

비스코스 레이온과 리오셀의 생분해성

윤창상 · 박정희 · 강연경 · 임승순*

서울대학교 의류학과, *한양대학교 섬유공학과

Biodegradability of Viscose Rayon and Lyocell Fibers

Chang Sang Yoon · Chung Hee Park · Yun-kyung Kang · Seung Soon Im*

Dept. of Clothing and Textiles, Seoul National University

*Dept. of Textile Engineering, Hanyang University

(2004. 5. 31. 접수)

Abstract

This study was carried out to evaluate the biodegradability of viscose rayon and lyocell fibers, employing soil burial test, activated sludge test and enzymatic hydrolysis. Using X-ray analysis, crystallinity and morphology change was investigated. External changes after degradation were also observed by SEM and digital photographs. Viscose rayon fibers exhibited higher biodegradation than lyocell fibers, indicating that lower crystallinity favored the biodegradation. Among the biodegradability of lyocell fibers there was a tendency that fibers with lower crystallinity and higher moisture regain had higher values. When external changes after degradation being observed, it was shown that there were microorganisms growing on the surfaces of samples accompanying fading and weakening. From these results it was concluded that biodegradability of the specimens was most closely correlated to the moisture regain and crystallinity of fibers which reflects hydrophilicity and internal structure.

Key words: Biodegradability, Degree of crystallinity, Moisture regain; 생분해성, 결정화도, 수분율

I. 서 론

급속도로 진행된 산업화의 부작용인 환경오염이 심각한 정도에 이르러 많은 환경규제들이 만들어졌으며 의류제품에도 적용되어지고 있다. 이러한 환경규제들에 대한 대응으로 의류제품에 요구되는 것이 바로 환경친화성이다. 의류제품의 폐기는 주로 매립 또는 소각에 의해 이루어진다. 매립에는 토양 속에 존재하는 미생물에 의해 분해되는데 이를 생분해라고 하며 폐

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

본 연구는 서울대학교 생활과학연구소에서 지원된 연구비에 의해 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

기공정에 있어 의류제품의 환경친화성의 척도로 많이 사용된다. 생분해 거동에 영향을 미치는 요인으로 예상되는 것은 섬유의 결정화도와 배향도, 분자의 중합도, 친수성과 소수성 정도, 매립 토양의 상태, 분해에 관여한 미생물의 종류 및 상태 등이 있으며 분자량, 결정화도, 배향도 및 중합도가 낮을수록, 친수성이 높을수록 생분해가 잘 일어나는 것으로 알려져 있다. 하지만 생분해성에 유리한 조건들이 물성을 저하하는 조건이 되기 때문에 용도에 적합한 내구성을 가질 정도의 물성을 가지면서 우수한 생분해성을 동시에 가지는 적절한 균형점을 찾는 일은 매우 어렵다.

섬유 내의 결정영역에서는 분자들이 규칙적으로 치밀하게 배열되어 서로 강력히 결집되어 있으나 비결정영역에 있어서는 분자들이 비교적 엉성하게 얹

혀있다. 따라서 섬유 내에서 결정이 발달되어 있으면 섬유의 강도, 탄성 그리고 내열성 등이 향상되는 반면 신도는 줄어든다. 한편 섬유 내로 수분이나 염료 등이 침투하는 곳은 비결정부분이다. 따라서 섬유에 비결정 부분이 많으면 수분과 염료의 흡수성이 좋아진다.

생분해에 영향을 미치는 또 다른 인자인 섬유의 친수성은 주로 화학적 조성과 내부 구조에 의해 좌우된다. 화학적으로는 분자구조에 친수기를 많이 가지고 있어서 수분과 결합할 수 있어야 하며, 물리적으로는 내부구조에 비결정 영역이 많이 있어서 수분이 자리잡을 수 있는 공간이 있어야 하기 때문이다. 그런데 분해 메커니즘에 영향을 미치는 미생물과 효소는 대부분 수분이 있을 때 큰 활성을 띠게 되므로 수분의 접근성과 침투정도는 생분해에 중요한 요인으로 작용하게 된다.

