

헤마토크릿에 따른 혈액의 유변학적 특성 변화

지호성* · 이정엽** · 이상준***

Effect of hematocrit on hemorheological characteristics of blood flow in a microtube

Ho Seong Ji, Jung Yeop Lee and Sang Joon Lee

Abstract

In order to investigate flow characteristics of blood flow in a micro tube (100 μm in diameter) according to hematocrit, *in-vitro* experiments were carried out using a micro-PIV technique. The micro-PIV system consists of a microscope, a 2 head Nd:YAG laser, a 12 bit cooled CCD camera and a delay generator. Blood was supplied into the micro tube using a syringe pump. Hematocrit of blood was controlled to be 20%, 30% and 40%. The blood flow has a cell free layer near the tube wall and its thickness was changed with increasing the flow rate and hematocrit. The hemorheological characteristics such as shear rate and viscosity were evaluated using the velocity field data measured. As the flow rate increased, the blunt velocity profile in the tube center was sharpened. The viscosity of blood was rapidly increased with decreasing shear rate, especially in the region of low shear rate, changing RBC rheological properties. The variation of velocity profile and blood viscosity shows typical characteristics of Non-Newtonian fluids. On the basis of inflection points, the cell free layer and two-phase flow consisting of plasma and suspensions including RBCs were clearly discriminated.

Key Words : Blood flow(혈액유동), Hematocrit(헤마토크릿), *in-vitro*(체외), Microcirculation(미세순환)

1. 서론

혈액유동의 다양한 유체역학적, 병리학적 원인에 의해 발생하는 심혈관계 질환을 포함하는 순환기 질환의 발생기전에 영향을 미치는 유변학적 인자로는 적혈구의 양(즉, 헤마토크릿), 혈장의 점성, 적혈구의 변형 그리고 적혈구의 응집특성 등을 들 수 있다. 이와 같은 유변학적 인자들은 순환기 계통의 혈액유동에 있어서 매우 중요한 역할을 수행한다. 혈액의 희석과 관련된 헤마토크릿의 변화에 따른 혈액유변학적 특성은 내피세포에 영향을 미치는 벽면전단응력과 관련이 있고, 나아가서 혈관의 변형, 용혈 그리고 혈전의 형성에까지 영향을 미친다.

Goldsmith^(1,2)는 혈장층이 혈관의 벽면을 따라서 형성되며, 혈관의 중심부분으로 적혈구들이 모이는 현상을 규명하였다.

미세혈관을 포함하는 혈관내부의 혈류유동의 유체역학적 특성은 순환기 질환의 발생기전과 밀접한 연관이 있다. 따라서 본 연구에서는 미세혈관 내부 혈액유동의 유체역학적 특성을

헤마토크릿의 변화 및 공급유량에 따라 마이크로 입자영상유속계 기법을 이용하여 체외실험(*in-vitro*)을 수행하여 관찰하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

미세혈관 내부의 혈류유동의 체외실험을 모사하기 위하여 2-head Nd:YAG 레이저, 광학현미경, 12bit CCD 카메라 그리고 동기화장치로 구성된 마이크로 PIV 시스템을 이용하였다(Fig.1). 미세튜브 내부의 유동의 정보는 광학 필터가 장착된 CCD 카메라를 이용하여 저장하였다. 추적입자가 포함된 혈액은 쉬린지 펌프를 이용하여 일정유량으로 공급하였다. 실험에 적용한 미세관은 물의 굴절율과 일치하는 FEP 재질로 실험시 튜브의

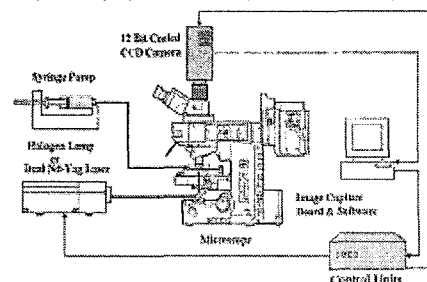


Fig. 1 Experimental Set-up

* 포항공과대학교 기계공학과, jshsmj@postech.ac.kr

** 포항공과대학교 기계공학과 대학원

*** 포항공과대학교 기계공학과,

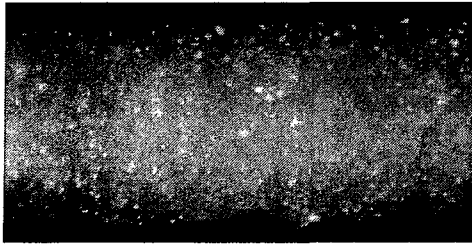


Fig.2 Fluorescent particles in micro tube

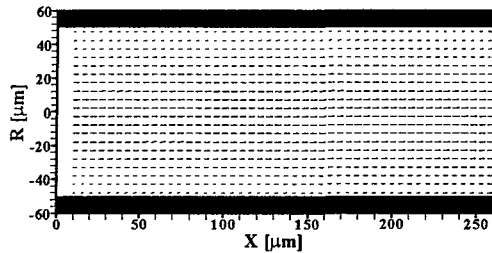


Fig. 3 Mean velocity field ($Q=10\mu\text{l/hr}$)

