

EVA와 PET 혼합 폐플라스틱의材質分離를 위한 摩擦荷電形 靜電選別 技術開發[†]

全好錫 · *朴哲賢 · 白尙昊 · 金炳坤 · 金亨錫

韓國地質資源研究院, 鑛物資源研究本部

Development of Triboelectrostatic Separation Technique for Material Separation of EVA & PET Mixture Plastic Wastes[†]

Ho-Seok Jeon, *Chul-Hyun Park, Sang-Ho Baek, Hyung-Seok Kim and Byoung-Gon Kim

Mineral and Material Processing Division, KIGAM

요 약

본 연구에서는 마찰하전형정전선별법을 적용하여 EVA(ethylene vinyl acetate)와 PET(polyethylene terephthalate) 혼합 폐플라스틱의 재활용을 위한 재질분리 연구를 수행하였다. 하전물질 선정을 위한 하전특성 연구결과, PP(polypropylene)재질이 EVA와 PET 폐플라스틱의 재질분리에 가장 효과적인 하전물질로 확인되어, PP 재질의 pipe-type 하전장치를 개발하였다. 본 연구에서 개발된 하전장치를 이용한 재질분리 실험결과, 최적 실험조건에서 PET의 품위와 회수율이 각각 98.7%와 89.7%인 결과를 얻었다.

주제어 : 마찰하전형정전선별, 폐플라스틱, 재활용, 하전장치

Abstract

A research on material separation of EVA and PET mixture plastic waste using a triboelectrostatic separator has been carried out. It was found that PP was the best charging material to give the highest charge on the surface of EVA and PET mixture plastics with an opposite polarity. Therefore, a charger of pipe line type using PP material was manufactured for separation of EVA and PET mixture plastic waste. At optimum test conditions that used PP cyclone charger developed in this study, we could separate out PET with a grade of 98.7% and a recovery of 89.7%.

Key words : triboelectrostatic separation, plastic waste, recycling, charger

1. 서 론

우리나라는 석유화학공업의 발달로 미국, 일본, 독일에 이어 세계 4위의 플라스틱 생산국이며, 국민 1인당 사용량도 세계 8위 수준으로 국민 1인당 연간 100 정도의 플라스틱을 소모하고 있다. 그리고 여러 가지 기능적 우수성과 저가라는 경제상의 특징으로 인하여 사용량이 꾸준히 증가하고 있으며, 이에 따른 폐플라스틱의 양도 증가하고 있다. 그러나 현재 폐플라스틱의 재

활용률은 30% 정도에 그치고 있어, 대부분 매립이나 소각에 의하여 처리되고 있다. 따라서 환경문제뿐만 아니라 경제적인 손실도 상당한 것으로 평가되고 있다.^{1,2)}

특히 PVC 재질은 Cl, DEHP, 왁스 등이 함유되어 있어 소각이나 매립 시 염화수소, 다이옥신, 중금속 그리고 독성첨가물 등이 유출되어 환경 유해성이 심각한 것으로 알려져 있으며, 소각 장치의 수명 단축 및 부식을 유발시키고 있다.^{3,4)} 또한 PVC는 플라스틱 고형연료 제품(RPF), 생활폐기물 고형연료제품(RDF), 유화, 물질 재생 등에 있어 폐플라스틱의 재활용을 어렵게 만드는 주요 원인이 되고 있다. 따라서 정부에서는 2003년 이

[†] 2008년 4월 3일 접수, 2008년 8월 19일 수리

*E-mail: pch7902@hotmail.com

후 “자원의절약과재활용촉진에관한법률” 그리고 확대생산자책임재활용제도(EPR)을 시행하여 폐플라스틱을 함유한 물질의 소각과 매립을 법으로 규제하고 있다. 따라서 플라스틱 산업 및 환경보호를 위한 재활용 기술개발이 필요한 실정이다.⁵⁾

