

미세협착을 지나는 혈액유동의 유체역학적 특성 연구

지호성* · 이상준*

Blood flow characteristics through a micro stenosis

Ho Seong Ji*, Sang Joon Lee*

1. 서 론

다양한 병리적 현상과 생리학적인 요인에 의하여 혈관의 직경이 갑작스럽게 감소하는 협착이 발생한다. 이런 협착(stenosis)부위에서의 혈류유동의 유체역학적 특성에 대한 정보는 순환기 질환을 치료하는데 있어서 매우 중요하다⁽¹⁾. Siouffi등⁽²⁾은 관의 절반이 막힌 50% 협착을 지나는 유동에 대해 초음파 센서를 이용하여 속도분포를 측정하였다. 그리고 Suh등⁽³⁾과 Son등⁽⁴⁾은 수치해석적 방법으로 협착이 있는 혈관내부 혈류유동에 대하여 맥동유동 특성과 압력손실계수 변화를 연구하였다. 그동안 협착을 지닌 혈관 내부의 유동구조 및 혈액거동에 대한 연구가 수행되었으나, 미세협착(micro-stenosis)에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 미세협착을 가진 마이크로 채널 내부를 흐르는 혈류유동의 유체역학적 특성을 Micro-PIV 기법을 이용하여 관찰하고자 한다. 본 연구를 통하여 얻은 결과들은 미세 협착을 지나는 혈류의 유체역학적 특성을 연구하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 1은 혈액유동에 대한 마이크로PIV실험에 적용한 실험장치 구성의 개략도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 12bit cooled CCD 카메라, 도립형 현미경, 2 head pulsed 레이저, 동기장치 그리고 시린지 펌프로 구성하였다. 실험에 적용한 혈액은 5%헤마토크릿을 지니도록 혈장과 혈구로 조절하였으며, 준비된 혈액에 700nm의

직경을 지닌 형광입자를 투입하였다.

Fig. 2는 실험에 적용한 미세협착 채널의 형상에 대한 개략도를 나타낸 것이다. 이때 각 좌표 및 치수의 단위는 μm 이며, 채널의 PDMS를 이용하여 제작하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 고해상도 고속카메라를 이용하여 미세협착이 있는 마이크로 채널 내부를 흐르는 혈액의 유동을 촬영한 영상이다. 적혈구의 형상을 명확하게 관찰할 수 있다. 이때 미세협착을 지나는 혈액유동을 관찰한 결과 미세협착부분을 통과할 때 적혈구의 구름현상(rolling)을 관찰할 수 있었다.

Fig. 4는 혈류량 $Q=50\mu\text{l/h}$ 일 때 채널을 지나는 혈류유동에 대해 micro PIV측정결과를 통계처리 하여 획득한 평균속도분포의 결과를 나타낸 것이다. 채널 내부의 속도분포를 살펴보면 매우 대칭적인 형상을 지니고 있으며, 최대속도는 미세협착의 중심영역에서 발생하는 것을 관찰할 수 있다. Fig. 5는 직선채널부위의 축방향 속도와 이때 전단을 분포를 표현한 것이다.

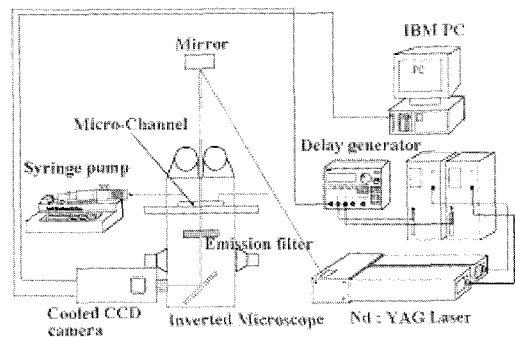


Fig.1 Experimental set-up

* 포항공과대학교 기계공학과

뉴턴유체의 특성을 지니는 증류수에 대한 결과와 비교하였을 때, 그 축방향 속도가 지니는 형상이 약간 뭉뚱한 형상을 지니고 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 전단율의 형태는 비뉴턴 유체의 특성을 지니고 있으며, 그 기울기가 크게 두 가지로 나뉘는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

