

합성섬유의 리사이클 (Recycle)

손양국, 오성진 · (주)효성 기술원 생산기술연구소

1. 머리말

21세기 현대 사회에 있어서 지구의 중요한 문제로는 크게 인구 문제, 자원 문제, 식량 문제 및 환경 문제로 나눌 수 있다. 20세기 초부터 인류는 선진국들의 주도하에 대량 생산 방식을 도입하여 생산 효율화를 추구하고, 공업화 속도가 급증함에 따라 대량 생산, 대량 소비 시대를 열었다. 이에 생활의 편리성은 현격하게 증대된 반면, 지구 환경 악화로 인한 환경 문제가 대두하게 되었다.

각종 공장에서의 생산 활동과 자동차, 기차, 비행기, 선박 등의 수송 활동 및 냉난방, 취사, 여가 활동 등의 각종 인간 활동에 의해 유발되는 인위적인 대기 오염, 수질 오염, 토양 오염, 소음, 진동, 악취 등의 발생이 자연 환경이나 생활 환경을 손상시키고 궁극적으로는 사람의 생활 및 건강에 중대한 영향을 미치게 되었다.

이산화탄소, 메탄, 아산화질소(N_2O), 염화불화탄소(CFCs) 등의 가스가 지구 주위를 둘러싸고 그 결과 지구층의 가열된 복사열의 방출을 막고, 지구가 더워지는(global warming) 현상인 온실 효과(green house effect)를 발생시키게 되었다.

이런 현상으로 1880년보다 1990년도의 지구의 대기온도가 0.5-0.7 °C 정도 높아진 것으로 알려지고 있으며 이로 인하여 생태계의 변화, 해수면의 상승 및 오존층의 파괴 등의 2차적 문제를 야기하고 있다. 지상으로부터 높이 약 25 km 부근의 대기 중의 오존층은 단파장 자외선을 흡수하여 지상까지 도달하지 못하게 함으로써 인간과 동식물을 보호하여 주는 역할을 한다. 오존층 파괴의 주범은 염화불화탄소(CFCs)로 알려져 있다.

이러한 지구 온난화 문제를 국제적으로 대처하기 위하여 국제사회는 1992년 6월 브라질 리우데자네이루에서 [기후변화협약]을 체결하였고, 1998년에는 [교토의정서]를 통하여 청정 개발 체제, 온실 가스 배출권 거래 체제 등을 수단으로 시장 원리에 입각한 온실 가스 배출의 감축 및 각국의 구속력 있는 목표를 산정하기에 이르렀다.

여기에서 또다른 심각한 문제로 대두하는 것은 매립되는 스

레기가 날로 늘어가는 것에 비해서 쓰레기 매립 장소가 부족하다는 것이다. 이것은 기존 매립지의 폐쇄 및 새로운 매립 장소 부족으로 인해 생긴 현상으로, 미국의 경우[1] 지난 20년 동안 사용 가능한 쓰레기 매립지가 75%까지 감소하였으며, 앞으로 5년 내에 현재 운영되고 있는 매립지 중에서도 약 30%는 토양 및 수질 오염에 의한 정부의 엄격한 규제 때문에 폐쇄될 위기에 놓여 있다. 더구나 새로운 매립지의 개발도 정부의 각종 규제 때문에 갈수록 어려워질 것으로 보인다.

미국에서 발표된 연구 보고[2]에 의하면, 중량을 기준으로 볼 때 고형 쓰레기의 40%는 종이류이고 18%는 일반 쓰레기, 7-9%가 금속, 유리, 플라스틱 및 음식 쓰레기인 것으로 보고되고 있다. 이것을 부피 기준으로 보면 종이류는 34%, 플라스틱류는 20%, 금속류는 12%로서 플라스틱류의 매립부피가 상대적으로 많음을 알 수 있다. 그렇기 때문에 상대적으로 큰 부피의 플라스틱 쓰레기는 환경론자와 전문가들에 의한 심한 공격의 대상이 되어왔다. 이와 같은 문제에도 불구하고 최근 까지도 플라스틱 제품의 재생 비율은 20-40% 수준으로, 타 제품 대비 상대적으로 낮아 많은 전문가 및 환경론자들의 연구 대상이 되어왔다.

이러한 환경 문제는 선진국으로부터 개발도상국에 이르기까지 전 세계가 공동으로 대처해야 될 사안이다. 본 장에서는 이러한 환경 문제 대처의 일환으로 합성 섬유의 리사이클(recycle)에 대하여 다루고자 한다.