고분자 물질로 만들어진 플라스틱은 고기능성, 위생성, 편리성 그리고 경제성 등의 우수한 재질 특성을 지니고 있어, 바이오플라스틱, 내연플라스틱, 섬유강화 플라스틱 그리고 섬유 플라스틱 등의 다기능 재질이 개발되어 사용량이 매년 크게 증가하고 있다.^{1,4)}

엔지니어링 플라스틱인 EVA(ethylene vinyl acetate) 수지는 폴리에틸렌 수지계 공중합체로서 투명성, 내열성이 우수하고 기체 차단특성이 있어 포장재, 접착제, 서멀 필름(thermal film), 핫멜트(hot-melt) 접착제의 원료로 널리 적용되고 있다. 서멀 필름은 일종의 보호용 필름으로 일명 라미네이션 필름(lamination film), 코팅지라 불린다. 본 연구의 대상 시료인 PET/EVA 라미네이션 필름은 PET를 기재로 하여 EVA를 덧붙인 것으로 상품 포장재의 인쇄 보호용 필름이나 증명서 및 사진의 고투명 코팅 필름용으로 사용되고 있으며, 수요는 계속 증가하고 있는 추세이다. PET는 일반포장용의 경쟁력 저하로 광학용 필름 생산으로 전환되고 있으며 일본제품과의 시장경쟁이 치열해질 전망이다. EVA는 2001년을 기준으로 수입은 15 만톤, 수출은 10 만톤 정도로 중국 수출이 대폭 급증하고 있는 추세이다. 이와 같이 PET/EVA 라미네이션 필름의 수요가 지속적으로 증가함에 따라 폐 PET/EVA 코팅필름의 발생량도 꾸준히 증가하는 추세이다. PET/EVA 코팅필름의 재활용에 있어서는 PET와 EVA 두 재질간의 탈피기술 및 재질분리 기술 미흡하여 재활용율이 30% 이하로 대부분 매립이나 소각에 의해 처리되고 있다.⁶⁾

폐플라스틱은 다른 물질에 비해 쉽게 분해 및 변질이 되지 않아 효율적인 선별기술만 개발된다면 재활용이 가장 용이한 물질중의 하나이다. 이러한 폐플라스틱을 재활용 할 수 있는 기술로는 물질 재활용, 화학적 재활용 그리고 에너지 재활용의 방법이 있으며, 이중 물질 재활용이 가장 효율적인 방법으로 평가받고 있다.^{7,8)} 그러나 어느 방법이든 다양한 종류의 폐플라스틱이 혼재되어 있으면 재활용 효율이 크게 저하된다. 혼합 플라스틱을 재질별로 분리할 수 있는 물리적 선별방법은 크게 수선별, 비중선별, 부유선별, 정전선별, color sorting, 열점착 그리고 분광법 등이 있다.^{9,10)}

본 연구에서 적용한 마찰하전 정전선별법은 물질의

일함수 값 혹은 대전서열을 이용한 것으로 입자와 입자간, 입자와 장치 표면간의 마찰·충돌에 의해 반대 극성으로 하전된 물질을 정전기적으로 분리하는 선별법이다.⁽¹¹⁻¹²⁾ 본 선별법의 경우 모든 혼합 폐플라스틱의 재질 분리뿐만 아니라 다양한 조합의 물질분리가 가능하며, 하전물질 및 하전장치의 개발에 따라 선별효율을 크게 향상시킬 수 있다. 또한 마찰하전 정전선별법은 앞서 언급한 선별방법들에 비해 에너지 소비가 적으며, 장치 및 선별비용이 저렴하고 분리 효율이 높아 개발 즉시 상용화할 수 있는 장점이 있다.^{13,14)}

본 연구에서는 마찰하전형정전선별법을 적용하여 EVA와 PET 혼합 폐플라스틱을 대상으로 재질분리 연구를 수행하였다. 본 연구는 순수한 플라스틱 시료를 사용한 마찰하전형정전선별 실험에서 얻어진 기술을 토대로 진행되었으며, EVA와 PET의 하전특성과 분리특성을 연구하여 하전효율 및 분리효율을 극대화할 수 있는 최적 선별조건을 규명하고자 하였다.

