

## 셀룰로오스 섬유 의 생분해성 평가

강연경\*, 박정희

서울대학교 의류학과

### Evaluation of Cellulosic Fiber's Biodegradation

Yeon-Kyung Kang\* and Chunghee Park

*Department of Clothing & Textile , Seoul National University, Seoul, Korea*

#### 1. 서 론

섬유와 같은 고분자 물질의 생분해성은 그 분자의 화학적, 물리적 특성과 밀접한 관련이 있으므로 같은 셀룰로오스로 이루어진 섬유라고 해도 각각의 화학적 구조나 물리적 특성에 따라 분해 거동이 다를 수 있다. 면, 마, 레이온, 아세테이트 등은 모두 셀룰로오스계 섬유라는 공통점이 있으나 구조적 차이, 제조 공정의 차이, 그리고 분자의 화학 조성 등이 다르며, 함유되어있는 비셀룰로오스분의 종류 및 구성비가 다르다.<sup>(1)</sup> 이러한 차이점들이 각 셀룰로오스계 섬유의 분해 거동에도 영향을 미쳐 같은 셀룰로오스로 구성된 섬유라도 종류별로 생분해성의 차이를 나타낼 것으로 생각된다. 또한 섬유의 생분해과정은 환경에 의해 영향을 많이 받으며 측정 방법이 아직 표준화되지 않은 상태이므로 제품 폐기 후의 환경 친화성을 생분해성을 통해 결정하는 데에는 다양한 방법에 의한 생분해 결과의 종합적 고찰이 필요하다.<sup>(2)</sup>

따라서 본 연구에서는 우선 시료로서 셀룰로오스계 직물을 사용하였다. 토양매립법, 활성하수슬러지법, 효소가수분해 등의 방법을 이용하여 생분해성을 측정하고, 각각의 생분해 방법에 따른 셀룰로오스 섬유별 분해 거동을 비교하였다. 또한 X-ray를 통해 생분해 시간 경과에 따라 시료의 내부구조 변화를 분석하였고, 각 생분해 조건 및 기간에 따른 결정화도의 변화를 통하여 셀룰로오스 섬유의 내부구조와 생분해성의 관계를 고찰하였다.

#### 2. 실험

##### 2.1. 시료 및 시약

면, 레이온, 아세테이트는 KS K 0905에 규정된 섬유류 제품의 염색 견뢰도 시험용 첨부 백포(한국 의류시험 검사소)를 사용하였다. 아마는 시판 직물을 사용하였다. 가수분해에 의한 생분해성 실험에 사용된 효소는 *Trichoderma viride*로부터 얻은 셀룰라아제를 사용하였다. 그 밖의 시약은 특급 및 일급을 사용하였다.

##### 2.2. 실험 방법

생분해성 평가로서 활성하수슬러지법, 토양매립법, 효소가수분해법을 사용하였다. 생분해 전후 시료의 외관변화는 현미경으로 관찰하였다. 생분해에 의한 시료의 내부 구조 변화는 X-ray를 사용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 셀룰로오스 섬유 생분해성

##### 3.1.1. 활성하수슬러지에 의한 생분해성

실험 결과 레이온이 친수성이 크고 결정화도가 리넨과 면보다 낮아서 가장 높은 생분해성을 나타내었다. 면은 친수성 섬유지만 결정화도가 높아 레이온에 비해 생분해성이 낮으며, 리넨은 결정화도와 배향도가 높은 섬유이므로 섬유 내부까지 미생물 접근이 어려워 생분해성이 낮은 것으로 생각된다. 아세테이트는 결정화도는 가장 낮지만 친수성을 띠는 분자내 수산화기의 일부분이 친수성이 적은 아세틸기로 치환되었기 때문에 가장 낮은 생분해성을 나타내었다.(Fig. 1)

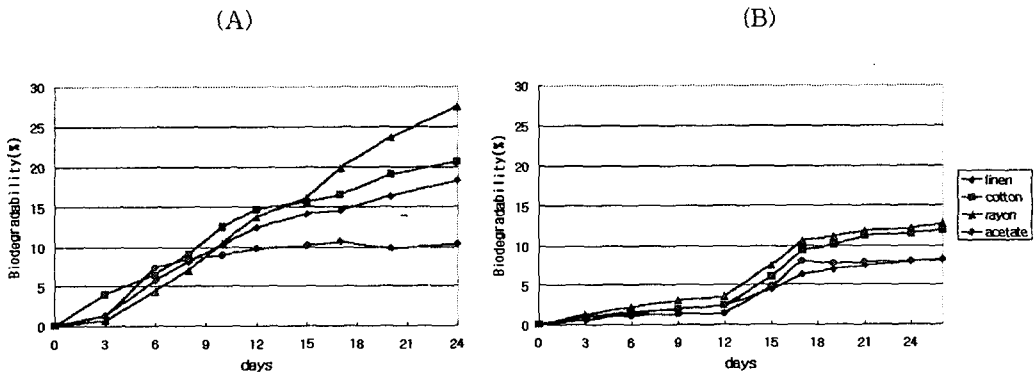


Fig. 1. Biodegradability from Activated Sludge Test. (A):experimental period: Aug. 17th~Sept. 10th, (B):experimental period: Nov. 2nd~Nov. 28th.

