

원자주파수 표준시계 시스템의 구성과 원리

오세진[†], 정현수[†], 노덕규[†], 김광동[†]

[†] 한국천문연구원 전파천문연구부

sjoh@trao.re.kr

Principles and Structures of Atomic Frequency Standard Clock System

Se-Jin Oh[†], Hyun-Soo Chung[†], Duk-Gyoo Roh[†], Kwang-Dong Kim[†]

[†] Radio Astronomy Div., Korea Astronomy Observatory

요약

본 논문에서는 VLBI(Very Long Baseline Interferometry)와 같이 매우 정밀한 작업에 사용하고 있는 원자주파수 표준 시스템으로서 수소메이저(hydrogen maser)에 대해 소개하고자 한다. VLBI 시스템의 각 관측국에서는 독립적인 주파수 표준을 사용하고 있으므로 각 관측국의 수신기에서는 수소메이저의 주파수 표준에 동기된 신호를 국부발진신호로 사용하여 입력신호의 위상정보를 지닌 코히어런스(coherence) 주파수 변환을 하게 된다. 이 때 주파수 표준의 안정도는 코히어런스를 유지하기 위해서도 중요하기 때문에 단기안정도가 뛰어난 수소메이저를 주파수 표준으로 이용하고 있다. 본 논문에서는 수소메이저 원자주파수 표준시스템의 구성과 원리에 대해서 간략히 기술한다.

I 서론

일반적으로 VLBI(Very Long Baseline Interferometry)시스템의 각 관측국에서는 독립적인 주파수 표준을 사용하고 있다[1]. 그리고 각 관측국의 수신기에서는 주파수 표준에 동기된 신호를 국부발진신호(LO)로 사용함으로써, 입력신호의 위상정보를 지닌 코히어런스(coherence) 주파수 변환을 하게 된다. 이 경우, 주파수 표준의 안정도는 코히어런스를 유지하기 위해서도 중요하며, 주로 수소메이저 원자주파수 표준시스템을 주파수 표준으로 이용하고 있다[1]. VLBI 시스템에서 안정된 주파수 표준과 시계 시스템이 필요한 이유는 다음과 같다. 우선, 각 수신기의 안정된 국부발진 신호의 기준신호로 사용되며, 각 관측국의 관측자료를 상관처리센터로 보내기 위해 아날로그에서 디지털로 고속 변환하는 샘플러의 타이밍 신호로 사용되기 때문이다. 또한 높은 안정도를 가진 주파수 표준 및 시계 시스템은 VLBI 시스템의 특성상 멀리 떨어진 여러 관측국에서 각국의 기준이 되는 시계가 불안정하게 되면 이에 기인하는 혼란이 직접·간접으로 지연시간의 오차로 작용하기 때문이다. 따라서 VLBI 시스템의 원리 가운데 가장 중요한 역할을 하는 부분은 높은 정밀도와 안정도를 가지는 시계 시스템을 통해 각 관측국간의 위상차를 알아내는 것이다.

본 논문에서는 수소메이저 원자주파수 표준시스템의 기본 원리와 특성에 대해서 간략히 기술하고자 한다.

II 주파수 표준과 시계 시스템의 관계

2.1 원자주파수 표준의 비교

지금까지 실용화된 주요 원자주파수 표준시스템으로서 수소메이저 주파수 표준시스템 이외에 루비듐

(rubidium) 원자주파수 표준시스템, 세슘(cesium) 원자주파수 표준시스템 등이 있다[2].

루비듐 원자주파수 표준시스템은 루비듐 원자를 안에 넣고 봉한 가스 서지를 이용함으로써 소형 경량화가 가능하여 통신, 방송분야의 기준신호로서 널리 이용되고 있다. 주파수 안정도는 단기적으로는 세슘 원자주파수 표준시스템과 비슷한 정도이지만, 장기안정도는 세슘 원자주파수 표준시스템과 비교하여 떨어진다.

세슘 원자주파수 표준시스템은 오븐으로 가열된 세슘 원자를 진공중에 비행하도록 하여, 그때 마이크로파와 상호작용되어 기준 주파수를 얻는데, 장기안정도가 뛰어난 것이 특징이다. 또한 1초의 정의가 세슘원자의 천이주파수로부터 결정되었기 때문에 독일, 프랑스, 미국, 일본, 한국 등의 표준연구기관에서는 세슘 주파수 표준시스템을 운영하여 그 정확도 평가결과를 국제도량위국(BIPM)에 보고하고 있으며, 국제원자시(TAI)의 정확도 향상에 공헌하고 있다[2].

그리고 최근에는 보다 높은 주파수 정확도를 얻을 수 있도록 세슘원자 주파수 표준시스템으로서 원자선형 주파수 표준시스템의 개발이 진행되고 있다. 이것은 레이저 냉각기술을 이용하여 가스의 역행을 막도록 하여 원자집단을 마이크로파와 상호작용 시키는 방법을 채택하고 있는데 기존의 열 빔 형태와 비교하여 정확도의 향상이 기대되고 있다.

이러한 원자주파수 표준시스템과 비교하여 수소메이저 주파수 표준시스템의 최대 특징은 단기안정도가 매우 높다는 것이다. 이 특징을 살려서 초장기전파간섭계(VLBI)에 널리 이용되고 있다. 수소메이저는 메이저 발진을 위한 공동 공진기, 진공배기계, 수소소스 등 때문에 다른 원자시계와 비교하여 크고 무거운 점이 있다[2].

그림 1에 각 원자주파수 표준시스템의 일반적인 주파수 안정도를 나타내었다. 그림 1에서 예를 들어, 측지 VLBI