

세슘 원자분수 주파수표준기 개발 현황

Progress in Developing a Cesium Atomic Fountain Frequency Standard

권택용, 이호성, 양성훈, 박상언*, 조혁*, 문한섭**

한국표준과학연구원 시간주파수 연구실, *충남대학교 물리학과, **한국원자력연구소
tykwon@kriss.re.kr

최근 정보 통신 및 우주 항공 분야 등에서 정밀한 시계에 대한 필요성이 증가함에 따라 현재의 원자시계 보다 더 우수한 원자시계에 대한 개발이 요구되고 있다. 이러한 요구에 부응하여 새로운 원자시계에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 레이저 냉각기술이 발명됨에 따라 레이저 냉각된 원자를 이용하여 원자시계를 제작하려는 연구들이 있는데, 그 중에서 원자분수 방식을 이용하는 주파수표준기가 차세대 원자시계로 기대되고 있다. 원자분수 주파수표준기는 이미 프랑스 LPTF에서 제작하여 그 불확도가 3×10^{-15} 인 것으로 알려져 있다. 한국표준과학연구원에서도 1996 년부터 원자분수 주파수 표준기 개발을 위한 예비실험으로 원자의 온도를 수 μ K 까지 냉각하였으며, 자유낙하하는 원자의 형광을 관측하여 온도를 측정하였다. 이러한 일련의 예비실험을 통하여 레이저 냉각 기술 및 형광측정 능력 등을 확보하고 본격적인 원자분수 주파수표준기 제작에 착수하였다.

원자분수 주파수표준기를 제작하기 위해서 고진공 진공조, 정자장 발생장치, 레이저 시스템, 마이크로파 발생 및 제어 시스템 등이 필요하다. 본 논문에서는 원자분수 주파수표준기 개발에 대한 연구 결과들과 현재의 진행상황을 보고한다.

원자분수시계는 크게 세 부분으로 구성된다. 즉, 원자를 포획하는 부분, 포획된 원자를 연직 상방으로 발사한 후, 원자가 다시 자유낙하하는 동안 마이크로파와 상호작용하는 부분, 그리고 검출용 레이저를 비추어 원자에서 발생하는 형광을 관측하는 부분이다. 그림 1은 이런 기능을 모두 갖춘 원자분수 주파수 표준기의 개략도이다. 진공조는 이미 조립을 완료하였는데 진공도는 약 1×10^9 torr 이다.

레이저 냉각된 원자가 마이크로파와 상호작용하는 영역은 정자장이 형성되어야 하는데 이를 위해 3 겹의 μ -metal로 지자장 및 주변자장을 차폐하였다. 또한, 이 영역의 진공조 부품과 진공조 지지대는 모두 자성이 없는 알루미늄으로 제작하였다. 그리고 정자장 발생을 위하여 솔레노이드를 제작하였는데 코일을 여러겹으로 감아 원자가 비행하는 전 영역에서 자장이 일정하게 유지되도록 하였다. 그림 2는 정자장 영역의 자장 분포를 측정한 것이다. 측정된 자장의 변동폭은 약 0.66 % 인데, 전류 및 추가의 보상 코일 등을 이용하여 그 균일도를 더 개선할 것이다.

9192.6 MHz 마이크로파 공진기를 설계 제작하였는데, 공진기의 Q 값을 높이기 위하여 공진기 내부를 금 코팅하였다. 최종적으로 얻은 공진기의 Q 값은 약 12000 이었다.

원자의 레이저 냉각 및 원자 발사를 위한 레이저시스템을 구성하였는데, 그림 3은 그 개략도이다. 주(master) 레이저는 회절격자를 이용한 외부 공진기를 구성하여 광되먹임 방식으로 선풍을 축소하였다. 두 대의 150 mW DBR 레이저(종 레이저)는 주 레이저의 출력으로 주입 잠금하였으며, 두 대의 종 레이저의 출력을 레이저 냉각 및 원자발사에 이용할 것이다.

주 레이저의 주파수 안정화는 Zeeman 변조 방법과 속도선택 포화흡수 분광의 분산 신호를 이용하는 방법을 시도하고 있는데, 주파수 안정도가 더 나은 쪽을 선택하여 사용할 예정이다.

