

# 맥동 유체 모델을 이용한 혈류 측정 기법들의 비교연구

박지은\* · 김정훈\* · 박유진\* · 안도현\* · 이도석\* · 이도병\* · 유재용\* · 이종민\*

## Comparative study of non-invasive blood flow measurement techniques using self-made pulsatile flow model

Jieun Park\*, Junghun Kim\*, Yujin Park, Dohyun Ahn, Dosuk Lee, Dobyung Lee, Jaeyong Yu, Jongmin Lee

**Abstract** : We did a comparative study of non-invasive blood flow measurement techniques using self-made pulsatile flow model. Reference standards used a electromagnetic flowmeter. For comparison, we acquired the time-velocity curve using electromagnetic flowmeter, Phase contrast magnetic resonance imaging(PC MRI), Particle Image velocimetry(PIV) and Doppler Ultrasonography. Minimum value, Average value, Full-width at half-maximum, Foot-peak gradient and Peak time of velocity curve was obtained to find a flow characteristic. Doppler ultrasound showed the highest correlation compared with Reference standards.

### 1. 서 론

심혈관 질환은 관상 동맥 질환, 뇌 혈관 질환, 말초 동맥 질환, 류마티스성 심장 질환, 선천성 심 질환 및 심 부정맥 혈전증 및 폐 색전증을 포함하며, 지난 몇 십 년 동안 전 세계적인 사망 원인이었다. 가장 흔한 원인 중 하나는 심장 또는 뇌에 혈액을 공급하는 혈관의 내벽에 콜레스테롤 및 지방 축적물이 축적되는 경우이며, 혈관의 내경이 좁아지는 협착증이 발생하게 된다. 이는 혈관 내 혈류에 큰 영향을 미치고 심장이 나 뇌로 가는 혈액의 양을 감소시켜 다양한 순환계 질환이 발생하며 심할 경우 사망에까지 이르게 한다.

혈류를 지표로 하여 질환을 조기 진단하거나 치료를 돕기 위해서는 혈류의 정량적 분석이 필요하다. 혈류를 측정하기 위한 방법은 침습적 방법과 비 침습적인 방법이 있으며, 침습적인 기술은 통증, 출혈 및 감염과 같은 합병증이 발생할 수 있어 최근 다양한 영상 기법을 이용하여 비 침습적으로 혈류의 정보를 획득함으로써, 혈관에 미치는 영향을 측정하고 검증하는 연구들이 수행되었다.

혈류의 정량적 측정을 위한 영상 기법들을 비교한

기존의 연구 결과를 보면, 측정 기법에 따라 혈류량 및 속도 값에 차이를 보여 준다.<sup>(1)</sup> 따라서 본 연구에서는 자체 개발된 맥동 유체 모델을 이용하여, 자기공명 영상, 입자영상유속계, 도플러 초음파의 정확성 및 유용성에 대해 비교 연구 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1. 연구방법

자체 제작된 맥동 유체 모델의 분당 회전 수(RPM)와 수축과 이완의 비(duty ratio)를 18가지의 실험 조건으로 설정하였고, 각 기법들을 이용하여 시간-속도 곡선을 측정하였다.

Table 1 Experiment condition

RPM	Duty ratio			
	3:7	4:6	5:5	6:4
40	Case1	Case2	Case3	Case4
50	Case5	Case6	Case7	Case8
60		Case9	Case10	Case11
70		Case12	Case13	Case14
80		Case15	Case16	Case17
90			Case18	

