

## 실리콘 처리한 면직물의 생분해성

김보형 · 박정희 · 임승순\*

서울대학교 생활과학대학 의류학과

\*한양대학교 공과대학 섬유공학과

### Biodegradabilities of Cotton Fabrics Treated with Silicones

Bo Hyung Kim · Chung Hee Park · Seung Soon Im\*

Dept. of Clothing & Textiles, Seoul National University

\*Dept. of Fiber & Polymer Engineering, Hanyang University

(2003. 7. 8. 접수)

#### Abstract

Hydrophilicities of finished cotton fabrics were evaluated in respect of moisture regain and wickability. Changes in internal structure were determined using X-ray diffraction and surface changes in degraded samples were observed through a microscopy. Activated sludge test, soil burial test and enzyme hydrolysis were employed to evaluate the biodegradabilities. In addition, correlation analysis was done between biodegradabilities and the factors affecting biodegradability in each evaluation methods. It was shown that hydrophilicities of silicone finished specimens were lower than that of untreated cotton and decreased in a row of PDMS(polydimethyl siloxane :  $-\text{CH}_3$ )>AFS(amino functional siloxane :  $-\text{C}_3\text{H}_6\text{NHC}_2\text{H}_4\text{NH}_2$ )>MHPS(methylhydrogen polysiloxane :  $-\text{H}$ , Cat :  $(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_2\text{Zn}$ ) Although, moisture regain of mercerized cotton was higher than those of the others, wickability was shown to be lower. It was represented that crystallinities of cotton fabrics decreased by the silicone treatment. In activated sludge test and soil burial test, biodegradabilities of silicone treated specimens were lower than that of untreated cotton, where specimens of higher biodegradability exhibited higher biodegradabilities except mercerized ones. The results from enzyme hydrolysis, however, showed somewhat different tendency in that biodegradability was more closely related with the crystallinities of fabrics. It can be thought that enzyme hydrolysis is carried out for short time, physical accessibility becomes important.

**Key words:** Biodegradability, Silicone, Mercerization, Cotton fabric, Hydrophilicity; 생분해성, 실리콘, 머서화가공, 면직물, 친수성

#### I. 서 론

생활수준의 향상과 의생활의 다양화 속에 의류제품이 고급화되고 있다. 이에 따라 많은 신소재가 등

본 연구는 서울대학교 발전기금 및 간접연구경비에서 지원된 연구비와 한국과학재단의 기초과학연구사업 연구비 지원(R01-1999-00194)과 서울대학교 생활과학연구소에서 지원된 연구비에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

장하고 있으며, 가공방법의 발달로 여러 가지 특성을 갖는 직물이 의류용으로 쓰이게 되었다. 또한 최근에는 과거와는 달리 소비자의 의식수준과 미적감각의 성숙으로 의류제품의 질을 중시하고 트렌드 변화에 민감하게 반응하고, 패션주기가 짧아지고 있어 소비자들의 요구에 대한 적절한 대응이 필요하다.

최종상품의 질향상을 위해서 여러 가지 가공이 이루어지게 되는데, 최근에는 환경문제가 대두되고 환

경에 대한 인식이 높아지면서, 여러 가지 가공된 의류 제품을 사용한 후, 폐기할 때 환경에 미치는 영향 또한 고려하지 않을 수 없다. 특히, 최근에는 감성가공이 대두되면서 최종소비자에게로의 쾌적성과 감성을 주기위해 여러 가지 물리적, 화학적 가공이 행해지기 때문에 비록 생분해성이 좋다고 알려진 셀룰로오스계 섬유일지라도 가공법에 따라 생분해성이 달라질 것이며, 처리되는 수지종류에 따라서도 분해거동에 영향을 미쳐 생분해성의 차이를 나타낼 것으로 보인다.

일반적으로 실리콘[PDMS를 기준](남승현, 유효선, 1998; 정일남, 1997; 문규열, 1970; 정일남, 1997; 한정연, 1977; Kim, 2001; Giordano, Refojo, 1998; Rooks, Greensboro, 1972; Saraf, Naresh, 1997; Stephen et al., 1997; Watt, 1960)을 직물에 처리하였을 때 섬유표면에 배열된 상태는 <Fig. 1>과 같다. 즉, 실리콘 분자내에 산소원자가 섬유상에 배열하여 섬유의 극성기와 가벼운 수소결합을 하고 있다.

화학적으로 처리된 직물은 수지에 의해 직물표면에 필름을 형성한 상태이기 때문에 소수화 될 것이며 처리된 화학수지와 직물의 반응성과 결합력의 강도에 따라 강한 발수성을 가질수도 있을것으로 생각된다. 천연셀룰로오스계 섬유인 면은 결정화도가 높고 배향성이 비교적 좋으며 분자내에 극성기인 수산기(-OH)를 가지고 있어 친수성이 높은 섬유이기도 하다. 또한 자연상태에서 분해가 잘 일어나는 편이어서 환경친화적인 섬유라고 알려져있으나 가공처리 방법이나 처리되는 수지종류에 따라서도 생분해성이 달라질 것이다.

