정보 전송을 위해 도입한 시각 시스템의 유효성을 확인하기 위해 그림 3과 같이 KVN연세전파천문대에 표준시계 시스템, GPS 시각비교기 및 PC기반의 네트워크 전송서버를 임시로 설치하여 성능시험을 수행하였다.

우선 설치된 시각시스템에서 수소원자시계의 5MHz 출력신호를 표준시계 시스템의 5MHz 기준주파수 입력으로 연결하여 시각을 설정하였다. 표준시계 시스템의 출력인 1PPS신호의 시각비교를 위해 GPS 시각비교기의

입력에 연결하였다. GPS 시각비교기는 외부에 GPS 안테나를 설치하여 UTC 정보와 위성정보, 그리고 표준시계 시스템의 1PPS와 GPS로부터 수신한 1PPS 신호의 시각 offset 정보를 표시한다. 이 논문에서 도입한 시스템의 경우 표준시계 시스템의 1PPS와 GPS 시각비교기의 1PPS 사이의 시각비교를 수행하였다. 시각 offset을 비교하는 GPS 시각비교기는 수소원자시계의 5 MHz 기준신호를 입력받아 1PPS 신호를 생성하며 GPS 시각비교기의 GPS 수신기로부터 수신한 1PPS의 offset을 메뉴얼로 조정할 수 있으며, 그 값을 화면에 표시해 준다. 이렇게 시각의 offset을 조정된 결과 이번 실험에서는 최대 $0.2\mu\text{s}$ 정도의 시각 offset을 정밀하게 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다. 도입한 시스템을 현장에 설치하기 전의 사전실험을 통하여 유효한 결과를 얻어 전체적으로 시스템의 유효성을 확인하였다. 그리고 KVN 울산전파천문대에 설치한 SyncServer S250의 NTS 시스템으로 GPS 신호에 동기된 시각정보를 네트워크로 전송한 실험과 수소원자시계의 5 MHz 기준신호에 동기된 시각정보를 네트워크로 전송한 실험에서도 정상적으로 시각정보가 전송되는 것을 확인하였다.

4.2 수소원자시계 출력 신호전력 측정실험

KVN을 위한 수소원자시계의 출력은 기존의 1PPS, 5, 100 MHz 1채널씩 출력하는 CH1-75A 모델에 대해 제조사에 KVN의 요구사항을 적용하여 1PPS, 5, 10, 100 MHz 각각 2 채널 출력과 1.4 GHz 1 채널 출력하도록

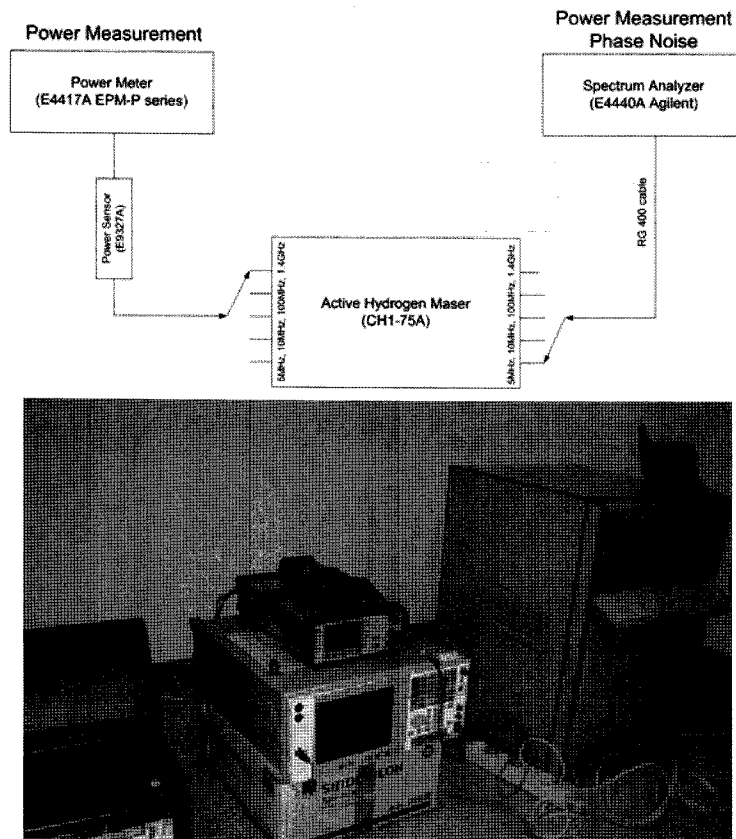


그림 4. KVN울산전파천문대 수소원자시계의 출력 전력 및 위상잡음 측정을 위한 구성.