비스코스 레이온은 폐직성, 용이한 가공성, 가격 및 원료조달의 편이성 등의 장점을 가져 많이 사용되었으나 환경규제가 강화되면서 화학처리를 포함한 복잡한 제조공정과 공정중에 발생되는 유독한 화합물이 작업자 및 환경에 미치는 영향 등으로 어려움을 맞게 되었다. 따라서 섬유화 제조공정을 단순화시키고 환경문제를 최소화시키는 새로운 셀룰로스 섬유 제조방법이 필요했고 영국의 코오톤즈사(Courtaulds Co.)에 의해 리오셀이 개발되었다. 리오셀은 비독성 용제인 NMMO(N-methylmorpholine-N-oxide)에 직접 녹여 매우 점성이 높은 용액으로 만든 후 여과하고 가는 필라멘트로 방사하여 필라멘트내의 용제를 물로 수세하여 완전히 제거한 후 건조하여 스테이플을 만든다. 이와 같이 리오셀은 천연의 원료와 재생 가능한 용제를 사용함으로써 에너지 소비를 극히 최소화할 수 있는

환경친화성이 향상된 공법에 의해 만들어 진다.

지금까지의 리오셀에 관한 연구는 팽윤도, 표면개질, 염색성, 피브릴화 조절 등이 중점적으로 다루어졌다. 하지만 리오셀의 생분해성에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 리오셀의 생분해성을 비스코스레이온과 비교평가하고, 친수성과 결정화도 등의 요인과 관련지어 설명하고자 하였다.

II. 실험

1. 시료 및 시약

1) 시료

리오셀은 수산화나트륨(NaOH) 용액으로 정련된 것을 한일합섬으로부터 제공받아 사용하였다. 레이온은 시판 직물 두 종류를 10%(o.w.f), 탄산나트륨(Na₂CO₃)용액으로 액비 1:50, 100°C에서 2시간 동안 정련하였다.

각 직물의 특성은 <Table 1>과 같다.

2) 시약

Enzyme: Trichodema viride로부터 얻은 'Cellulase' (C-1794, SIGMA-ALDRICH CHEMICAL CO.)를 사용하였다.

2. 실험방법

1) 결정화도 측정

X-ray Diffractometer(M18XHF22-SRA, Mac Science Co.)를 사용하여 40kV, 200mA의 조건하에서 scanning speed 5°/min으로 5°~40°의 범위에서 2θ를 측정하여 시

Table 1. Characteristics of fabrics

		L - 1	L - 2	L - 3	L - 4	R - 1	R - 2
Fiber Species		Lyocell				Rayon	
Weight(g/m ²)		180.2	183.6	185.7	189.5	129.0	127.3
Fabric Count (5×5cm ²)	Warp	211	213	212	213	158	238
	Weft	147	143	149	149	144	168
Weave		Twill				Plain	
α -cellulose content (%)		91.07	83.39	93.52	91.93	92.84	94.18
Degree of Polymerization		807	813	986	825	264	318
Thickness(mm)		0.353	0.339	0.350	0.369	0.319	0.289

료의 회절 패턴으로부터 시료들의 결정화도를 계산하였다.

2) 수분율 측정

KS K 0220 오븐법에 준하여 수분율을 측정하였다.

3) 생분해성 평가

(1) 토양매립법(Soil Burial Test)

AATCC Technical Method 30-1993에 제시된 실험 방법을 참고하였으며 토양매립 시험 후 인장강도 소실율을 통하여 생분해성을 평가하였다.

(2) 활성하수슬러지법(Activated Sludge Test)

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

(3) 효소가수분해(Enzymatic Hydrolysis)

시험관에 25mg의 시료와 2ml의 완충용액(pH 5.00)을 넣고 37°C에서 2시간 동안 배양한 1000CU (Cellulase Unit)의 세룰라아제를 첨가하였다. control은 시료를 넣지 않고 완충용액과 효소 용액을 사용하였다. 37°C의 항온기에서 소정시간 동안 분해시킨 후, 0.2 μm의 멤브레인 필터로 분해용액을 여과하고 Jana 3000을 사용하여 NPOC(Non-Purgeable Organic Carbon)법으로, 여과된 수용액 중의 총유기탄소량(total organic carbon, TOC)을 측정하였다.

