

고분자 섬유코일의 변형 특성 해석

Numerical Simulation of Polymer Film Coil Deformation

*#이계한¹, 신우현¹, 정우원¹, 한문희², 조재영³, 이태훈³, 김태양³, 송현주³

*#K. Rhee(khanrhee@mju.ac.kr)¹, W. H. Shin¹, W. Jeong¹, M. H. Han², J. Y. Jho³,
T. H. Lee³, T. Y. Kim³, H. J. Song³

¹명지대학교 기계공학과, ²서울대학교 영상의학과, ³서울대학교 생물화학공학과

Key words : Elastic properties, FEM, Thermal Equivalent Model

1. 서론

뇌동맥류의 파열은 지주막하출혈을 일으켜 높은 사망률과 중병 유행률을 나타낸다⁽¹⁾. 치료 방법으로는 질환부에 색전물 및 코일을 이용하여 폐색하는 중재적 시술이 사용되고 있다. 수술에 비해 시술이 용이하고 합병증이 적은 장점을 갖고 있으나, 질환부의 색전물이 불완전하여 재개통(recanalization)이 발생하고, 이에 의한 재시술이 발생하는 경우가 있다⁽²⁾.

다양한 형상의 구조 형성 및 수화 팽창 성능이 우수한 기능성 고분자 코일은 환부 내 충전물 및 정합성을 향상 시킬 수 있고, 섬유 번들의 사용으로 상대적으로 빠른 시술이 가능하므로 기존 기구를 대체할 수 있는 가능성이 매우 높다.

코일은 재료, 직경 및 길이, 힘과 변형 등의 역학적 특성과 혈류 유동 환경에 영향을 받는다. 하지만, 코일의 역학적 특성의 측정과 관련한 연구가 부족하다. 코일의 역학적 특성 측정 및 정량화는 코일 성능 비교 평가에 중요한 의미를 갖는다.

코일의 변형 특성 모델링 기술이 최근 시도된 바 있으나, 기존 형상 기억 코일 및 카테터 형상 변화에 제한적으로 응용된다⁽³⁾. 팽창물 및 강성도의 조절이 용이하고, 패턴 제작이 가능한 기능성 고분자 섬유의 설계 및 제조에는 코일의 변형 특성 모델링 및 해석 기술이 선행되어야 할 중요한 기술 분야이다. 그러므로, 본 연구의 목적은 수화성 고분자 섬유 코일의 탄성계수, 프아송 수, 및 열팽창계수 등의 물성치를 실험적으로 측정하고, 이를 이용한 고분자 섬유 코일의 변형 특성을 해석하고자 한다.

2. 방법

2.1 기계적 물성치 측정방법

고분자 섬유 코일의 부피팽창계수를 측정하기 위하여, PVA 필름(두께 100um 와 200um)을 가로 1cm, 세로 1cm 로 자른 후 10 분간 수화를 하여 수화 전/후 질량비로 가교제 농도별 부피팽창 계수를 측정하였다.

탄성계수 및 프아송 수는 선행연구⁽⁴⁾ 방법을 기초로 하여 알루미늄으로 제작한 콘(140°)을 로드셀(최대 측정범위 100gf)에 연결(Fig. 1), 실린지 펌프를 이용하여 300um/s 속도로 1mm 만큼 콘을 이송하여 재료에 일정 시간 동안 힘을 가해 측정된 힘과 재료에 닿는 콘의 면적을 이용하여 식(1), (2), (3), (4)를 이용하여 탄성계수(E) 및 프아송 수(ν)를 측정하였다.

$$F(0)/F(\infty) = 2(1 + \nu) \quad (1)$$

$$F(0) = 4Gah \quad (2)$$

$$a = (\pi/2)(\tan\theta)h \quad (3)$$

$$E = 2(1 + \nu)G \quad (4)$$

F(0): 초기 힘, F(∞): 최종 힘, a: 콘이 물체에 닿는 면적의 반지름, G: 전단탄성 계수이다⁽⁴⁾.