수정하였다. 수소원자시계의 출력 중에서 가장 중요한 것은 5 MHz와 1PPS 출력신호로서 다른 출력신호는 5 MHz 신호를 곱하여 만들어 내는 신호이다. 따라서 5 MHz 출력신호의 위상잡음(Phase Noise) 등이 규격에 설정한 값과 일치하는가를 측정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

수소원자시계의 각 출력에 대한 전력 규격은 최소 출력 전력은 11.07 dBm이고, 최대 출력 전력은 14.59 dBm이다. 5 MHz 출력 신호에 대한 위상잡음(Phase Noise)의 규격을 3.1절의 표 2에 나타내었다.

이 실험에서는 우선 KVN울산전파천문대에 설치한 수소원자시계의 각 출력단자에 대한 신호의 출력전력과 위상잡음을 그림 4와 같이 E4417A Power Meter(파워미터)와 E4440A Spectrum Analyzer(스펙트럼 분석기)를 사용하여 측정하였다.

스펙트럼 분석기의 GPIB 단자를 통해 수소원자시계의 출력으로부터 데이터를 노트북PC에 자동으로 저장하도록 설정하였고, 파워미터를 이용한 수소원자시계의 전력측정은 측정값을 직접 기록하였다.

수소원자시계의 각 단자별 출력전력을 측정하기 위해 파워미터를 사용하였으며 그 규격을 표 6에 나타내었다.

수소원자시계의 위상잡음을 측정하기 위해 스펙트럼 분석기를 사용하였다. 그리고 측정을 위해 사용한 RG-400 케이블 규격에 따르면 길이는 2m이고 발생하는 반사손실(Return Loss)은 3 GHz에서 -20 dB 이상이며, 손실은 45 MHz에서 0.17 dB, 100 MHz에서 0.33 dB, 그리고 1.4 GHz에서 1.31 dB의 특징을 갖는다.

파워미터와 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 수소원자시계의 출력단자 전력에 대해 규격과 비교한 결과를 표 7에 나타내었다. 표 3에서 측정결과의 괄호 안의 값은 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정한 100 MHz와 1.4 GHz의 출력전력을 나타낸 것이다. 스펙트럼 분석기로 측정한 5, 10, 100 MHz 신호는 스펙트럼 분석기의 DC-coupled 모드와 AC-coupled 모드에 대한 차이를 측정하여 보정한 결과 수소원자시계의 규격을 만족하는 것을 확인하였다. 그러나 표 7의 측정결과를 살펴보면, 1.4 GHz 출력신호는 공장에서 측정한 값보다 2 dB이상 크게 측정되는데, 이는 이 실험에서 스펙트럼

표 6. 파워미터의 규격.

Power Meter/Sensor Specification	
Model	E4417A EPM-P Series Power Meter E9327A Power Sensor
Frequency Range	50 MHz ~ 18 GHz
Power Range	-60 dBm ~ 20 dBm
Power Meter Accuracy	±1.6 %
Sensor Linearity	±4.2 %
Accuracy	±5.8 % (±0.25 dB)

표 7. 스펙트럼 분석기와 파워미터로 측정된 KVN울산전파천문대 수소원자시계의 출력전력 비교.

출력단자	규격		제작사 측정값 Pout [dBm]	측정전력 [dBm]	측정 장비	Cable/Adaptor Loss [dB]	교정전력 [dBm]
	Min. Pout [dBm]	Max. Pout [dBm]					
5 MHz 1	11.07	14.59	13.58	11.9	S/A, Cable, Adaptor	< 0.17	11.9
5 MHz 2	11.07	14.59	13.34	11.4	S/A, Cable, Adaptor	< 0.17	11.4
10 MHz 1	11.07	14.59	13.30	13.74	S/A, Cable, Adaptor	< 0.17	13.74
10 MHz 2	11.07	14.59	13.21	13.34	S/A, Cable, Adaptor	< 0.17	13.34
100 MHz 1	11.07	14.59	14.24	13.826(13.56)	Power Meter, Adaptor	0	13.826(13.9)
100 MHz 2	11.07	14.59	14.47	13.945(13.58)	Power Meter, Adaptor	0	13.945(13.92)
1.4 GHz	11.07	14.59	12.55	15.13(13.86)	Power Meter, Adaptor	0	15.13(15.17)