2. 합성 섬유의 재생(Recycle)

플라스틱류 쓰레기를 처리하기 위하여 많은 노력이 시도되고 있는데, 1990년 9월에 발표된 ASTM(American Society for Testing and Materials) D-5033-90 표준 가이드[3]에 의하면 재생 플라스틱을 용도와 기술에 따라서 Table 1과 같이 분류하고 있다.

또한, Table 2와 같이 재생 공정 기술에 따라서 그 최종 제품의 형태 및 성능에 따라 1-4차 재생으로 나눌 수 있다.

Table 1. 용도에 따른 재생 플라스틱의 분류

구분	특징
Waste(쓰레기)	고형쓰레기 분류에 들어가는 플라스틱으로서 회수, 재생, 소각되거나 폐기되어야 하는 것
Scrap 플라스틱	플라스틱 공정기술을 이용해서 실용적인 상업용품으로 재생될수 있는 것으로 플라스틱 제조공정중에 생성되는 것
Nuisance 플라스틱	현재의 기술로서 실용품으로 재생산 될 수 없고 전혀 사용 불가능한 플라스틱

Table 2. 재생 공정 기술에 따른 재생 플라스틱의 분류

구분	특징
1차 재생	표준 공정에 의해 원래의 플라스틱과 동일한 성능을 갖는 생산품을 제조하는 scrap 플라스틱의 재생 공정 기술
2차 재생	재생-제조 공정을 조합하여 원래의 제품 특성 보다는 저급품을 생산하는 scrap 또는 waste 재생 공정 기술
3차 재생	scrap이나 waste 플라스틱을 화학물질이나 연료로 재생하는 공정 기술
4차 재생	scrap이나 waste 플라스틱을 소각하여 에너지를 얻어 내는 공정 기술

이러한 플라스틱류 제품 중에 상업적으로 많이 사용되는 폴리에스터의 대표적인 재생 기술은 세계 여러 회사들에 의해 개발되어 왔다.

Barber Coleman 사는 폐 PET 필름을 분해하여 은을 회수하면서 TPA를 얻는 기술을 개발하였으며[4], Farbwerke Hoechst 사는 폐 PET 형태(섬유, 칩, 필름)에 상관없이 2단계 공정으로 메탄올과 용융 PET를 반응시키는 기술을 개발하여 DTM를 99%까지 회수할 수 있는 PET 재생 기술을 개발하였다[5].

Eastman Kodak 사에서는 폐 PET와 여러 가지 알코올류를 반응시킨 후 촉매를 이용하여 생성물을 수소화 시킴으로써 고순도, 무색의 해중합된 PET 생성물을 얻었다[6].

상업적인 합성 섬유 리사이클은 1960년대 말에서 1970년대 초에 PET 및 기타 소재의 포장 재료(package) 분야를 시작으로 각광을 받기 시작하였는데, 처음으로 리사이클 제품을 생산한 Wellman 사의 경우 현재 그 생산 능력이 연간 5만톤 수준이다. 또한, 일본의 Teijin, Asahi, Toray 사 등을 비롯하여, 대만의 Shinkong, Chungshin 등이 상업화 가동 중이며, 미국의 아웃도어 웨어 부문의 선두 주자인 파타고니아 사는 폴리에스터 부문에서 Teijin 사가 나일론6 부문에서 Toray 사와 연계하여 새로운 개념의 완전순환형 시스템의 리사이클 아웃도어 웨어 시장의 장을 열었다. 한국에서도 1995년 삼양사가 연간 1만톤 수준의 폐 PET 재활용 공장의 상업화를 시작한 것을 필두로 화섬업계 선두주자인 효성이 2008년 국내 최초로 'Regen'이라는 상품명으로 리사이클 폴리에스터 및

Table 3. 폴리에스터 리사이클의 시장 규모(출처 : PCI)

1) 유럽(EU)		단위 : 천톤/년			
용도	2000년	2005년	2008년	2010년	
Fiber	136	265	305	336	
Food package bottles	10	42	46	49	
Non-food package bottles	2	10	13	17	
Brakes	20	55	64	70	
Plastic metal straps	12	47	55	61	
Engineering plastics	3	7	17	22	
Polyols	-	4	19	20	
Chemical recycling & other applications	-	22	102	118	
계	183	453	620	692	

