

## 면/폴리에스터 혼방직물의 생분해성 평가

이승현 · 박정희 · 임승순\*

서울대학교 의류학과, \*한양대학교 섬유고분자공학과

### Biodegradation of Cotton/Polyester Blends

Seung-hyun Lee · Chung Hee Park · Seung Soon Im\*

Dept. of Clothing & Textiles, Seoul National University

\*Dept. of Textile Engineering, Hanyang University

(2004. 8. 24. 접수)

#### Abstract

Biodegradability of cotton/polyester blend fabric was investigated employing activated sludge test, soil burial test and enzyme hydrolysis. Surface changes of the degraded samples were observed through a microscopy. Changes in X-ray diffraction patterns and crystallinity were examined using X-ray diffractometer. Experimental results revealed that biodegradability of cotton/polyester blend fabric was proportional to the blending ratio of cotton, not showing any synergy effect. Polyester 100% hardly degraded in this study. Through the comparison of the experimental methods it was shown that the biodegradabilities determined from activated sludge test and enzymatic hydrolysis except soil burial test were linearly related to the blending ratio of cotton in the blend fabrics. It is probably because the biodegradability determined from the retention of tensile strength of fabrics buried in soil was affected by the stress distribution of polyesters throughout the fabric. From the microscopic observations it was revealed that fungi were grown on the fabric surface and the colors turned yellow, brown and black. X-ray diffraction patterns showed that the heights of crystalline peak coming from cotton part in blend fabrics decreased whereas those coming from polyester part increased comperatively as time passed by. Crystallinities of cotton 100% fabric increased slightly at the beginning and then decreased continuously.

**Key words:** Environment friendliness, Biodegradation, Blend fabric, Crystallinity; 환경친화성, 생분해, 혼방직물, 결정화도

### I. 서 론

섬유의 생분해 거동에 영향을 미치는 요인으로 예상되는 것은 섬유의 결정화도와 배향도, 분자의 중합도, 섬유의 친수성과 소수성 정도, 매립 토양의 상태, 분해에 관여한 미생물의 종류 및 상태 등이 있다. 지금까지 알려진 고분자의 생분해성에 대한 선행 연구

본 연구는 한국과학재단의 기초과학연구사업 연구비 지원(R01-1999-00194)으로 수행된 연구 결과로서 연구비 지원에 감사드립니다.

들에 의하면 고분자 물질의 화학적 구조에 따라 생분해가 결정되며, 생분해 속도 등은 그들의 물리적인 성질에 의해 크게 영향을 받는다. 고분자의 분자량과 결정화도, 배향도, 중합도가 낮을수록, 그리고 친수성이 높을수록 생분해가 잘 일어나는 것으로 알려져 있다. 이러한 생분해에 영향을 미치는 요인 중 대부분은 내부구조에 기인하고 있으며, 시료의 두께, 시료의 형태, 표면적의 크기는 생분해도에 영향을 미치지 않는다고 알려져 있다(김말남, 김근화, 1997).

의류 제품의 소재로 널리 사용되고 있는 천연섬유와

합성섬유는 혼방직물로도 많이 사용되고 있는데, 면/폴리에스터는 대표적인 혼방직물 중 하나이다. 셀룰로스를 주성분으로 하고 있는 면은 결정화도가 높고 배향성이 좋으며, 분자 내에 극성기인 수산기(-OH)를 가지고 있어 친수성이 높은 섬유이기도 하다. 또한 자연 상태에서 분해가 잘 일어나는 편이어서 환경친화적인 섬유라고 알려져 왔다. 합성섬유 중 가장 높은 비율을 차지하고 있는 폴리에스터 섬유(PET)는 분자구조 내에 방향족을 가지고 있고, 치밀한 결정구조를 가지며 주쇄 중의 카르보닐결합이나 말단 카르복실기만이 수소결합의 가능성이 있으나 반응 정도는 미미해 흡습성이 거의 없다. 따라서 수분의 접근성과 침투정도가 생분해에 유리하게 작용한다고 볼 때, 미생물에 의한 분해반응은 전혀 기대하기 어렵다. 이러한 분자 내 특성으로 인해 의류사용 후 폐기 과정에서 환경오염에 심각성을 더하고 있다.

Goheen, Wool(1991)은 전분-폴리에틸렌 공중합의 토양매립 시 생분해성 특성에서 총 분해시간 240일 중 모든 시료가 초기 40일간 대부분 무게감소를 나타내었다고 보고하고 있다. 그리고 Goynes 외(1995)는 면/폴리프로필렌 혼방 부직포로 98일간 실험한 결과 면/폴리프로필렌 80/20이 48%, 70/30은 17%, 50/50은 2%, 25/75는 0%의 인장강도 감소율을 보였고, 이 역시 초기 14일간 대부분의 강도 소실율을 나타내었다. Wu(2003)는 전분과 생분해성 고분자 폴리카프로락톤을 합성한 후 토양매립으로 생분해성을 측정할 결과 540일 동안의 무게감소율이 전분/폴리카프로락톤 50/50이 60%, 20/80은 18%를 보였다고 보고한 바 있다. 이에 반해 Duckett(1996)에 의하면 면/아세테이트 혼방 부직포의 50일간 활성하수슬러지법에 의한 생분해도 측정 결과에서 면/아세테이트 50/50이 면직

