

# 결정화도에 따른 박테리아 셀룰로오스 작동기의 굽힘 성능 Bending Performance of Bacterial Cellulose Actuator according to Crystalline

진진한\* · 박민우\* · 김성준\*\* · 김재환\*\*\* · 오일권†

Jin-Han Jeon, Min-Woo Park, Seong-Jun Kim, Jae-Hwan Kim and Oh Il-Kwon

## 1. 서 론

셀룰로오스는 지구상에서 가장 풍부한 천연 고분자로 친환경, 생분해성, 생체적합성 특징을 가지고 있다. 특히, 박테리아 셀룰로오스는 헤미셀룰로오스, 펙틴, 및 리그닌 등 불순물이 함유한 식물 셀룰로오스와 달리 순수한 셀룰로오스 집합체로 결정화도, 화학적 안정성, 높은 기계적 강성 및 강도 등의 뛰어난 물성을 지니고 있다. Fig. 1은 D-glucose 요소들이 반복 연결된 박테리아 셀룰로오스 (BC: bacterial cellulose)의 기본 화학 구조로, 직경이 0.1 $\mu$ m 이하의 섬유소로 구성된 초미세 3 차원 망상 구조이다.

최근 식물성 셀룰로오스 (PC: plant cellulose)의 전기 반응 특징에 기반한 트랜스듀서 관련 연구와 박테리아 셀룰로오스의 박막 특성을 연료전지의 이온교환막 등에 적용하려는 사례가 있으나, 박테리아 셀룰로오스를 작동기에 적용한 사례는 없었다.

본 연구에서는 높은 기계적 인장강성, 이온교환성, 결정화도, 그리고 박막가공성 등의 장점을 갖는 박테리아 셀룰로오스를 이용하여 전기 반응 바이오 고분자 작동기를 제작하고자 한다.

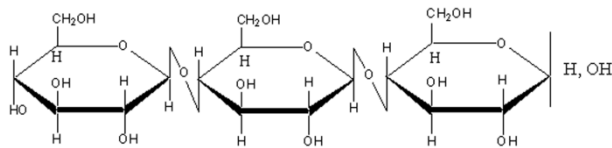


Fig 1.  $\beta$ -1,4 glucosidic linkage of bacterial cellulose unit chain.

## 2. 실험

### 2.1 박테리아 셀룰로오스 제조

Acetobacter xylinum KJ1, 균주를 Table 1 과 같

이 조성된 Glu-Fruc 배양액에서 정지 배양법을 통해 박테리아 셀룰로오스 박막을 제조하였다.

### 2.2 BC 작동기 제조

정지배양 방법으로 제조된 순수한 박테리아 셀룰로오스와 LiCl 알칼리 용액에 함침하여 결정성을 약화시킨 셀룰로오스를 준비한 후, 스퍼터링 방법으로 금 전극층을 적층하였다.

Table 1. Cultural medium of Acetobacter xylinum.

Ingredients	Content
Glucose	5 g/L
Fructose	15 g/L
Bacto peptone	5 g/L
Sodium phosphate dibasic	2.7 g/L
Citric acid monohydrate	1.2 g/L
pH	5.25

### 2.3 BC 특성 평가

Li+ 알칼리 처리 전후에 박테리아 셀룰로오스를 기계적 물성 (tensile test), 열적 물성 (TGA), 그리고 결정성 변화 (XRD) 등의 방법으로 비교하였다. 또한, 막의 전기화학적 물성인 양이온 전도도는 상온에서 임피던스 분석기(Model IM6e, Zahner)를 이용하여 100Hz 에서 1MHz 주파수 범위에서 고분자 전해질 막의 전기저항을 측정하여 구하였고, 이온교환용량은 적정법을 통해 계산하였다.

## 3. 결과 및 토의

Table 2 는 처리 및 상태에 따른 박테리아 셀룰로오스의 물성들 이다. Li+ 알칼리 처리를 통해 양이온 전도도가 증가하였고, 결정성이 약화되면서 인장강도와 강성은 낮아졌다.

† 교신저자; 전남대학교 기계시스템공학부 부교수

E-mail : ikoh@chonnam.ac.kr

Tel : (062) 530-1685, Fax : (062) 530-1689

\* 전남대학교 기계공학과

\*\* 전남대학교 환경공학과

\*\*\*인하대학교 기계공학과

Table 2. Chemical & mechanical properties of BC

Pre-treatment	Li+ treatment	Without treatment
Proton conductivity ( $10^{-6} \times \text{Scm}^{-1}$ )	8.14	5.26
IEC (M ml/g)	1) 3.5	4.66
	2) 2.57	1.88
Tensile Modulus (MPa)	1) 4230.77	6612.25
	2) 1114.75	1457.14
Tensile Strength (MPa)	1) 75.36	122.01
	2) 71.89	86.17

1) Dry condition, 2) Wet condition.

