폐비닐을 이용한 再生原料化 技術

丁守鉉 · 羅正杰 · 金相國 · 禹熙明 · 金永泰**

韓國에너지技術研究院
*忠北大學校 化學工學科
**三慶産業(株)

Feedstock Recycling Technologies using Waste Vinyls

Soo-Hyun Chung, Jeong-Gul Na, Sang-Guk Kim, Hee-Myung Woo
and Young-Tae Kim**

Korea Institute of Energy Research
*Chungbuk National University
**Samkyungsanup Co.

요 약

국내에서 발생하는 폐플라스틱의 양은 폐비닐류를 포함하여 연간 500만톤에 이르며 이 가운데 재활용 선별장을 통하여 배출되는 폐비닐류의 양은 연간 100만톤 정도에 이르는 것으로 추정되고 있다. 재활용 선별장의 폐비닐류는 RPF(Refuse Plastic Fuel) 또는 재생원료로 전환되어 재활용이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 재활용 선별장에서 발생하는 폐비닐을 열매체 가열공정에 의하여 용융처리하여 재생 폐비닐 원료로서 이용가능성을 인장강도를 통하여 분석하고 기존의 재생품과 비교함으로써 용융재생원료의 이용 가능성을 판단하였다. 상업용으로 사용하기 위해서는 폐비닐류를 이용한 재생원료의 인장강도는 100 kgf/cm^2 정도가 적합함을 알 수 있었다.

주제어 : 열매체, 플라스틱 재생원료, 용융처리, 인장강도, 쌍축스크루, 폐비닐류

Abstract

The produced quantity of waste plastics including waste vinyls was assumed as about 5 million tons per year. The quantity of waste vinyls produced from the waste recycling center among total quantity of waste plastics was estimated as about 1 million tons per year. Most of waste vinyls produced from the waste recycling center were recycled as refuse plastic fuel(RPF) or recycled feedstock material. In this study, the medium material using waste vinyls was made by the melting process of heat medium heating and the tensile strength was analyzed for checking the usable possibility of recycled waste vinyl material by comparing with the existent product. In order to use the medium material for producing the recycled product, it can be considered that the tensile strength of medium material is more than 100 kgf/cm^2 .

Key words : Heat medium, Recycled material of waste plastic, Melting treatment, Tensile strength, Twin screw, Waste vinyls

* Received : February 22, 2013 · 1st Revised : May 1, 2013 · 2nd Revised : June 11, 2013 · Accepted : June 24, 2013

*Corresponding Author : Soo Hyun Chung (E-mail : chung@kier.re.kr)

Clean Fuel Department, Korea Institute of Energy Research, 152, Gajeong-ro Yuseong-gu, Daejeon. 305-343, Korea
Tel : +82-42-860-3638 / Fax : +82-42-860-3638

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

1.1. 개요

국내에서 발생하는 고분자 페플라스틱의 양¹⁾은 Table 1에 나타난 바와 같이 약 500만톤 정도에 이르는 것으로 파악되고 있으며 약 50% 정도가 아직도 매립 및 소각에 의하여 처리되고 있어서 국내에서 아직도 재활용율의 향상이 필요한 상황이다. 그러나 일본이나²⁾ 유럽의 경우는³⁾ 재활용율이 70% 이상을 유지하고 있는 것으로 보고되고 있다.

페비닐류를 포함한 페플라스틱의 재활용기술은 크게 물질 재활용과 에너지 재활용으로 구분할 수 있으며 물질 재활용의 경우는 대부분 페플라스틱을 파쇄하거나 페비닐류를 용융하여 재생원료로 생산하고 이것을 이용하여 압출성형⁴⁾ 또는 성형압축을 통하여 재생제품을 생산하는데 활용하는 기술이다. 물질 재활용을 위해서는 가연성이라고 하더라도 종이류 등 비용융성 물질이 혼합된 경우에는 물성이 좋지 않아 활용성이 낮기 때문에 전처리를 통하여 이물질을 제거할 필요가 있다.⁵⁻⁸⁾

