

NMR-CT를 이용한 3차원 유속의 영상화

오 창현, 김 운수, 문 치웅, *이 상준, 조 장희
한국과학기술원 전기및 전자공학과, *기계공학과

3-Dimensional Flow Imaging by NMR-CT

C.H. Oh, Y.S. Kim, C.W. Mun, *S.J. Lee, Z.H. Cho

Korea Advanced Institute of Science and Technology

Dept. of EE, * Dept. of ME

I. 서론

핵자기 공명 단층 촬영기 (NMR-CT)에서 위상측정에 의한 유속 영상방법은 작년 본 학회에서 이미 발표된 바 있다. 본고에서는 위의 유속 측정 방법을 난류의 유속영상을 얻어 NMR imaging에서의 위상측정에 의한 유속영상 방법과 LDV에 의한 측정 결과를 비교함으로써 의학뿐만 아니라 유체역학, 조선공학, 항공공학 등에서도 그 응용범위를 확대시킬 수 있음을 확인하고자 한다.

II. 본론

1. 위상 coding

NMR imaging system에서는 표본에 위치좌표를 부과하기 위해 서로 orthogonal한 경사자계들을 정자장 B_0 에 첨가하여 신호를 얻게되며 이때 좌표상의 위치는 다음과 같이 대응시킬 수 있다.

$$\Delta\omega_r = \gamma G_r \Delta r \quad (1)$$

여기서 γ 는 상수로서 Gyromagnetic ratio를 나타내며 r 은 공간상의 위치 (x 또는 y, z), ω_r 은 주파수 공간에서의 위치 (ω_x 또는 ω_y, ω_z)에 해당되며 G_r 은 경사자계의 세기 (G/cm)이다. 따라서 경사자계 G_x 에 의한 위치 x 의 spin 위상은 다음과 같이 ϕ_x, ϕ_{V_x} 로 주어진다.

$$\phi_x = \gamma X \int_{\Delta t_x} G_x(t) dt \quad (2)$$

$$\phi_{V_x} = \gamma V_x \int_{\Delta t_x} G_x(t) t dt \quad (3)$$

여기서 V_x 는 X 위치의 spin 속도, Δt_x 는 경사자계가 가해진 시간을 나타낸다.

NMR 유속영상을 얻기 위해서는 그림 1과 같은 pulse sequence를 사용하는데 각 경사자계와 RF pulse에 의하여 coding되는 위상은 다음과 같다.

2.1 Z-방향 유속

Z-방향 유속은 G_z 뿐만 아니라 RF pulse에 의해서도 coding되므로 Bloch equation을 풀어서 ϕ_{V_z} 를 구할 수 있다. 그림 2는 Bloch equation을 풀어 유속 coding 위상과 유속의 관계를 나타낸 것이다.

2.2 Y 방향 유속

그림 1의 y 경사자계에서 G_{V_y} 로 표시된 경사자계는 FID data 의 Center ($t'=0$)에서 위상이 0° 가 되게하며 유속 coding은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_{V_y} = \gamma V_y U_{V_y} \quad (4)$$

여기서 U_{V_y} 는 (4)식에 그림1의 y-경사자계와 pulse time 을 적용하여 계산한 결과로

$$\frac{1}{2}G_y(t_1^2+t_1^2-t_2^2-t_3^2)-\frac{1}{4}G_{V_y}t_{V_y}^2 \quad (5)$$

와 같이 된다.

2.3 X 방향 유속 coding

식 (3)에 그림 1의 x-경사자계 pulse를 적용하면 위상 coding 양은

$$\phi_{V_x} = -\frac{1}{4}\gamma G_{V_x} V_x t_{V_x}^2 \quad (6)$$

로 주어진다.

3. 실험

먼저 난류 흐름을 얻기 위해 그림 3과 같은 2차원 duct를 사용하였다. duct의 입구 쪽에 안송 기기를 두어 입구 흐름을 균일하게 한 다음 y-경사자계 방향의 유속영상(그림 4(a))과 z-경사자계 방향의 유속영상(그림 4(b))을 얻었다. 그림 5에서는 물통의 입구에서 10 cm, 20 cm 떨어진 단면에서의 유속분포를 앞에서의 방법으로 측정 한 결과(그림 4(a))와 Laser Doppler Velocimeter를 이용하여 측정 한 결과를 비교 하였다.

III. 결론

이미 발표된 바 있는 위상측정에 의한 유속 영상법을 2차원 duct(그림 3)에서의 유속 영상을 얻어보고 그 결과를 LDV에 의한 측정과 비교 해 봄으로써 NMR-CT의 flow imaging의 유용성 및 응용 가능성을 확인 하였다.

References

1. P. Lauterbur, "Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance," Nature, Vol. 242, p.190, 1973
2. Z.H. Cho, H.S. Kim, H.B. Song, and J. Cumming, "Fourier transform nuclear magnetic resonance tomographic imaging," Proc. IEEE, Vol. 70, p.1152, 1982
3. P.R. Moran, "A flow velocity zeugmatographic interlace for NMR imaging in humans," Mag. Res. Imaging, Vol. 1, pp.197-203, 1982
4. C.H. Oh, "Study of R.F., gradient pulse, and magnet instability effect in NMR Tomography," IEEE Trans. Nucl. Sci., Vol. NS-30, No.3, 1899-1904, June 1983

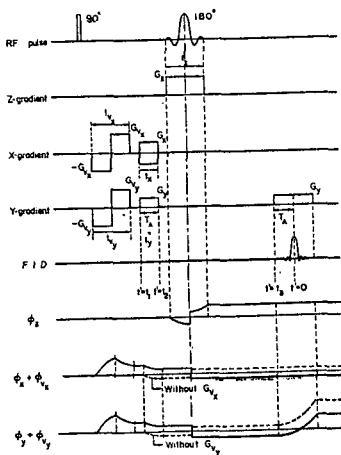


그림 1

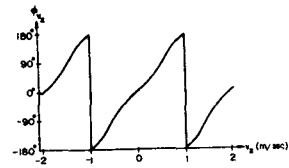


그림 2

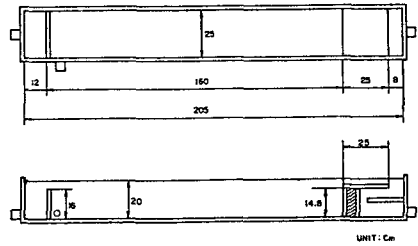
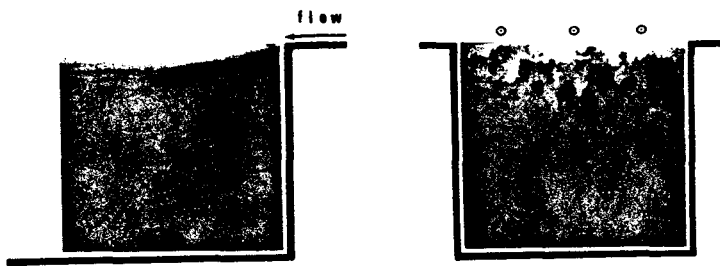


그림 3



(a)

(b)

그림 4

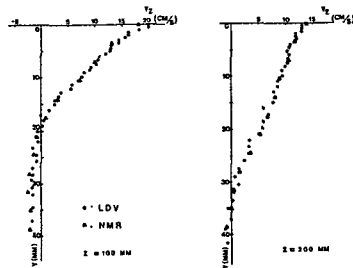


그림 5