2. 이론적 배경

마찰하전은 다양한 형태의 접촉현상 중 하전장치 내에서 입자와 입자, 입자와 하전장치 표면과의 인위적 접촉을 통해 서로 다른 종류의 입자들을 반대극성으로 하전 시키는 과정이나 결과를 의미하며, 하전방식과 입자 표면의 성질에 따라 하전의 크기와 극성이 달라질 수 있다.^{11,14)} 금속-금속의 접촉이론은 다른 많은 고체물질들(metal-insulator, insulator-insulator)의 마찰하전 메커니즘을 설명하는 대표적 모델이다. 마찰하전의 과정은 Fig. 1에서와 같이 두 물질이 접촉이나 충돌시 물질들의 에너지 밴드 내에서 일함수(work function) 값 차에 의해 그들의 페르미레벨(Fermi level)이 동등해질 때까지 이동하는 전하의 흐름이다. 최종 하전(electrification)은 접촉 후 입자가 다시 표면에서 분리되면 물질의 미소 표면에서 전하의 과잉이나 부족으로 인하여 negative(-) 혹은 positive(+)로 대전하게 된다. 따라서 서로 반대 극성으로 하전된 혼합 입자들을 높은 전압이 흐르는 전기장 내로 통과시키면 positive로 하전된 입자는 negative 전극으로 이동하게 되고, 이와 반대로 negative로 하전된 입자는 positive 전극으로 이동되어 각각 분리가 이루어지게 되는 것이다.¹¹⁻¹⁶⁾

Fig. 2는 Lowell⁽¹⁶⁾ 와 Lewis⁽¹⁷⁾ 이 제시한 플라스틱과 같은 절연체-절연체의 마찰하전 모델을 나타낸 것으로 절연체의 금지대(forbidden energy band) 내부에 전

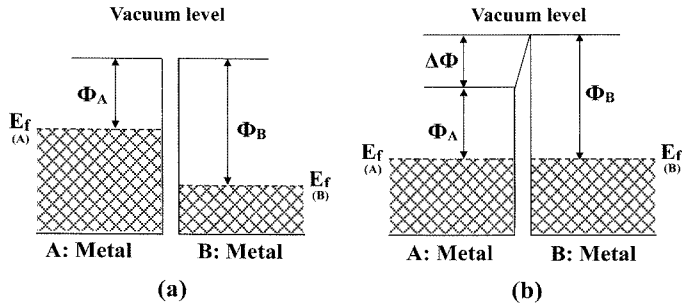


Fig. 1. Reconciliation between the Fermi levels with the contact of two metals. (a) before the contact, (b) after the contact (J. Lowell, 1991, Lowell and Rose-Lines, 1980).

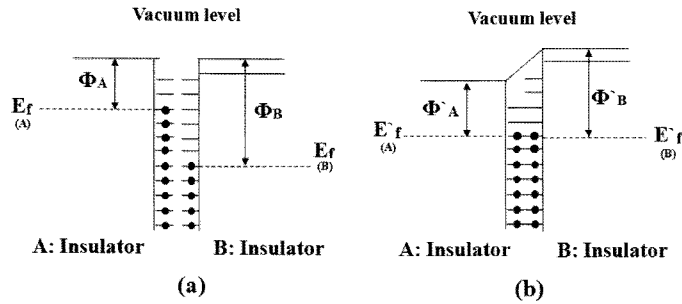


Fig. 2. Contact charging between insulators (plastics). (a) before the contact, (b) after the contact (Lewis, 1991, Lowell. 1991).

