

암모기 흡혈과정에 대한 실험적 연구

김보흠* · 이정엽** · 이상준***

Experimental research on blood sucking phenomena of a female mosquito

Bo Heum Kim *, Jung Yeop Lee ** and Sang Joon Lee ***

Keywords : Mosquito(모기), Blood sucking(흡혈), Micro-PIV(마이크로 PIV), X-ray micro-imaging technique(X-ray 미세영상기법), Pulsatile flow(맥동성 유동)

Abstract

As a carrier of malaria and sneak of blood, mosquitoes are an unpleasant insect. However, there are several unknown natural secretes related with mosquitoes. Among them, we focused on the blood sucking process of a female mosquito. The main objective of this study is to understand the mosquito's blood sucking mechanism that can be used to resolve the problem encountered in the injection or transport of infinitesimal biological fluids in a micro-chip. At first, the velocity fields of blood-sucking flow in a proboscis were measured using a micro-particle image velocimetry (PIV) technique. The velocity signals of flow in the proboscis show periodic variation. This seems to be resulted from the beating of the pharyngeal pump which works as driving power. To analyze the pumping mechanism, the temporal variation of the pharyngeal pump was visualized using the synchrotron X-ray micro-imaging technique. The volume variation was estimated by the help of digital image processing techniques. Once the main mechanism of blood sucking process was found, a effective micro-pumping system with high efficiency would be developed in near future.

1. 서론

1990년 마이크로 통합 분석 시스템(μ -TAS)의 개념이 소개된 이래, micro fluidics 기술은 수많은 제약 및 생물학적 응용 분야를 개척하면서 많은 실험적 장애물들을 극복해 왔다. 하지만 마이크로칩 기술 개발에 있어 소량의 생물학적 유체를 일정 유량으로 이송시키는 것은 지속적인 도전과제로 남아있다. 최근 이러한 어려움을 극복하기 위해 모기의 흡혈과정으로부터 생체모방기술을 개발하고자 하는 노력이 시작되고 있다. Mochizuki 등(2005)은 모기 펌프와 몇 가지 상용 마이크로 펌프의 W/V(단위체적당 일률)을 비교하였다. 이에 따르면 모기 펌프는 상용 마이크로 펌프보다 최대 100배 정도 큰 W/V를 갖는다. 본 연구에서는 고속의 CMOS camera로 암 모기 침 내부의 맥동성 유동을 확인하고 dynamic micro-PIV 속도장 측정을 수행하여 이를 분석하였다. 또한 X-ray 미세영상기법으로 모기 내부 펌프의 움직임을 관찰하였으며 gray-level에 따른 pharyngeal pump의 체적 변화를 gray-level intensity와 deformation index(DI)로 나타내었다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 침(proboscis) 내부 유동 가시화

암 모기의 침(proboscis) 내부 혈액유동의 가시화를 위해 사용한 dynamic micro-PIV 속도장 측정시스템은 현미경, CMOS 고속카메라, continuous Nd:YAG 레이저, 제어용 컴퓨터 등으로

이루어져 있다. 실험 시 적혈구 부피비(hematocrit) 40%의 혈액을 사용하였으며 입자 영상을 256×128 픽셀의 해상도로 10,000 frame/s의 조건으로 취득하였다. 광원으로 사용한 레이저의 파장은 532nm이다. 추적입자는 1 μ m의 직경과 554nm의 방출파장을 가지며 camera 앞에 550±70nm의 band-pass filter를 설치하여 입자영상이 잘 보이도록 하였다.