에너지 재활용은 페플라스틱을 이용하여 재생유를 생산하는 열분해유화 기술과 페플라스틱 재생연료인 RPF(Refuse Plastic Fuel)를 생산하는 기술로 분류할 수 있으며 열분해 유화의 경우에는 종이류와 같은 가연

성 폐기물은 원료로 사용이 불가능하기 때문에 실제적으로는 물질 재활용에 사용되는 동일한 원료를 사용하여야 한다. 반면에 RPF의 경우에는 종이류와 같은 가연성 물질이 혼합된 경우에도 비교적 이용에 문제가 없기 때문에 품질이 낮은 페비닐류를 활용하더라도 문제가 되지 않아 일반적으로 물질 재활용의 과정에서 폐기물로 발생하는 페비닐류를 포함한 가연성 폐기물을 주로 원료로 사용한다.

물질 재활용의 원료로 사용되는 용기류 페플라스틱의 경우에는 비교적 수거상태가 양호하여 이물질의 함량이 낮은 편이기 때문에 물질 재활용의 원료로 비교적 높은 가격으로 판매되고 있으나 여기에 반하여 페비닐류의 경우에는 도시의 재활용 선별장에서 EPR(Expanded Producer Responsibility) 제품으로 분류하여 처리하는 페비닐류는 용기류 페플라스틱 원료보다는 못하나 비교적 양질에 해당되며 무상처리되고 있다.

EPR 페비닐류는 비닐제품을 포장재로 활용하여 생산하는 회사가 의무분담금으로 국가에 부담하고 있는 대상 페비닐류를 의미하며 생산에 사용된 양보다 약간 낮은 양을 의무분담량으로 규정하고 있다.

재활용 선별장에서 최종적으로 배출되는 폐기물은 잔재물이며 비가연성 물질 등 재활용이 어려운 물질이 다량 함유되어 있어서 유상처리에 의존하며 일반적으로

Table 1. Annual trends on production and recycling of waste plastics (Unit:1,000 t)

구분	2004년			2005년			2006년		
	산업계	생활계	합계	산업계	생활계	합계	산업계	생활계	합계
발생량	2,281	1,491	3,772	2,480	1,489	3,969	2,848	1,647	4,495
매립량	229	593	822	109	472	581	105	483	588
소각량	1,467	377	1,844	1,654	432	2,086	1,839	486	2,325
재활용 (%)	585 (25.7)	523 (35.0)	1,108 (29.3)	716 (28.9)	584 (39.2)	1,300 (32.8)	904 (31.7)	677 (41.1)	1,581 (35.2)
구분	2007년			2008년			2009년		
	산업계	생활계	합계	산업계	생활계	합계	산업계	생활계	합계
발생량	2,600	1,912	4,512	2,614	1,861	4,475	2,729	1,881	4,610
매립량	75	437	512	45	398	443	40	369	409
소각량	1,523	573	2,096	1,296	560	1,856	1,330	575	1,905
재활용 (%)	1,002 (38.5)	902 (47.2)	1,904 (42.2)	1,273 (48.7)	903 (48.5)	2,176 (48.6)	1,358 (49.8)	937 (49.8)	2,295 (49.8)

출처 : 전국 폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부, 2010년

- 주) 1. 산업계는 건설계와 사업장배출계 페플라스틱량 합계
2. 생활계는 사업장생활계와 일반 생활계 페플라스틱량 합계

Table 2. Recent situations of waste plastics on recycling methods and object materials(2010)

재활용 방법		물질 재활용 (재생 원료 또는 Profile)	열분해 유화	RPF (고형연료화)	합 계
업체수 (개)		30	6	32	68
재활용량 (톤/년)	EPR 대상	26,787	1,302	63,586	91,675 (78.3%)
	EPR 비대상	7,424	360	17,622	25,406 (21.7%)
	합 계	34,211 (29.2%)	1,662 (1.4%)	81,208 (69.4%)	117,081 (100.0%)