고분자의 생분해성에 관련된 연구(강연경 외, 2002; 김수민 외, 2002; 김은영, 박정희, 2001; 김인범, 1995; 박영환, 1991; 류강은, 김영백, 1998; 임승순, 1999;

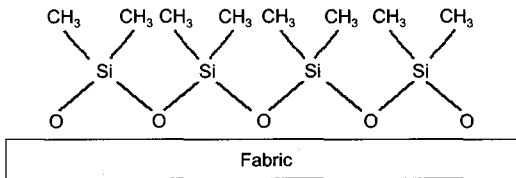


Fig. 1. Silicone molecules attached to fabrics

Bati, Bloch, 1970)는 많이 보고되어져 왔으나 실제 착용하고 버려지는 직물의 생분해에 관련된 연구는 상대적으로 미미한 실정이다. 또한 대부분은 여러 가지 생분해측정 방법을 통해 종합적인 생분해경향을 도출하고 있지만 각각의 측정방법에 따라 영향을 미치는 요인인자에 대한 심층적인 연구가 필요하다고 생각된다. 최근에는 모든 제품에서 ‘감성’의 중요성이 부각됨에 따라 원하는 감성을 주기 위해 많은 화학적 물리적 처리가 행해지게 되는데 가공한 직물의 생분해성에 관련해서는 미비한 실정이며 다양한 방법에 의해 생분해성이 측정되지만 그것의 분해현상이 복합적이기 때문에 각각의 측정방법에 따라 미치는 요인인자에 대한 자료는 확실하게 밝혀지지 않은 실정이다.

따라 본연구에서는 광택을 증진시키기 위해 주로 행해지는 가공을 중심으로, 면직물에 관능기가 서로 다른 실리콘을 처리한 후 켈린더링을 행한 것과, 머서화 가공한 직물을 시료로서 선정하여 결정화도, 친수기 등의 차이에 따른 생분해도를 조사하고자 하였다. 또한 각각의 생분해 측정방법에 따라 영향을 크게 미치는 요인인자를 상관분석을 통해 고찰하였으며 상관분석을 통해 얻은 자료를 토대로 생분해거동에 미치는 요인인자 규명에 관한 연구에 활용하고자 하였으며 섬유의 적절한 생분해 분석방법 제시에 기여하고자 하였다.

## II. 실험

### 1. 시료 및 시약

#### 1) 시료

KS K 0905에 규정된 섬유류 제품의 염색 견뢰도 시험용 첨부 백면포(한국 의류시험 검사소)를 사용하였다. 사용한 직물의 특성은 <Table 1>과 같다.

#### 2) 시약

가수분해에 의한 생분해성 실험에 사용된 효소는 *Trichoderma viride*로부터 얻은 셀룰라아제(Sigma Chemical Co.)를 사용하였다. 그밖의 시약은 특급 및 일급

Table 1. Characteristics of specimen

Yarn Type	Yarn Number		Yarn Count (5×5cm <sup>2</sup> )		Weight (g/m <sup>2</sup> )	Thickness (mm)	Weave
	Weft	Warp	Weft	Warp			
Staple	20tex	20tex	141	135	100	0.29	Plain

을 사용하였다.

**2. 실험방법**

1) 가공

(1) 실리콘 처리

수용성이 아닌 실리콘(니카코리아주식회사)은 각각의 오일에 알맞은 비이온계 유화제가 혼합되어 있는 에멀전 상태를 사용하였다. 사용한 실리콘의 기본 구조는 <Fig. 2>와 같으며 각각의 화학적인 특성은 <Table 2>와 같다.

(2) 머서화가공(Mercerization)

20% 수산화 나트륨 용액에서 처리온도는 20~25°C로 하였으며 직물의 수축이 일어나지 않도록 긴장 상태에서 5분간 처리하였다. 처리후 냉수로 1시간 동안 수세하였으며 1% 아세트산으로 중화하고 다시 냉수로 30분 동안 수세한 후 자연건조 하였다.

2) 친수성 평가

(1) 수분율(Moisture Regain)

KS K0220에 의거해서 측정하였다.

(2) 흡수성(Water Absorbency)

적하법에 의한 흡수성(Drop Sopt Test)은 AATCC Test Method 39에 의거하여 측정하였다. 침지법에 의한 흡수성(Soaking Test)은 5x5cm 크기의 시료를 20분동안 증류수에 담귀 충분히 잠기도록 한 후 20분동안 수분을 흡수하도록 한 후 30초 동안 자연스럽게 물이 흘러내리도록 하였다. 2장의 건조한 여과지 사이에 시험편을 끼우고 유리판을 덮어 그 위에 500g의 추를 1분간 올려 탈수시켜서 흡수한 무게를 측정하였

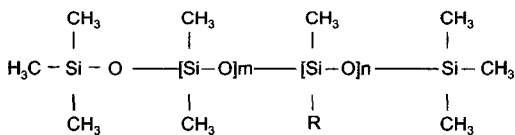


Fig. 2. Chemical structure of silicone

다. 흡수율은 다음과 같이 계산하였다.

3) 생분해성 평가

(1) 활성하수슬러지법

ASTM D 5209-91에 따라서 이산화탄소 제거장치와 이산화탄소 포집장치를 구성하였다. 활성하수슬러지는 중량천 하수처리사업소에서 채취하여 배양, 교반 후 침전시킨 후 상등액을 취하여 집종액으로 사용하였다. 이 장치를 통해 얻어진 이론적 이산화탄소 발생량에 대한 실제 이산화탄소 발생량의 백분율(%)로 생분해도를 계산하였다.

