

시간의 단위 “초”의 새로운 표현

이 호 성

한국표준과학연구원

2004년 4월 1일과 2일에 프랑스 파리의 국제도량형국(BIPM)에서 개최된 제 16차 시간주파수 자문위원회(CCTF)에서는 시간의 단위인 초의 정의로써 현재 사용되고 있는 세슘 원자 외에 루비듐 원자를 이용할 수 있다는 권고안을 채택하였다.

대략 3년마다 개최되는 시간주파수 자문위원회에서는 세계 여러 나라에서 수행된 연구결과를 바탕으로 “초의 정의”를 비롯하여 세계 협정시(UTC) 및 국제 원자시(TAI)의 결정 방법, 윤초의 채택 여부 등, 시간 및 주파수 표준분야에서 전 세계적으로 영향을 미칠 수 있는 권고안을 만든다. 이 권고안은 구속력은 없으나 대부분의 나라에서는 이 권고안을 따르고 있고, 일부 국가에서는 법적 효력을 가지도록 법령으로 제정하기도 한다.

이 위원회에서 채택하여 1967년 이후로 줄곧 사용되고 있는 시간의 단위 “초”는 세슘-133 원자의 고유진동수 (1 초 동안에 9 192 631 770 번 진동)를 기준으로 정의되어 있다. 즉, 세슘원자의 바닥상태 ($6S_{1/2}$)에 있는 두 개의 초미세 에너지준위 ($F=4, F=3$) 사이의 주파수는 9 192 631 770 Hz로 정의되어 있다. 이 주파수 값은 정의된 것이기 때문에 불확도가 0이다.

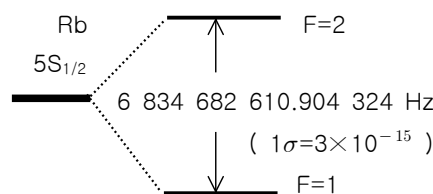
그런데 원자분수(atomic fountain) 방식의 주파수 표준기를 만들어 그 성능(불확도)을 조사하는 연구를 수행하면서 새로운 사실이 발견되었다. 즉, 세슘원자를 레이저 냉각 및 포획하여 원자분수를 만들면 원자들 사이의 충돌에 의해 원자의 고유진동수가 변하는데 이 값이 루비듐 원자에 비해 약 70배 크고 그것으로 인한 세슘원자 주파수 표준기의 불확도도 크다는 것을 알아내었다. 다시 말해서,

원자분수 주파수 표준기를 이용하면 세슘원자의 고유진동수 (공진주파수)를 약 1×10^{-15} 의 불확도로 알아낼 수 있는데, 이 불확도 중 원자간 충돌에 기인한 불확도가 크게 영향을 미친다는 것이다.

이 결과는 프랑스의 국립표준국-시공간기준계 연구소(BNM-SYRTE: National Bureau of Metrology-Space Time Reference System)에서 제작한 세슘과 루비듐 원자를 동시에 사용할 수 있는 분수 방식의 주파수 표준기에서 측정되었다. 이 결과에 따라 시간주파수 자문위원회에서는 루비듐-87 원자의 바닥상태 ($5S_{1/2}$)에 있는 두 개의 초미세 준위 ($F=2, F=1$) 사이의 주파수는 6 834 682 610.904 324 Hz이고 그 불확도(1σ)는 3×10^{-15} 이며, 이 값을 초를 정의하는 2차적 표현에 사용할 수 있다는 권고안을 채택하였다.

루비듐 원자가 충돌에 의한 불확도가 훨씬 작기 때문에 앞으로 세슘원자 주파수 표준기보다 더 우수한 성능을 가지는 루비듐원자 주파수 표준기가 나올 가능성이 있다. 그러나 현 단계에서는 루비듐 주파수 표준기의 불확도는 3×10^{-15} 보다 더 좋을 수 없다.

이에 앞서 시간주파수 자문위원회와 같이 자문위원회(CCL)가 공동으로 참여하는 작업반(working group)에서는 광주파수 표준으로 사용할 목적으로 지금까지 연구되어온 여러 가지 원자 (예: ^{40}Ca , ^1H , ^{87}Sr)와 이온 ($^{171}\text{Yb}^+$, $^{199}\text{Hg}^+$, $^{88}\text{Sr}^+$)의 고유진동수와 불확도에 대해서



검토한 결과, 광주파수 표준은 아직 세슘원자 주파수 표준기 (마이크로파 주파수 표준) 보다 우수하지 않다는 것을 확인하였다. 대신에 또 다른 마이크로파 주파수 표준 (약 6.8 GHz)으로 사용되고 있던 루비듐-87 원자가 초의 2차적 표현으로 적합한 원자라는 결론을 내렸다.

그렇지만 앞으로 다른 원자나 이온을 이용한 주파수 표준기의 불확도가 기존의 것과 비슷하게 좋아진다면 초를 정의하는데 채택될 수 있다고 하였다.

이처럼 세슘원자 외에 새로운 원자나 이온을 초 정의의 다른 표현으로 채택하려는 시도는 광주파수 표준 분야에서 다음과 같은 기술적 발전이 있었기 때문이다. 즉, femto 초 레이저를 특수한 광파이버에 입사시키면 한 옥타브 이상 넓은 (수백 nm) 스펙트럼이 출력으로 나온다. 이 스펙트럼을 이용하면 광주파수를 수백 MHz 대역의 rf 주파수로 낮출 수 있어서 광주파수를 정밀하게 측정할 수 있다.

이러한 기술의 발전에 따라 광주파수 표준과 마이크로파 주파수 표준을 통합하여 연구하기 위해 길이 자문위원회와 시간주파수 자문위원회가 공동으로 참여하는 작업반이 만들어진 것이다.

한편, 한국표준과학연구원에서는 세슘 원자를 이용한 원자분수 주파수 표준기를 개발하고 있다. 또한 광주파수 표준으로 사용하기 위해 ^{171}Yb 원자를 레이저 파가 중첩되는 곳에 만들어지는 양자 우물에 포획하는 연구를 수행하고 있다.

이호성 박사는 서울대학교 물리교육과를 졸업하고 KAIST 물리학과에서 이학박사 (광학 전공) 학위를 받은 후 현재 한국표준과학연구원 광기술표준부 부장으로 재직 중이다. (hslee@kriss.re.kr)