물 100%와 아세테이트 100%보다 이산화탄소량에 의한 생분해도가 2배 정도 높게 나타났다. 그리고 Park et al.(2003)은 지방족 폴리에스터 소수성 고분자에 친수성 아미이드를 공중합시켜 친수성의 변화에 따른 공중합체 필름의 생분해도를 평가한 결과에서 지방족 폴리에스터와 친수성 아미이드를 공중합시킨 것이 지방족 폴리에스터 필름에 비해 TOC가 어느 정도까지 증가하다 다시 낮아지는 것을 보였다. 이를 통해 친수성-소수성의 균형 정도가 생분해도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는, 대표적인 의류용 혼방직물인 면/폴리에스터 혼방시료로 생분해성을 평가하였다. 면 100%, 면/폴리에스터 60/40, 50/50, 35/65, 폴리에스터 100%의 다섯 종류의 시료와 혼방직물과의 비교를 위한 고직물 70/30을 이용해 토양매립법, 활성슬러지법을 통한 CO<sub>2</sub> 정량 및 효소가수분해법을 사용하여 생분해 방법에 따른 혼방직물별 분해거동을 비교하였다. 또한 X-ray를 통해 생분해 시간경과에 따라 혼방시료의 내부구조 변화를 분석하였다. 또한 생분해 조건 및 기간에 따른 결정화도의 변화를 통해 셀룰로오스섬유의 내부구조와 생분해성의 관계를 고찰하였다. 이로써 혼방직물을 사용한 의류제품의 환경친화성 연구에 기초 자료로 활용하는데 기여하고자 하였다.

## II. 실험

### 1. 시료 및 시약

#### 1) 시료

면직물 100%, 면/폴리에스터 혼방직물 60/40, 35/

Table 1. Characteristics of fabrics

|                                | Cotton 100% | Cotton /Polyester 60/40 | Cotton/ Polyester 50/50 | Cotton /Polyester 35/65 | Polyester 100% | Cotton/Polyester 70/30 (warp:Cotton weft:Polyester) |
|--------------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|---|
| Weave                          | sateen      | 2/1 twill               | 4/1 twill               | 2/1 twill               | plain          | twill   |
| Yarn number(Ne)                | 40×40       | 20×36                   | 20×48                   | 34×18                   | 70×70          | 30×48   |
| Fabric counts (ends×picks/5cm) | 150×80      | 85×50                   | 133×73                  | 145×70                  | 210×191        | 130×88  |
| Thickness(mm)                  | 0.378       | 0.478                   | 0.595                   | 0.348                   | 0.095          | 0.280   |
| Weight(g/m <sup>2</sup> )      | 144.38      | 192.78                  | 364.84                  | 161.56                  | 68.52          | 141.76  |

65는 B사에서 생지를 제공받아 사용하였고, 면/폴리에스터 혼방직물 50/50은 D사로부터 제공받은 생지를 사용하였다. 폴리에스터 100%는 KS K 0905에 규정된 섬유류 제품의 염색 건뢰도 시험용 첨부 백포(한국 의류시험 검사소)를 사용하였다. 면/폴리에스터 교직물 70/30은 K사에서 제공받은 생지를 사용하였다. 각 시료는 정련 후 사용하였다.

각 직물의 특성은 <Table 1>과 같다.

## 2) 시약

효소가수분해 실험에 사용된 효소는 *Trichoderma viride*로부터 얻은 'Cellulase'(SIGMA CHEMICAL CO.)를 사용하였다. 그 밖의 시약은 특급 및 일급을 사용하였다.

## 2. 실험방법

### 1) 생분해성 평가

#### (1) 활성하수슬러지법(activated sludge test)

ASTM D 5209-92에 따라서 이산화탄소 제거장치와 이산화탄소 포집장치를 구성하였다. 활성하수슬러지는 중량천 하수처리사업소에서 채취하여 배양, 교반 후 침전시킨 상등액을 취하여 접종액으로 사용하였다. 이 장치를 통해 얻어진 이론적 이산화탄소 발생량에 대한 실제 이산화탄소 발생량의 백분율(%)로 생분해도를 계산하였다.

#### (2) 토양매립법(soil burial test)

AATCC Technical Method 30-1993에 제시된 실험방법을 참고하여 시료를 자연토양을 담은 상자에 묻어 분해하고, 분해하는 동안 일정 간격으로 일정량의 수분을 공급하였다. 분해 후 시료를 꺼내어 증류수로 가볍게 세척한 후 건조한 후, crosshead speed 5cm/min, 하중 500kg인 조건에서, SINTECH1G(MTS)을 사용하여 토양매립 전, 후의 시료의 절단강도를 측정하였다. 생분해도는 인장강도 소실율로써 평가하였다.