자상(electron states)이 있거나, 표면에 불순물과 불균질의 전자상(electron states)들이 존재하게 된다. 이 때 고분자물질에 포함된 첨가제와 불순물들이 도너(donor)와 억셉터(accepter)의 역할을 하게 된다. 도너는 전도대(conduction band)에 가까운 에너지 준위를 가지며 자유전자를 내보내는 역할을 그리고 억셉터는 가전자대(valence band)에 가까운 에너지준위를 가지며 홀을 만들어 전자들을 쉽게 받을 수 있는 역할을 한다. 따라서 절연체-절연체의 마찰하전은 높은 Fermi 준위를 가지는 절연체로부터 낮은 Fermi 준위의 절연체로 그들의 페르미레벨이 동등해질 때까지 전하의 이동이 생기며 이 때 최종 하전은 접촉 후 입자가 다시 표면에서 분리되면 물질의 미소 표면에서 전하의 과잉이나 부족으로 인하여 negative(-) 혹은 positive(+)로 대전하게 된다.

3. 시료 및 실험방법

본 연구에 사용된 EVA와 PET 필름은 PET 필름 위에 EVA 수지를 열·압착시키거나, 용융·도포시켜 코팅필름, 인쇄소재, 라벨 등에 널리 사용되고 있는, EVA 층과 PET 층이 적층된 라미네이션 필름(lamination

film)으로부터 과산화수소를 이용하여 분리한 것이다. 분석결과 EVA와 PET 필름이 각각 70%와 30%로 구성되어 있음을 확인하였다. 분리된 EVA와 PET 필름은 현재 비중선별에 의하여 재질분리 하고 있으나, 선별효율이 낮아 재활용에 어려움이 따르고 있다.

Fig. 3의 (a)와 (b)는 EVA와 PET의 대전서열 및 하전특성 연구를 위해 사용한 수직왕복형 하전장치와 재질별 하전통 즉, PTFE(polytetrafluoroethylene), PVC (polyvinyl chloride), Rubber, SS(stainless steel), Cu, Al, PET, PMMA (polymethyl methacrylate), PU(polyurethane), Nylon을 나타낸 것이다. 수직왕복형 하전장치의 경우 하단부 모터를 통한 회전운동을 cam 축에 의해 상하 왕복운동으로 변환시켜 상단의 하전통에 투입된 플라스틱 입자를 하전시키도록 고안하였다.

하전물질 선정실험은 시료를 cutting mill에 의해 6mm 이하로 파쇄하고 체(1mm)가름에 의해 1~6mm 크기로 입도조절 하였다. 입도 조절된 시료는 다양한 하전통에 투입하고 수직왕복형 하전장치로 마찰·충돌 시킨 후 Fig. 3의 (c)에 제시된 Faraday cage를 사용하여 하전극성 및 하전량을 측정하였다. 그리고 이를 기초로 하여 EVA와 PET 혼합 페플라스틱의 재질분리를 위한 마찰

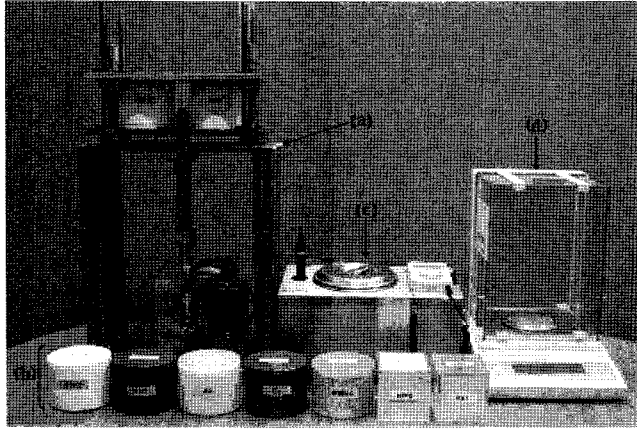


Fig. 3. A vertical reciprocation charger set and peripheral equipment (박철현, 2006). (a-vertical reciprocation charger, b-charging bottles, c-Faraday cage, d-electric balance).

하전형정전선별의 하전물질을 선정하였다.

