

흐르는 물의 핵자기공명을 이용한 자장측정

한국표준과학연구원

유권상, 김철기*, 우병철, 김창석

Measurement of magnetic field by NMR using polarized flowing water

Korea Research Institute of Standards and Science

K.S.Ryu, C.G.Kim,
B.C.Woo, C.S.Kim

1. 서론

기본물리상수중의 하나인 양성자 자기회전비율($\gamma_p' = \omega_p' / B$)을 측정하기 위해서는, 솔레노이드의 dimension 측정에 의하여 자장 B를 결정하고, 이 자장에서 핵자기공명주파수 ω_p 를 측정하여야 하며, 지자장 및 솔레노이드의 자장균일도가 γ_p' 정밀측정에 중요한 역할을 한다. 핵자기공명을 이용하여 저자장을 정밀하게 측정하는 방법에는 자기유도법과 자유세차법 등이 있으며, 자기유도법의 경우 매우 균일한 자장공간(수 ppm/cm)이 필요하고(1), 자유세차법인 경우 연속적인 자장측정이 가능하지 않은 단점이 있다(2). Polarizing 된 흐르는 물을 사용한 핵자기 공명 측정법은 수백 ppm/cm의 자장균일도를 갖는 공간에서도 연속적인 측정이 가능하다(3, 4). 본 연구에서는 흐르는 물에서의 핵자기 공명을 이용하여 1 mT 영역의 자장을 측정하고, 보조전류를 조정함으로써 솔레노이드 내부 축상에서 균일한 자장을 형성시켰다. 또한, 넓은 공간에 대한 평균자장을 구할 수 있는 두개로 분리된 RF 코일방법(4)을 사용하여 공명신호를 관측하였다.

2. 측정장치 구성

Polarizer, 물을 순환시키는 장치, 자장 발생용 솔레노이드, RF 코일과 탐지코일, 그리고 RF 발생원 및 신호측정기 등으로 구성된 양성자 핵자기공명주파수 측정장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 두 개의 영구자석을 이용한 polarizer의 자장은 0.26 T이며, 그 속에 배플 챔버를 만들었다. 배플 챔버내에서 polarizing 된 물(중류수)이 솔레노이드 중심부근에 있는 RF 코일 및 탐지코일 속을 통과하도록 하였다. 이때 polarizer 내에서 물이 머무는 시간이 스핀-격자 완화시간보다 길게하여 물속의 양성자를 충분히 polarizing 시키도록 하였다(4). Polarizing 된 물의 공명신호는 솔레노이드에서 생성되는 자장내에 놓여있는 한 개 또는 두 개의 RF 코일로써 측정하였으며, 이때 솔레노이드의 자장은 synthesizer (hp 3335)와 lock-in amp.(EG & G Par 5210)로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

하나의 RF 코일을 사용하여 측정한 polarizing 된 물의 핵자기공명 흡수 및 분산신호를 그림 2에 나타내었다. 이때 흡수신호의 공명중심주파수는 42588.5 Hz 이고, 신호의 크기는 약 10 μV 였다. 유속 및 RF 자장에 대한 최적조건은 각각 16×10^3 mm³/s 및 5 μT 이었다. 이 공명신호를 이용하여 4-current 솔레노이드 (1172 turns, single layer, $\phi 311$ mm) 중심부근의 자장을 측정한 후, 보조전류를 조정함으로써 그림 3에 나타낸 것처럼 축상의 4 cm 공간에 10 ppm 이하의 균일한 자장을 얻을 수 있었다. 두 개의 RF 코일을 사용하여 관측한 공명신호를 그림 4에 보였으며, 이를 이용하여 공간의 평균자장을 측정할 수 있을 것으로 기대된다.

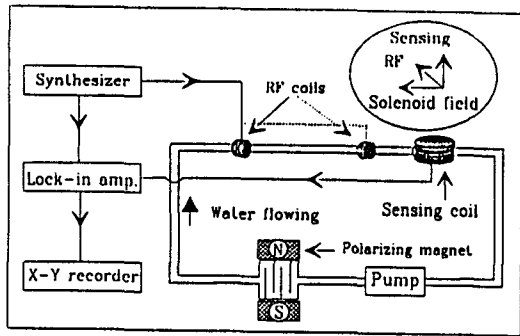


Fig. 1. Schematic diagram of NMR signal detection system.

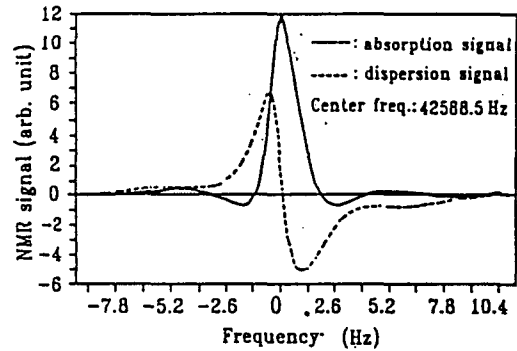


Fig. 2. NMR absorption and dispersion signals by single RF coil.

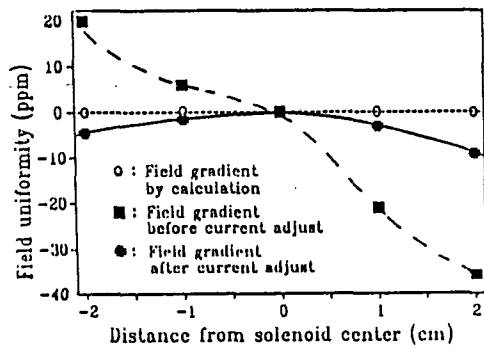


Fig. 3. Field uniformity near solenoid center.

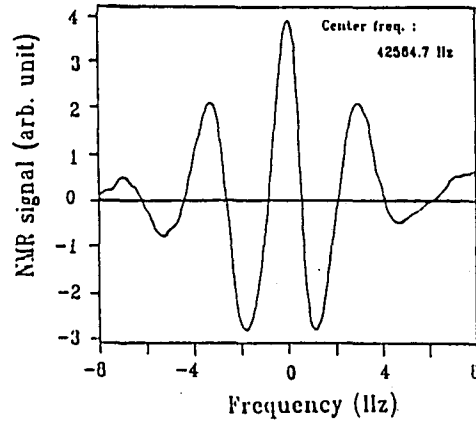


Fig. 4. NMR signal by two separated RF coils.

4. 결론

Polarizing 된 흐르는 물을 이용하여 약 1 mT 자장에서 핵자기공명신호를 관측하였으며, 이를 이용하여 솔레노이드 내부 축상 4 cm 공간에서 10 ppm 이하의 균일자장을 형성하였다. 두 개의 RF 코일을 사용하여 측정된 공명신호는 두 코일 사이의 공간에 대한 평균자장에 의해 결정되는데, 이를 이용하여 넓은 공간에서 평균자장을 구할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- ① E. R. Williams, et al., IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38(2), 233 (1989)
- ② K. Weyand, IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-34(2), 233 (1985)
- ③ C. Sherman, Rev. Sci. Instrum. 30(7), 568 (1959)
- ④ J. M. Pendlebury et al., Rev. Sci. Instrum. 50(5), 535 (1979)