(4) 외관 변화 관찰

생분해 전후의 시료의 형태 변화를 주사전자현미경(JEOL, JSMT-200)과 카메라를 사용하여 기록하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 결정화도

<Fig. 1>은 각 시료들의 X-ray 회절 곡선이다. 2θ 의 값이 12° 부근에서 101평면의 결정피크가, 20° 부근에서 101평면의 결정피크가, 21.5° 부근에서 002평

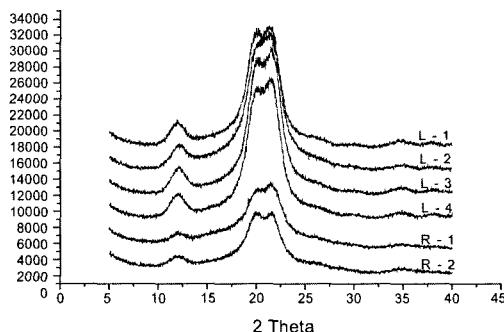


Fig. 1. X-Ray diffraction patterns of rayon and lyocell fibers.

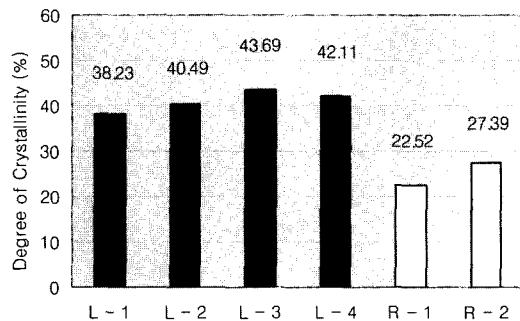


Fig. 2. Degree of crystallinity of specimens.

면의 결정피크가 나타나 세룰로스II의 고유한 결정구조를 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

<Fig. 2>는 <Fig. 1>의 X-ray 회절곡선을 이용하여 simple indices를 통해 계산된 결정화도이다. $2\theta = 12^\circ$, 20° , 21.5° 부근의 101, 101, 002 평면의 회절 강도를 결정 영역을 대표하는 값으로 설정하고, $2\theta = 20.5^\circ$ 에서 비결정 영역을 대표하는 회절 강도 값으로 설정하여 이 값들을 대입하여 결정화도를 계산하였다.

전체적으로 리오셀이 레이온보다 현저하게 높은 결정화도를 나타내었다. L-3이 43.69%로 가장 높은 결정화도를 나타냈고 L-4>L-2>L-1>R-2>R-1의 순으로 나타났다. 리오셀 중에서는 DP가 높고, α-세룰로스 함량이 큰 시료가 결정화도가 높은 것으로 나타났다.

2. 수분율

물은 침투 시 구조를 느슨하게 하는 역할을 해주며 특히 기질을 팽윤시켜 부드럽게 하는 역할을 하기 때문에 흡습성은 미생물이나 효소의 기질로의 접근성

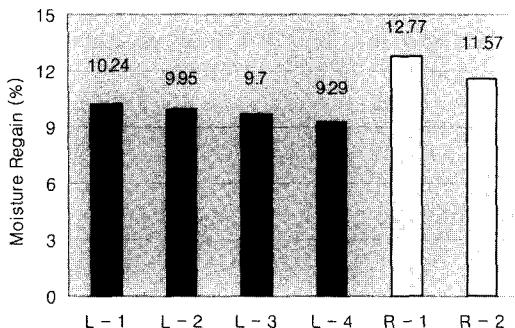


Fig. 3. Moisture regain of specimens.

과 활동성에 영향을 미칠 것으로 기대된다.

<Fig. 3>은 리오셀과 비스코스 레이온의 수분율 측정 결과를 나타낸 것이다. 수분율은 전반적인 결정화도가 낮을수록 높은 것으로 나타났다. R-1이 12.77%로 가장 높은 수분율을 나타냈으며 R-1 > R-2 > L-1 > L-2 > L-3 > L-4의 순으로 나타났다.

결정화도가 낮을수록 수분율이 높게 나타나는 것은 시료에 혼재되어 있는 결정영역과 비결정영역 중 수분의 결정영역은 분자들이 치밀하게 배열되고 서로 강력히 결집되어 수분의 침투가 용이하지 않지만 비결정영역은 비교적 영성하여 수분이 침투할 수 있기 때문이다.