미세협착부위를 지닌 마이크로 채널 내부에서의 혈액(H5%)유동의 유체역학적 특성에 대한 실험결과 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 혈액이 지니고 있는 아민기와 형광입자가 지니고 있는 카복실기 사이에서 발생하는 응집현상을 방지하여 혈액유동에 대한 마이크로 PIV실험을 성공적으로 적용하였다.
- 2) 직선채널에서의 무차원 속도분포와 무차원 전단율 분포에 대한 결과를 통하여 혈류유동은 비뉴턴유체의 특성을 지니고 있으며, 그 전단율에 대한 기울기 분포를 통하여 혈구가 상대적으로 희박한 혈장층의 분포를 추정할 수 있다.

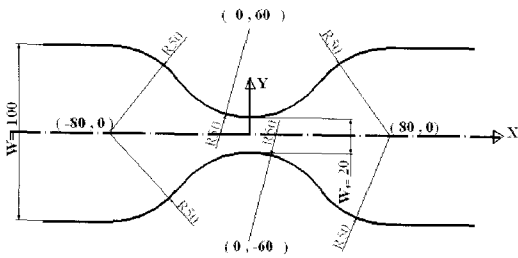


Fig. 2 Schematic diagram of microchannel with a micro stenosis

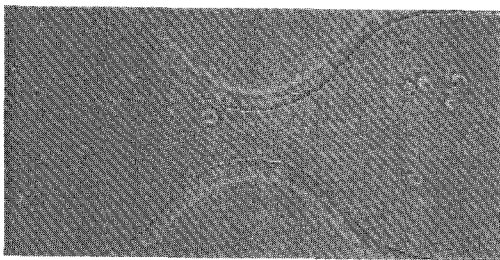


Fig. 3 Original image of blood(H5%) flow through a micro stenosis

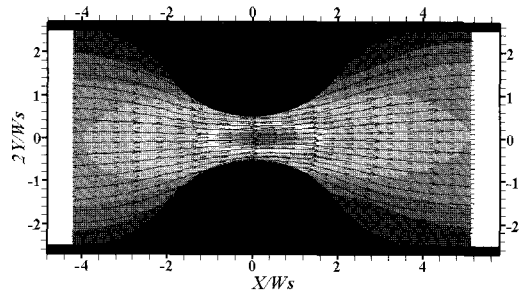


Fig. 4 Velocity vector field in a micro stenosis

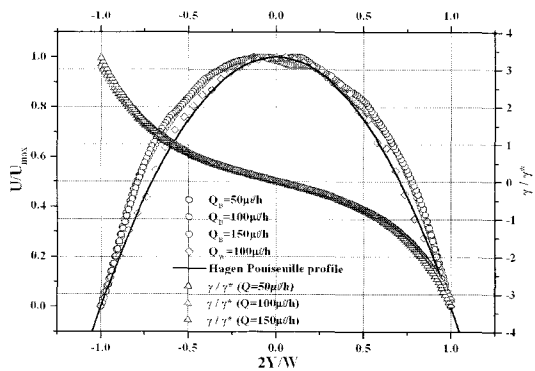


Fig. 5 Axial velocity and shear rate profile in a straight channel

참고 문헌

- (1) Baskurts O.K. and Meiselman H., 2003, Blood rheology and hemodynamics, Semina in Thrombosis and Hemostasis, Vol. 29, pp. 435-450
- (2) Siouffi M., Deplano V. and Pelissier R., 1998, Experimental analysis of unsteady flow through a stenosis, Journal of Biomechanics, Vol. 31, pp. 11-19
- (3) Suh S.H., Yoo S.S. and Chang N.I., 1996, A study on the pressure loss coefficient of non-Newtonian fluids in the stenotic tubes, Journal of KSME(B), Vol. 20, pp 1603-1612
- (4) Sohn J.L., Joo S.W., Suh S.H. and Shim E.B., 2002, Pulsatile flow in the artery with stenosis, Journal of KSME(B), Vol. 26, pp 39-44