2.2 몸체 내부 pharyngeal pump의 가시화

모기 몸체 내부의 장기들은 광학 현미경으로 관찰하기가 불가능하여 X-ray 미세영상기법을 이용하여 관찰하였다. 고속기 저장링(storage ring)에서 나오는 X-ray beam이 측정하고자 하는 샘플을 투과하게 되면, 샘플의 내부 구조물의 경계면에서 위상차(phase difference)가 발생하고 위상차 정보가 포함된 X-ray 빔은 scintillator(CdWO₄)에 도달하여 가시영역의 파장으로 바뀌게 된다. X-ray 미세영상기법 실험에서 다양한 추적입자 및 조영제를 사용하였는데 모기의 경우, iodine solution을 조영제로 사용하는 것이 효과적이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 침 내부의 맥동성 유동

고속카메라로 얻어진 15,000장의 입자영상으로부터 순간속도장 및 평균속도장을 계산하였다. 모기의 침을 단면이 원형인 관으로 가정하고 원형 관 내부의 velocity profile로부터 유량 $Q(5.751 \times 10^{-12} \text{m}^3/\text{s})$ 과 평균속도 $V(0.415 \text{cm/s})$ 를 구하였다. 이때, $V=Q/A$ 의 관계를 이용하였다. 유량으로부터 계산된 평균속도와 hematocrit 40%의 혈액의 물성치로부터 계산된 레이놀즈 수(Re)는 0.0457이다.

* 포항공과대학교 대학원, mealon@postech.ac.kr

** 포항공과대학교 대학원, federex@postech.ac.kr

*** 포항공과대학교 기계공학과, sjlee@postech.ac.kr

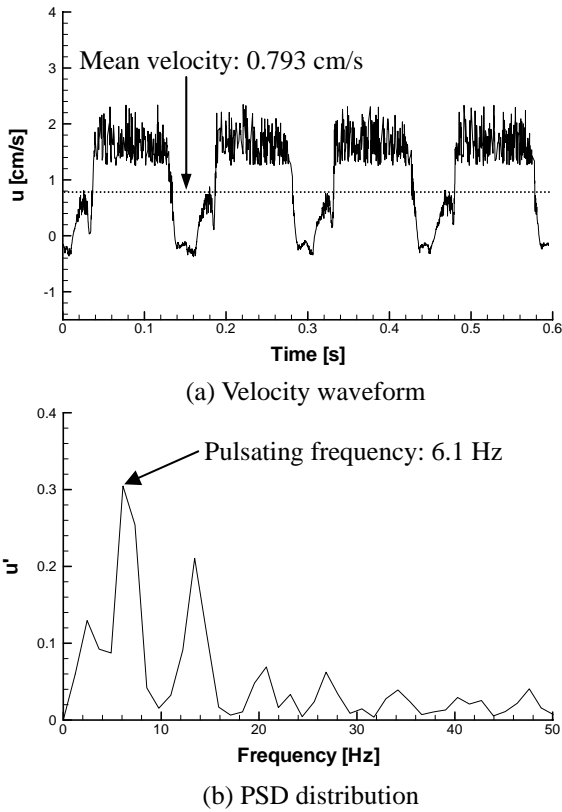


Fig. 1 Temporal variation of U-velocity signal (a) and its PSD distribution (b) of blood flow in the proboscis of a female mosquito.

Fig. 1(a)는 모기 침의 centerline에서 추출한 U-속도성분을 시간에 따라 나타낸 결과인데, 주기적으로 파형이 변화하는 맥동유동의 특성이 잘 나타남을 알 수 있다. 각 주기의 속도 파형은 서로 유사한 경향을 나타내며, fast Fourier transform (FFT)을 이용하여 주파수 분석을 수행한 결과 Fig. 1(b)와 같은 power spectrum density(PSD) 분포를 구할 수 있었다. PSD로부터 맥동 주파수($\approx 6.1\text{Hz}$)를 구할 수 있었으며, 이로부터 계산된 Womersley number(α)는 0.117 이었다. $\alpha \ll 10$ 일 경우 원형 관 내부의 속도분포는 정상상태의 Hagen-Poiseuille 유동과 유사한 포물선 형태의 분포를 보여준다(Fig. 2).

3.2 Pharyngeal pump의 체적 변화

Fig. 3은 조영제(iodine solution)를 흡입하는 모기 pharyngeal pump 내부의 gray-level intensity와 deformation index(DI)를 시간에 따라 나타낸 결과이다. Intensity가 최저가 되는 지점에서 pharyngeal pump는 최대의 체적을 갖는다. Pharyngeal pump의 가로·세로 비(W/H)로 정의한 DI는 Intensity의 변화양상과 유사한 경향성을 지니고 있음을 알 수 있었다. 이를 통해 Fig. 1(a)에 보이는 주기적인 속도의 변화는 모기의 흡혈에 driving force를 제공한다고 알려져 있는 pharyngeal pump의 움직임에 의한 결과라고 판단되어진다. 따라서 흡혈유동 및 pharyngeal pump의 거동을 보다 자세히 관찰하면 높은 효율을 보이는 모기의 흡혈 메커니즘을 이해할 수 있을 것으로 생각되어진다.