벽면에서 발생할 수 있는 왜곡 현상을 최소화시켰으며, 그 직경이 내경과 외경이 각각 $100\mu\text{m}$ 와 $300\mu\text{m}$ 이다.

3. 결과 및 고찰

Fig.2 는 미세튜브를 흐르는 혈액유동에서의 형광입자 영상을 보여준다. 미세튜브 내부에 분포한 형광입자들 중 일부는 응집현상을 보여주고 있으나 대부분의 형광입자들이 튜브 내부에 고르게 분포되어 있는 것을 관찰할 수 있다. Fig.3 은 헤마토크릿 40%인 혈액을 유량 $10\mu\text{l/h}$ 로 미세튜브에 투입 하였을 때 혈액유동의 평균 속도분포를 벡터분포로 표현한 것이다. 중심영역에서 최대속도를 관찰할 수 있으며 그 값은 약 0.67mm/s 의 값을 지니고 있다. 물의 경우 동일 유량일 때 최대속도는 0.71mm/s 의 값을 지니고 있다.

Fig.4 는 헤마토크릿의 변화에 따른 혈액유동의 특성을 투입유량이 $10\mu\text{l/h}$ 일 때 축방향 무차원 속도를 관찰하여 표현한 것으로, 헤마토크릿이 증가할수록 축방향 속도의 형상이 뚱뚱한 형상으로 변화하는 것을 관찰할 수 있다. 헤마토크릿의 변화는 혈액유동의 전단응력과 혈액의 항복응력에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Fig.5 는 헤마토크릿 변화에 따른 겉보기 점도의 변화를 나타낸 것이다. 점도계를 이용하여 측정한 결과와 매우 유사한 경향을 관찰할 수 있으나, 높은 전단율 영역에서는 상대적으로 낮은 점도를 지니고 있으며, 낮은 전단율 영역에서는 상대적으로 높은 점도를 지니고 있다. 이것은 높은 전단율 영역은 혈구의 농도가 희박한 혈장층을 이루고 있으며

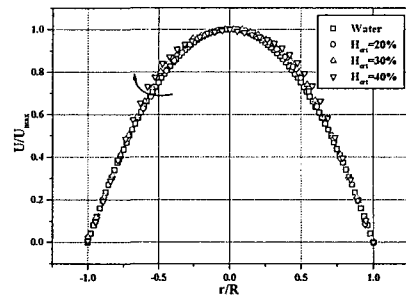


Fig. 4 Comparison of axial mean velocity profiles

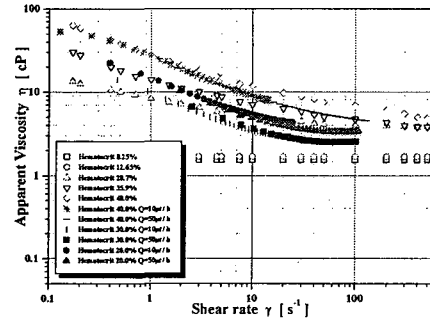


Fig. 5 Comparison of viscosity profile

로, 낮은 점성값을 나타내며, 낮은 전단율 영역은 혈관의 중심으로 갈수록 혈구의 농도가 상대적으로 높아지기 때문에 높은 점도를 지니고 있는 것으로 판단된다.

4. 결 론

헤마토크릿의 변화에 따른 혈액유동의 체외실험을 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 헤마토크릿이 증가할수록 축방향 속도는 뚱뚱해지며 비뉴턴 유체의 전형적인 특성을 가지게 된다.
- (2) 벽면 근처에서는 혈장층의 영향으로 낮은 점도를 지니며, 혈관의 중심영역에서는 혈구의 농도가 짙어져 높은 점도를 가진다.

후 기

본 연구는 과기부(과학재단)에서 지원한 특정 기초연구(R01-2004-000-10500-0)와 시스템바이오 다이나믹스 국가핵심연구센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Goldsmith H.L.(1971), Red cell motions and wall interactions in tube flow. Federation Proceedings, Vol. 30, No.5, 1578-1588
- [2] Goldsmith H.L. (1986), The microrheology of human blood, Microvascular Research, Vol. 31, 121-142