Fig. 4는 본 연구에 사용한 bench-scale 마찰하전형정전선별 장치를 나타낸 것으로, 하전물질 선정실험에서 규명된 EVA와 PET 혼합 페플라스틱의 재질분리에 적합한 PP 재질의 pipe line이 설치되어 있다. Fig. 5는 본 선별법의 실험공정을 나타낸 것으로, 앞서 언급된 바와 같이 1~6 mm로 입도 조절된 시료는 PP 재질의 pipe line 내부에 공기와 함께 투입하여 충돌·마찰 시킨 후, 서로 다른 극으로 하전된 입자를 고전압의 전기장으로 이동시켜 분리하였다. 또한 전극의 전압세기, 공기의 세기, 분리대의 위치, 습도 등의 최적 선별조건 및 분리효율을 확인하였다. 상대습도의 경우 chamber와 제습기 설치되어 있으며, chamber 내의 상대습도를 30%로 유지하였다.

분리 효율은 품위(Grade)와 회수율(Recovery)을 적용하여 평가하였다. 품위는 식 (1)에서와 같이 생산물 내의 목적물질의 함량을 말한다. 회수율은 (2)에서와 같이 공급물 내의 목적물질이 생산물 내에 얼마만큼 회수되었는가를 말한다. 따라서 PET의 회수율은 생산물 내의 EVA, PET의 무게에 대한 공급물 내 PET의 무게 백분율로 구할 수 있다.

$$\text{품위 (Grade)} = \frac{\text{생산물 내의 목적물질의 무게}}{\text{생산물의 전체무게}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{회수율 (Recovery)} = \frac{\text{생산물 내의 목적물질의 무게}}{\text{공급물 내의 목적물질의 무게}}$$

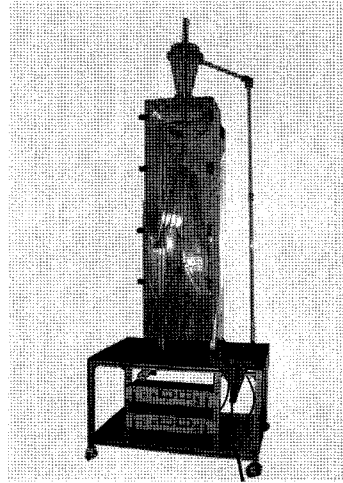


Fig. 4. Bench-scale triboelectrostatic separator used in this study.

$$\times 100 = \frac{cC}{fF} \times 100 \quad (2)$$

여기서, C: 생산물의 무게, c: 생산물 내의 목적물질의 품위
F: 공급물의 무게, f: 공급물 내의 목적물질의 품위

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 마찰하전형특성 연구

4.1.1. 하전물질 선정실험

본 연구에서는 EVA와 PET 혼합 페플라스틱의 재질 분리를 위하여, 시료를 각각 반대 극성으로 하전시킬 수

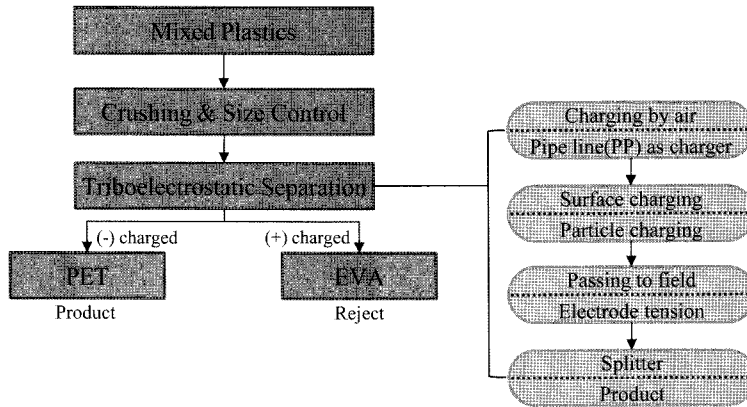


Fig. 5. Flowchart of material separation test using a triboelectrostatic separator.