(2) 토양매립법

AATCC Technical Method 30-1993에 제시된 실험 방법을 참고하여 시료를 자연토양을 담은 상자에 묻어 분해하고, 분해하는 동안 일정 간격으로 일정량의 수분을 공급하였다. 분해 후 시료를 꺼내어 증류수로 가볍게 세척하고 건조시킨 후, KS K0520의 Ravelled strip method에 따라 크로스헤드 속도 10cm/min, 하중 50kg인 조건에서, Instron(Universal Trestring Instrument, Table Model 1130)을 사용하여 토양매립 전, 후의 시료의 절단강도를 측정하였다. 생분해도는 인장강도 소실률로써 평가하였다.

(3) 효소가수분해

시험관에 50mg의 시료와 4ml의 buffer(pH : 5.00)를 넣고 37°C에서 2시간 동안 배양한 1000CU(Cellulase unit)의 cellulase를 첨가하였다. control은 시료를 넣지 않고 buffer와 효소용액을 사용하였다. 37°C의 항온기에서 진탕시키면서 소정시간 동안 분해시킨 후, 효소의 활성을 없애기 위해서 100°C에서 끓이는 과정을 거쳤다. 0.2 μm의 membrane filter로 분해용액을 여과하고 TOC(IPC Analyzer system multi N/C3000, JAPAN)를 사용하여 여과된 수용액 중의 total organic carbon (TOC)를 측정하였다.

(4) 외관 변화 관찰

생분해 전후의 시료 표면의 형태를 현미경(OLYMPUS, EHS 204752)으로 100배율로 관찰하였다.

Table 2. Characteristics of silicones

Silicone emulsion	Chemical structure of substituent	Emulsifying agent	Molecular weight
Dimethyl Polysiloxane (PDMS)	-CH <sub>3</sub>	C <sub>13</sub> H <sub>27</sub> O(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> H	30.000
Amino Modified Silicone (AFS)	-C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> NHC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> NH <sub>2</sub>	C <sub>12</sub> H <sub>25</sub> O(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> H	13.700
Polyether Modified Silicone (PEFS)	-(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> H	none Water soluble	15.000
Methylhydrogen Polysiloxane(MHPS)	-H Catalyst : (C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COO) <sub>2</sub> Zn	C <sub>12</sub> H <sub>25</sub> O(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>8</sub> H	3.700

Table 3. Moisture regains of finished cotton fabrics

Specimen	Untreated	PDMS	AFS	PEFS	MHPS	Mercer
Moisture regain(%)	7.2	6.7	6.3	6.6	6.2	7.6

20°C 65R.H.

#### 4) 가공에 의한 내부구조 관찰

가공에 의한 시료의 내부 구조 변화를 알아보기 위해 X-ray 회절분석기(M19XHF-22-SRA MAS SCIENCE, CO, JAPAN)를 사용하여 40kv, 200mA, 8kw2θ: 5~40°, scanning speed 5°/min의 처리조건에서 X-ray 회절 패턴을 얻어냈다. 시료는 밀링기를 사용하여 분말상으로 만들어 사용하였다. 얻어진 회절 패턴을 이용하여 가공 처리에 따른 결정화도를 각각 계산하여 가공처리가 시료 내부의 결정에 미치는 영향을 관찰하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 가공에 의한 친수성 변화

##### 1) 수분율(Moisture Regain)

<Table 3>은 가공처리된 시료의 수분율을 측정된 결과이다. 수지 처리한 시료의 수분율이 미처리 시료에 비해 모두 감소한데 비해, 머서화 가공에 의해서는 수분율이 증가하였다. 면섬유는 알려진 바와 같이 알칼리 처리를 하면 꼬임이 풀어지며 팽윤하여 결정구조가 전이되며 분자쇄가 가수분해 되기 때문에, 머서화가공한 것이 가장 큰 수분율을 나타내고 있다. 실리콘 처리한 시료의 경우 수분율은 모두 낮게 나타났다. 이는 실리콘이 처리될 때, 각각의 실리콘 특성상 기질에의 수지의 yield량에 따라 수분율이 다르게 나타난것으로 사료된다. MHPS(-H)의 경우 촉매하에 가교반응으로 두꺼운 탄성막을 형성한 상태이기 때문에 수분율이 가장 낮게 나타난 것으로 보인다.

##### 2) 흡수성(Water Absorbency)

<Fig. 3>은 좌측은 적하법에 의한 흡수성을, 우측은 침지법에 의한 흡수성을 측정한 결과이다. 적하법에 의한 흡수성은 친수성 섬유인 면이 가장 흡수속도가 빠르게 나타났으며, 수지처리함에 따라 모두 흡수속도가 떨어지게 나타났다. 소수성을 띠는 MHPS(-H) 수지의 경우, 액체방울이 섬유표면에 전혀 흡수되지 않고 맺혀있는 상태로 발수성을 가짐을 확인할 수 있

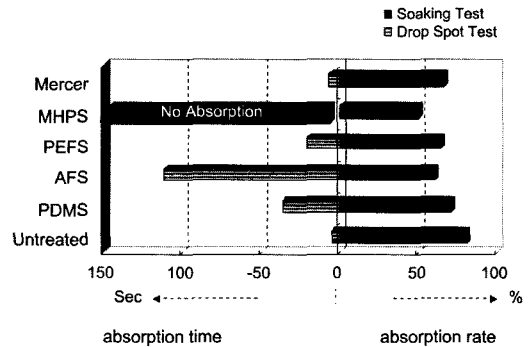


Fig. 3. Water absorbency from drop spot test and soaking test

었고, 친수기가 도입된 PEFS실리콘[-(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)nH]은 흡수속도가 다소 빠르게 나타났다.