분석기와 파워미터를 사용한 경우가 유사한 결과를 나타내므로 제작사의 공장에서 측정된 값에 약간의 오차가 있는 것으로 판단된다. 이는 제작사에서 측정된 장비와 이 실험에서 사용된 장비 간의 차이로 인해 오차가 발생된 것으로 사료되며, 시스템의 성능에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

4.3 위상잡음 측정실험

이 논문에서는 수소원자시계의 위상잡음을 측정하기 위해 스펙트럼 분석기를 사용하여 도입한 시스템의 규격과 제작사의 공장에서 측정된 값의 비교실험을 수행하였다. 실험에서 수소원자시계의 출력에 대해 모두 측정하였으나, 각 출력신호에 대해 동일한 측정값을 보여 결과에서는 1개의 출력신호에 대해서만 나타내었다. 표 8에서와 같이 위상잡음 측정을 위해 스펙트럼 분석기를 사용하였다. 이번 실험에 사용한 스펙트럼 분석기의 성능이 수소원자시계보다 낮고 스펙트럼 분석기 자체의 LO(Local Oscillator)의 신호특성도 포함되어 실제 측정

에서는 수소원자시계의 규격이 아닌 스펙트럼 분석기의 위상잡음이 측정된 것으로 생각된다.

4.4 수소원자시계의 PD값 측정실험

이 논문에서는 수소원자시계의 운용에 있어서 중요한 인자가 되는 PD(Phase Detector) 값을 시스템 설치 후부터 지금까지 수행하였다. 그림 5에서 메이저원으로부터 나온 신호는 Mixer와 주파수 변환을 통해 LO lock이 되고 Phase Detector에서 메이저 주파수에 대한 Oscillator의 전압을 검출하게 되며, 이 전압이 Phase Detector의 전압이 된다. 여기서 수소원자시계의 제조사인 Kvarz사에서는 Quartz Oscillator의 PD 전압의 허용범위를 -3V ~ +3V로 권고하고 있으며, 만약 수소원자시계의 운용 중에 허용범위를 벗어나게 되면 출력신호에 나쁜 영향을 미치기 때문에 조정할 필요가 있다(Kvarz사, 2007). 이 논문에서는 설치된 수소원자시계의 모니터링 값 중에서 PD 값을 중심으로 설치 후부터 지금까지의 기록과 분석을 수행하였다. KVN의 각 관측국에서 측정된

표 8. KVN울산전파천문대 수소원자시계의 위상잡음 측정결과.

Offset Frequency	규격	제작사 측정값	실험 측정값			
			5MHz [dBc/Hz]	5 MHz [dBc/Hz]	10 MHz [dBc/Hz]	100 MHz [dBc/Hz]
1 Hz	< -110	-121				
10 Hz	< -130	-132				
100 Hz	< -140	-151	-110	-110	-110	-95
1 kHz	< -150	-156	-110	-110	-110	-100
10 kHz	< -150	-158	-120	-120	-120	-100
100 kHz			-125	-125	-120	-100
1 MHz			-145	-145	-130	-110

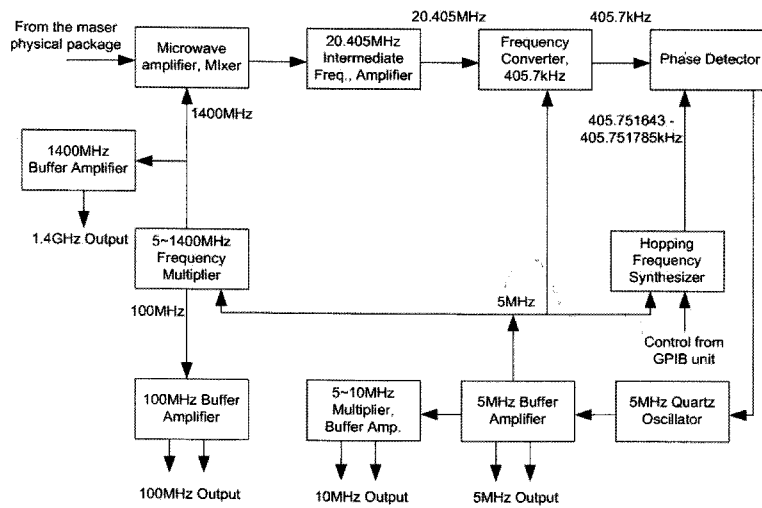


그림 5. 수소원자시계(CH1-75A)의 출력신호 생성 구성도.