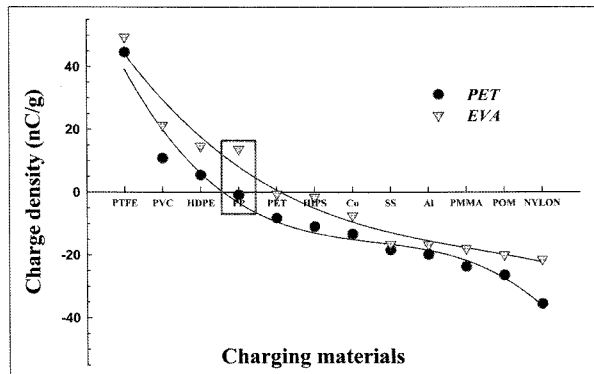


Fig. 6. Charging density of EVA and PET as function of various charging materials.

있는 하전물질을 선정하기 위한 하전특성 실험을 수행하였다. 서로 다른 일함수 값과 대전서열을 가진 하전통 (PTFE, PVC, HDPE, PP, PET, HIPS, Cu, SS, Al, PMMA, POM, NYLON)에 EVA와 PET를 각각 단일 상태로 투입하고 수직왕복형 하전장치로 하전시킨 후, 각 플라스틱의 하전극성과 하전량을 Faraday cage를 이용하여 측정하였다. 실험변수인 상대습도와 온도를 각각 30%와 25도, 회전속도와 체류시간을 각각 250rpm과 2분으로 조절하여 실험을 수행하였다.

Fig. 6은 실험결과를 나타낸 것으로, EVA와 PET의 경우 일함수 값이 PTFE, PVC, HDPE 하전물질보다 낮아 모두 positive로, PET, HIPS, Cu, SS, Al, PMMA, POM, NYLON 하전물질보다는 높아 모두 negative로 하전이 이루어지지만, PP 하전물질은 EVA와 PET 사이에 일함수 값이 위치하여 각각 13.75 nC/g과 -0.83 nC/g으로 하전시켜, EVA와 PET를 반대극성으로 하전시킬

수 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 PP 재질을 하전물질로 선정하여 분리실험을 수행하였다.

4.1.2. 체류시간과 단일·혼합 시료에 따른 하전량

Fig. 7은 시료의 하전량에 대한 하전통 내에서 입자의 체류시간과 단일·혼합 시료에 따른 마찰하전 특성을 조사한 결과이다. 즉, PP 재질의 하전통 내에 EVA와 PET를 각각 단일 상태와 7:3의 혼합 상태로 투입시킨 후, 수직왕복형 하전장치를 이용하여 체류시간을 변화하며 투입된 시료의 하전량을 측정하였다. 실험변수인 온도와 상대습도를 각각 25°C와 30% 그리고 rpm을 250으로 고정시킨 후 실험을 수행하였으며, 실험결과 체류시간 4분까지는 단일시료와 혼합시료 모두 하전량이 증가되는 것을 알 수 있지만 이보다 하전시간이 길어지면 하전량의 변화가 거의 없어 임계 하전시간에 도달됨을 알 수 있다. 단일·혼합 시료에 따른 마찰하전

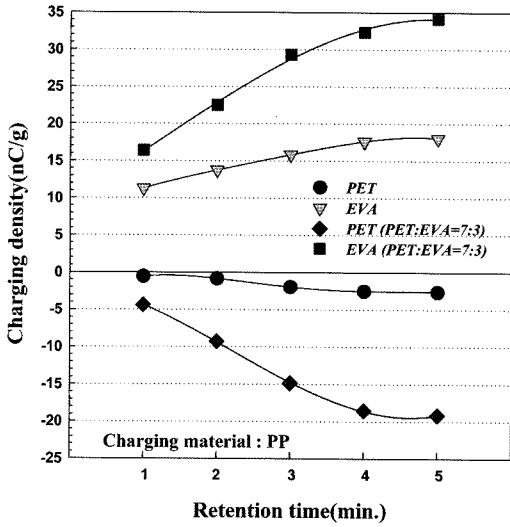


Fig. 7. The effect of retention time on charge density of single and mixed plastics.