3. 생분해성 평가

1) 토양매립법에 의한 생분해성

(1) 인장강도 소실율

토양매립법에 의한 생분해성을 인장강도 소실율로 평가하는 것은 정량적이지 못한데, 이는 시료의 표면에서 생긴 부분적인 취약점으로 인해 인장강도가 소실되기 때문이다. 하지만 무게변화로 생분해성 평가하는 방법에 비해 비교적 간단하게 생분해성을 평가 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이 실험에서는 같은 조건으로 매립된 4개 이상의 시료의 인장강도를 평가 하여 그 중 오차 범위 안에 들어가는 4개의 값을 유효한 것으로 취하여 인장강도 소실율을 계산하였다.

<Fig. 4>는 토양매립법에 의한 실험 결과 중 인장강도 소실율을 통하여 생분해도를 나타낸 결과이다. 10월 7일부터 11월 24일 사이 48일간 시행된 결과로 이 기간 동안 기상청 보도 평균 기온은 12.8°C~4.0°C였다.

48일이 지났을 때 R-1 시료에서는 구멍들이 관찰

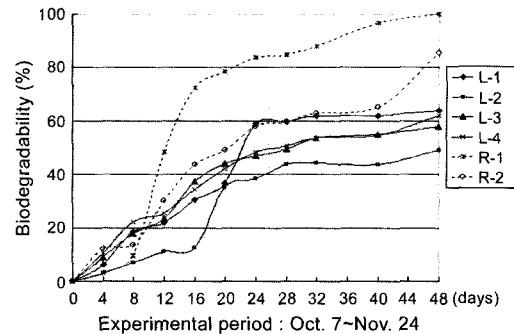


Fig. 4. Biodegradability from soil burial test.

되어 인장강도를 측정할 수 없을 정도로 분해되었다. 시료별로는 R-1 > R-2 > L-1 > L-4 > L-3의 순서로 나타났다. 레이온이 리오셀에 비해 좋은 생분해성을 나타냈고 염색지인 L-2는 가장 낮은 생분해도를 나타냈다. L-2를 제외하고는 결정화도가 낮을수록 생분해가 잘 되는 것으로 나타났다. 이는 형태구조적 특성으로 대개 분자쇄들이 불규칙적이고 배향성이 적은 힐거운 구조를 가진 비결정 영역에서 분해가 시작되기 때문으로 사료된다.

L-2 시료는 반응성 염료로 염색된 것으로 생분해가 잘 일어나지 않았다. 이는 반응성 염료중의 반응기와 섬유가 공유결합하여 섬유의 친수기가 줄어들었거나 염색시 친화력이나 고착율을 높이기 위해 사용되는 무기염이 미생물의 성장을 방해하기 때문으로 기대된다.

(2) 외관 변화

<Fig. 5>는 토양매립으로 인한 외관의 변화를 살펴보기 위하여 매립전의 시료와 48일 매립으로 분해된 시료를 주사전자현미경을 통하여 5000배율로 촬영한 사진이다. 모든 시료들의 표면에서 많은 미생물로 인한 분해의 흔적을 확인할 수 있었다. 레이온의 경우 미생물이 섬유를 완전히 뒤덮고 있어 리오셀에 비해 분해가 더 많이 일어난 것을 알 수 있었고 이는 레이온이 리오셀보다 더 높은 인장강도 소실율을 보인 경향과도 일치한다.