- 주) 1. EPR 대상 포장재 : 식음료품, 의약품, 세제 및 화장품, 농수축산물의 포장재, 의복류 포장재, 종이제품 포장재, 고무장갑 포장재, 1회용 봉투쇼핑백 등
2. EPR 비대상 포장재 : EPR 대상 포장재를 제외한 모든 포장재(문구 완구, 각종 생활용품 등의 포장재 등)

톤당 5만원에서 10만원 사이에서 이루어지며 서울시의 경우 2012년 사업장 폐기물 발생 및 처리현황에 의하면 연간 14만톤 정도가 발생하고 있다.

따라서 본 연구에서 폐비닐 재생원료로 사용한 것은 재활용 선별장에서 발생하는 EPR 폐비닐류를 사용하였다. 폐비닐류를 사용하여 그 중에 함유된 염산 성분을 제거하기 위하여 각 온도별로 탈염소 처리를 실시하였으며⁹⁻¹³⁾ 각 온도에 따른 인장강도를 분석함으로써 기존제품의 인장강도와 비교함으로써 폐비닐류 용융에 따른 재활용 제품 제조의 가능성을 분석하였다.

1.2. 폐플라스틱 발생 및 재활용 동향

국내에서 발생하는 폐플라스틱은 Table 1에 나타난 바와 같이 각 연도별로 해마다 재활용 비율이 증가되어 왔다. 2004년에 재활용 비율이 29.3%이던 것이 2009년에는 49.8%로 증가되어 재활용 비율이 급격히 증가하였음을 알 수 있다.

2008년과 2009년의 재활용 동향을 살펴보면 전체 발생량은 큰 증가가 없으며 산업계로부터 발생된 양이 생활계로부터 발생한 양보다 많음을 알 수 있으며 소각에 의하여 처리되는 양은 생활계보다 산업계의 양이 훨씬 더 많음을 알 수 있다.

반면에 매립되는 양의 경우는 산업계보다 생활계의 경우가 훨씬 많으며 이는 가정 및 직장 등에서 배출되는 상당량의 폐플라스틱이 재활용되지 않고 종량제 봉투를 통하여 배출되고 매립으로 처리되는 것으로 판단된다.

재활용 비율이 2004년부터 2009년에 이르는 과정에 꾸준히 증가한 이유는 재활용 정책에 의한 분리수거의

정착에 따른 이유도 있지만 석유류 가격의 급격한 증가에 의하여 에너지 가격이 상승하고 플라스틱 제품가격의 상승에 의하여 플라스틱 재활용 제품의 수요가 증가하였기 때문이다.

Table 2는 2010년도의 국내 폐비닐 처리방법 및 재활용 대상물질별 재활용 현황을 나타낸 것이다. 처리대상 폐비닐은 EPR 대상과 EPR 비대상으로 분류할 수 있으며 여기에서 EPR 대상은 EPR 선정에 따른 처리분담금을 받고 처리한 양이며 EPR 비대상은 EPR 처리분담금을 받지 않고 처리한 양에 해당된다. 전체 처리량 12만톤 중에 78%는 EPR 분담금에 의한 처리가 이루어진 것이며 나머지는 처리 분담금을 수령하지 않고 처리한 비율에 해당된다.

재활용 방법별 비율을 보면 RPF 분야가 약 70% 정도의 처리를 담당하였으며 나머지 29% 정도가 물질 재활용 분야임을 알 수 있으며 반면에 열분해 유화분야는 1.4% 정도로서 극히 적은 비율을 차지하고 있음을 알 수 있다.

Table 3은 연도별 처리방법별 동향변화를 나타낸 것이다. 재생원료 생산을 위한 물질 재활용 방법은 2005년도에 61% 정도의 비중을 차지하던 것이 2010년도에는 29% 정도로 급격히 그 비중이 감소되어 물질 재활용이 차지하는 비율이 감소하고 있음을 알 수 있다. 반면에 고형연료인 RPF 제조분야는 동일한 기간에 34% 정도에서 69%로 급격히 상승하였으며 사용량도 2배 가까이 증가하였음을 알 수 있다. 한편 열분해 유화기술은 그 비중이 낮기는 하지만 5%에서 1% 정도로 감소하면서 처리량도 감소하였음을 알 수 있다.