4. 결론

본 연구에서는 우수한 생체 펌프인 모기의 흡혈유동 및 모기 내부의 pharyngeal pump를 가시화하였다. 모기 침 내부 흡혈유동의 맥동성과 pharyngeal pump의 주기적인 변화를 통해 모기의 흡혈은 주기적인 펌프의 작용에 기인한 것으로 판단되

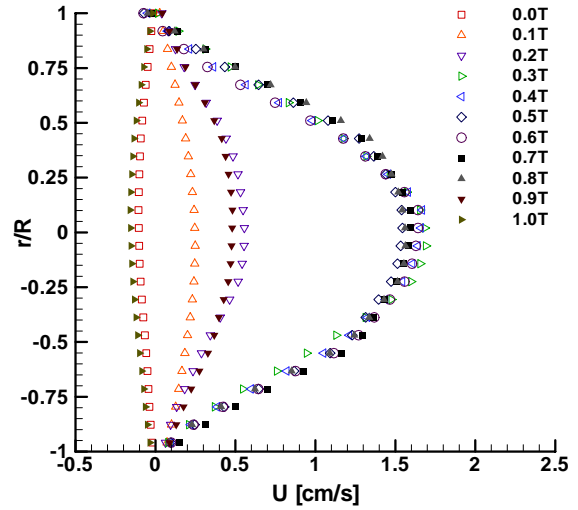


Fig. 2 Velocity profiles extracted from phase-averaged velocity fields at each phase

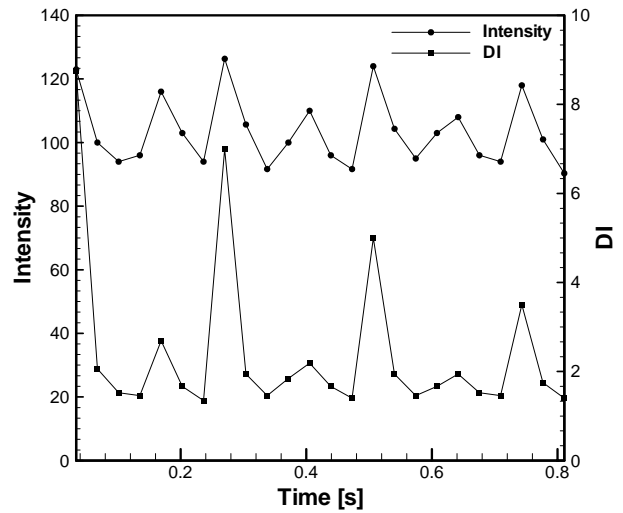


Fig. 3 Comparison between the gray-level intensity which represents iodine flow and deformation index of a pharyngeal pump.

어진다. 추후 이에 대한 보다 자세한 연구를 통하여 고 효율의 흡혈 메커니즘을 밝히고, 이를 통해 고 효율의 micro-pump를 구현할 수 있는 생체모방기술을 개발하고자 한다.

후 기

본 연구는 포항 방사광 가속기 연구소의 1B2, 7B2 빔라인에서 수행되었으며, 포항 방사광 가속기에서의 실험은 과학기술처와 포항공대의 지원을 받았습니다. 본 연구는 한국과학재단의 지원을 받는 시스템바이오다이나믹스 국가핵심연구센터(R15-2004-033-06002-0)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Yamahata, C. et al., "Plastic micropump with feffofluidic actuation", J. Microelectromechanical Sys., Vol. 14(1), pp. 96-102.
- [2] Westneat, M. W. et al., "Tracheal respiration in insects visualized with synchrotron X-ray imaging", Science, Vol. 299(5606), pp. 558-560.