2) 미국		단위 : 천톤/년			
용도	2000년	2005년	2008년	2010년	
Fiber	219	241	228	263	
Food package bottles	25	94	129	139	
Non-food package bottles	18	14	17	30	
Brakes	37	36	43	47	
Plastic metal straps	52	55	76	82	
Engineering plastics	14	5	7	14	
Polyols & other applications	3	8	12	15	
계	368	452	512	590	

나일론 장섬유를 개발하여 상업화에 성공하였다. 이와 같이, 세계적으로 packaging 재료로부터 부직포, 카펫, 홈텍스타일, automobile 등의 합성 섬유 제품에 이르기까지 리사이클 제품의 용도가 확대 되었으며, 폴리에스터의 경우 Table 3에서 보는 바와 같이 그 생산 능력 및 규모도 연간 수십만 톤에 이르게 되었다[7].

그 용도에 따른 시장 규모를 살펴보면 섬유 용도가 절반 이상을 차지하고 있으며, 각국의 여러 선진 기업에서 환경 경영의 측면에서의 기술, 신제품 및 신시장 개척에 많은 투자를 하고 있는 실정이다.

2005년도 기준 PET의 리사이클 비율을 보면 중국 70-85%, EU 35%, 미국 23%, 일본 64%, 한국 60-70%, 기타 국가 20-40% 수준으로 상대적으로 EU 및 미국과 같은 선진국의 리사이클 비율이 낮은 특징이 있으며, 생산 규모, 재활용량 및 그 비율에 있어서 중국이 전 세계 시장을 좌지우지 할 정도로 막강한 영향력을 가지고 있다.

3. 환경 배려형 제품과 리사이클의 정의

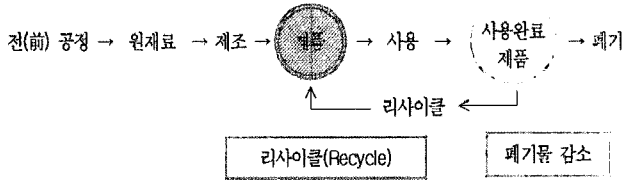
3.1. 환경 배려형 제품

제품의 라이프사이클 전체에서 에너지 절감, 탄산가스 감소, 유해물질 감소, 환경 정화 및 폐기물 감소(리사이클)에 대

한 환경 부하를 저감시키는 제품이다.

3.2. 리사이클 제품

사용 완료된 제품 및 제조 공정의 쓰레기를 원재료로 재이용하는 제품이다.



- 에너지 절감 제품 : 탄소 섬유, 자동차용 엔지니어링 플라스틱(PBT, PPS 등)
- 이산화탄소 감소 제품 : PLA, PTT 제품
- 유해물질 감소 제품 : 물없이 사용하는 인쇄용 평판, 액정 컬러 필터
- 환경 정화 제품 : 수처리 관련 제품(역삼투막, 중공사막, 침지막 등)
- 폐기물 감소 제품 : 각종(PET, nylon, PP 등) 리사이클 제품

4. 리사이클 방법의 특징

리사이클의 시발점은 자원과 지구 환경 보호이다. 리사이클을 하기 위해서 필요 이상의 에너지를 소비한다든지, 필요 이상의 이산화탄소(CO₂)를 발생시키지 않아야 한다.

리사이클은 크게 케미컬 리사이클(chemical recycle), 머티리얼 리사이클(material recycle) 및 서멀 리사이클(thermal recycle)로 나눌 수 있으며, 그 특징은 Table 4에서 보는 바와 같다.

케미컬 리사이클은 화학적으로 분해하여 화학 원료로서 이용하는 것이다. 반영구적으로 리사이클이 가능하고, 순환형 경제사회에서 최적 공법이지만 기술면, 비용면에서 난이도가 높다.

머티리얼 리사이클은 동종 또는 별종 재료를 분별 후 용융

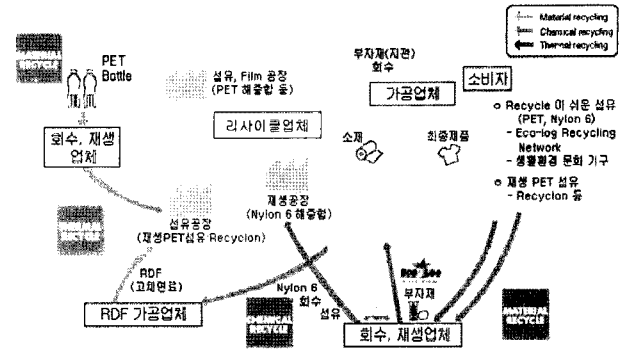


Figure 1. 합성 섬유의 리사이클 시스템.