Table 3. Annual trends by recycling methods

연도별방법	2005 비율(%)	2006 비율(%)	2007 비율(%)	2008 비율(%)	2009 비율(%)	2010 비율(%)
물질 재활용 (재생원료)	38,442 (60.9)	29,432 (44.4)	43,686 (50.6)	45,178 (46.6)	37,959 (35.6)	34,211 (29.2)
열분해 유화	3,167 (5.0)	2,830 (4.3)	1,288 (1.5)	970 (1.0)	831 (0.8)	1,662 (1.4)
RPF (고형연료)	21,539 (34.1)	33,969 (51.3)	41,294 (47.9)	50,744 (52.4)	67,891 (63.6)	81,208 (69.4)
합계	63,143	66,231	86,268	96,922	106,681	117,081

Table 4. Proximate and elemental analysis data of waste vinyl

공업분석 (wt%)				원소분석 (wt%)			
수분	휘발분	회분	고정탄소	탄소	수소	질소	유황
0.18	98.46	1.22	0.14	78.25	10.43	0.45	0.02

이와 같은 동향은 에너지가격의 상승에 의한 폐기물 에너지화기술의 수요가 증가한 측면도 있지만 매립 및 소각에 의한 기술 단순처리기술의 비중이 에너지 재활용 분야로의 전환에 의한 정책적인 측면도 고려된 것을 알 수 있다. 열분해 유화기술의 경우에는 2005년경에는 중소 규모의 유화업체들이 현장적용 기술을 개발하였으나 공정이 복잡하고 운전비용이 높기 때문에 상용화 진입에 실패하게 되었으며 그 처리량도 줄어들었음을 알 수 있다. 특히 열분해 유화기술의 경우에는 고형연료와 다르게 비교적 양질의 폐플라스틱 또는 폐비닐류를 사용하여야 하기 때문에 공정이 단순하면서 고부가 가치가 높은 제품을 생산할 수 있는 물질 재활용 기술에 뒤질 뿐만 아니라 질이 낮은 폐비닐류를 사용하는 고형연료 제조기술과의 경쟁에도 떨어지기 때문에 한계가 있다.

2. 실험 방법 및 실험장치

2.1. 실험시료

재활용 선별장에서 회수한 폐비닐류는 용적이 큰 벌크 상으로서 실험장치에 직접투입이 불가능하므로 Fig. 1과 같이 200°C 정도의 예비 용융과정을 거쳐 몰드형태로 1차 제조한 후 재파쇄하여 시료로 사용하게 된다.

Table 4는 재활용 선별장에서 회수한 폐비닐을 용융하여 파쇄한 후 측정된 공업분석과 원소분석 결과를 나타낸 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 공업분석의 경우 대부분이 휘발분에 해당되고 상대적으로 고정탄소 함량

Fig. 1. Melted product and chipped sample of waste vinyls.

이 낮은 것은 폐비닐 대부분이 석유계 유기물로 구성되어 있음을 알 수 있다. 대신에 회분은 극히 낮아 비가연성의 성분이 극히 적은 양이 혼입되어 있음을 알 수 있다. 일반적으로 PVC 등을 제조할 경우에 사용된 일부 무기물 첨가제이거나 폐비닐 중에 묻어있는 토양성분 등이 영향을 미칠 수 있는 무기계 성분으로 추정할 수가 있다.

원소분석의 경우는 탄소성분이 주성분으로 되어있으며 일부 수소성분이 차지하고 있어서 PE, PP, PS, PVC 등 탄화수소 계열의 플라스틱 제조성분이 그대로 반영된 것으로 판단할 수 있으며 대신에 질소 성분은 극히 낮으며 유황성분은 무시할 정도로 낮은 것을 알 수 있다.