#### (3) 효소가수분해(enzymatic hydrolysis)

칭량병에 1g의 시료와 8ml의 acetate buffer (acetic acid/sodium acetate, pH 5.00)를 넣고 37°C에서 2시간 동안 배양한 1000CU(Cellulase Unit)의 셀룰라제를 첨가하였다. 이때 효소를 넣지 않고, 시료와 acetate buffer용액만을 넣은 것을 control로 하여 효소의 영향을 통제하였다. 37°C의 항온기에서 6일 동안 효소 분해시킨 후, 남은 시료를 여과하여 진공오

븐에서 향량이 될 때까지 건조시킨 다음 효소가수분해에 의한 무게 감소를 측정하여 생분해도를 계산하였다. 무게 감소에 의한 분해도는 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{weight loss (\%)} = \frac{A - R_s}{A} \times 100$$

A : the weight of specimen before enzyme hydrolysis

R<sub>s</sub>: the weight of specimen after enzyme hydrolysis

### 2) 외관 변화 관찰

생분해 전후 시료 표면의 외관 변화를 알아보기 위해 주사전자현미경(SEM, JEOL JSMT-20)을 사용하여 1500배율로 관찰하였다. 디지털카메라(Pentax optio 330GS)로 전체적인 외관 변화를 관찰하였다.

### 3) 내부구조 변화

생분해 전후 혼방 시료의 내부 구조의 변화를 알아보기 위해 1×1cm<sup>2</sup> 크기로 잘라 X-ray Diffractometer (M18XHF-SRA, Mac Science Co.)를 사용하여 40kV, 200mA, 8kw2θ: 5-35°, scanning speed 5°/min의 처리 조건에서 시료의 회절 패턴을 구하였다. 얻어진 회절 패턴으로부터 면직물 100%의 생분해 전과 생분해 시간 경과에 따른 결정화도를 각각 계산하여 생분해가 시료 내부의 결정에 미치는 영향을 관찰하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 혼방비율에 따른 혼방직물의 생분해성

#### 1) 활성슬러지법(activated sludge test)에 의한 생분해성

<Fig. 1>은 기간이 다른 두 차례의 활성하수슬러지법에 의한 생분해 실험 결과이다. 면 100%의 경우 40일 경과 후 약 50%의 분해도를 보였으며, 폴리에스터 100%의 경우 1% 미만의 분해도를 보였다. 면/폴리에스터 혼방직물 60/40은 대략 28%, 50/50은 24%, 35/65는 14% 정도의 분해도를 보였다.

혼방직물과 교직물의 생분해도를 비교하기 위해 면/폴리에스터 70/30 교직물을 동일한 조건에서 분해시킨 결과, 1차 실험(A)에서는 40일 경과 후 약 32%로 나타났다.

두 차례의 실험 모두 30±2°C의 반응조에서 행한 실험이지만 슬러지를 채취한 시기에 따라 미생물의 양이 달라지므로 다소 생분해도에 차이를 보였다.

두 번의 실험 모두에서 친수성이 높은 면직물만 분해 되었으며, 혼방직물의 생분해도는 면직물의 혼방 비율에 비례하는 것을 알 수 있었다. 폴리에스터 섬유는 주쇄나 측쇄에 친수성 구조를 가지고 있지 않고 방향족으로 이루어져 구조가 치밀한 소수성 섬유이므로, 생분해가 거의 이루어지지 않았다.

2) 토양매립법(soil burial test)에 의한 생분해성

<Fig. 2>는 토양에 매립한 시료를 인장강도 감소율 로써 생분해도를 나타낸 결과이다. 1차 실험(A)에서 면 100%가 20일이 되자 인장강도 감소율에 의한 생분해율이 100%를 나타내었고, 면/폴리에스터 혼방직물 60/40은 40일 경과 후 약 42%, 50/50은 16%, 35/65는 12%를 나타내었고, 폴리에스터 100%는 거의 0%에 가까웠다. 2차 실험(B)에서는 면 100%가 16일이 되자 인장강도 감소율이 100%를 나타내었고, 면/

폴리에스터 혼방직물 60/40은 40일 경과 후 약 35%, 50/50은 15%, 35/65는 10%를 나타내었다. 2차 실험 역시 폴리에스터 100%는 40일 동안 거의 분해되지 않았다. 1차 실험에서는 면 100%가 초기 분해정도에 비해 2차 실험에서는 처음부터 감소율 100%에 이르기까지 그래프상의 분해율이 거의 직선형태를 보여 매우 빠른 분해속도를 나타내었다. 이는 두 실험의 시기가 각각 달라서 실험실 내부의 온도와 습도 차이가 결과에 영향을 미친 것으로 생각된다. 토양 내에 존재하는 미생물은 대부분 온도와 습도가 높을수록 활동이 활발하므로 습도와 온도가 높은 시기에 행해진 2차 실험의 결과 더욱 빠른 분해속도를 보인 것이라고 사료된다. 그러나 폴리에스터는 방향족을 가지고 있는 소수성 섬유로 고온 다습한 환경 속에서도 미생물의 접근이 어려워 거의 분해되지 않은 것으로 생각된다.

토양매립법에 의한 생분해도는 시료 중의 면섬유 혼방 비율보다 낮은 것을 알 수 있었다. 이는 혼방 시료 중 면이 미생물에 의해 선택적으로 분해되었어도

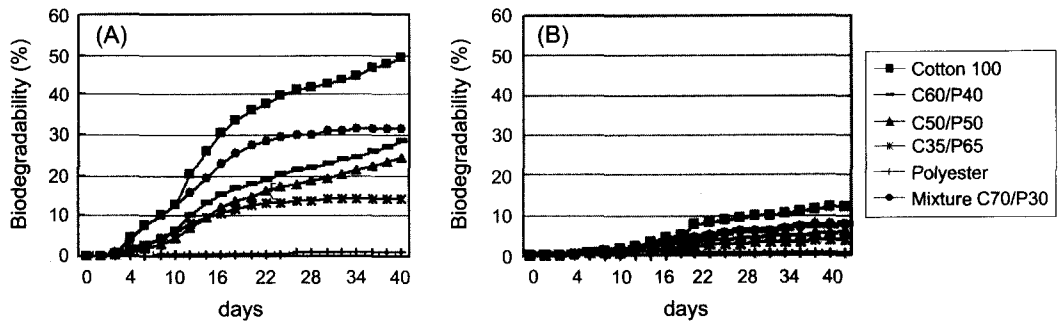


Fig. 1. Biodegradability from Activated Sludge Test. (A):experimental period: May 29th~July 7th, (B):experimental period: Sept. 28th~Nov. 9th.