침지법 및 적하법에 의한 전반적인 흡수성은 가공처리한 것이 미처리에 비해 모두 흡수성이 떨어졌으며, 전반적으로 수분율 측정결과와 유사하게 나타났으며, PEFS[-(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)nH]를 제외하고는 PDMS(-CH<sub>3</sub>)>AFS(-C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>NHC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>NH<sub>2</sub>)>MHPS(-H Cat: (C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COO)<sub>2</sub>Zn) 순으로 나타났다. MHPS(-H)는 PDMS, AFS, PEFS와는 달리 가교형 실리콘으로, 처리시 표면에 두꺼운 탄성막을 형성하여 강한 발수성을 나타내므로 흡수성 측정결과, 가장 소수성을 나타낸 것으로 생각된다. 머서화 가공한 것의 경우, 흡수성은 높게 나왔지만 흡수성이 다소 낮게 나타난 것을 볼 수 있다. 머서화 처리 조건은 실온에서 5분간 처리한 것으로 보다 낮은 온도, 긴 시간에서 처리시 머서화가 잘 일어나지만, 본 연구에서는 미처리시료와 상대적으로 비교하는데 의미를 두어서 실험을 진행하였다. 수산화나트륨을 처리함에 따라 가성소다에 의해 가수분해되면서 흡수성은 높아지지만, 예상되는 바와 달리 흡수성이 떨어졌다. 이는 결정화도 감소에도 불구하고 팽윤특성에 따른 구조적 변화로 인하여 흡수도가 낮게 나타난 것(이명선 외, 1997)으로 보인다. 즉, 꼬임이 풀어지면서 팽윤하기 때문에 섬유간극이 줄어들어서 친수성 증가에도 불구하고 흡수성이 다소 낮게 나타난 것으로 생각된다.

2. 가공에 의한 내부구조 변화

1) 결정화도

<Fig. 4>는 분말상태 시료의 X-ray 회절강도곡선 분석결과, 미처리 시료와 실리콘 처리한 시료는  $2\theta = 22.6^\circ$  부근의 002면과  $14.58^\circ, 16.0^\circ$  부근의 101면과  $10\bar{1}$ 면의 결정의 회절에서 전형적인 셀룰로오스 I의 결정형태를 보이고 있다. 실리콘을 처리함에 따라 미처리에 비해 모두 결정영역이 감소함을 볼 수 있었다. 이에 비해 머서화가공한 시료의 경우, 미처리 시료와 비교해보면 셀룰로오스 I의 101,  $10\bar{1}$ 면의 회절적분 강도 감소와 더불어  $22.2^\circ$ 와  $20.0^\circ$  부근에서 셀룰로오스 II의 002면과  $10\bar{1}$ 면의 회절이 증가하여, Cellulose의 I과 II의 결정이 혼재된 상태를 나타내나 전체적으로는 II의 결정구조쪽이 지배적으로 보인다. <Table

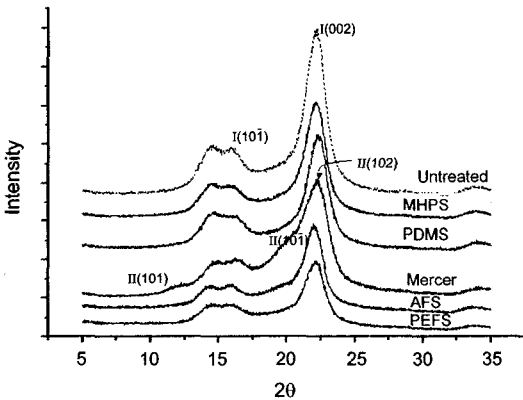


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of finished cotton fabrics

Table 4. Crystallinities of finished cotton fabrics

Specimen	Untreated	PDMS	AFS	PEFS	MHPS	Mercer
Crystallinities (%)	65.3	60.9	58.2	55.0	63.9	58.5

4>는 XPS를 이용하여 X선 회절강도 곡선으로부터 전체적분 강도에 대한 결정회절의 적분강도의 비로 결정화도를 계산한 결과이다. 실리콘 처리한 시료들 사이에 결정화도가 다소(PEFS>AFS>PDMS>MHPS) 차이남을 볼 수 있으며, 머서화가공한 것의 경우 Cellulose II의 구조로 바뀌면서 미처리에 비해 결정화도가 감소되어 상대적인 비결정량이 증가하였다.

3. 가공한 면직물의 생분해성 변화

1) 활성슬러지법(Activated Sludge Test)에 의한 생분해성

<Fig. 5>는 활성하수슬러지내에 존재하는 미생물에 의해 분해됨에 따라 시료로부터 발생한 이산화탄소량으로 생분해도를 계산한 결과로서, 두 번 실험 모두에서 미처리와 머서화가공한 것이 가장 높게 나타났으며 실리콘 처리함에 따라 생분해도가 감소한 것을 볼 수 있다. 실리콘 처리한 시료의 경우, 친수성 평가에서 흡습성과 흡수성이 높게 나타난 것이 슬러지에 의한 생분해도에서도 높게 나타났다. 즉, 실리콘 처리한 시료의 경우, 가수분해 될 수 있는 활성자리(-OH)기가 많을수록 생분해성이 높게 나타났다. 하지만 MHPS[-H Cat:  $(C_{17}H_{35}COO)_2Zn$ ]의 경우 분해 초반에는 AFS보다 생분해성이 낮게 나타났으나, 분해 후반으로 갈수록 생분해도가 높아짐을 볼 수 있다. 이것은 MHPS의 경우 다른 실리콘과는 달리 촉매하에서 가교반응으로 표면에 두꺼운 film(탄성막)을 형성한 상태기 때문에 분해 초반에는 미생물이 접근하는데 시간이 걸려서 분해성이 떨어지는 것으로 추측