폐비닐류의 탈염소 처리에 대한 조업조건 선정을 위하여 Table 5에 나타난 신제 Compound 고분자를 사용하였으며 HDPE와 PP의 경우 SK Corporation 제품을 사용하였고 PP의 경우는 용기류 플라스틱용으로 사용되는 Random 사양으로 제조된 제품을 사용하였다. PVC의 경우 광성플라스틱에서 생산되는 연질 PVC를

Table 5. Physical properties of polymers used for the experiment

	HDPE	PP	PVC
모양
제조사	SK Corporation (Linear)	SK Corporation (Random)	광성플라스틱 (연질용)
Tg(°C)	-120	-20	85
Tm(°C)	135	150	200

Fig. 2. Process flow diagram of de-chlorination apparatus for recycling plastic product.

사용하였다. 실험조건에 따라 함량비를 조절하여 사용하였으며 유리전이온도와 용융온도는 Table 5에 나타난 바와 같다.

혼합된 플라스틱은 250°C 정도로 가열된 스크루 반응기를 통과하게 되면 검정색의 용융물로 배출되어 유관 상으로 혼합된 형태를 분간할 수가 없는 것이 특징이다.

2.2. 실험장치

실험시료는 Fig. 2와 같은 시간당 10 kg 처리용량의 장치를 이용하여 탈염소 처리 및 용융과정을 거치게 된다. 실험시료는 호퍼에 일정량을 장입한 후에 원료공급기의 회전수를 조절하여 공급속도를 조절한다. 장입된 시료는 탈염소 반응기의 내부로 투입되어 쌍축 스크루를 통하여 용융된 고형물형태로 배출구로 배출된다. 용융과정에서 페비닐류 중에 함유된 PVC 성분으로 인하

여 분해된 염산성분이 반응기 내부에서 기타 분해 가스와 함께 발생하게 된다. 발생가스는 진공펌프에 의하여 흡입되는 흡입압력에 의하여 급냉조, 염소회수관, 여과기, 염소 응축관을 거쳐 최종적으로 대기중으로 배출되며 염소 응축관 하부에는 가성소다 용액을 장입하여 배출되는 배기가스 중에 염산이 함유되지 않도록 하였다. 대부분의 염산은 급냉조에서 기타 유기성 응축물과 함께 90% 이상 회수가 이루어지기 때문에 후속처리과정에서의 염산부하는 낮은 편이다.

탈염소 반응기에서 생성물과 함께 배출구에서 배출되는 배기가스 중 염산의 농도는 10 ppm 이하로서 매우 낮은 편이며 유인 송풍기에 의하여 염소가스 흡입관을 통하여 세정탑으로 유인하여 가성소다수를 분무함으로 완전하게 제거할 수 있도록 되어있다. 배기가스 중에 함유된 염산의 농도를 측정하기 위하여 0.1 N 가성소다

Fig. 3. De-Chlorination ratio on reactor temperature.

용액 150 ml에 염산가스를 흡수시키고 이온크로마토그래피에 의하여 염화나트륨의 농도를 측정하여 염산의 농도를 환산하였다.

탈염소 반응기의 가열은 외통 자켓에 가열된 열매체를 통과시킴으로서 반응기 내부 온도를 200-330°C 까지 조절할 수 있도록 되어 있으며 별도로 설치된 열매체 보일러에서 가열된 열매체를 공급하고 순환하여 재가열하도록 되어있다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 플라스틱 성분별 탈염소 비율을 분석하기 위하여 Table 5에 나타난 PP, PE, PVC의 성분비를 조절하여 혼합한 시료를 반응기에 투입시켜 PVC 중에 함유된 염소분의 탈염소 비율을 측정 한 결과이다.