재생하는 것으로, 비용 측면에서 최적 공법이지만, 철저한 분별이 필요하다.

서멀 리사이클은 열에너지로 재이용하는 것으로, 자원을 반복하여 이용할 수 없으며, 연소된다는 것 때문에 리사이클의 이미지로서 그다지 좋지 않다.

따라서, 소재의 특성에 맞추어 여러 가지 리사이클 기술을 다각적으로 판단하고, 가장 에너지가 적게 드는 리사이클 방법을 사용하는 것이 이상적인 리사이클이라고 생각되고 있다. Figure 1은 합성섬유의 리사이클 시스템에 대한 흐름을 도식화한 것이다.

이와 같이, 케미컬 리사이클, 머티리얼 외에도 서멀 리사이클에 대한 노력도 시도되고 있으며, 이러한 리사이클을 통틀어 토탈 리사이클이라 부르고 있다. 이러한 시도는 현재 글로벌기업 위주로 전개되고 있는 실정이다.

5. 폴리에스터(Polyester) 리사이클

PET 리사이클은 그 공법에 따라 케미컬 리사이클(PET 폐기물 → 화학 처리 → DMT, TPA → 중합 → chip)과 머티리얼 리사이클(PET 폐기물 → 분별/세정 → 재용융 → chip)로 나눌 수 있다.

Table 4. 리사이클 공법별 특징

리사이클 방법	개요	특징	
		장점	단점
케미컬 리사이클	화학적으로 분해하여 화학 원료로 이용 예) 모노머화, gas 화, 유화 등	반영구적으로 리사이클 가능 (순환형 경량 제품에 적합)	기술면 및 비용면에서 난이도가 높음 투자 비용이 많음 분별이 필요
머티리얼 리사이클	동종 또는 별종 재료로 용융 재생	분별 후에는 낮은 비용으로 쉽게 리사이클이 가능 투자 비용이 적음	대상 품종이 한정됨 분별이 필요
서멀 리사이클	열에너지로서 이용	분별 필요 없음	자원을 반복 이용할 수 없음

Table 5. 폴리에스터 섬유의 리사이클 공법별 특징

Recycling 공법	가수분해법(Hydrolysis)	메탄올법(Methanolysis)
$\left(\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{COCH}_2\text{CH}_2\text{O} \right)_n$ <p>PET</p>	$\xrightarrow[\text{H}_2\text{O}]{\text{Hydrolysis}} \text{HO}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{OH} + \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ <p>TPA</p>	$\xrightarrow[\text{CH}_3\text{OH}]{\text{Methanolysis}} \text{H}_3\text{CO}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{OCH}_3 + \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ <p>DMT</p>

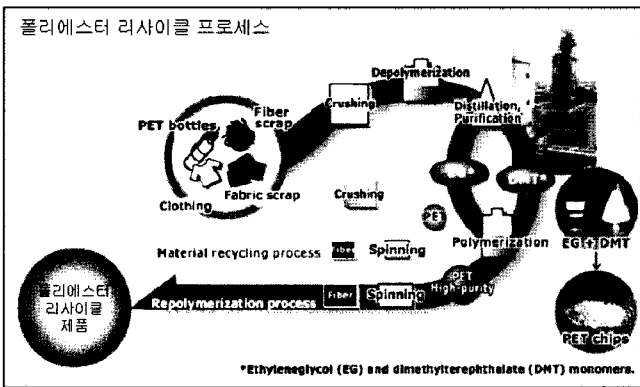


Figure 2. 폴리에스터 섬유의 리사이클 프로세스.

5.1. 폴리에스터의 케미컬 리사이클

폴리에스터의 케미컬 리사이클 공법은 에스터(ester) 결합으로 형성된 PET는 가수분해와 ester 교환반응으로 원료(TPA, DMT, EG)를 회수할 수 있으며, 가수분해법(hydrolysis), 메탄올법(methanolysis) 및 글리콜법(glycolysis)로 대별된다.