2) 활성하수슬러지법에 의한 생분해성

(1) 이산화탄소 정량

활성하수슬러지법은 활성하수슬러지 내에 존재하는 미생물들의 소화작용에 의해 시료들로부터 이산

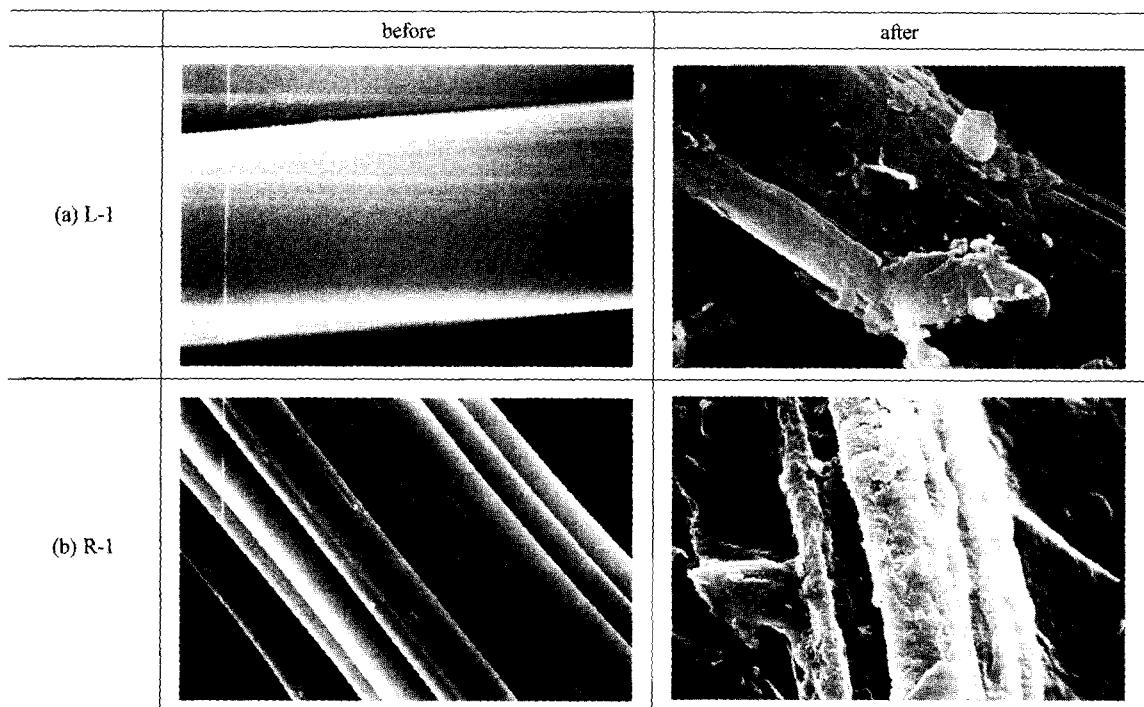


Fig. 5. Scanning electron microphotographs of (1) L-1 & (b) R-1 from soil burial test(after 48 days, $\times 5000$).

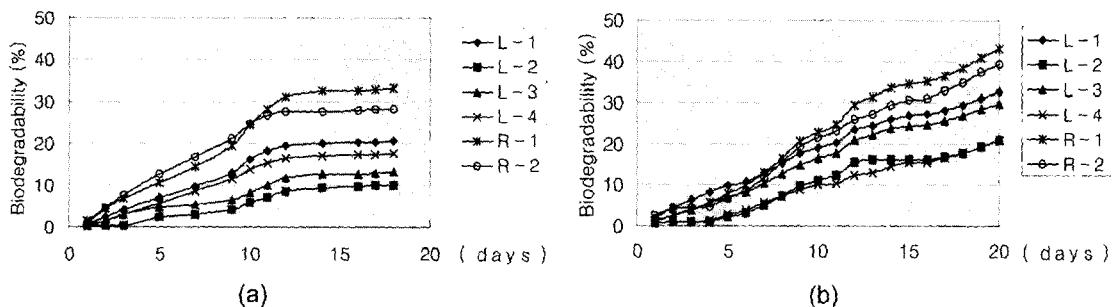


Fig. 6. Biodegradability from activated sludge test. (a): Oct. 14~Nov. 1, (b): Nov. 8~Nov. 28

화탄소가 발생하여 이를 측정함으로써 생분해도를 측정할 수 있는 방법이다. 효소가수분해에 비해 다양한 미생물의 존재 하에 실험이 실행된다는 장점을 가지며, 완전분해의 산물인 이산화탄소를 정량함으로써 최종적 생분해(ultimate biodegradation)를 관찰한다는 의의를 가진다고 볼 수 있다.

<Fig. 6>은 활성하수슬러지법에 의해 발생한 이산화탄소량을 통하여 생분해도를 나타낸 것이다. <Fig. 6-1>은 10월 14일에서 11월 1일 사이에 실시된 1차 실험결과이며, <Fig. 6-2>는 11월 8일에서 28일 사이

에 실시된 2차 실험결과이다. 1차 실험기간의 기상청 보도 평균기온은 12.8°C 이고, 2차 실험기간의 평균기온은 4.0°C 이다. 반응조의 온도는 1차와 2차 모두 $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 이다.

