

# 광펌핑 세슘 원자 주파수 표준기의 성능 개선

## Improvements in Optically Pumped Cesium Atomic Beam Frequency Standard

박영호, 권오성, 이수형, 박상언, 권택용, 이호성  
 한국표준과학연구원 기반표준부 길이/시간 그룹  
 mr-psi@kriss.re.kr

원자 주파수 표준기의 성능은 다양한 물리적 요인에 따른 세슘 원자 바닥상태 에너지 준위의 편이가 얼마나 정확히 측정될 수 있는가에 달려있다. 본 연구에서는 KRISS-1으로 명명된 광펌핑 세슘 원자 주파수 표준기의 성능 향상을 위한 몇몇 개선 사항들에 대해 논의하고 최근 새로 조립된 후 얻어진 결과에 대해 기술한다. 원자 빔 튜브의 하드웨어 개선 내용은 표 1에 요약하였다. 소프트웨어에서의 개선으로는 원자 빔의 속도 분포 및 라비 주파수 측정을 위해 역변환 방법을 도입한 것이다. 이 방법은 램지 전이확률의 이론식을 그대로 사용함으로써 근사식을 사용했던 기존의 푸리에 변환 방법이 짧은 공진기에 대해 오차가 크다는 문제를 해결하였다. 또한 서로 다른 마이크로파 세기에서 얻어진 두 램지 신호에 대해 역변환 방법을 적용하는 경우 직접적인 측정이 어려운 라비주파수 값을 0.02 % 이내에서 정확히 측정할 수 있음을 확인하였다. 이로 인해 원자의 속도분포 및 라비주파수 값에 의존하는 주파수 편이 항목들의 B형 불확도를 3 배 이상 개선할 수 있었다. 그림 1은 Tikhonov regularization에 의한 역변환 방법으로 램지 신호(a)로부터 원자의 속도분포(b)를 얻어낸 결과를 보여준다.

그림 2 는  $|F=3, m_F=3\rangle \rightarrow |F=4, m_F=3\rangle$  의 전이에서의 라비-램지 스펙트럼을 나타낸다. (a)는 자장 불균일을 개선하기 이전의 신호로써, 약 1 % 정도의 불균일 자장에 의해 램지 무늬의 중심과 라비 페테스탈의 중심이 어긋난 형태를 보여준다. 이와 같은 불균일 자장은 2차 Zeeman 효과에 의한 주파수 편이의 계산에 있어서

**표 1:** 원자빔 튜브 개선 사항

구성 요소	개선 사항	기대 효과
램지 공진기	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cutoff guide를 공진기와 한 몸체로 제작</li> <li>- 표류영역에 graphite shield 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 마이크로파 누출 감소</li> <li>- 산란광 혹은 마이크로파 누출에 의한 섭동 억제</li> </ul>
정자장 형성 전극	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 정자기장의 공간 균일도를 높이기 위해 loop end 부분을 arch 모양으로 수정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자장 불균일에 의한 불확도 개선</li> </ul>
형광 수집 장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 레이저 빔 구멍 확대</li> <li>- graphite spacer 안쪽 면에 groove 형성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산란광 억제</li> </ul>
자기 차폐통	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 레이저 구멍 확대 및 광흡수 어댑터 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산란광 억제</li> </ul>
세슘 빔 collimator	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 길이 10 cm의 직사각형 aperture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신호대 잡음비 개선</li> </ul>

$1.5 \times 10^{-14}$  정도의 불확도를 야기한다. 이와 같은 자장 불균일에 의한 불확도를 개선하기 위해 표 1에 나타난 바와 같이 정자장 형성 전극의 모양을 바꾸어 자기 차폐통 내부 원자 빔 경로를 따라 자기장의 균일도가 0.1 % 이내를 유지하도록 하였다. 그림 2(b)는 원자 빔 튜브의 하드웨어가 새롭게 개선된 후 얻어진 신호를 나타낸다. 라비 및 램지 전이의 공진 주파수 불일치가 제거되었으며 이로 인해 2차 Zeeman 효과에서의 불확도가  $1 \times 10^{-15}$  이하로 줄었다.