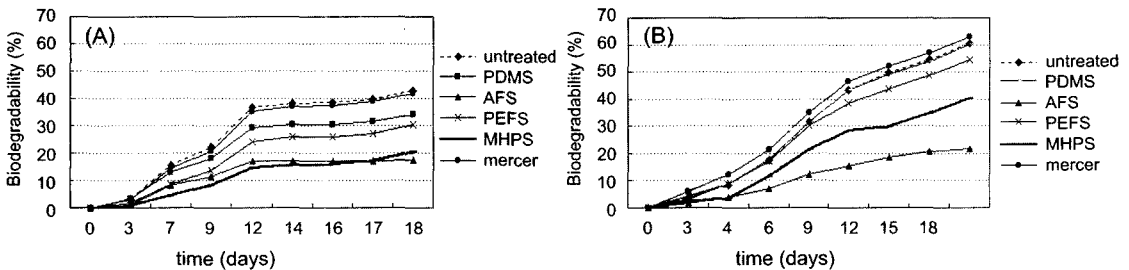


Fig. 5. Biodegradability from activated sludge test [(A): experimental period: Oct. 15th Nov. 1th, (B): experimental period: Nov. 9th Nov. 28th]

된다. 온도가 낮은 시기에 행해진 2차 실험결과는 1차 실험 결과에 비해 전체적인 생분해도가 다소 높게 나타났다. 1차, 2차에 걸친 두 번의 실험 모두 같은 방법으로 30±2°C의 반응조에서 행한 실험으로 생분해성 경향은 대체적으로 일치하나, 슬러지 채취시기가 비슷하고 강우량에 따른 균류의 수 차이가 나타날 수 있다. 즉, 날씨에 따라 슬러지 내에 존재하는 미생물의 종류와 수가 다르기 때문에 온도가 낮은 시기에 행해졌음에도 불구하고 생분해성이 다소 높게 나타난 것으로 생각된다.

2) 토양매립법(Soil Burial Test)에 의한 생분해성

<Fig. 6>은 토양매립법에 의한 생분해 시료의 인장강도 소실률로써 생분해도를 나타낸 결과이다. 미처리 시료가 가장 높은 생분해율을 보이고 있으며, 실리콘 처리한 시료의 경우, 슬러지에 의한 생분해도 결과와 같이 흡수성과 흡습성이 높게 나타난 시료가 생분해도도 높게 나타났다. 하지만 머서화 가공한 것의 경우, 다소 낮은 생분해율을 보이고 있다. 일반적으로 한부분의 집중적인 weak point를 가지는 것에 비해서 내부용력의 균일한 분포가 이루어졌을때는 분자쇄가 미끄러져 섬유질의 절단강도가 커지게 된다(김상용, 1990; Morton, Hearle, 1993).

머서화 가공한 것은 긴장시 배향성이 향상되며, NaOH처리에 의해 그것의 구조가 II의 구조로 전이되어, 토양속의 미생물이 섬유내부에 좀더 균일하게 공격하기 때문에 인장강도 측정시 응력의 분산으로 인장강도 절대값과 상대적인 인장강도유지율이 높게 나타난 것으로 사료된다.

3) 효소 가수분해(Enzymatic Hydrolysis)

<Fig. 7>은 가공처리한 시료를 12시간 동안 셀룰라아제에 분해시킨 후 유기탄소량을 측정한 결과이다.

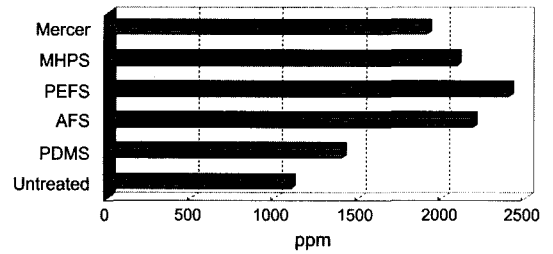


Fig. 7. TOC(total organic carbon) of water soluble compounds produced by enzymatic hydrolysis for 12hours (37°C, PH=5.00)

셀룰로오스에서 분해되어 나온 유기탄소량은 슬러지 테스트와, 토양매립에 의한 결과와는 다소 다른 결과를 나타내고 있다. 실리콘 오일 처리한 직물의 유기탄소량은 PEFS(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>H>AFS(-C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>NHC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>NH<sub>2</sub>)>MHPS(-H)>PDMS(-CH<sub>3</sub>)순으로 나타나고 있다. 이에 비해 미처리 시료는 가장 낮은 분해율을 보이고 있다. 일반적으로 효소는 결정영역보다 접근이 쉬운 비결정 셀룰로오스에 먼저 작용하기 때문에, 셀룰라아제에 의한 분해는 상대적인 비결정 내지는 결정분영 영향을 끼치는 것으로 보이며, X-ray 조사에 의해 나타난 내부구조와 관련이 있는 것으로 사료된다.

