

중공사막 모듈에서 유체의 마찰손실 최소화

이삼철, 김기범*, 홍성출**, 김민호***, 정경락****

한려대학교 신소재공학과, 전북대학교 화학공학부*, 전북대학교 의대 미생물학교실**, 전북대학교 흉부외과학교실***, 전북대학교 화학공학부·공업기술연구소****

Minimizing the Friction Loss of Fluid in Hollow Fiber Membrane Modules

Sam-Cheol Lee, Ki-Beom Kim*, Seong Tshool. Hong**, Min-Ho Kim***,
Gyeong-Rak Jheong****

Dept. of Advanced Materials Engineering, Hanlyo University, School of Chemical Eng., Chonbuk National University*, Dept. of Microbiology, Medical School, Chonbuk National University**, Dept. of Thoracic and Cardiovascular Surg., Medical Schools, Chonbuk National University***, School of Chemical Eng., Chonbuk National University · The Research Institute of Ind. Tech., Chonbuk National University****

1. Introduction

혈관 내 폐 보조장치(IVLAD)는 급성호흡부전(ARDS) 환자를 치료하는데 자연적인 혈액흐름을 이용하므로 외부 펌프가 필요 없으며 혈액흐름이 맥관 구조 내에 완전히 남아 있기 때문에 용혈현상과 감염을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 이 장치는 장치의 조작이 체외순환 폐보조장치(ECMO)에 비하여 상대적으로 간단하게 할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 이 장치를 부분적인 호흡보조에 사용하기 위하여 연구 중에 있다[1-4]. 하나의 문제는 기체교환을 충분히 하기 위해서 필요한 막 표면적은 정맥압을 과도하게 증가시킬 수 있고 폐에 도달하는데 방해가 된다는 것이다. 그러므로 폐 보조에 많은 장점을 가지고 있는 “체내 삼입형 폐 보조장치”에서 이러한 문제에 영향을 미치는 parameter들의 효과가 규명되어야 한다.

본 연구에서는 새로운 체내삼입형 인공폐 모듈이 혈관 내 혈액흐름의 압력손실을 최소화하여야 하는 제한 인자를 만족하는 액체흐름경향과 중공사 개수에 대한 영향을 고찰하고 이 장치가 정맥 내에서의 혈액 흐름 저항을 최소화할 수 있는 방법을 모색하였다.

2. Experimentals

2-1. 기체흐름저항 측정

자체 제작한 중공사막 모듈의 모형은 그림 1에 나타내었다. 모듈은 3cm의 아크릴관에 중공사의 수를 변화시킬 수 있도록 설계를 하였다. 중공사는 약 380 μm OD와 50 μm 두께의 미세다공성 폴리프로필렌 막(Oxyphane, Enka, Germany)을 사용하였다. 중공사의 기공은 약 4 μm 이며 중공사 표면의 약 45%를 차지한다. 중공사의 길이는 120cm이며 중공사의 개수에 따라 모듈을 제작하였다. 중공사 다발에서 압력흐름 거동을 실험적으로 조사한 실험장치는 그림 2와 같다.

2-2. 용액의 마찰손실 측정

용액의 마찰손실을 측정하기 위한 장치는 그림 2에 나타내었다. 사용된 용액은 3차 증류수를 사용하였으며, 글리세롤 용액은 혈액의 점도와 유사한 영역인 40%의 용액을 제조하여 사용하였다. 또한 혈액은 신선한 소 혈액을 사용하였다. 각각의 용액의 온도는 37 $^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였으며, 용액의 유량은 0.75 ~ 6 l/min으로 하였다. 유량의 변화에 따른 압력차는 수은 마노미터(Model M-1000 W/M, Dwyer Instrument. inc., USA)를 사용하여 측정하였다.

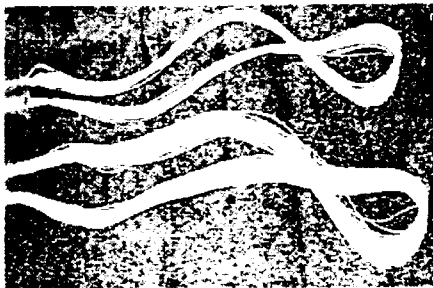


Fig. 1. The picture of test modules.

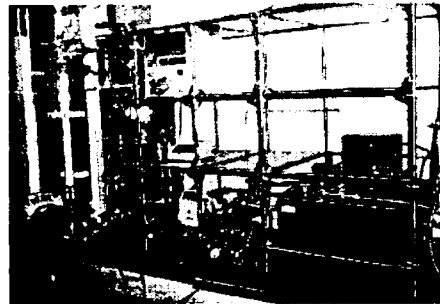


Fig. 2. The *in vitro* bench test system used for pressure drop of test modules.