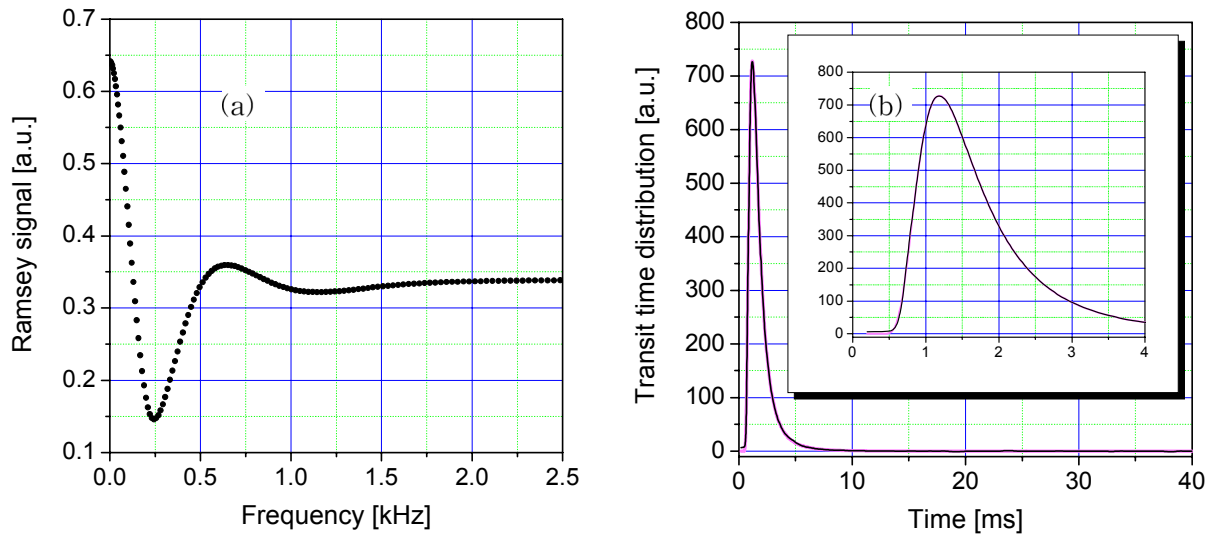


그림 1: 속도분포 계산. (a) 램지 신호, (b) 역변환 방법에 의한 원자의 속도분포.

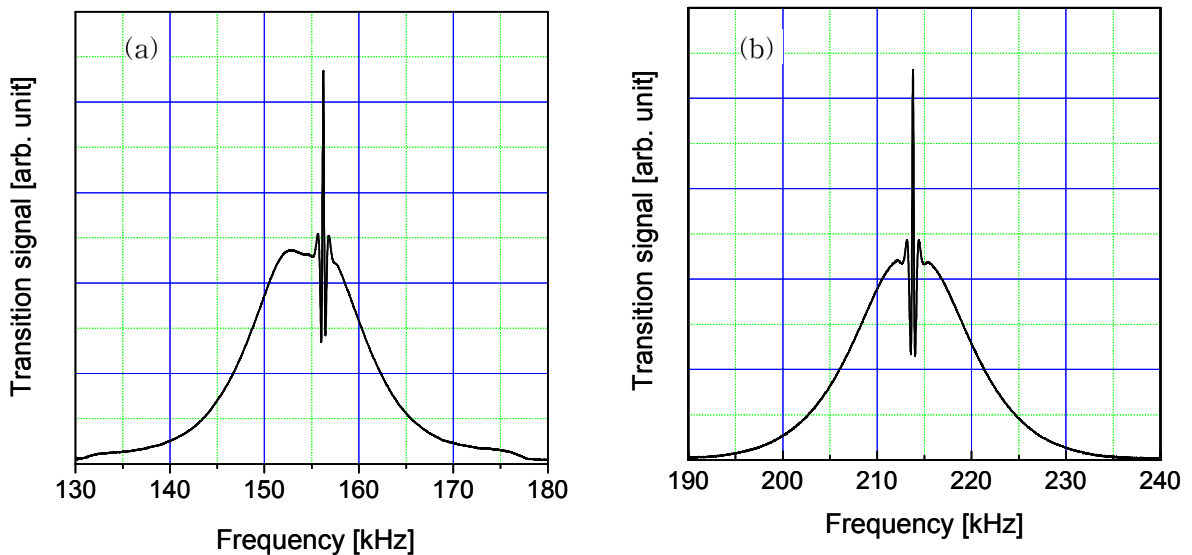


그림 2: 자장 불균일 개선 전(a)과 후(b)의 라비-램지 스펙트럼.