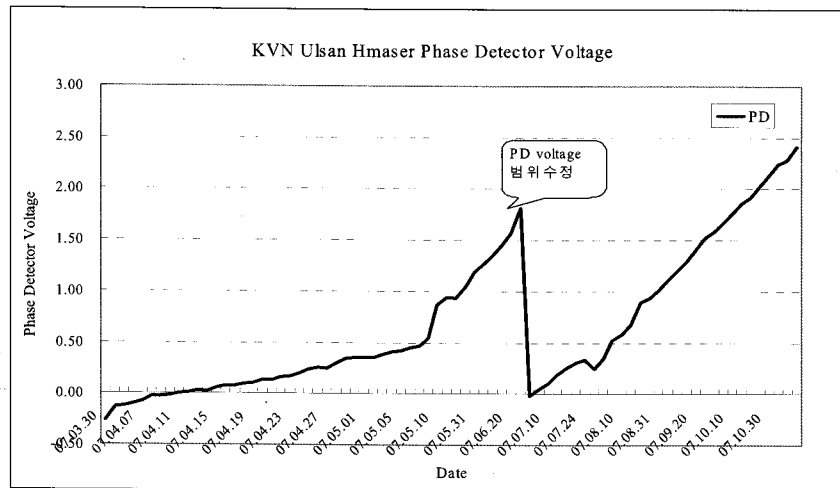


그림 6. KVN울산전파천문대 수소원자시계의 Phase Detector Voltage 변화량.

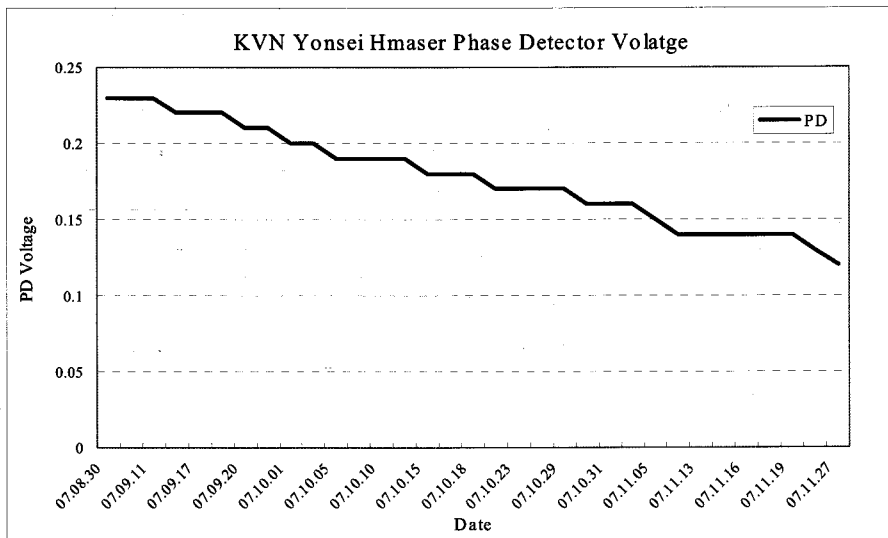


그림 7. KVN연세전파천문대 수소원자시계의 Phase Detector Voltage 변화량.

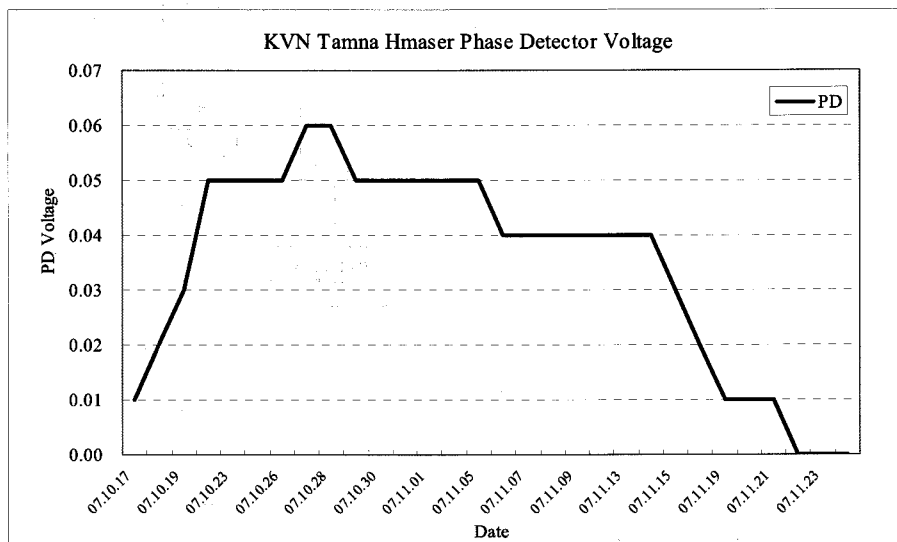


그림 8. KVN탐라전파천문대 수소원자시계의 Phase Detector Voltage 변화량.