반응기 가열온도에 따라 탈염소 비율은 민감하게 변화가 일어나며 온도가 증가할수록 탈염소율은 증가한다. 동일한 PVC 함량에도 불구하고 PE의 함량에 따라 300°C에서 탈염소 비율의 차이를 보이는 것은 PE의 융점이 다른 성분보다 높아서 반응기 내에서 점도를 올리는 현상을 일으키고 탈염소를 촉진시킬 수 있는 반응기 스크루에 의한 혼합도를 저하시키기 때문이다. 반면에 온도가 330°C로 증가할수록 혼합 플라스틱의 점도가 낮아지면서 탈염소율은 증가하고 PE 함량에 따른 영향은 감소하고 편차도 감소하는 것을 알 수 있다.

탈염소 비율은 PE 함량별로 300°C의 낮은 온도에서 84%에서 88%의 편차를 보이던 것이 330°C에 이르면서 PE 함량에 무관하게 거의 동일한 90%에 가까운 탈염율을 보이는 것을 알 수 있다. Fig. 4는 재활용 선별

Fig. 4. De-chlorination effects of waste vinyl by using experimental apparatus.

장에서 회수한 페비닐을 사용하여 반응기에 의하여 처리온도별로 실험하여 얻은 결과를 도시한 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 탈염처리전 원시료 중의 염소농도는 1.37%이며 310°C로 처리할 경우 염소농도는 0.76%로 낮아지며 330°C일 때 0.62%, 340°C와 350°C로 처리하였을 때는 0.6%로 동일한 값이 얻어졌다. 시료중의 염산의 농도는 Eschka Metod(ASTM D2361-66)을 이용하여 측정하였다.

이 그림에서 알 수 있듯이 Fig. 3의 결과처럼 낮은 온도보다는 높은 온도에서 탈염효과가 높게 나타나며 고온쪽으로 갈수록 그 편차는 좁아진다. 페비닐 중의 염소분 함량 또는 페비닐의 플라스틱 성분비 등에 따라 탈염효과에 차이가 있기 때문에 플라스틱 원재료를 사용한 Fig. 3과 페비닐을 사용한 Fig. 4와의 직접적인 탈염율을 비교하기는 어렵다.

페비닐류의 인장강도를 측정하기 위해서는 190°C 정도로 용융한 후 한국공업규격(KSM3006)에 따라 시편을 제조하고 인장강도를 측정하였다.^{14,17)}

Fig. 5는 페비닐 원료를 이용하여 탈염처리온도에 따라 실험장치를 통과한 후 얻은 각 시료의 인장강도 변화를 나타낸 것이다.

탈염처리장치를 통과하기 전에 원료는 페비닐을 용융하여 얻은 시료로서 그 인장강도는 92.4 kgf/cm²이었으며 100 kgf/cm²에는 미치지 못하였으나 용융 자체로서도 일정한 인장강도를 유지하는 것으로 판단된다.

반응기의 온도를 250°C부터 330°C까지 변화하여 인장강도변화를 측정한 결과 310°C까지는 원료의 인장강도보다 높게 나타나고 있으나 그 이상이 330°C가 되었

Fig. 5. Tensile strength changes on de-chlorination temperature.

을 때는 원료의 인장강도보다 저하되어 역효과가 나타나고 있음을 알 수 있다.

이러한 경향을 Fig. 4의 탈염소 처리효과와 비교하여 보면 탈염소 처리온도에 따라 인장강도가 증가하는 것이 아니라 일정온도 이상에서는 오히려 감소하고 있음을 알 수 있다.

용융된 페비닐 내에 잔류하는 염소의 양이 염소량을 결정하게 되는데 온도가 상승함에 따라 반응기 내에서 염소의 증기압이 증가하게 되고 흡입에 의하여 제거가 효율적으로 이루어질 때 잔류 염소의 양은 감소할 수가 있다. 잔류되는 염소가 기포형태로 존재할 때 인장강도의 저감현상을 나타낼 수 있지만 330°C 이상에서는 오히려 용융된 페비닐의 결합력을 떨어뜨리는 역효과가 발생하여 인장강도를 저감시키는 것으로 판단된다. 그 이유는 분해된 PVC 성분이 오히려 용융되어 혼합된 형태로 용융된 다른 페비닐 성분과 균일한 혼합이 이루어

어지지 않고 경화되어 쉽게 인장강도를 저감하는 것으로 판단된다.