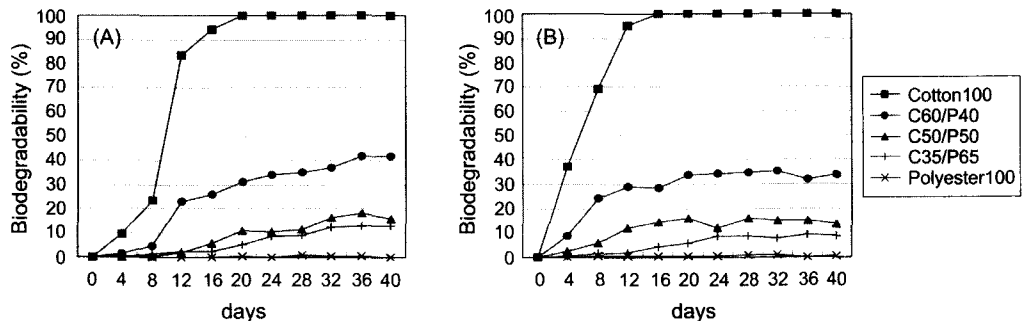


Fig. 2. Biodegradability from Soil Burial Test. (A):experimental period: April 17th~May 27th, (B):experimental period: Aug. 18th~Sept. 27th.

폴리에스터에 의해 내부응력이 균일한 분포를 이루어 실제적인 인장강도 감소율이 낮아지기 때문인 것으로 사료된다.

교직물은 예비실험 결과 3주 동안 매립 후 경사방향에 사용된 면은 인장강도 감소율이 100%이었고, 위사방향에 사용된 폴리에스터는 0%에 가까워 혼방섬유의 생분해도가 경·위방향으로 고르게 나타나는 것에 비해 교직물의 경방향은 면의 생분해성을 위방향은 폴리에스터의 생분해성을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

3) 효소가수분해(enzymatic hydrolysis)

<Fig. 3>은 시료를 셀룰라제 용액에 넣고 일정시간 동안 효소가수분해 후 시료의 무게 감소율로 생분해도를 계산한 결과이다.

효소가수분해에 의한 무게 감소율은 약 6일 경과 후 면 100%가 24.7%, 면/폴리에스터 60/40은 15.1%, 50/50은 9.1%, 35/65는 6.3%, 교직물 70/30은 15.1%를 나타내었고, 폴리에스터 100%는 전혀 분해되지 않았다. 혼방직물의 분해정도는 활성슬러지법에 의한 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 면직물 100%와 비교해 시료 중 면의 혼방비율정도에 비례하여 생분해도를 나타내는 결과를 보였다. 교직물 70/30은 면/폴리에스터 60/40과 분해 결과가 거의 같은 값을 보여, 슬러지 실험 결과와 비교해 보았을 때 비슷한 경향을 나타내었다. 임승순(2003)의 지방족 폴리에스터의 생분해에 미치는 구조 및 형태학적 영향에 관한 연구 중 지방족 폴리에스터 필름의 효소에 의한 생분해성 거동을 보면 분해 초기에는 비결정 영역의 분해가 먼저 이루어져서 결정화도에 의해 크게 좌우되어 생분해가 빠르게 나타나지만, 장기적인 분해 시 생분해도는 시료의 화학조성에 크게 의존하는 것으로 나

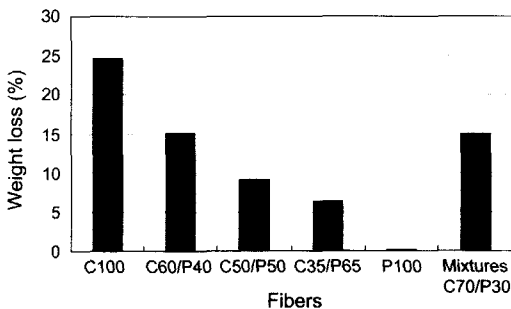


Fig. 3. Weight loss of specimens hydrolysed by enzyme for 6 days.(37°C. pH=5.00)

타났다. 교직물 70/30의 생분해도는 소정 시간 경과 후 혼방직물 60/40의 생분해도와 유사해 직물의 형태보다는 화학조성에 따라 생분해도가 결정됨을 알 수 있었다.

4) 생분해 방법에 따른 비교

<Fig. 4>는 40일 동안 생분해된 시료의 생분해성을 생분해 방법별로 비교해 본 결과이다. 활성하수슬러지법과 토양매립법은 1차 실험 결과의 일정시간 경과 후 생분해 값을 나타낸 것이다. 생분해 방법에 따른 결과의 비교를 위해 면직물 100%의 생분해 값의 최대치를 생분해도 100%로 보고 나머지 시료는 그에 맞게 환산하여 나타내었다.