토양매립법의 결과와 마찬가지로 전반적으로 레이온이 리오셀보다 생분해도가 높게 나타났다. 레이온이 리오셀에 비해 결정화도는 낮고 수분율이 높다는 것이 이 결과에 영향을 미친 것으로 생각된다. 1차실험에서는 R-1 > R-2 > L-1 > L-4 > L-3의 순으로 나타났고 2차실험에서는 R-1 > R-2 > L-1 > L-3 > L-4의 순

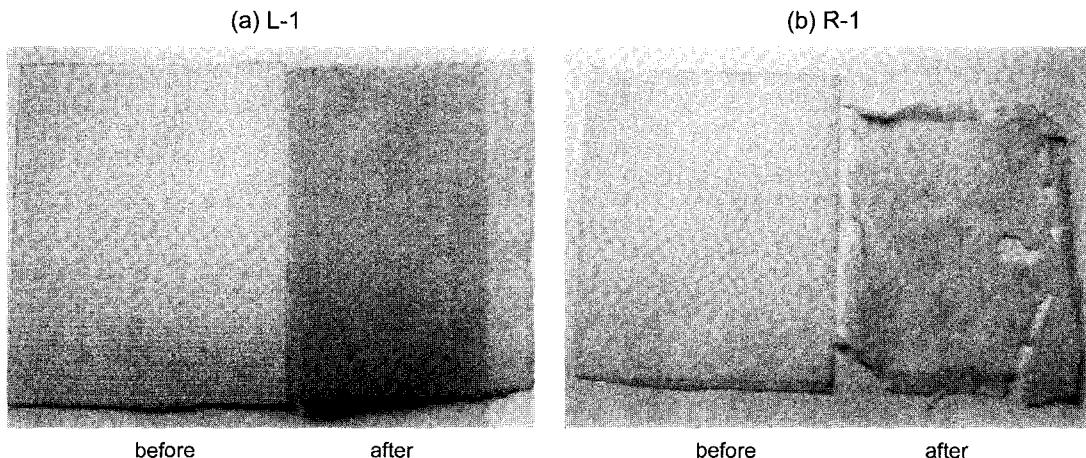


Fig. 7. Photographs of (a)L-1 & (b)R-1 from activated sludge test.

으로 나타났다. L-2는 토양매립법에서와 마찬가지로 가장 낮은 생분해도를 나타내고 있다. 이는 아마도 시료에 염색한 염료나 다른 첨가제가 생분해성에 영향을 미친 것으로 사료된다. <Fig. 6-1>과 <Fig. 6-2>를 비교해 보면 같은 반응조에서 이루어진 실험이지만 채취기간에 따라 슬러지에 존재하는 미생물의 종류와 수가 다르기 때문에 1차실험의 결과가 2차실험에서 완전히 재현되지 않은 것을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 1차실험과 2차실험의 거의 유사한 경향을 나타내고 결정화도 및 수분율과 밀접한 관련을 나타내고 있다.

(2) 외관 변화

<Fig. 7>은 활성하수슬러지에 의해 분해된 시료의 외관변화를 살펴본 사진이다. 왼쪽이 분해전의 시료의 모습이고 오른쪽이 분해 후의 시료의 모습이다. 모든 시료들이 미생물들에 의해 변색된 것을 확인할 수 있으며 레이온에서는 시료에 구멍난 모습도 확인 할 수 있다. 활성하수슬러지법의 이산화탄소 정량에서 레이온이 리오셀에 비해 생분해가 많이 일어난 것을 확인할 수 있었는데 이는 사진에 나타난 시료의 구멍을 통해서 다시 한번 확인 할 수 있다.

3) 효소가수분해에 의한 분해성

시료를 셀룰라아제로 12시간 분해시킨후 분해용액의 총유기탄소량(TOC, Total Organic Carbon)을 통하여 분해성을 평가하고자 하였다. 짧은 시간에 실험을 진행시킬 수 있다는 장점을 갖고 있지만 실제 폐

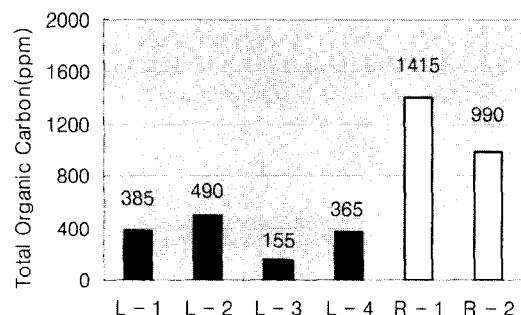


Fig. 8. TOC from enzymatic hydrolysis.