따라서 250°C 이하에서는 거의 탈염소 현상이 발생하지 않으며 탈염소가 일어나지 않을 경우 인장강도가 높게 유지되며 다만 점도상승의 원인이 되는 PE의 함량에 따라 반응기내의 혼합효과가 결정되므로 혼합효과가 유지되는 250°C 정도에서 재활용선별장에서 배출되는 혼합 페비닐의 인장강도가 좋게 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 산업현장에서 페비닐류를 용융하여 제조한 산업용 생산품의 인장강도를 측정한 결과이며 실제 생산현장에서 생산용 재료로 사용한 시료를 입수하여 인장강도 측정기를 이용하여 분석하였다.

일반 농수용 수로나 폐수처리용 관로용으로 사용하는 배수용 홈통의 경우 질이 낮은 페비닐을 사용하는 관계로 인장강도가 82 kgf/cm²로 측정되었으며 높은 하중을 요구하지 않기 때문에 재생용품으로 대체 사용이 가능한 분야이다.

반면에 화물용 파렛트나 전선용 릴의 경우는 제품의 특성상 보다 높은 인장강도가 요구되기 때문에 페비닐류 중에서도 비교적 선별이 잘된 양질의 페비닐을 사용하여야 원하는 인장강도를 얻을 수 있다. 두 제품 모두 페비닐류를 원료로 사용하였으나 양질을 사용한 관계로 배수용 홈통보다 높은 112 kgf/cm²로 높게 나타났다.

산업현장에서는 일반적으로 최적 탈염온도보다 훨씬 낮은 250°C 정도로 용융하여 제품원료를 생산하는 운전온도를 유지하고 있다.

따라서 본 연구에서 활용한 페비닐 용융처리 장치에 의하여 일정한 품질을 가진 재생용품의 원료를 생산할 경우 생산현장에서 생산하는 재활용 제품의 인장강도 수준에 근접할 수 있음을 확인하였다.

Tensile strength : 83 kgf/cm²	Tensile strength : 112 kgf/cm²	Tensile strength : 112 kgf/cm²
Water drainage	Cargo pallet	Electric wire reel

Fig. 6. Tensile strength of recycling products using waste vinyls.

4. 결 론

재활용 선별장에서 배출되는 페비닐류를 이용하여 최적 탈염온도를 측정하고 인장강도와의 상관관계를 분석한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 페비닐류의 최적 탈염온도는 330°C 이상이 될 때 페비닐류의 성분에 큰 영향을 받지 않고 90% 이상의 탈염율을 유지하며 염소농도 1.4% 정도의 페비닐 원료는 탈염처리에 의하여 0.6% 이하까지 감소될 수 있음을 알 수 있었다.

(2) 플라스틱 성분 함량에 따라 탈염소 온도에 따른 탈염소율이 차이가 있을 수 있으며 300°C보다 낮은 온도에서는 PE 함량이 높을수록 탈염율은 저하되며 300°C 이상에 이를수록 PE함량에 따른 탈염율의 차이는 줄어드는 것으로 분석되었으며 그 이유는 반응기 내에서 온도에 따른 플라스틱 성분별 점도의 차이에 따라 탈염소 효율이 영향을 받는 것으로 판단되었다.

(3) 페비닐류의 용융에 의하여 재생용품을 생산하고자 할 경우 필요로 하는 인장강도는 100 kg/cm² 이상이며 본 연구에서 활용한 장치에 의하여 제품 수준에 이르는 인장강도를 유지할 수 있음을 알 수 있었으며 재생용품의 최적 용융생산온도는 250°C로 판단되었다.