박테리아 셀룰로오스 박막의 Li+ 알칼리 처리를 통한 열적 변화 및 결정성 변화를 TGA 와 XRD 테스트를 통해 자세히 살펴보았다. Fig. 2 는 열적 분석 결과로 첫 손실영역(0-200°C)에서의 변화는 Li+ 처리를 한 박테리아 셀룰로오스의 경우 결정성이 약해지면서 비정질 부분의 증가에 따른 수분량 증가를 나타낸다. 두 번째 영역(200-400°C)은 박테리아 셀룰로오스의 결정성 부분이 분해(decomposition)되는 구간으로 Li+ 양이온 처리한 것의 경우 비정질 부분의 증가로 인해 결정성이 약해져, 처리하지 않은 것에 비해 더 낮은 온도에서 분해가 발생하였다.

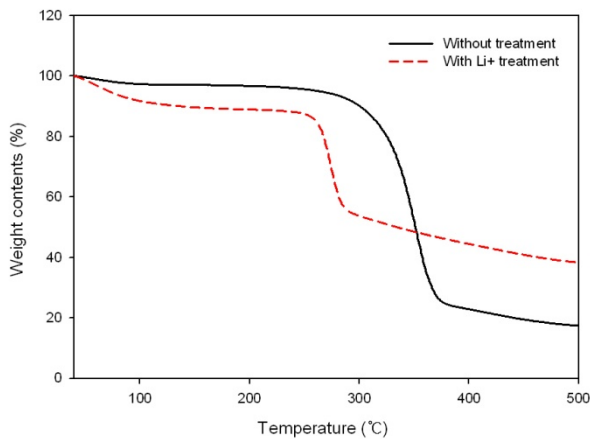


Fig 2. TGA of BC according to treatment.

Fig. 3 은 X-선 회절기를 통해 박테리아 셀룰로오스 막의 결정성 변화를 살펴본 것으로 22.5°에 결정성 부분 intensity 가 낮아지고, 18° 부근의 비정질 부분 피크가 줄어들음을 확인하였다.

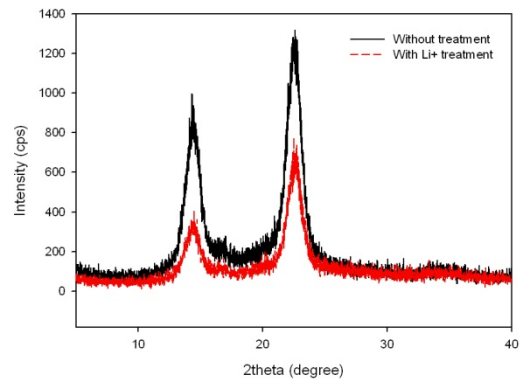


Fig 3. X-ray diffraction patterns of BC according to treatment.

Li+ 처리를 통한 결정성 약화가 작동 성능에 미치는 영향을 Fig. 4 를 통해 알 수 있다. 이는 작동기의 강성의 감소, 이온교환 용량과 양이온 전도도의 증가에서 기인하며, 무결정성 부분의 증가가 작동기의 굽힘 성능 향상에 영향을 미쳤을 것으로 판단 된다.

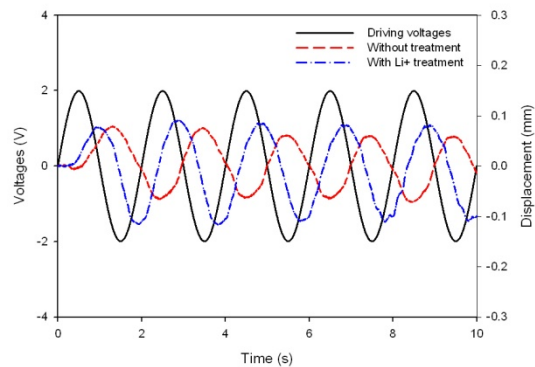


그림 4. AC response of BC actuators.

#### 4. 결론

본 연구에서는 생체적합성과 생분해성을 지닌 천연 고분자 작동기를 제작하고, 박테리아 셀룰로오스의 결정성의 영향을 고려한 특성 및 성능을 살펴보았다. 박테리아 셀룰로오스에 Li+ 알칼리 처리를 통해 결정성 약화와 동시에 비정질 부분 증가를 TGA 와 XRD 를 통하여 확인 하였다. 또한 전기 화학적 물성 향상의 확인을 통하여 결정성 변화가 박테리아 셀룰로오스 작동기의 굽힘 성능 향상에 영향을 미친다는 것을 확인 할 수 있었다.

#### 후 기

이 논문은 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. ROA-2008-000-20012-0)