\* 경북대학교 의용생체공학과

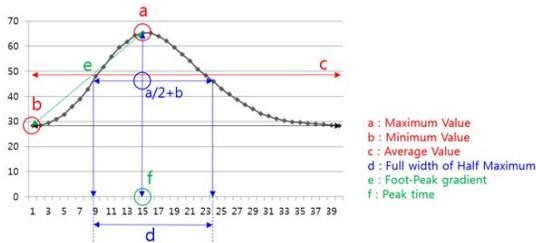


Figure 1. Indicators of velocity curve

자기 공명 위상 대조 영상, 도플러 초음파, 입자 영상 유속계(Particle Image Velocimetry, PIV)에서 획득한 맥동 유동의 시간-속도 곡선에 대해 전자 유량계를 참조 표준으로 하여 각 기기와의 관계를 피어슨 상관관계 분석을 통해 알아보았다. 속도에 대한 특성 분석 및 비교를 위해 최대값(Maximum value), 최소값(Minimum value), 평균값(Average value), 반치전폭(Full-width at Half-Maximum), 기울기(Foot-peak gradient), 최대값 도달 시간(Peak-time)을 지표로 하여 분석하고 참조표준인 전자 유량계와 비교하였다.

## 2.2. 연구결과

전자 유량계와 위상대조 자기공명영상, 입자영상유속계, 도플러 초음파의 상관관계 분석결과 상관 계수의 평균이 각각 0.76, 0.62, 0.78로 1.00에 가까운 양의 상관관계를 보여 주었다. (Table 2)

모든 조건에 대해 최대값은 일정한 패턴의 특성을 보였다. 평균값은 PIV를 제외한 나머지 기법에서  $36.37 \pm 4.96 \text{ cm/s}$  값으로 나타났다. 기울기는 평균적으로 Flowmeter와 초음파가 MRI와 PIV에 비해 높은 값을 보였다. 반치전폭과 최대값 도달 시간에 대해서는 경향성은 있으나 모든 조건에 대해 일정한 패턴의 특성을 보이지는 않았다. (Figure 2)

## 3. 결론

위상대조 자기공명영상, 도플러 초음파, 입자 영상 유속계를 통하여 시간-속도 곡선을 획득하였으며, 도플러 초음파, 위상대조 자기공명영상, 입자영상유속계의 전자 유량계와의 상관관계를 통해 현재 임상에서 사용되고 있는 도플러 초음파의 정확성과 유용성이 높다는 결론을 도출할 수 있었다. 또한 속도 곡선 분석을 통하여 각 기법의 특성을 확인하였고, 이를 이용하

Table 2 Correlation coefficient between reference standards and PC MRI, PIV and Doppler Ultrasonography

Duty ratio 5:5	Correlation Coefficient			P-value		
	M	P	U	M	P	U
40	0.64	0.25	0.56	<0.05	>0.05	<0.05
50	0.76	0.71	0.76	<0.05	<0.05	<0.05
60	0.76	0.6	0.67	<0.05	<0.05	<0.05
70	0.43	0.3	0.89	<0.05	>0.05	<0.05
80	0.96	0.96	0.9	<0.05	<0.05	<0.05
90	0.99	0.91	0.91	<0.05	<0.05	<0.05
average	0.76	0.62	0.78	<0.05	>0.05	<0.05

M indicates Phase contrast MRI.

P indicates Particle image velocimetry.

U indicates Doppler ultrasonography.

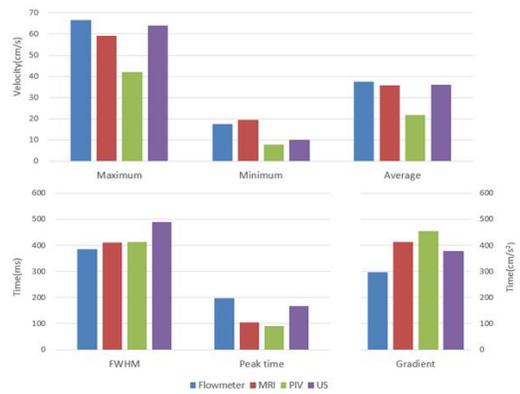


Figure 2. Average value of indicators

여 각 기법들의 상호 호환성을 높여 줄 수 있을 것이라고 생각된다.

## 후 기

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2015R1A2A2A03005433).

## 참고 문헌

- (1) Yzet T, Bouzerar R, Allart JD, et al, 2010, "Hepatic vascular flow measurements by phase contrast MRI and doppler echography: a comparative and reproducibility study." Journal of Magnetic Resonance Imaging, pp. 579 ~ 588.