(4) 시중에서 활용되는 재활용 제품의 인장강도를 측정하여 본 연구를 통하여 생산하는 재활용 원료의 인장강도와 비교한 결과 110 kgf/cm² 정도에는 이르지 못하였으나 250°C에서 비슷한 수준에 이름을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 서울시 GT 육성사업과 환경부 미래유망 녹색환경기술 산업화 촉진사업의 연구결과를 참고로 하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. Korea Plastic Recycling Association, 2012: Recycling Statics of Waste Vinyls in Korea.
2. PWMI(Plastic Waste Management Institute) News Letter, 2012: Plastic products, plastic waste and resource recovery.
3. Association of Plastic Manufactures, 2011: An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010.
4. Krishna Jayaraman, Rex Halliwell, 2009: Harakeke fiber-waste plastics blend composites processed by screless extrusion, Composites, 40, pp. 645- 649.
5. D. Briassou;is, M. Hisakis, E. Babou, S.K. Antihos, C. Papadi 2012: Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential, Waste Management, 32, pp. 1075-1090.
6. Elen B.A.V. Pacheco, Luiza M. Ronchetti, Eric Masanet, 2012: An overview of plastic recycling in Rio de Janeiro, Resources, Conservation and Recycling, 60, pp. 140-146.
7. David Lazarevic, Emmanuelle Aoustin, Nicolas Buclet, Nils Brandt, 2010: Plastic waste management in the context of a European recycling society, Resources, Conservation and Recycling, 55, pp. 246-259.
8. P.M. Subramanian, 2000: Plastic recycling and waste management in the US, Resources, Conservation and Recycling 28, pp. 253-263.
9. Jason Leadbitter, 2002: PVC and sustainability, Prog. Polym. Sci., 27, pp. 2197-2226.
10. A. Lopez, I.de Macro, B.M. Caballero, M. F. Laresgoiti, A. Adrados, 2011: Dechlorination of fuels in pyrolysis of PVC containing plastic wastes, Fuel processing Technology, 92, pp. 253-260.
11. Yusuke Kakuta, Katsumi Hirano, Motoyuki Sugano, Kiyoshi Mashimo, 2008: Study on chlorine removal from mixture of waste plastics, Waste Management 28, pp. 615-621.
12. H. Bockhorn, A. Hornung, U. Hornung, P. Jakobstroer, 1999: Dehydrochlorination of plastic mixtures, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 49, pp. 97-106.
13. S.M. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens, 2009: Recycling and recovery routes of plastic solid waste, Waste Management, 29, pp. 2625-2643.
14. I. Fortelny, D. Michalkova, Z. Krulis, 2004: An efficient method of material recycling of municipal plastic waste, Polymer Degradation and Stability, 85, pp. 975-979.
15. Rafat Siddique, Jamal Khatib, Inderpreet Kaur, 2008: Waste Management, 28, pp. 1835-1852.
16. Kalia Anurag, Feipeng Xiao, Serji N. Amirhaqnian, 2009: Laboratory investigation of indirect tensile strength using roofing polyester waste fibers in hot mix asphalt, Construction and Building Materials, 23, pp. 2035-2040.
17. Krishnan Jayaraman, Debes Bhattacharyya, 2004: Mechanical performance of woodfibre-waste plastic composite material, 41, pp. 307-319.

丁 守 鉉

- 전남대학교 화학공학과 공학박사
- 국가과학기술위원회 전문위원
- 현재 한국에너지기술연구원 청정연료 연구단 책임연구원

羅 正 杰

- KAIST 화학공학과 박사
- 현재 한국에너지기술연구원 청정연료 연구단 책임연구원

金 相 國

- North Carolina State University 화학공학과 공학박사
- 현재 한국에너지기술연구원 청정연료 연구단 책임연구원

禹 熙 明

- 청주대학교 응용과학부 화학과
- 현재 충북대학교 대학원 화학공학과 석사과정

金 永 泰

- 건국대학교 환경공학과 학사
- 건국대학교 대학원 대기전공
- 현재 삼성산업(주) 연구소장