상업적으로 적용되는 공법은 TPA를 회수하는 가수분해법과 DMT를 회수하는 메탄올법이 있으며 메탄올법이 주류를 형성하고 있다. 이렇게 재생된 TPA/DMT 및 EG를 폴리에스터 중합 공정에 투입하여 폴리에스터 칩(chip)을 생산한 다음, 단섬유(staple) 또는 장섬유(filament)를 생산하는 공정에 투입하여 원사를 생산하게 된다.

화학적으로 분해하여 화학 원료로서 이용하는 방법으로, 반영구적으로 리사이클이 가능하고, 순환형 경제사회에서 최적 공법이지만 기술면, 비용 면에서 난이도가 높다.

Table 5에 폴리에스터 섬유의 리사이클 공법별 특징을 도식화 하였다.

폴리에스터 섬유의 대표적인 케미컬 리사이클 및 머티리얼 리사이클 공법에 대한 프로세스를 살펴보면 Figure 2와 같다.

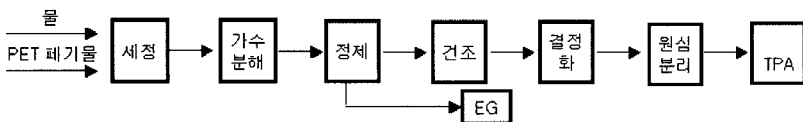


Figure 3. 폴리에스터의 가수분해법에 의한 케미컬 리사이클 프로세스.

그림에서의 케미컬 리사이클은 메탄올을 사용하여 해중합을 이용한 메탄올법을 나타내고 있으며, 이중 일부 폐 PET bottles과 fiber scrap 등을 이용하여 머티리얼 리사이클을 병행하여 원사를 생산하고 있다.

폴리에스터 케미컬 리사이클의 또다른 공법인 가수분해법의 프로세스를 살펴보면 Figure 3과 같다.

폴리에스터 섬유의 케미컬 리사이클 프로세스의 반응 방법에 따른 메탄올법과 가수분해법의 장단점으로 메탄올법은 DMT가 140 °C 부근에서 용융이 가능하므로 정제가 용이하나, 폴리에스터 중합 프로세스 상 DMT 공법 생산 설비가 적어 그 적용의 대상 폭이 적다는 단점이 있다. 반면 가수분해법은 TPA 공법 생산 설비가 많아 적용 대상 폭이 넓다는 장점이 있으나, TPA가 불용(不融)인 특성으로 인해 정제가 어렵다는 단점이 있으며, Table 6에서 보는 바와 같다.

폴리에스터 케미컬 리사이클의 소비에너지는 버진 대비 약 50%, CO₂ 발생량은 약 45% 수준이다.

5.2. 폴리에스터의 머티리얼 리사이클

폴리에스터의 머티리얼 리사이클 공법은 회수된 PET bottle 등을 수거, bottle 캡(cap), 라벨 등을 분리하고, 용도 및 색상에 따라 분별한 다음 세정하고 이를 분쇄한다. 분쇄된 PET bottle을 플레이크(flake)라 하며, 이를 풍력 분별, 비중법 등으로 다시 이종(異種) 소재(PP 캡, PE 라벨)를 분별하고 이를 세정, 탈수한 다음 재용융하여 폴리에스터 칩으로 재생하며, 재생칩을 단섬유 또는 장섬유를 생산하는 공정에 투입하여 원사를 생산하게 된다. Figure 4는 폴리에스터 머티리얼 리사이클 공법의 프로세스다.

폴리에스터 머티리얼 리사이클 공법은 동종 또는 별종 재료로서 분별 후 용융 재생하는 것으로, 비용 측면에서 최적 공법이지만, 폐 원료부터의 철저한 분리 수거, 재생 공정에서의 분별 및 세정 및 품질을 철저히 관리할 필요가 있다.

폴리에스터의 머티리얼 리사이클 공법은 그 세정 및 분리 방법에 따라 4가지 공정법으로

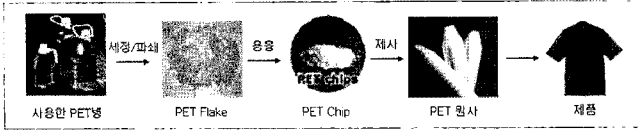


Figure 4. 폴리에스터 머티리얼 리사이클 공법의 프로세스.