활성슬러지법과 효소분해에 의한 생분해도는 시료 중 면의 혼방비율에 직선적으로 비례하는 결과를 나타냈으나, 토양매립 후 인장강도 감소율로 본 생분해도는 시료중의 면의 혼방비율에 비해 낮은 값을 나타내었다.

활성슬러지법에 의한 생분해도는 시료로부터 발생하는 이산화탄소량으로 생분해도를 계산한 것으로 화학적 조성에 따라 친수성기를 가진 면의 함유 비율 정도가 곧 생분해도를 나타내었다. 토양매립에 의한 생분해도는 인장강도 감소율로 나타내었는데, 인장강도 측정시 폴리에스터에 의한 집중적인 weak point가 생기기 어려워 활성슬러지법에 의한 생분해도와 비교해 낮은 결과를 보였다. 이 결과로 인해 면/폴리에스터 혼방직물의 생분해성 측정 시 매립 후 인장강도에 의한 생분해도 결과는 한계점을 가진다는 것을 알 수 있었다. 효소가수분해법에 의한 생분해도는 셀룰라제로 분해를 시킨 후 무게감소율을 나타낸 것으로 시료 중 면의 비율정도가 곧 생분해도를 나타내어 활성하수슬러지법과 유사한 경향을 보였다.

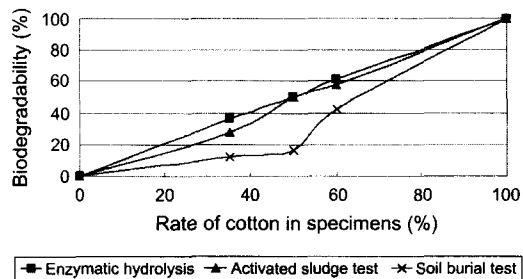


Fig. 4. Effect of biodegradation methods.

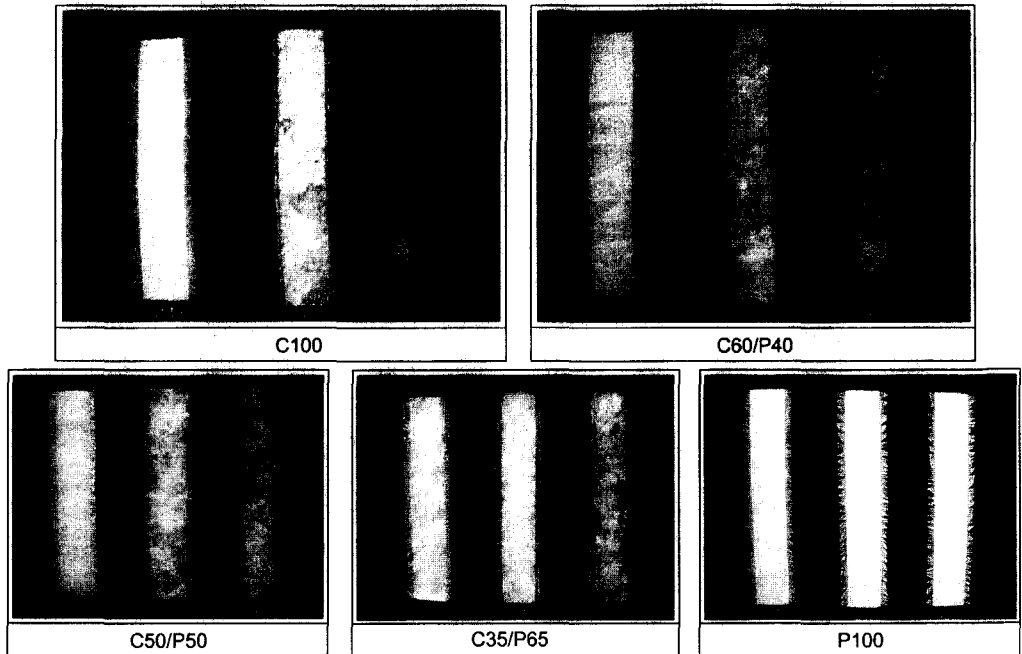


Fig. 5. Photographs of specimens from soil burial test.

## 2. 분해시간 경과에 따른 외관 및 결정화도 변화

### 1) 토양매립법에 의한 외관 변화

<Fig. 5>는 생분해 시간 경과에 따른 외관 변화를 관찰하기 위해 토양매립법에 의해 생분해된 시료를 디지털 카메라로 전체적인 외관 변화를 관찰한 것이다. 폴리에스터 100%를 제외한 모든 시료에서 생분해 시간이 경과할수록 표면에서 곰팡이 등 미생물이 관찰되었으며, 직물이 얇아지면서 투명해지는 것을 볼 수 있었다.