기시 일어나는 생분해의 거동과는 다소 차이를 보일 수 있다는 단점이 있다. 셀룰라아제를 이용하여 리오셀과 비스코스레이온을 분해하면 셀룰로스가 수용성 글루코오스로 분해되고 TOC 측정을 통해 분해성을 평가할 수 있다.

<Fig. 8>은 리오셀과 비스코스 레이온을 셀룰라아제를 이용하여 12시간 분해 후 용액 내의 TOC양을 측정한 결과이다. 비스코스 레이온은 1415ppm과 990ppm으로 다소 높은 TOC양을 보이지만 리오셀은 이에 미치는 못하는 490, 385, 365, 155ppm의 수치를 보이고 있다. 그 순서는 R-1>R-2>L-1>L-4>L-3로 결정화도와 동일한 경향을 보이고 있다. 이는 비결정 영역이 결정영역보다 훨거운 구조를 가져 효소가 접근하여 공격하는 용이성이 크기 때문으로 생각된다. 염색지인 L-2는 앞의 토양매립법과 활성하수슬러지법에서는 낮은 생분해도를 보였지만 효소가수분해에서는 높은 분해도를 보였다. 이는 90%가 넘는 다른

Table 2. Correlation coefficients between biodegradabilities and properties of specimens

		α -셀룰로스 함량	중합도	결정화도	수분율
토양 매립에 의한 인장강도 소실율	Pearson 상관계수	.589	-.922**	-.949**	.928**
	유의확률(양쪽)	.219	.009	.004	.008
활성하수슬러지에 의한 생분해도 (1차 실험)	Pearson 상관계수	.603	-.911*	-.934**	.895*
	유의확률(양쪽)	.205	.011	.006	.016
활성하수슬러지에 의한 생분해도 (2차 실험)	Pearson 상관계수	.622	-.796	-.869*	.898*
	유의확률(양쪽)	.187	.058	.025	.015
효소가수분해에 의한 TOC량	Pearson 상관계수	.234	-.970**	-.979**	.961**
	유의확률(양쪽)	.656	.001	.001	.002

**상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의함.

*상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의함.

시료들의 α -셀룰로스 함량에 비해 L-2는 83.39%로 다소 낮은 α -셀룰로스 함량을 갖기 때문으로 생각된다. 헤미셀룰로스는 많은 당들로 구성된 비결정의 고분자로 산에 의해서도 비교적 쉽게 가수분해되고 중합도가 200정도 밖에 되지 않지만 α -셀룰로스는 글루코오스로만 이루어진 높은 결정성 고분자이기 때문에 리오셀 시료간의 비교에서는 α -셀룰로스 함량이 낮을수록 높은 생분해도를 보인 것으로 사료된다.

4) 생분해성에 영향을 미치는 요인

생분해성에 영향을 미칠 것으로 추정되는 셀룰로스 섬유의 물성과 본 연구를 통해 얻어진 실제 시료의 생분해도의 상관관계를 SPSS 통계분석 프로그램을 통해 상관관계 분석을 실시한 결과를 <Table 2>에 나타내었다. 생분해성에 관계가 있을 것으로 추정되는 리오셀과 비스코스 레이온 섬유의 물성은 α -셀룰로스 함량, 중합도, 결정화도, 수분율 등이었으나 상관관계 분석 결과 결정화도와 수분율이 전반적인 시료의 생분해도에 가장 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 토양 매립에 의한 인장강도 소실율과 효소가수분해에 의한 TOC량의 상관관계에서는 중합도, 결정화도, 수분율 모두 높은 상관을 나타내었다. 효소가수분해 실험 결과 리오셀 시료간의 생분해성 차이는 α -셀룰로스 함량 차이에 의한 것으로 사료되었으나 실험에서 사용된 시료 전체의 결과는 α -셀룰로오스 함량과의 상관 계수가 다소 낮게 나타났다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 비스코스 레이온과 리오셀을 시료로

하여 이들의 생분해성을 평가하고자 하였다. 결정화도와 친수성이 생분해성에 미치는 영향 살펴기 위해 X-ray 회절 곡선을 이용해 결정화도를 계산하였고, 수분율을 측정하였다. 토양매립법, 활성하수슬러지법, 효소가수분해를 통하여 분해 거동을 살펴보았다. 이들의 결과는 다음과 같다.