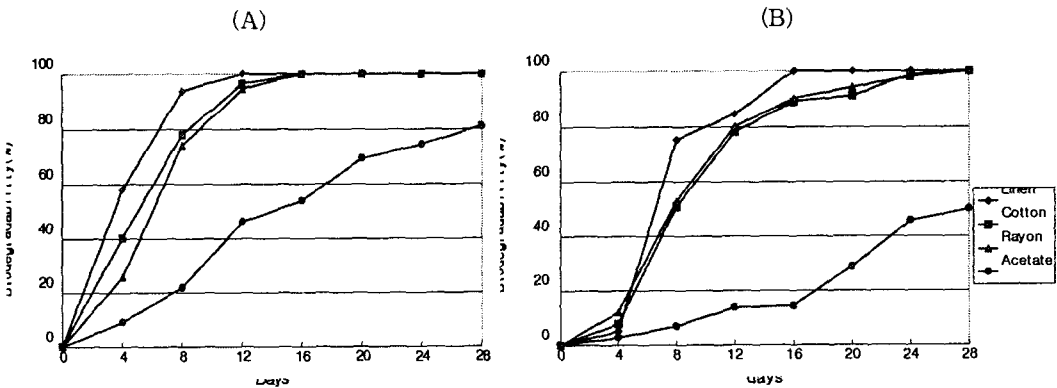


Fig. 2. Biodegradability from Soil Burial Test. (A):experimental period: Aug. 8th~Sept. 5th, (B):experimental period: Oct. 23rd~Sept. 20th.

3.1.2. 토양매립에 의한 생분해성

토양매립 시료의 생분해도는 리넨이 가장 높았고, 면과 레이온은 다음으로 높은 생분해성을 나타내었다. 아세테이트는 가장 낮은 생분해성을 나타내었다. 리넨은 결정화도와 배향도가 높아 생분해에 불리하지만, 시료 중 비셀룰로오스분이 가장 크고, 이러한 비셀룰로오스분은 미생물 이외에 토양 내 생물의 침해를 받기 쉬우며, 실험 중 육안으로 이를 확인할 수 있었다. 실온이 낮은 시기의 실험에서는 활성슬러지 테스트와 유사하게 초기에는 거의 생분해가 되지 않다가 일정 기간 후 분해를 시작하는 유도기간(induction period)이 나타났다. 이는 온도가 낮을 때는 생분해 환경을 조성하는데 어느 정도 시간이 필요하다는 것을 의미한다.(Fig. 2)

3.1.3. 효소에 의한 가수분해

시료를 cellulase로 분해시킨 후 TOC(total organic carbon)을 측정한 결과 레이온>면>리넨>아세테이트 순이었다. 효소는 결정역보다 접근이 쉬운 비결정역에 먼저 작용하기 때문에 비결정량이 상대적으로 많은 레이온이 가장 높은 분해성을 나타내었고, 비교적 결정이 많은 면과 리넨은 낮은 값을 나타내었다. 아세테이트는 결정화도는 낮지만 초산 셀룰로오스 분자로 이루어져 있으므로 다른 시료에 비해 셀룰라아제의 접근이 어려워 가장 낮은 분해율을 나타내었다고 생각된다.(Fig. 3)

효소가수분해에 의한 무게 감소율은 TOC 측정 결과와는 달리 리넨>레이온>면>아세테이트 순으로, 토양매립법에 의한 생분해도 결과와 유사하였다. 리넨의 경우 비셀룰로오스분이 많이 함유되어있기 때문에 필터로 거르는 과정에서 불순물이 소실되어 TOC 값에 비해 무게 감소율이 더 크게 나타난 것으로 생각된다.(Fig. 4)

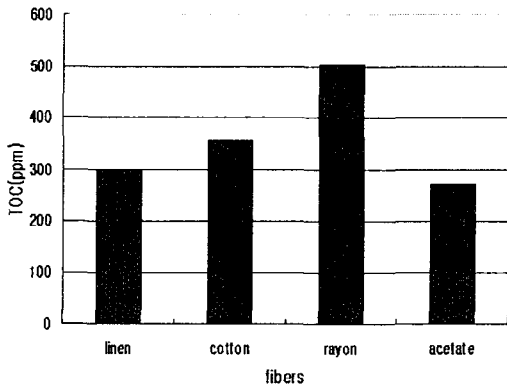


Fig. 3. TOC produced by enzymatic hydrolysis (8.5 hours, 37°C, pH=5.00)