### 2) X-선 회절 곡선

<Fig. 6>은 토양매립 시간 경과에 따른 시료의 X-ray 회절 곡선이다. (A)는 면 100% 시료의 회절곡선으로  $2\theta=22.8^\circ$ 에서 나타나는 (002)면의 주요 결정 피크가 토양매립에 의한 분해시간이 경과할수록 높아지다가 어느 정도 시간이 지나면 다시 낮아지는 것을 관찰할 수 있다. 이는 생분해가 진행됨에 따라 비교적 접근하기 쉬운 섬유내부의 비결정 영역이 토양 내 미생물에 의해 먼저 침식을 당하므로 처음에는 상대적으로 결정피크가 높아지다가 분해가 진행되면서 결정영역도 침해가 일어나게 되어 결정 피크 높이가

다시 낮아진 것으로 생각된다. 토양매립과 비교해보면 6일간 셀룰라제에 의해 분해된 시료의 결정피크가 토양에 매립 후 20일이 경과한 시료의 결정피크와 유사한 값을 보이는 것으로 나타났다. 이는 토양매립은 미생물이 활성을 가지는데 드는 유도기간이 필요한데 비해 효소분해 실험은 섬유를 분해하는 효소를 고농도로 가해 행해지는 실험으로 초기 분해속도가 빠르기 때문이다.

(E)는 폴리에스터 100% 시료의 회절 곡선이다. 폴리에스터는 삼사정의 결정구조를 가지며,  $17.5^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $25.6^\circ$  부근에서 각각 (010), (110), (100)면의 회절 피크를 보인다. 폴리에스터 100%는 X-ray 회절 곡선의 변화가 거의 나타나지 않아 앞서 여러 실험에서 거의 분해가 일어나지 않는다는 결과를 뒷받침 해주고 있다.

(B), (C), (D)는 면/폴리에스터 혼방직물의 회절 곡선으로 면과 폴리에스터에서 나타나는 특정 피크를 모두 관찰할 수 있다. 시간이 경과함에 따라 (002), (101),  $(10\bar{1})$ 면에 기인한 면의 결정 피크가 현저하게 낮아지고, 폴리에스터 (010), (100)면은 상대적으로 두드러지는 경향을 볼 수 있다. 이는 생분해 시 혼방직물에서 폴리에스터는 분해되지 않고 남아 있고, 면이 선택적으로 분해된다는 것을 보여주는 결과라고 사료된다.

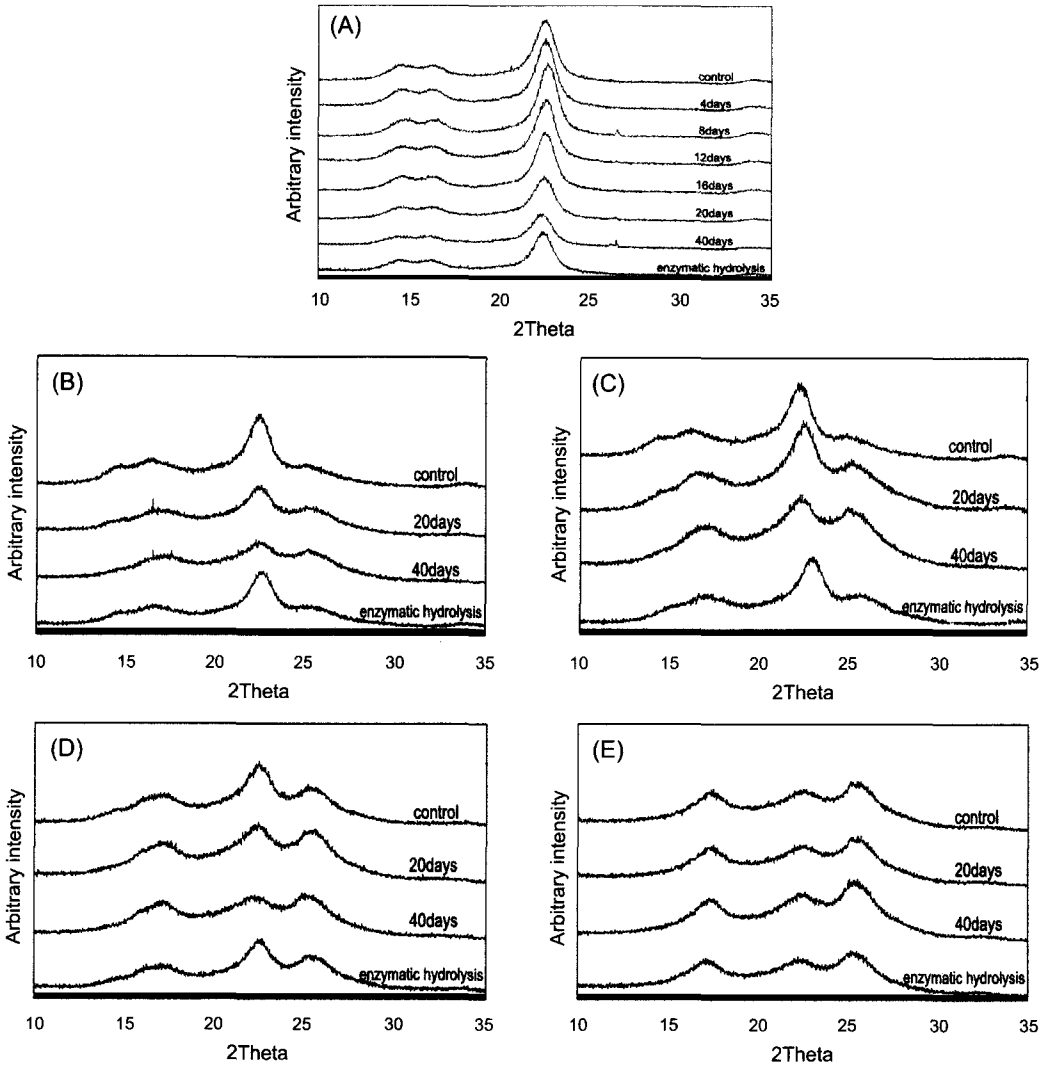


Fig. 6. X-ray diffraction pattern of specimens. (A) : C100, (B) : C60/P40, (C) : C50/P50, (D) : C35/P65 (E) : P100