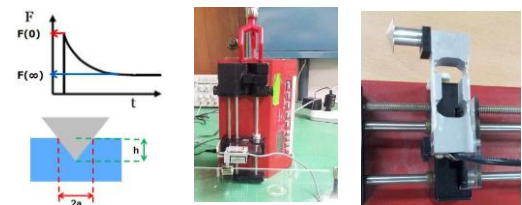


Fig. 1

Experimental devices of mechanical properties (Young's modulus and Poisson's ratio)

가교제의 농도를 고분자의 농도 대비 0.5, 1, 2, 6 wt%만큼 첨가한 재료를 각각 가로 15mm, 세로 20mm, 두께 3~4mm 의 재료를 12 시간 수화한 재료를 사용하여 측정하였다.

2.2 수치해석 방법

부피팽창계수가 다른 두 층을 결합하여 수화시키면, 팽창 및 수축에 의해 변형이 발생하는데, 이는 온도의 변화에 의한 열팽창 및 수축과 상사성을 갖는다. 이를 이용하여 열팽창계수가 다른 두 층의 부피변형을 일으킴에 따라 휨 변형이 발생한다고 가정 하였다.

α (열팽창계수), E(탄성계수), ν (프아송 수)가 다른 0.5, 1, 2, 6 wt%인 고분자 화합물을 너비 500 μm , 길이 5mm, 두께 50 μm 인 6 면체 두층으로 모델링 하여 각각 온도 조건을 다르게 주어 대변형 모델을 Ansys13 을 이용하여 해석을 수행하였다.

3. 결과

3.1 실험결과

가교제의 농도 비에 따른 부피팽창계수, 프아송 수 및 탄성계수는 Table.1 과 같이 측정되었다. 부피팽창계수는 가교제 농도비가 낮아질수록 측정값이 커졌고, 탄성계수 및 프아송수는 가교제 농도비가 높아질수록 크게 측정되었다.

3.2 수치해석 결과

실험으로 측정된 물성값들을 이용하여 고분자 섬유코일의 수화 후 말림 현상을 수치 해석적으로 계산하여 실험결과와 비교하였다. 0.5 + 6wt% 조합의 경우 실험적으로 말림 내경이 1.36mm 로 측정되었고, 수치해석적으로 계산된 결과는 말림 내경이 1.1mm로 해석되었다.

Table.1 Coefficient of Thermal Expansion, Young's Modulus and Poisson's Ratio of wt%

	0.5wt %	1wt %	2wt %	6wt %
α	3.6	2.75	2.1	1.5
E	120Kpa	160Kpa	200Kpa	375Kpa
ν	0.43	0.44	0.44	0.45

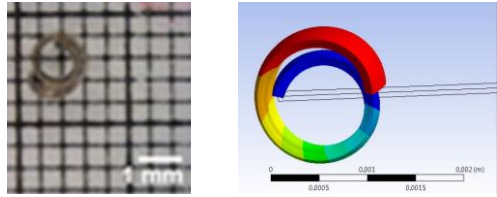


Fig. 3 Experiment(Left), Simulation(Right)

4. 결론

실험적으로 측정된 기계적 물성값을 이용하여 고분자 섬유코일의 말림현상에 대해 시뮬레이션한 결과, 수화 후 말린 고분자 섬유코일의 내경과 거의 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 이 연구를 기초로 향후 고분자 섬유코일의 다양한 말림 현상에 대해 수치해석적으로 연구하고자 한다.

후기

본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발 사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(A111101).

참고문헌

- Linn, F., Rinkel, G., Algra, A., Van, Gijn, J., "Incidence of subarachnoid hemorrhage role of region, year, and rate of computed tomography: A meta-analysis," Stroke 27, 625-629, 1996.
- Raymond J., Darsaut T., Salazkin I., Gevry G., Bouzegrane F., "Mechanisms of occlusion and recanalization in canine carotid bifurcation aneurysms embolized with platinum coils: an alternative concept" Am J Neuroradiol 29, 745-752, 2008..
- Dequidt, J., Marchal, M., Duriez, C., Kerien, E., Cotin, S., " Interactive simulation of embolization coils: Modeling and experimental validation" Med Image Comput. Assist Interv. 11, 695-702, 2008.
- Yuhang, Hu., Xin, Chen., George, M., Whitesides, Joost., J, Vlassak., Zhigang, Suo., " Indentation of polydimethylsiloxane submerged in organic solvents: A meta-analysis," Journal of Materials Research, 26, 785-795, 2011