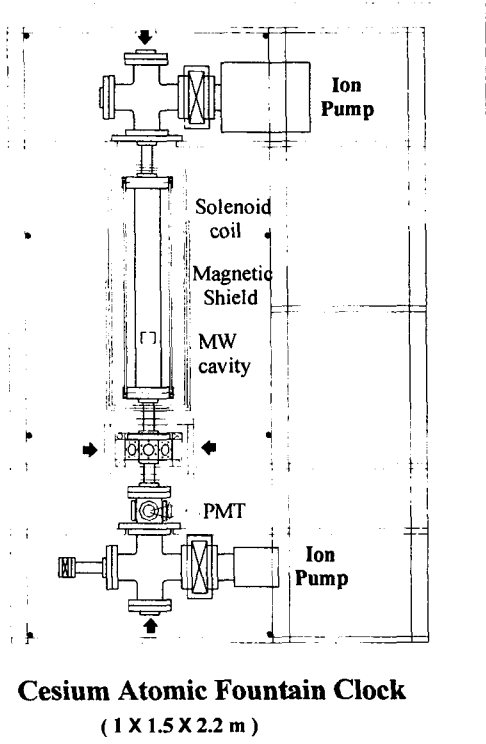


그림 1. 원자분수 주파수표준기의 개략도.

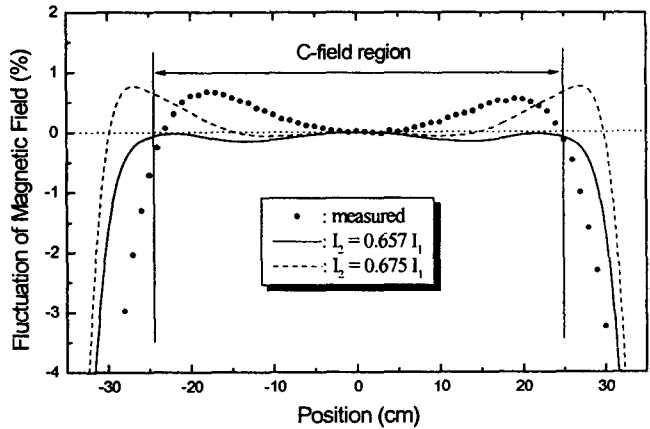


그림 2. 정자장 영역의 자장 분포 측정.

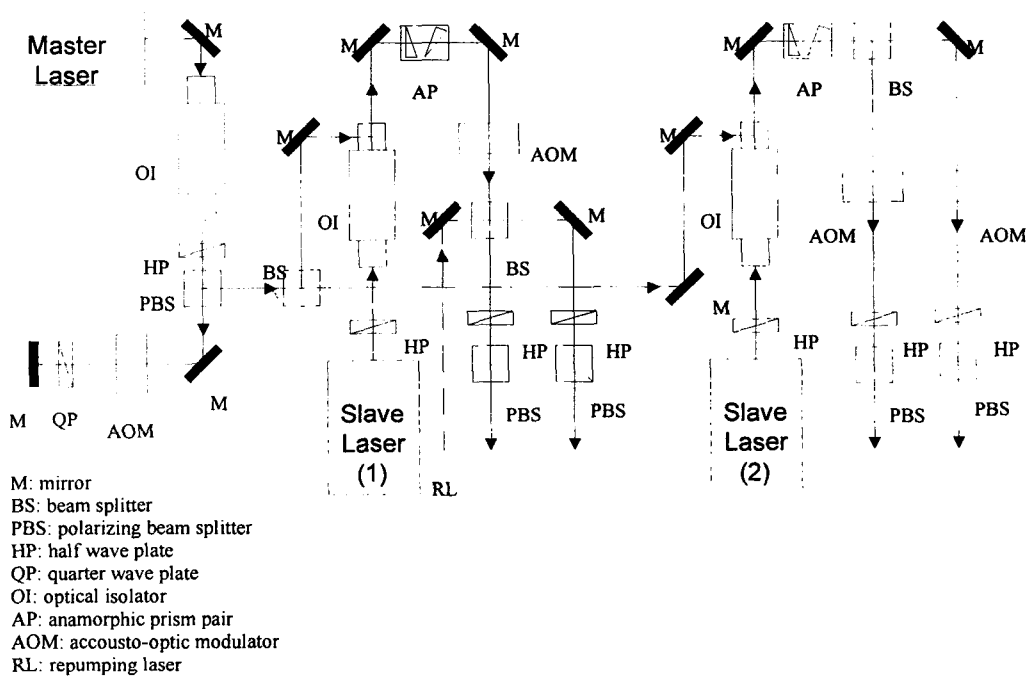


그림 3. 레이저 냉각 및 원자 발사를 위한 레이저 시스템의 개략도.