특성은 EVA의 경우 혼합시료와 단일시료의 하전량이 하전시간 2분을 기준으로 각각 22.48 nC/g과 13.75 nC/g을 나타내어, 혼합시료가 단일시료 보다 8.73 nC/g 높은 것을 알 수 있다. 그리고 PET의 경우도 혼합시료의 하전량이 -9.27 nC/g으로 단일시료의 하전량 -0.83 nC/g 보다 음(-) 값 차이가 8.44 nC/g 높게 나타나, 혼합시료가 단일시료 보다 하전량이 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 혼합시료가 단일시료 보다 하전량이 높게 나타나는 것은, 혼합시료의 경우 하전장치와의 마찰 및 충돌이 이루어지면서 두 시료간의 마찰 및 충돌도 함께 이루어져 하전효율이 증가하기 때문이다.

4.2. 분리특성 연구

4.2.1. 전압세기의 영향

Fig. 8은 공기속도 12.45 m/s, 분리대의 위치 중앙에서 negative 전극 쪽으로 6 cm 이동한 지점 그리고 상대습도 30%에서 전극의 전압세기를 5에서 25까지 변화하며, EVA와 PET 혼합 폐플라스틱의 선별에 미치는 영향을 관찰한 것이다. 실험결과 전극의 전압세기가 증가하면 PET의 회수율은 다소 감소하나, PET의 품위는 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 전압세기가 가장 낮은 5에서 PET의 품위는 91.8%로 가장 낮지만, 전압세기가 커질수록 증가하여 본 연구에 사용된 power supply의 최대 전압인 25 kV에서는 98.7%로 가장 높다.

이와 같이 전극의 전압세기가 선별효율에 영향을 미치는 이유는, 전압세기가 커지면서 nC/g 단위로 매우

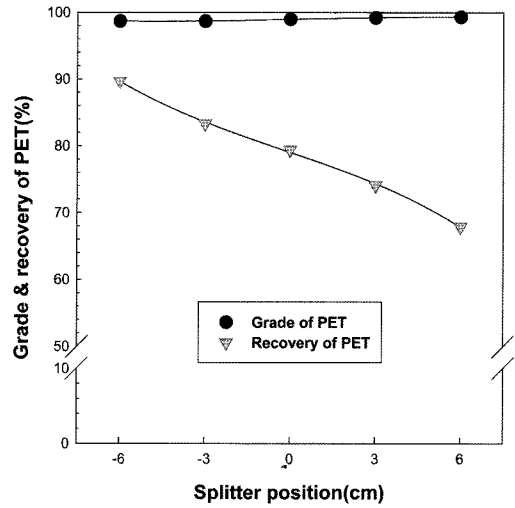


Fig. 8. The effect of applied potential on PET grade and recovery in triboelectrostatic separation.

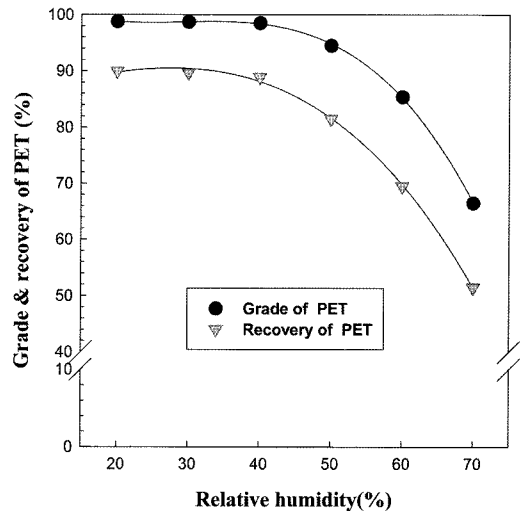


Fig. 9. The effect of air velocity on PET grade and recovery in triboelectrostatic separation.

약하게 하전된 플라스틱 입자들을 끌어당길 수 있는 에너지가 증가하였기 때문이다.