4) 외관변화

<Fig. 8>은 생분해 시간 경과에 따른 외관 변화를 관찰하기 위해 토양매립법에 의해 생분해된 시료를 현미경을 통해 100배율로 관찰한 사진이다. 시료 모두 분해시간이 경과할수록 표면에 또는 섬유사이에 곰팡이 등의 미생물이 생겨났으며, 시료의 색상이 갈색, 검은색 등으로 변한 것을 볼 수 있었다. 매립에 의한 생분해도 결과와 같이 생분해성이 높게 나타난 미처리 시료 및 PDMS(-CH<sub>3</sub>)의 경우 섬유가 해리됨과 동시에 표면에 곰팡이 생성량이 많아지는 것을 관

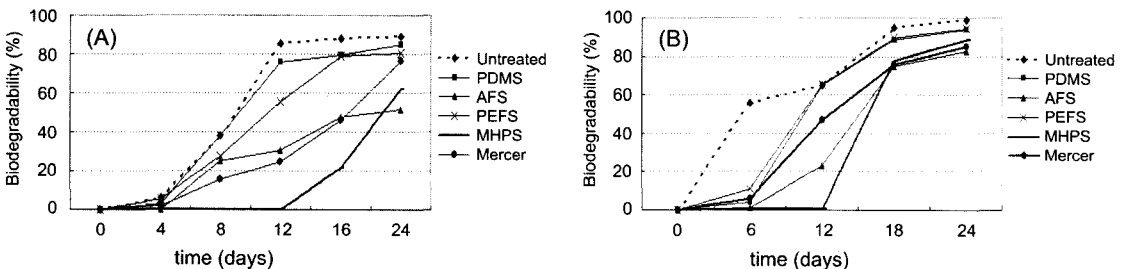


Fig. 6. Biodegradability from soil burial test [(A): experimental period: Sept. 20th Oct. 18th, (B): experimental period: Nov. 16th Dec. 10th]

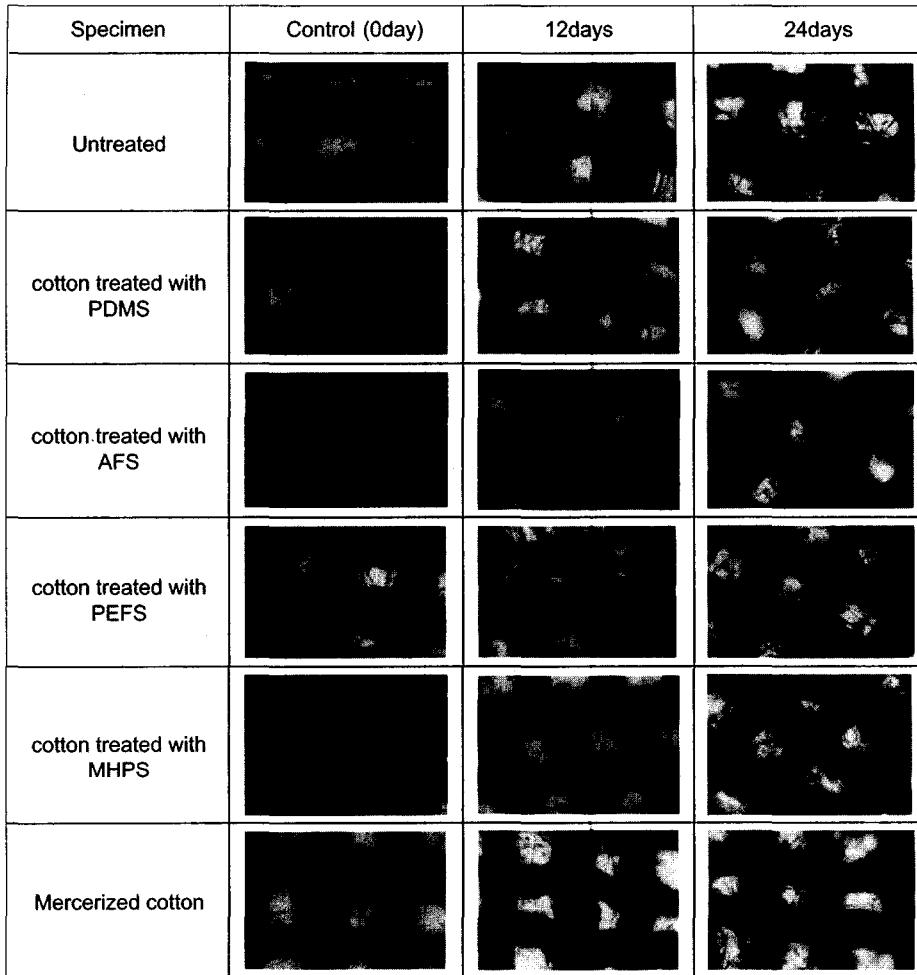


Fig. 8. Microscopic picture of specimen from soil burial test

찰할 수 있었다. 분해성이 가장 떨어지게 나타난 AFS( $-C_3H_6NHC_2H_4NH_2$ )의 경우, 다른 시료들에 비해서 섬유 해리정도가 덜한 편이었으나 분해 시간이 경과함에 따라 표면의 곰팡이 생성량이 증가했음을 관찰할 수 있었다. 또한 분해초반과 분해후반의 경향이 다르게 나타난 MHPS(-H)의 경우, 섬유 해체현상과 곰팡이 생성량이 현저하게 나타난 24일과 12일간의 시료를 비교하여 볼 때 외관 변화의 차이가 큰 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 생분해성에 미치는 요인

이상과 같이 생분해성 측정결과, 생분해 측정방법

에 따라 생분해도에 있어 다소 차이가 나타남을 볼 수 있다. <Table 5>는 각각의 생분해 분석방법에 따라 영향을 크게 미치는 요인인자를 상관분석을 통해 얻은 결과이며, <Fig. 9>는 <Table 5>의 데이터를 도식화 한 결과이다. 활성슬러지에 의한 생분해성은 수분율과 가장 높은 상관을 보이며, 토양매립법은 침지법에 의한 흡수성과 가장 높은 상관을 나타냄을 볼 수 있다. 셀룰라아제에 의해 분해되어 나온 TOC(총 유기탄소량)은 결정화도와, 침지법에 의한 흡수성의 두가지 인자와 높은 상관을 띠고 있음을 볼 수 있다.