3. Results

3-1. 기체흐름저항

그림 3(a)은 비압축성 Poiseuille 흐름이론에 근거한 압력예측흐름거동이며, 그림 3(b)는 압축성 Poiseuille 흐름이론을 적용한 그림이다. 실선은 표준온도와 압력에서 부피흐름속도로 표현된 질량흐름속도에서 공기에 대한 압축성 Poiseuille 흐름을 나타낸 것이다. 이는 공기에 대하여 압축성 흐름결과 예측이 압력손실(0-400 mmHg)의 넓은 영역에서 중공사모듈내의 압력흐름거동과 잘 일치한다.

100 mmHg이하의 좀 더 작은 압력 손실영역에서 압력흐름관계를 비압축성 Poiseuille흐름이론에 의해 만족할만하게 예측할 수 있다.

3-2. 마찰손실

그림 4는 중공사 수의 변화에 따른 액체의 유속과 압력손실과의 관계를 나타낸 그림이다. 액체의 유속이 증가하면 압력손실은 2차 함수의 형태로 증가함을 보이고 있으며, 증류수의 경우(그림 4 (a))에서는 10 mmHg 이하이며 40% 글리세롤 용액의 경우(그림 4(b))와 혈액의 경우(그림 4(c))에서는 25 mmHg 이하의 압력손실을 보였다.

그림 5는 물과 글리세롤에 대하여 중공사 수의 변화에 따른 레이놀즈 수와 식 6에 의해 계산되어진 마찰손실과의 관계를 보여주고 있다.

일정한 레이놀즈 수에서 중공사의 수가 증가함에 따라 마찰손실은 선형적으로 증가됨을 보여주고 있다. 그림에서의 직선의 기울기는 중공사 수의 변화에 따라 변하게 되고 중공사 모듈의 기하학적 구조의 차이에 의해 변하게 된다.

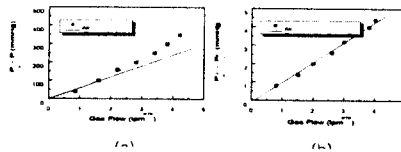


그림 3. Pressure drop vs. mass flow rate measured in the Module for air flow driven by vacuum pressure: a) incompressible and b) compressible Poiseuille form

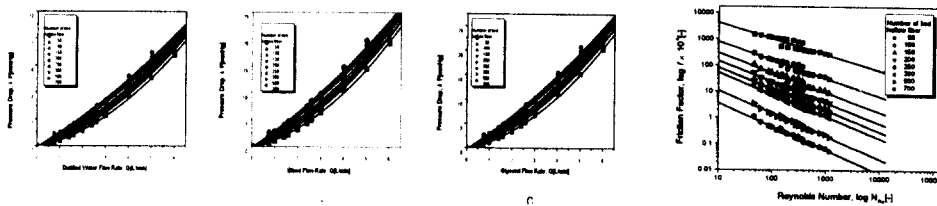


Fig. 4. Relation of pressure drop to blood path length and flow rate for the number of hollow fibers in (a) distilled water (b) 40%-glycerol solution (c) blood at 37°C.

Fig. 5. Relation of $\log N_{Re}$ and $\log f$ for the number of hollow fibers at 37°C

4. Discussion

본 연구에서는 혈관내의 압력손실을 최소화하여야 하는 제한 인자를 만족하는 새로운 인공 폐에서 액체흐름경향과 중공사 개수에 대한 압력 손실 영향을 고찰하였다. 용액의 압력손실은 용액의 유속에 2차 함수 형태로 증가하며 용액의 압력손실은 용액의 점도와 밀접한 관계를 갖고 있다. 따라서 산소 흡수량이 혈액보다 우수하면서 점도가 낮은 새로운 혈액대용 물질의 개발이 선행되어 우수한 산소전달 성능을 보일 경우 용액의 압력손실은 감소시킬 수 있으리라 판단된다. 자체 제작한 중공사 모듈은 모듈의 외경이 3 cm이고 중공사의 외경이 380 μm , 중공사의 개수가 700개, 길이가 60 cm일 때에도 혈관내 인공 폐가 요구하는 압력손실 영역을 만족하고 있다.

Acknowledgements

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-31400-004-2)지원으로 수행되었음. 이에 감사드립니다.

5. References

- 1) V. Nodelman, H. Baskaran, and J. S. Ultman, "Enhancement of O₂ and CO₂ transfer through microporous hollow fiber by pressure cycling", *Annals of Biomedical Engineering*, **26**, 1044(1998)..
- 2) S. N. Vaslef, K. E. Cook, R. J. Leonard, L. F. Mockros, and R. W. Anderson, "Design and evaluation of a new, low pressure loss, implantable artificial lung", *ASAIO J.*, **40**, M522(1994).
- 3) W. J. Federspiel, L. W. Lund, J. A. Bultman, S. Wanant, J. Matoney, J. F. Golob, B. J. Frankowski, M. Watach, P. Litwak, and B. G. Hattler, "Ex-vivo testing of the intravenous membrane oxygenator(IMO)", *ASAIO J.*, **45**, 127(1999).
- 4) J. B. Zwischenberger, C. M. Anderson, K. E. Cook, S. D. Lick, L. F. Mockros, and R. H. Bartlett, "Development of an implantable artificial lung: Challenges and progress", *ASAIO J.*, **47**, 316(2001).