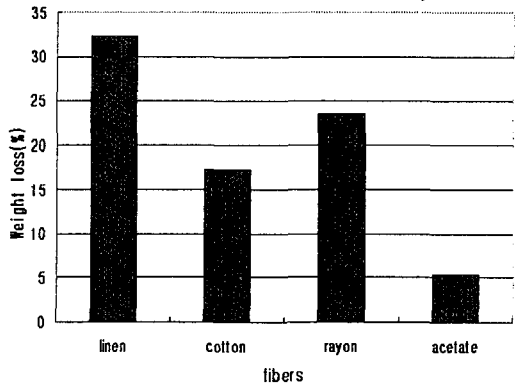


Fig. 4. Weight loss of specimens by enzymatic hydrolysis for 8.5 hours. (37°C, pH=5.00)

3.1.4. 외관변화

토양매립법에 의해 생분해된 시료를 현미경을 통해 100배율로 관찰하였다.(Fig. 5) 시료 모두 생분해 시간이 경과할수록 곰팡이 등의 미생물이 표면에 생겨났으며 섬유가 취약해지는 것을 볼 수 있었다.

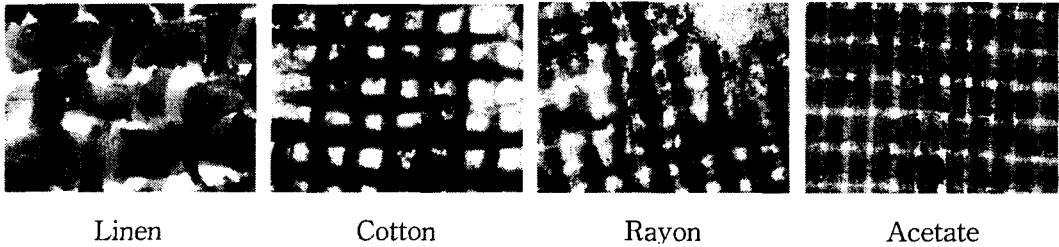


Fig. 5. Microscopic picture of specimens from soil burial test.(20 Days)

### 3.2. 분해시간 경과에 따른 내부구조의 변화

토양매립 시료를 X-ray 회절 곡선을 통해 관찰하고 결정화도를 계산하였다. 리넨과 면은 주요 결정 피크가 분해시간이 경과할수록 높아지다가 시간경과에 따라 다시 낮아지고, 따라서 결정화도가 초기에 높아지다가 시간이 지나면서 낮아지는 경향을 보인다. 이는 생분해 진행에 따라 결정역보다 접근이 쉬운 비결정역이 미생물에 의해 먼저 침식을 당하므로, 처음에는 상대적으로 결정 피크와 결정화도가 높아지다가 분해가 진행되면서 결정 영역에도 침해가 일어나 다시 낮아지는 것으로 생각된다.

### 3.3. 생분해성에 영향을 미치는 요인

생분해성에 영향을 미칠 것으로 추정되는 셀룰로오스 함유의 물성치와 본 연구를 통해 얻어진 실제 시료의 생분해도의 상관관계 분석을 실시하였다. 생분해성에 관계가 있을 것으로 추정되는 셀룰로오스 함유의 물성은 결정화도, 수분율, 셀룰로오스 함량 등이었으나 상관관계 분석 결과 수분율이 활성하수슬러지에 의한 생분해도와 효소가수분해에 의한 생분해도에 가장 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

## 4. 결론

생분해 실험 결과 레이온>면>아세테이트의 순서로 생분해율이 높았으며, 리넨은 토양매립법에서는 가장 생분해성이 우수하였으나, 활성하수슬러지법에서는 면보다 생분해성이 낮아 실험 방법에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 시료의 외관은 매립 시간이 지날수록 미생물이 더 많이 자라고 분해가 더 많이 일어난 것을 볼 수 있었으며, 시료의 내부구조를 X-ray 회절 곡선을 통해 분석한 결과, 리넨과 면은 결정화도가 초기에 다소 높아졌다가 시간이 경과하면서 낮아지는 것을 알 수 있었다. 생분해성에 영향을 미칠 것으로 추정되는 물성치와 실험을 통해 얻어진 생분해도의 상관관계 분석한 결과, 수분율이 생분해도와 가장 높은 상관관계를 나타내었다.

## 5. 참고문헌

- (1) R. A. Young, R. M. Rowell, Cellulose-structure, modification and hydrolysis, A Wiley-interscience publication, 1986.
- (2) E. Y. Kim, C. H. Park, Hydrophilicity and biodegradability of polyesteramides, J. Korean Soc. Clothing and Textiles, 25(7), pp.1270-1280(2001).