고분자 물질의 생분해는 여러 가지 구조적 인자가 있으나 화학적인 구조 및 조성(중합도, 작용기의 유무, 가교)은 합성고분자의 생분해성을 부여하는 결정적인

Table 5. Correlation analysis

		Moisture regain	Water absorbency (drop spot test)	Water absorbency (soaking test)	Crystallinity	Activated sludge test	Soil burial test	TOC
Correlation coefficient	Moisture regain	1.000	-.582	.625	-.005	.749	-.597	-.425
	Water absorbency (drop spot test)	-.582	1.000	-.785	.429	-.398	-.502	-.280
	Water absorbency (soaking test)	.625	-.785	1.000	.191	.617	.780	.773
	Crystallinity	-.005	.429	.191	1.000	.115	.169	.719
	Activated sludge test	.749	-.398	.617	.115	1.000	-	-
	Soil burial test	.597	-.502	.780	.169	-	1.000	-
	TOC	.425	-.280	.773	-.719	-	-	1.000

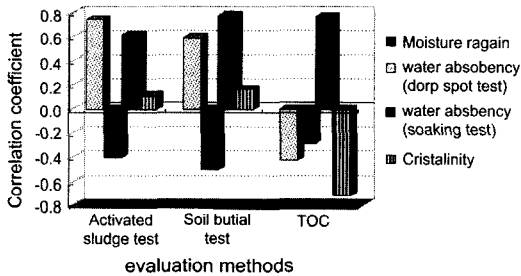


Fig. 9. Correlation between biodegradation and property factors

인자가 되며, 형태학적 미세구조(배향도, 결정형태 및 크기, 결정화도)는 생분해속도를 결정짓는 중요한 인자가 된다고 한다(박영환, 1991; 임승순, 2002).

효소분해와 같이 분해시간을 단축하여 진행한 본 연구에서는 기질과 효소의 특이성에 의한 화학적인 인자 뿐만 아니라 분해속도를 결정짓는 물리적인 변수(결정화도)가 크게 작용한 것으로 사료된다. 이에 비해 보통 장기적인 기간을 요하고 효소에 비해 크기가 매우 작은 물분자와 미생물이 분해기구로 관여하는 토양매립법과 활성하수슬러지법은 화학적인 변수가 크게 작용한 것으로 나타났다. 특히, 실제 자연환경을 반영하고 있는 토양매립법은 토양속의 미생물의 종류가 많으며 물을 매개로 하며 이 물분자는 토양속 미생물이 기질에 침투하여 분해될 수 있도록 분해속도를 증가시키는 촉매역할을 하므로, 흡수성과 가장 높은 상관을 가지는 것으로 사료된다.

토양매립법, 활성하수슬러지법 모두에서 친수성인자가 분해에 중요한 영향을 끼치고 있다. 하지만 토양매립법은 친수성 요인인자중 흡수성과, 활성하수슬러지법은 수분율과 높은 상관을 보이고 있다. 흡수

성은 섬유질의 친수성과 섬유의 거시구조에 의해 나타나는 현상이며 수분율은 섬유의 친수성과 섬유의 미세구조에 의해 나타나는 현상이라고 볼 수 있다. 이와 관련지어 생각해볼 때, 매립법은 물분자가 섬유와 섬유사이의 pore(섬유의 거시구조)에 침투하여 토양속의 미생물이 접근하기 쉽도록 하며, fluid 상태에서 24일동안 분해되는 활성하수슬러지법은 최종적으로 물분자가 침투할수 있는 총 영역(섬유의 미세구조)이 중요한 것으로 생각된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 가공한 면직물을 시료로서 선정하여 활성하수슬러지법, 토양매립법, 효소가수분해법을 사용하여 생분해도를 조사하였고 내부구조변화와 친수성평가를 통해 생분해 거동을 비교하였다.

1. 수분율은 머서화가공한 것이 가장 높게 나타났으며, 실리콘 처리한 것은 미처리에 비해 모두 수분율이 PDMS>PEFS>AFS>MHPS순으로 감소하였다.

침지법에 의한 흡수성은 가공처리한 것이 미처리에 비해 모두 흡수성이 떨어졌으며 실리콘 처리한 직물은 수분율을 측정된 결과와 동일하게 나타났다.

2. 실리콘 처리한 시료들의 결정구조는 Cellulose I의 결정형태를 나타내었고 결정화도에 있어 다소 차이를 나타냈다.

3. 활성하수슬러지법에 의한 생분해도는 미처리면과 머서화가공한 직물이 가장 높았으며 실리콘 처리한 직물은 PDMS>PEFS>MHPS>AFS순으로 나타났다.

4. 토양매립법에 의한 생분해도는 미처리면이 가장 높았으며 실리콘 처리한 직물의 경우 슬러지에 의한



생분해도와 일치한 결과를 나타냈으며 머서화가공한 것의 경우 다소 낮은 생분해성을 나타냈다.

