

# Phase-contrast magnetic resonance imaging에서 small stenosis 유동의 고해상도 측정을 위한 custom-made RF 코일의 적용

양병권\* · 조지현\*\* · 송시몬\*

## Application of custom-made RF coil for high resolution measurements of small stenosis flow in phase-contrast magnetic resonance imaging

Byungkuen Yang\*, Jee-Hyun Cho\*\*, Simon Song\*

**Abstract :** For the use of clinical purpose, phase-contrast magnetic resonance imaging (PC-MRI) is a useful flow visualization technique in that it allows non-invasive measurements of 3 components and 3 dimensional measurements. However, due to the low spatial resolution of MRI, it has limited to measure the flows in a small vessel model. In this study, we constructed the custom-made RF coil suitable for the small vessel model to measure the flow with the high spatial resolution. The performance of this coil was compared with the conventional RF coil in terms of signal-to-noise ratio and spatial resolution. Furthermore, the flow measurements was achieved with higher spatial resolution in a small-sized stenosis model.

### 1. 서 론

Phase-contrast magnetic resonance imaging (PC-MRI)은 유동을 비침습적으로 3 차원 공간에서 3 성분의 속도를 동시에 측정할 수 있는 유용한 기술이다. 이러한 장점을 갖고 있는 PC-MRI는 복잡한 형상을 갖고 있는 혈관 모델에서 유동을 측정하고 분석하는데 사용되어져 왔다.<sup>(1,2)</sup> 하지만 MRI는 signal-to-noise ratio(SNR)이 낮아 유동 측정의 공간 해상도를 향상시키는 데 제한이 있어 작은 혈관 모형에서 유동을 측정하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 PC-MRI에서 custom-built RF 코일을 사용하여 작은 혈관 모델에서 유동 측정의 공간해상도를 높이고자 하였다. Custom-built RF 코일을 사용하여 측정된 영상과 유동의 정확도를 상용코일과 비교하였으며, 3차원 측정의 공간해상도 향상 정도와 그

정확도를 확인하였다. 또한 내경 2.0mm의 50% 협착 혈관 모델에서 유동을 측정하고 그 정확도를 확인하였다.

### 2. MRI 실험 방법 및 결과

#### 2.1. 솔레노이드 코일 제작

Figure 1은 솔레노이드 형태의 custom-built RF 코일을 보여준다. 1.0 mm의 구리 도선을 사용하였으며, 코일의 내경은 3.0 mm이고, 코일의 길이는 8.5 mm 이다. 코일 사이의 간격은 0.8 ~ 1.0 mm으로 유지되도록 총 5 번을 handmade 로 감았다. 네트워크 분석기를 사용하여 측정된 이 코일의 임피던스는  $1.0 + j107.5 \Omega$  (HP, 8753D)이다.

#### 2.2. PC-MRI 실험

MRI(Bruker, BioSpec 47/40)의 자기장 세기는 4.7

\* 한양대학교 융합기계공학과

\*\* 한국기초과학지원연구원 생체영상팀

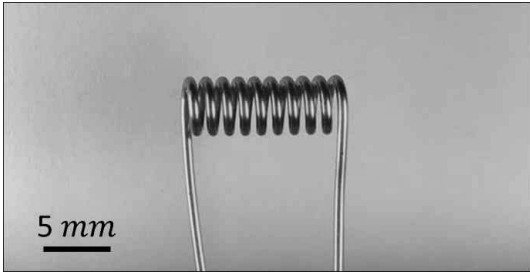


Fig. 1 Solenoid RF coil

T이다. 유동 측정은 RF spoiled gradient sequence를 사용하였다. Echo time(TE)은 3.8 ms, repetition time(TR)은 22 ms이다. 유동은 syringe pump(Harvard, PHD2000)을 사용하여 발생시켰으며, 유로는 teflon tubing을 이용하여 구성하였다.

### 2.3. 코일 성능 평가

Figure 2는 솔레노이드 RF 코일과 상용 RF 코일로 측정된 신호 크기 영상을 나타낸다. 솔레노이드 RF 코일로 측정된 영상은 상용 RF 코일로 측정된 영상보다 노이즈가 작음을 확인할 수 있으며, 각 영상으로부터 샘플 영역과 노이즈 영역의 신호 크기의 비로 계산한 SNR은 각각 60.9과 1.1으로 측정되었다. 각각의 해상도는 솔레노이드 RF 코일의 경우  $36\ \mu\text{m} \times 36\ \mu\text{m}$ 이고, 상용 RF 코일의 경우  $43\ \mu\text{m} \times 43\ \mu\text{m}$ 이다.

### 2.4. Stenosis 유동 측정

Figure 3은 stenosis model에서 측정된 유동의 속도를 나타낸다. 50% stenosis 모델을 사용하였으며 stenosis 목(throat)에서의 직경은 1.0 mm이다. Reynolds 수 125에서 측정하였으며 해상도는  $90 \times 90 \times 90\ \mu\text{m}^3$  이고 측정된 유량 오차는  $0.3 \pm 0.5\ %$ 이다. 결과는 stenosis 목에서 jet flow과 post-stenosis에서 recirculation flow를 보여준다.

## 3. 결론

본 연구에서는 custom-built RF 코일을 사용하여 코일의 성능을 상용코일과 비교하였으며, stenosis 모델에서 유동을 고해상도로 측정하였다. 코일의 SNR 평가는 상용코일에 비해 60배 증가하였고, stenosis 유동은  $90 \times 90 \times 90\ \mu\text{m}^3$ 의 고해상도로 측정 하였다.

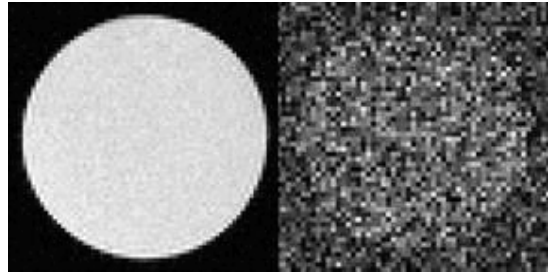


Fig. 2 Magnitude images measured by solenoid RF coil (left) and conventional RF coil (right)

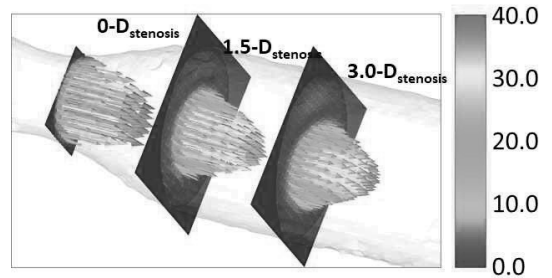


Fig. 3 High spatial resolution measurements of velocity distributions (cm/s) using the custom-made RF coil

향후에는 관상동맥과 같은 좁은 혈관 모델에서의 유동을 측정하고 그 유동의 특성을 분석할 수 있기를 기대한다.

## 후 기

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2016R1A2B3009541).

## 참고 문헌

- (1) M. Markl, et. al., 2010, "In Vivo Wall Shear Stress Distribution in the Carotid Artery," Circ Cardiovasc Imaging, pp. 647~655.
- (2) P. Dyverfeldt, et. al., 2008, "Assessment of Fluctuating Velocities in Disturbed Cardiovascular Blood Flow: In Vivo Feasibility of Generalized Phase-Contrast MRI," Journal of Magnetic Resonance Imaging, pp. 655~663.