Table 6. 폴리에스터 케미컬 리사이클의 공법별 장단점

공법		메탄올법(Methanolysis)	가수분해법(Hydrolysis)
회수 제품		TPA, EG	DMT, EG
장단점	장점	TPA 공법 중합설비가 많아 적용 대상폭이 큼	DMT가 용융(140 °C) 되므로 정제가 용이함
	단점	TPA가 녹지 않으므로 순도와 입도를 고려한 정제가 어려움	DMT 공법 중합설비가 적어 적용 대상폭이 좁음

※ 메탄올법과 가수분해법에 PET 올리고머를 회수하는 글리콜법이 있으나, 아직은 연구 기관에서 기초 연구를 하는 수준임.

Table 7. 세정, 분리 방법에 따른 폴리에스터의 머티리얼 리사이클 공법의 비교

구분	특징
부유/원심 분리 공정법	- 분쇄 공정을 먼저하기 때문에 불순물 함량이 높음 - 폐 fiber 및 compound의 재생용으로 한정됨
수조/원심 분리 공정법	- 용기의 성분들이 분쇄 전에 분리됨 - 기타 특징은 부유/원심 분리 공정법과 유사함
용액/수세 공정법	- 분쇄 전에 세척하기 때문에 고순도 재생품 생산 가능 - 용기 라벨 및 접착제의 분리가 효과적임
용매/부유 공정법	- 염화계 용매를 사용한 일련의 부유/침강 단계를 거침 - 용매를 사용하기 때문에 접착제 분리가 용이함 - 용매 회수 등의 처리 문제가 어려움

분리할 수 있으며, 각 공정법의 특징은 Table 7에서 보는 바와 같다.

폴리에스터 머티리얼 리사이클의 소비에너지는 버진(virgin) 대비 약 25%, CO₂ 발생량은 약 30% 수준이다.

6. 나일론6(Nylon6) 리사이클

나일론6의 리사이클은 케미컬 리사이클(nylon 폐기물 → 화학 처리 → 카프로락탐 → chip)과 머티리얼 리사이클(공정 잔류물, 폐칩 → 분별/세정 → 재용융 → chip)로 나눌 수 있다. 나일론6의 리사이클은 폴리에스터에 비해 비교적 공정이 간단하다.

6.1. 나일론6의 케미컬 리사이클

나일론6(nylon6)의 케미컬 리사이클은 제품으로서 사용이 완료된 나일론6 제품을 화학적으로 분해하여 원료인 카프로락탐(caprolactam)으로 환원시켜 이를 중합 공정에 투입하여 나일론

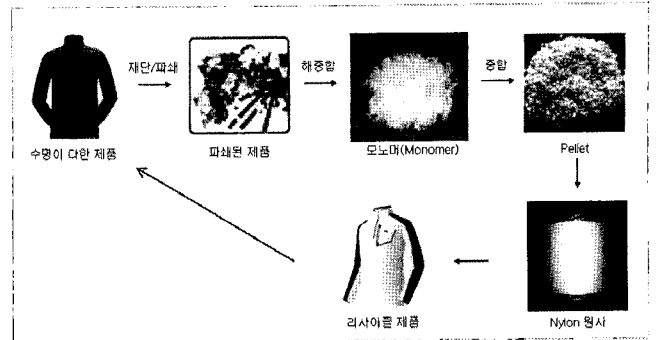


Figure 5. 나일론6 케미컬 리사이클 프로세스.

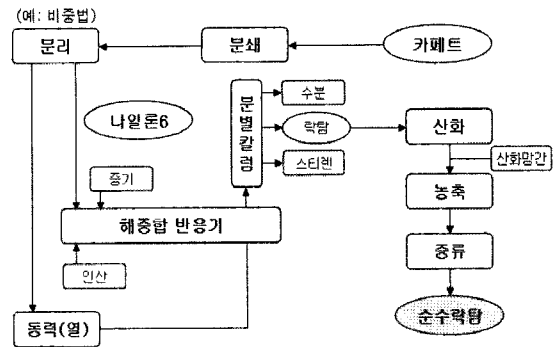


Figure 6. 카펫으로부터 나일론6의 원료인 카프로락탐을 재생하는 리사이클 프로세스.

6 칩을 생산하며, 재생칩을 단섬유 또는 장섬유를 생산하는 공정에 투입하여 원사를 생산하게 된다.

일반적인 나일론6의 케미컬 리사이클 프로세스는 Figure 5와 같다.