3) 100% 면직물의 결정화도 변화

<Fig. 7>은 토양매립과 효소분해 시간 경과에 따른 면 100% 시료의 내부구조 변화에 대해 좀 더 자세하게 분석해보기 위해 X-ray 회절 곡선을 이용하여 simple indices를 이용하여 계산한 결정화도 결과를 나타낸 것이다.

<Fig. 7>은 1차 토양매립한 시료의 결정화도 변화이고, <Fig. 8>은 무게변화를 나타낸다. 그 결과 초기 결정화도가 다소 높아졌다가 생분해 시간이 증가할수록 다시 감소하였는데, 무게변화가 현저하게 떨어

지는 것에 비해 결정화도는 크게 낮아지지 않은 것을 알 수 있다. 생분해 초기에는 결정 영역에 비해 미생물 접근이 비교적 쉬운 비결정 영역의 분해가 먼저 일어날 것으로 기대된다. 따라서 초기에는 전체 질량에 비해 결정부분의 비율이 커지므로 상대적으로 결정화도가 높아졌다가 생분해가 진행되면서 결정영역도 침해를 받음으로써 결정화도가 점차 낮아지는 것으로 사료된다. 분해가 진행되면서 면직물 내부의 결정영역이 두드러지게 무질서해지는 것은 아니지만 토양속에서 박테리아, 균 등의 여러 미생물에 의한

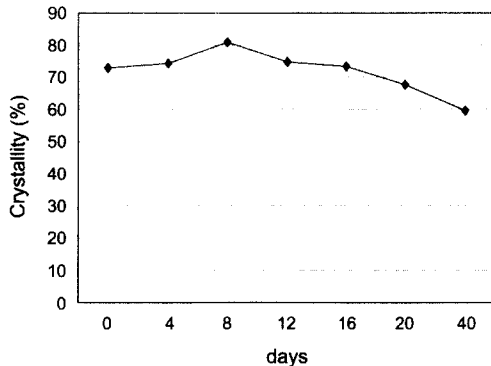


Fig. 7. Crystallinity of cotton 100% from soil burial test.

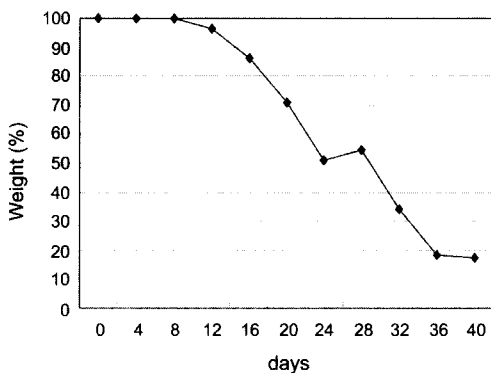


Fig. 8. Weight change of cotton 100% from soil burial test.

집중적인 공격으로 weak point가 생기고, 결정이 점차적으로 해리되면서 일정시간이 지난 후 무게감소가 커지는 것으로 사료된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 의류제품에 주로 사용되는 면/폴리에스터 혼방직물을 이용하여 토양매립법, 활성하수슬러지법, 효소분해법 등의 방법을 사용하여 혼방물과 생분해방법에 따른 생분해성이 어떠한 차이를 보이는지 관찰하였다. 그리고 생분해 시간 경과에 따른 시료의 외관변화를 관찰하기 위해 디지털카메라와 SEM으로 관찰하였다. X-ray를 사용하여 혼방시료의 생분해 조건 및 시간경과에 따른 회절패턴의 변화를 분석하고 이로부터 결정화도를 계산하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 활성하수슬러지법 및 효소가수분해에 의한 혼방직물의 생분해도는 시료 중 면의 혼방비율에 비해 직선적으로 비례하는 것으로 나타났다.

2. 토양매립법에 의해 인장강도 감소율로 본 혼방직물의 생분해도는 시료 중 면의 혼방비율보다 낮은 생분해성을 나타내었다.

3. 토양매립에 의해 생분해된 시료를 디지털카메라와 SEM 사진으로 관찰한 결과 매립 시간이 지날수록 면직물 100%는 형태 변형이 심하게 일어났으며, 면/폴리에스터 혼방직물은 미생물이 시료를 완전 뒤덮은 것은 볼 수 있으나 형태변형은 관찰되지 않았다.

4. 토양매립에 의해 생분해된 시료를 X-ray 회절곡선을 통해 분석한 결과 시간 경과에 따라 면직물 100%는 주요 결정피크가 높아지다가 다시 낮아지고, 면/폴리에스터 혼방직물은 면의 주요 결정피크가 현저히 낮아지고, 폴리에스터의 결정피크가 상대적으로 두드러지는 경향을 볼 수 있었다. 폴리에스터 100%의 결정피크는 거의 변화가 없었다.

