

강자성입자 형상기억폴리머 나노복합체 헬리컬 스텐트에 관한 연구

Study on the helical stent using shape memory polyurethane with ferromagnetic nano-particles

정정환* · 김우영* · 이송림** 오일권†

JungHwan Jung, WooYoung Kim, SongLin Li and IIKwon Oh

1. 서 론

혈관 혈류 면적 확보를 위해 초기에는 금속제 스텐트가 개발되어 사용되었으나 이를 이용한 혈관 형성술 시술 후 내막의 증식으로 인한 스텐트 내 재협착이라는 새로운 문제가 발생하였다. 스텐트 삽입 시 손상 받은 혈관 주위에 모여든 혈소판에서 분비되는 성장인자에 의한 혈관 재형성 및 혈관 내 평활근 세포 증식, 염증반응, 신생내막세포의 증식, 세포의 기질의 증식 등에 의한 재협착 등이 이러한 문제점이며, 재협착과 혈전의 형성을 방지하기 위해 지능형 약물용출 스텐트(drug eluting stent)와 방사선 방출 스텐트 등이 개발되고 있다.

최근 개발되고 있는 수동형의 약물방출 스텐트의 경우, 재협착이 일어나지 않았음에도 약제를 서서히 방출하여 정작 필요할 때에 기능을 발휘하지 못할 수 있다는 단점이 있으며 이 문제점을 해결하기 위해 스텐트 주위의 환경변화를 감지하고 이에 따라 능동적으로 대응할 수 있는 신개념의 스텐트 개발이 필요하다.

부드러우면서 직경제어가 가능한 고분자 소재의 작동기가 스텐트와 융합되어 삽입된다면 혈관 및 주변 장기에 대한 손상을 최소화 할 수 있고, 특히 삽입후의 재협착 등 문제가 발생할 경우에는 능동적으로 직경제어를 해줌으로써 혈류흐름을 원활하게 할 수 있다는 장점이 있다. 더 나아가 약물 방출과 스텐트 직경의 제어를 능동적으로 병합함으로써 제어할 수 있는 융합소재로 능동형의 스마트 스텐트에

응용할 수 있다.

이번 연구에서는 형상기억 고분자를 적용하여 직경제어가 가능한 고분자 나노 복합체 스텐트를 제작하였다. 이는 기존의 확장형 스텐트의 삽입과정에서 혈관 손상에 기인한 혈전 발생이나 한번 확장후 지속적으로 사용시 발생하는 재협착 문제 등을 극복할 수 있으며, 스텐트 주위의 환경변화를 모니터링하고 직경제어가 가능한 능동형 스마트 스텐트이다. 또한 이에 따른 구동특성과 물리적 성질에 대하여 측정해 보았다.

2. 제작 및 실험

2.1 액티브 스텐트 제작

(1) Nano-particle SMPU membrane

Poly caprolactone-diol (PCL-diol, mw=2000g/mol, Sigma Aldrich), 4,4'-methylene bis(phenylisocyanate) (MDI, Sigma Aldrich), butan-1,4-diol (BD, Sigma Aldrich)을 이용하여 형상기억 폴리우레탄 막을 제작하였다. 형상 기억 폴리우레탄은 하드세그먼트와 소프트세그먼트로 구성되며, 폴리머 분자량을 늘려주기 위한 체인익스텐더로 이루어지는데, 이들의 비율에 따라 특성이 달라진다. 본 연구에서는 각각의 몰비를 6:1:5로 제작하였다.



Figure 1 SMPU helical stent

† 교신저자; KAIST 기계, 항공 우주 시스템 공학부
E-mail : ikoh@kaist.ac.kr

Tel : 042-350-1520 , Fax : 042-350-1510

* KAIST 기계, 항공 우주 시스템 공학부

** 전남대학교 기계공학과

(2) Nano-particle SMPU 나선형 스텐트제작

Fe₃O₄ 나노 입자(직경:10-20nm)를 적용하여 형상 기억 폴리머 막을 제작하였다. 산화철나노입자의 분산도를 높여주기 위해 글리콜산을 이용하여 표면처리를 하였으며 암모니아수로 수차례 세척하여 중화시켜주었다. 나노 입자는 질량대비 0%, 10%, 20% 30%로 적용시켰으며 케스팅 방법으로 막을 제작하였다. 이렇게 제작된 막은 직사각형 형태로 잘라 주었고 유리 막대를 이용하여 나선형태로 감아 고정하여 45-50℃에서 30-60분 동안 유지시켰으며 최종적으로 Figure 1과 같은 나선형 모양의 스텐트를 제작하였다.