화학적으로 분해하여 화학 원료로써 이용하는 방법으로, 반영구적으로 리사이클이 가능하고, 순환형 경제사회에서 최적 공법이지만 기술면, 비용 면에서 난이도가 높다.

나일론6 케미컬 리사이클의 소비에너지는 버진 대비 약 30%, CO₂ 발생량도 약 30% 수준이다.

Figure 6는 카펫을 분쇄하여 비중법으로 분리한 다음 해중합을 통하여 나일론6의 원료인 카프로락탐을 재생하는 리사이클 프로세스 공법의 대표적인 예이다[8].

6.2. 나일론6 머티리얼 리사이클

나일론6 생산 공장에서 발생된 공정 잔류물, 규격 외 제품(원사) 등을 분별, 세정하고, 이를 분쇄한다. 분쇄된 나일론6 플레이크를 세정, 탈수한 다음 재용융하여 나일론6 칩으로 재생한다. 이렇게 재생된 나일론6 칩을 단섬유 또는 장섬유를 생산하는 공정에 투입하여 원사를 생산하게 된다.

Figure 7은 대표적인 나일론6 머티리얼 리사이클 공법의

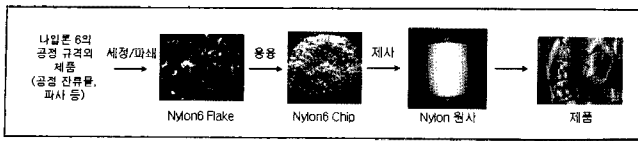


Figure 7. 나일론6 머티리얼 리사이클 공법의 프로세스.

프로세스이다.

나일론6 머티리얼 리사이클의 소비에너지는 버진 대비 약 15%, CO₂ 발생량은 약 20% 수준이다.

7. 합성 섬유 리사이클 제품의 용도

폴리에스터, 나일론 등 리사이클된 합성 섬유 제품의 용도는 스포츠/레저 웨어로부터 각종 아웃도어 웨어, 이너 웨어와 관공서와 은행 등에서의 유니폼 등에 사용되고 있다. 또한, 비의류로는 백(bag), toy 및 카시트, 헤드라이너 등의 automotive 용도 및 산업용에도 적용되고 있으며, 그 대표적인 용도로는 다음과 같다[9].

- 스포츠/레저 웨어 : 육상, 골프, 농구, 축구, 테니스, 에어로빅, 등산, 조깅, 사이클링 등
- 아웃 웨어 : 재킷, 점퍼, 셔츠, 바지 등
- 이너 웨어 : 언더웨어, 란제리 등
- 유니폼 : 정부 관공서, 은행, 회사, 공장 등의 유니폼
- toy 및 automotive : 인형, 카시트, 헤드라이너, 도어트립 등
- 기타 : 백, 양말, 장갑, 모자, 밴드, 수건 및 각종 산업용 섬유 등

Figure 8은 국내 최초, 폴리에스터 리사이클 장섬유를 개발한 효성의 리사이클 폴리에스터 섬유 “Regen[®]”의 용도에 대하여 나타내고 있다.



Figure 8. 리사이클 섬유의 용도(효성 폴리에스터 리사이클 섬유 “Regen[®]”).

8. 합성 섬유 리사이클의 Bottle Neck

상기에서 살펴본 바와 같이, 합성 섬유 제품의 리사이클은 환경오염 예방, 자원의 재사용 등의 장점이 있으나 두 가지의 중요한 문제점이 있다.

그 문제점은 바로 재료 회수의 문제와 이종(異種) 재료 혼재의 문제이다.

2005년도 기준, 페 bottle의 경우, 전 세계 생산량의 약 40-50% 정도만이 재활용 되고 있는 실정이다. 더욱이 의류 및 가정용/산업용 섬유 제품의 경우, 재활용 회수 비율은 극히 미미한 수준이라 할 수 있다.

아울러, 회수된 폐자원의 이종 재료에 대한 분별이 필수적이다. 이종 재료의 분별은 분리수거 단계부터 시작하여야 하고, 이렇게 철저히 분리 수거된 제품이라도 필연적으로 이종의 재료가 혼재될 수밖에 없다. 페 bottle의 경우 주요 구성품은 PET 수지이나, bottle의 뚜껑이나 라벨 등은 폴리에틸렌(PE)나 폴리프로필렌(PP)으로 구성되어 있다. 의류 및 기타 섬유 제품 또한 폴리에스터 또는 나일론 등의 단일 섬유를 이용한 제품 보다는 면, 모 등의 천연 섬유와의 혼방 또는 폴리에스터, 나일론, 레이온, 아크릴 등의 합성 섬유 또는 재생 섬유 등과의 혼방 제품이 훨씬 더 많은 실정이다.