5. X-ray 회절 곡선을 이용하여 계산한 100% 면직물의 결정화도는 토양매립 시간 경과에 따라 초기에 높아졌다가 다시 낮아지는데, 무게변화가 현저하게 감소하는 것에 비해 결정화도는 크게 낮아지지 않는 것을 관찰할 수 있었다.

이상의 결과로서 면/폴리에스터 혼방직물을 자연계에서 분해시켰을 때, 시료 중 면만 분해되어 없어질 뿐 폴리에스터는 그대로 남아 있다는 사실을 알 수 있었다. 혼방직물의 폐기 시 이러한 특성을 고려하여 분해 환경을 조성하는 것이 필요하다. 면직물 100%의 결정화도 변화를 통해 토양매립의 경우 초기 결정화도가 높아지는 경향을 알 수 있었고 효소분해의 경우는 결정화도 변화가 거의 관찰되지 않았다. 그러나 결정화도만으로 생분해에 의한 시료의 내부구조 변화를 대표하기에는 미흡한 점이 있었다. 따라서 이에 후속 연구에서는 결정화도 변화 이외에 생분해에 의한 결정 크기, 또는 결정격자 간격의 변화 등 더욱 다양한 분석을 통하여 명확한 내부구조 변화의 관찰이 첨가되어야 한다고 생각된다.

#### 참고문헌

장연경, 박정희, 임승순. (2002). 셀룰로오스계 직물의 생분해성 평가. *한국섬유공학회지*, 39(3), 284-281.



- 김갈남, 김근화. (1997). 활성오니 미생물에 의한 PLLA와 그 블렌드의 생분해. *한국환경미생물학회지*, 15(2), 195-200.
- 김인범, 이명천, 서인선, 신평균. (1995). 물성에 따른 고분자의 생분해도 영향. *Polymer(Korea)*, 19(6), 727-733.
- 김성련. (1993). *피복재료학*, 교문사.
- 류강은, 김영백. (1998). 고분자의 생분해. *Polymer Science and Technology*, 9(6), 464-473.
- 민경희. *섬유질 문화재의 미생물에 의한 훼손*. 문화재청.
- 박상순, 정재호, 임대우, 임승순. (1996). Poly(ethylene succinate-co-ethylene terephthalate)공중합물의 미세구조와 결정화거동. *폴리머*, 20(1), 87-95.
- 박영환. (1991). 생분해성 고분자-생분해성에 대한 화학적 구조 및 형태학적 미세구조의 효과. *한국섬유공학회지*, 28(1), 9-17.
- 박태준, 유승훈, 조현태. (1998). 폴리에스테르 섬유의 구조와 염색성(I). *한국섬유공학회지*, 35(12), 781-787.
- 박홍수, 김영호. (1991). NaOH 전처리가 면직물의 효소분해에 미치는 영향. *한국섬유공학회지*, 28(8), 102-113.
- 이대수. (1998). 고분자의 화학적 분해와 재활용. *Polymer Science and Technology*, 9(6), 458-463.
- 이명자, 이명천, 신평균. (1998). PCL/PLA 블렌드의 물성 및 생분해도에 관한 연구. *폴리머*, 22(1), 93-98.
- 임경울, 윤기중, 박영환. (2000). 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)/폴리카프로락톤 공중합체의 모폴로지와 생분해성에 관한 연구. *한국섬유공학회지*, 37(1), 1-11.
- 임승순. *지방족 폴리에스테르의 생분해성에 미치는 구조 및 형태학적 영향*.
- 조길제, 배소영, 김형우, 박병기, 脇田登美司. (1998). 면섬유의 수산화나트륨, 액체 암모니아 전처리와 효소처리가 섬유의 내부구조 변화 및 염색성에 미치는 영향. *한국섬유공학회지*, 35(6), 362-369.
- 한국섬유공학회. (2001). 최신합성섬유. *한국섬유공학회*.
- AATCC Technical Method 30-1993. *Antifungal activity*. Assessment on textile materials: Mildew and Rot resistance of textile materials.
- ASTM Standard Test Method D 5209-91. *Standard test method for determining the aerobic biodegradation of plastic materials in the presence of municipal sewage sludge*.
- Chidambareswaran, P. K., Sreenivasan, S. & Paril, N. B. (1979). Communications to the editor-Quantitative X-ray phase analysis in cotton through simple indices. *Textile Research Journal*, (8), 493-494.
- Goheen, S. M. and Wool, R. P. (1991). Degradation of polyethylene-starch blends in soil. *Journal of Applied Polymer Science*, 42, 2691-2701.
- Goynes, W. R., Moreau, J. P., Delucca, A. J. & Ingber, B. F. (1995). Biodeterioration of nonwoven fabrics. *Textile Research Journal*, 65(8), 489-494.
- Park, C. H. Kim, E. Y. Yoo, Y. T. & Im, S. S. (2003). Effect of hydrophilicity on the biodegradability of polyesteramides. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(10), 2708-2714.
- Park, C. H. Kang, Y. K. & Im, S. S. (2004). Biodegradability of cellulose fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(1), 248-253.
- Worthington Cellulase, <http://www.worthington-biochem.com/CEL>.
- Wu, C. S. (2003). Physical properties and biodegradability of maleated-polycaprolactone/starch composite. *Polymer Degradation and Stability*, 80(2003), 127-134.