결과를 그림 6, 7, 8에 각각 나타내었다. 최근에 설치한 KVN연세전파천문대 및 탐라전파천문대의 수소원자시계와 비교하여 그림 6의 KVN울산전파천문대에 설치된 수소원자시계는 2007년 3월 설치이후 PD 값이 지속적으로 증가하고 있으며, 2007년 7월에 PD값을 0.0V로 조정하였다. 현재 PD 값의 유효범위에 근접하고 있는 것을 알 수 있다. 제조사인 Kvarz사에서는 약 3개월에 한번정도 PD값을 유효범위로 조정하도록 권고하고 있으며 그 범위 안에 있을 경우 시스템의 성능에는 영향을 주지 않는다. KVN연세전파천문대와 탐라전파천문대에 설치된 수소원자시계의 경우 설치된 지 얼마 되지

않아 PD 값의 변화가 매우 적지만 지속적으로 관찰할 필요가 있다. 그리고 각 수소원자시계에 장착된 Crystal Oscillator의 성능이 다르기 때문에 PD 값의 변화도 각각 다르게 나타나는 것이라고 판단된다. 실제로 KVN에서 도입한 CH1-75A 수소원자시계의 경우 설치 후 약 1개월이 지나면 안정된 기준신호를 출력하는 것으로 Kvarz사에서는 보고하고 있다(Kvarz사, 2007).

5. 결론

이 논문에서는 KVN의 효과적인 천체관측을 위해 구성된 시각시스템의 성능측정과 기준에 KVN의 각 관측국

에 설치한 수소원자시계의 성능측정 실험을 수행하였다. 도입한 시각시스템에 대해 시각정보의 네트워크 전송실험을 수행한 결과, 정상적으로 클라이언트 시스템에서 시각정보를 수신하는 것을 확인하였다. 또한 도입한 시각시스템에서 표준시계 시스템의 IPPS와 GPS 시각비교기의 IPPS 사이의 시각비교를 수행한 결과 GPS 시각비교기를 통하여 시각 offset을 정밀하게 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 이 논문에서는 KVN 울산전파천문대에 설치한 수소원자시계 출력단자의 출력전력과 위상잡음을 스펙트럼 분석기와 파워미터를 이용하여 측정실험을 수행하였다. 그 결과, 출력신호의 출력전력은 시스템의 규격을 만족하고 있으나, 위상잡음의 경우 측정장비의 성능이 수소원자시계의 성능보다 낮아 위상잡음을 정확하게 측정할 수 없었다. 그리고 KVN의 각 관측국에 설치된 수소원자시계의 안정도의 정확도를 판단하는 PD 전압을 설치 후 지금까지 측정하였다. 그 결과 KVN울산전파천문대에 설치된 수소원자시계의 경우 설치 후 약 4개월 후 PD 값의 범위를 조정하였으며 현재 PD 값이 유효범위 내에서 지속적으로 증가하는 것을 확인하였다.

이상과 같이 도입한 시각시스템과 수소원자시계의 성능측정 실험을 통하여 나중에 발생할 수 있는 문제점과 유지보수 등을 수행하는데 유효한 자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국천문연구원의 “2007년도 한국우주전파관측망 건설” 기관고유사업을 통하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- 김효령 외, 2006, 2006년도 한국우주전파관측망 구축사업 결과보고서, 한국천문연구원.
- 오세진 외, 2004, VLBI의 기준주파수와 시각동기 시스템, 천문학논총, 19, 95
- Imamura Kuniyasu 외, 2003, Time distribution using the network, CRL Report, 46, 1/2, 203
- ECHO사, 2007, AQ-330C5B user's manual.
- ECHO사, 2007, GP-1100C user's manual.
- KVARZ사, 2007, CH1-75A operation manual.
- Symmetricom사, 2007, SyncServer S250 user's manual.