- 토양매립법에서는 R-1이 가장 높은 생분해도를 나타냈고 R-2, L-1, L-4, L-3, L-2의 순으로 나타났다. 현미경사진을 통해서도 이와 같은 결과를 알 수 있었으며 대부분의 시료에서 미생물이 많이 발생한 것이 관찰되었다.
- 활성하수슬러지법의 결과는 1차 실험에서 R-1 > R-2 > L-1 > L-4 > L-3 > L-2의 순으로 2차시험에서 R-1 > R-2 > L-1 > L-3 > L-4 > L-2의 순으로 나타났으며 분해 후의 사진에서는 시료들에 변색이 일어나고 구멍이 관찰되었다.
- 효소가수분해에서는 R-1 > R-2 > L-2 > L-1 > L-4 > L-3의 순으로 나타났다. α -셀룰로스 함량이 낮은 L-2가 리오셀 중 가장 높은 생분해도를 보였다.
- 생분해성에 영향을 미칠 것으로 추정되는 셀룰로오스 섬유의 물성과 활성하수슬러지법, 효소가수분해법 등의 실험을 통해 얻어진 실제 시료의 생분해도의 상관관계를 분석한 결과, 결정화도와 수분율이 생분해도와 가장 높은 상관관계를 나타내었다.

이상의 결과를 토대로 레이온과 리오셀을 시료로 한 본 연구에서는 토양매립법, 활성하수슬러지법, 효소가수분해 통해 결정화는 낮을수록 수분율은 높을수록 생분해에 유리하다는 알 수 있었다. 결정영역에

비해 조밀하지 않은 비결정영역의 구조적 특징으로 인해 생분해가 비결정영역에서 우선적이고 선택적으로 일어나며, 수분이 미생물이나 효소의 접근성과 활동성에 큰 영향을 미치기 때문으로 생각된다. 이러한 이유로 인해 상대적으로 결정화도가 낮고 수분율이 높은 비스코스 레이온이 리오셀에 비해 생분해성이 좋다는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 제조공정에서는 무독성 용매인 NMMO를 사용하여 회수하는 리오셀이 비스코스 레이온보다 친환경적이지만 폐기공정에서 요구되는 생분해는 비스코스 레이온이 리오셀 보다 유리하여 더 친환경적이라는 것을 확인할 수 있었다. 염색된 시료에서는 다른 경향을 보였으므로 염료나 첨가제의 존재가 직물의 생분해성에 미치는 영향에 대한 규명이 요구된다. 또, 좀 더 다양한 범위로 α -셀룰로스를 함유한 시료의 물성실험과 생분해실험 이 동시에 이루어진다면 적절한 내구성을 지니면서 생분해에도 유리한 α -셀룰로스 함량을 밝힐 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- 김성련. (2001). *괴복재료학*. 교문사.
- 김인범, 이명천, 서인선, 신평균. (1995). 물성에 따른 고분자의 생분해도 영향. *Polymer(Korea)*, 19(6), 727-733.
- 김정규, 박정희. (2001). *폐선소재기획*. 교문사.
- 박영환. (1991). 생분해성 고분자 -생분해성에 대한 화학적 구조 및 형태학적 미세구조의 효과-. *한국섬유공학회지*, 28(1), 9-17.
- 박태규. (1994). 생분해성 합성수지. *럭키고분자기술*, 31(12), 7-18.
- 오영세, 한삼숙, 정두감. (2002). Lyocell섬유의 새로운 가능성이. *섬유기술과 산업*, 6(1), 1-26.
- 최연주. (1994). 아민기를 도입한 면직물의 염색성에 관한 연구. *한국의류학회지*, 19(1), 51-56.
- 한국섬유공학회. (2001). *최신합성섬유*. 형설출판사.
- 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.
- Doi, Y. & Fukuda, K. (1994). *Biodegradable plastics and polymers*. Elsevier.
- Domb, A. J., Kost, J. & Wiseman, D. M. (1998). *Handbook of biodegradable polymers*, 451-408.
- Woodings, C. (2001). *Regenerated cellulose fibers*. Woodhead publishing Ltd.
- Wu, S. (1982). *Polymer interface and adhesion*. Marcel Dekker Inc.
- Zhou, E. & Crawford, R. L. (1995). Effects of oxygen, nitrogen and temperature on gasoline biodegradation in soil. *Biodegradation*, 6, 127-140.