상기에서 보는 바와 같이, 플라스틱 및 합성 섬유 제품의 낮은 회수 비율과 이종 재료의 혼재 문제는 리사이클 기술 개발 및 상업화를 저해하는 중요한 문제로 판단된다.

한편, 각 합성 섬유 및 플라스틱 생산 공장 내에서 발생하는 공정 잔류물, 규격 외 제품 및 각종 waste는 90% 이상이 재활용에 사용되고 있다.

생산 공장에서의 철저한 분리수거가 이루어진다는 가정하면 앞서 언급된 이종 재료의 혼입 등의 순도 측면에서 가장 유리한 리사이클 프로세스라 할 수 있다. 하지만, 최종 소비자까지 사용 후 폐기된 제품이 아니기 때문에 일부 단체에서는 공정 내 리사이클의 경우 환경 마크를 부여하지 않고 있다.

자원의 재활용 비율을 높이고, 리사이클 제품의 품질을 향상시키기 위해서는 분리수거 단계부터 이종 재료에 대한 경제성 있는 분별 기술의 개발이 필수적이라 할 수 있으며, 높은 선진 시민 의식과 국가 차원에서의 지원 정책이 필요하리라 판단된다.

9. 맺음말

최근 국제 사회의 원유의 매장량 고갈 및 소비량 증가와

이에 따른 국제 유가의 급격한 상승으로 자원 절약 및 재활용의 중요성이 증대되고 있다. 이러한 시점에 우리나라와 같이 자원 빈곤국으로서는 석유로부터 출발되는 플라스틱 및 섬유 제품들의 재활용에 대한 기술 개발 및 사업 확대가 불가피한 실정이다.

플라스틱과 섬유 제품의 재활용에 있어서, 현시점에서의 주요 문제는 그 경제성이라 볼 수 있다. 열분해, 촉매 분해, 미생물 분해 등의 차세대 기술 개발은 국가적으로 매우 중요한 과제이며, 장기적 관점으로 보았을 때, 경제성 있는 기술 개발에 대한 노력이 절실하다.

경제적 측면과 더불어 환경적 측면에 있어서도 환경오염의 주범이 되고 있는 플라스틱과 섬유 제품의 리사이클은 중요성은 두말할 필요가 없을 것으로 사료된다.

21세기 현대 사회에서의 각종 대기 오염, 수질 오염, 토양 오염 및 이로 인한 지구 온난화와 오존층 파괴 등의 지구의 미래를 위협하는 환경 문제가 심각하다. 이러한 환경오염으로부터 푸른 지구를 보존하고 우리의 후세들에게 물려 주기 위해서 다시금 환경 문제의 심각성과 자원의 리사이클의 중요성을 인식하고, 다각도의 대책을 마련하고 추진해야겠다.

참고 문헌

1. R. J. Ehrig and M. J. Curry, "Plastics Recycling", pp.3-14, Hanser Pub., N.Y. (1992).
2. U. S. Environ. Protection Agency, EPA/530-SW-90-042, P. ES-4, Jun.(1990).
3. ASTM, D-5033-90(1990).
4. R. A. Lamparter, et al., U.S. Patent, 4,542,239(1985).
5. H. Grushke, W. Hammerschick, and H. Medem, U.S. Patent, 3,403,115(1968).
6. G. M. Stevenson, U. S. Patent, 3,501,420(1970).
7. Chemical Fibers and International, p.76, Feb.(2008).
8. Sen'i Gakkaishi, p.172, Vol.55, No.5(1999).
9. 日本 合成纖維新聞, 20th, Sep.(2007).

● 손 양 국 -----

1983. 한양대학교 섬유공학과 졸업
 1984. (주)효성 기술원 생산기술연구소 입사
 현 재. (주)효성 기술원 생산기술연구소 수석연구원 재직 중
 e-mail : ykson86@hyosung.com

● 오 성 진 -----

2001. 한양대학교 섬유고분자공학과 졸업
 2001. (주)효성 기술원 생산기술연구소 입사
 현 재. (주)효성 기술원 생산기술연구소 책임연구원 재직 중
 e-mail : sjoh@hyosung.com