2.2 실험 및 결과

(1)인장강도시험

각 제작된 막의 인장강도를 실온조건에서 측정하였다. Figure 2에서 보는 것처럼 적용된 Fe₃O₄의 비율이 증가하면서 인장강도도 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 SMPU의 결정화도를 나노입자가 낮춰줌으로 인해 결과적으로 강도가 증가한다고 볼 수 있다.

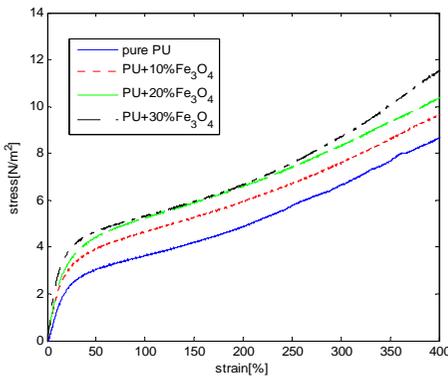


Figure 2 Tensile test curves

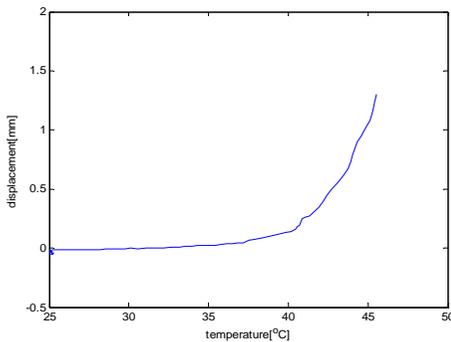


Figure 3 Shape recovery by induction heating

(2)유도가열 형상 복원 특성

인체온도보다 높은 복원온도를 가지고 있는 형상 기억고분자는 의학용으로 적용될 수 있다. 변형온도가 인체온도로 맞춰진다면 인체 열에너지로 구동이 되어버리지만, 인체온도보다 높은 복원온도를 가지면 인체에 삽입되더라도 실온에서와 같은 형상을 가지고 있으며 추가적인 가열을 통해 임의적으로 복원시킬 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 국부적으로 자기 유도 발열을 통해 직접 접촉하지 않고 SMPU를 복원시켰으며 온도센서와 레이저변위기로 변형량을 측정하였다. 유도 가열은 SMPU에 나노입자로 적용된 Fe₃O₄가 자기장 영향에 의해 열이 발생하는 원리이다. Figure 3에서 보는 것처럼 30℃이전의 초기 온도에서는 변화가 없으면서 38℃이상에서 복원되기 시작한다. 이는 SMPU의 복원온도를 인체온도보다 높게 설정해 놓았기 때문이다.

3. 결 론

본 연구에서는 형상 기억 폴리우레탄과 산화철 나노입자의 적용량에 따른 나선형 모양 스텐트를 제작하였으며 물리적 특성과 복원특성을 측정해 보았다. 나노입자 적용양이 늘어나면서 물리적 강성이 증가했음을 확인하였으며 적용량에 따른 복원효과는 크게 차이하지 않았지만 유도가열에 따라 직접 접촉하지 않고도 나선형 스텐트를 초기 형상으로 복원시킬 수 있음을 확인하였다. 이와 같이 인체의 온도에 반응하지 않고 필요에 의한 비접촉식 가열을 통해 형상을 복원시킬 수 있으므로 의학용 스텐트에 적용이 가능함을 증명하였다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(지식경제부)의 재원으로 소재원천핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

This work was supported by a grant from the Fundamental R&D Programs for Core Technology of Materials funded by Ministry of Knowledge Economy, Republic of Korea [K00060-282].