5. 효소가수분해에 의한 생분해도는 슬러지와, 매립에 의한 생분해도 경향과 다소 다르게 나타났다.

6. 상관분석을 통해 얻은 생분해도에 미치는 요인분석 결과, 활성슬러지에 의한 생분해성은 수분율과 가장 높은 상관율, 토양매립법은 침지법에 의한 흡수성과 가장 높은 상관율을 나타냈다. 효소분해에 의한 유기탄소량은 결정화도와 침지법에 의한 흡수성의 두 가지 인자와 높은 상관율을 가지는 것으로 나타났다.

이상의 결과로서 본 연구에서 사용된 가공된 면직물의 생분해에서는 실리콘 오일 처리시 달라지는 면직물의 친수성 그룹의 존재, 직물의 내부구조의 변화, 결정화도 등이 생분해도에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 또한 생분해 측정방법에 따라 분해거동에 있어 약간의 차이를 보였으며 요인인자가 다른 것으로 나타났다.

친수성 평가에서 흡습성과 흡수성이 약간 다른 경향을 보이는데, 이는 흡습성의 경우 직물의 친수기나 결정화도에 의해 영향을 받는 반면 흡수성은 친수성과 직물의 구조변화에 따라 달라지기 때문인 것으로 판단된다.

생분해 결과는 사용된 수지의 화학적 특성, 입체특이성, 수지와 Cell-OH와의 반응성의 정도, 열처리에 따른 섬유의 내부구조의 변화 등이 종합적으로 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

아울러 각각의 분해방법에 따라 미치는 분해기구를 상관분석을 통해 얻었지만, 본 연구에서 택한 수분율과 흡수성의 화학적인 변수와 물리적인 변수인 결정화도 이외에 실제 Cell-OH와 반응된 수지의 정량적인 분석과 결정크기 및 형태, 배향도 등의 형태학적 분석으로 좀더 종합적인 고찰이 함께 이루어져야 된다고 생각된다.

## 참고문헌

- 강연경, 박정희, 임승순. (2002). 셀룰로오스계 직물의 생분해성 평가. *한국섬유공학회지*, 39(3).
- 김상용. (1990). *인조섬유학*. 반도출판사.
- 김수민, 박정희, 임승순. (2002). 산소플라즈마 처리가 폴리부틸렌숙시네이트의 친수성과 생분해성에 미치는 영향. *한국섬유공학회지*, 39(4).
- 김은영, 박정희. (2001). 폴리에스테르아미드의 친수성과 생분해성. *한국의류학회지*, 25(7), 1270-1280.
- 김인범, 이명천, 서인선, 신평근. (1995). 물성에 따른 생분해성 고분자의 생분해도 영향. *Polymer(Korea)*, 19(6), 727-733.
- 남승현, 유효선. (1998). BTCA와 실리콘 처리 면직물의 물리적 성질. *한국의류학회지*, 22(4), 525-534.
- 류강은, 김영백. (1998). 고분자의 생분해. *Polymer Science and Technology*, 9(6), 454-472.
- 문규열. (1970). 섬유의 습윤과 발수기공. *한국섬유공학회지*, 7(2), 56-62.
- 박영환. (1991). 생분해성 고분자-생분해성에 대한 화학적 구조 및 형태학적 미세 구조의 효과. *한국섬유공학회지*, 28(1), 9-17.
- 이명선, 배소영, 이문철. (1997). 가성소다, 액체암모니아 처리한 텐셀의 염색성. *한국섬유공학회지*, 34(8).
- 임승순. (1999). 생분해성 고분자 특성에 미치는 형태학적 인자. *고분자과학과 기술*, 10(2), 224-233.
- 임승순. (2002). 지방족 폴리에스테르의 생분해성에 미치는 구조 및 형태학적 영향.
- 정일남. (1997). 제3세대 실리콘 화학. 아카데미.
- 조경래. (1996). *섬유과학 실험법*. 형설출판사.
- 한정연. (1977). Silicone 발수제. *한국섬유공학회지*, 14(1), 33-397.
- AATCC Technical Method 30-1993 Antifungal activity, Assessment on textile materials: Mildew and Fot resistance of textile materials.
- AATCC test Method 39
- 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.
- Dr. Stephen Cray & Mr. Grabam Budden. (1997). It looks good, but does it feel good?. *International dyer*, 182(1), 19-23.
- Georges, M. Bati & Georges M. Bloch. (1970). Degradation of cellulosic materials into humus by mixtures of aerobic and anaerobic bacteria. *Chemical Abstracts*, vol. 72, 131115a.
- Giovanni G. Giordano & Miguel F. Refojo. (1998). Silicone oils as vitreous substitutes. *Prog. polymer*, 23(3), 509-532.
- Kim, B. T. (2001). Grundlegende Untersuchungen zur Hydrophobierung von Textilien mit Polyorganosiloxanen. Elektronische Dissertationen Universitätsbibliothek Wuppertal.
- Morton, W. E. & Hearle, J. W. S. (1993). Physical properties of textile fibers. *The textile institute*.
- Rooks, R. J., Dow corning corp & Greensboro, N. C. (1972). New Developments in silicone emulsion polymers as textile finishes. *Text Chem Color*, 4(1).
- Saraf, Dr. Naresh. M. (1997). Modified amino silicones for enhanced finishes. *International dyer*, 182(9), 39-40.
- Watt, J. A. C. (1960). 1-Water-repellent treatment of textiles with silicones : studies on the mechanism of gelling-type processes. *Journal of the Textile Institute*, 51(1), 1-16.