4.2.2. 공기속도의 영향

Fig. 9는 마찰하전형정전선별에서 시료를 전기장으로 이송하고 마찰하전을 일으키는 공기속도가 선별효율에 미치는 영향을 관찰하기 위하여, 공기속도를 6.23 m/s에서 12.45 m/s까지 변화하며 실험한 결과이다. 전극의 전압세기 25 kV, 상대습도 30% 그리고 분리대의 위치 중

양으로부터 negative 전극으로 6 cm 이동한 지점에서 공기의 속도 변화가 EVA와 PET의 선별효율에 미치는 영향을 측정하였다. 실험결과 공기의 속도가 빨라질수록 PET의 품위와 회수율이 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 공기의 속도가 가장 느린 6.23 m/s에서 PET의 품위와 회수율이 각각 94.5%와 78.6%로 가장 낮지만, 공기의 속도가 빨라질수록 선별효율이 증가하여 12.45 m/s에서는 각각 98.7%와 89.7%로 가장 높다.

이와 같이 공기의 속도가 빨라질수록 선별효율이 증가하는 이유는, 강한 마찰 및 충돌에너지에 의해 입자의 하전이 잘 이루어지기 때문이다. 본 연구에 사용된 air compressor의 최대 용량이 12.45 m/s여서 그 이상의 공기 속도에 관한 연구는 이루어지지 않았으며, 12.45m/s를 최적 실험조건으로 조건변화 실험을 수행하였다.

4.2.3. 분리대의 위치

일반적으로 시료의 하전량은 입자의 work function 값, 공기속도, 입자크기, 상대습도 그리고 온도 등과 같은 인자들의 영향을 받는다. 이들에 의해 하전된 입자들은 각각의 하전량이 다르기 때문에 전기장 내에서 분리될 때, 전극으로 이동되는 속도와 거리가 다르다. 따라서 전기장 하단에 위치한 분리대의 위치를 이동시켜 선별에 적합한 조건을 얻을 수 있다. Fig. 10은 분리대의 위치가 선별효율에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 전압세기 25 kV, 공기세기 12.45 m/s 그리고 상대습도를 30%로 고정하고, 분리대의 위치를 중앙으로부터 positive

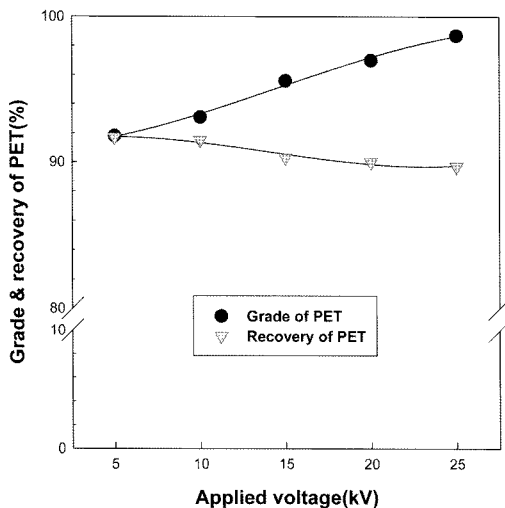


Fig. 10. The effect of splitter position on PET grade and recovery in triboelectrostatic separation.

electrode와 negative electrode 쪽으로 각각 6 cm까지 이동하며 실험한 결과이다. 실험결과 PET의 품위에는 큰 변화가 없으나, PET의 회수율은 분리대의 위치가 중앙으로부터 negative electrode 쪽으로 이동하면 증가하고, positive electrode 쪽으로 이동하면 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, +6 cm 지점에서 PET의 회수율은 67.9%로 가장 낮았으나, negative electrode 쪽으로 이동할수록 증가하여 -6 cm 지점에서는 89.7%까지 증가하였다.

이와 같은 이유는 분리대의 위치에 따라 PET와 EVA의 회수량이 달라지기 때문이다. 즉, 분리대의 위치가 negative electrode로 이동하게 되면 negative로 하전된 PET의 회수존이 넓어져 PET의 회수율은 증가하고, positive electrode 쪽으로 이동하게 되면 PET의 회수존이 좁아져 PET의 회수율은 감소하게 되는 것이다. 반면 EVA의 경우 하전효율이 PET보다 높기 때문에 분리대의 위치에 따른 영향을 많이 받지 않아 PET의 품위에는 큰 변화가 없는 것이다. 본 연구에서는 PET의 품위와 회수율을 고려하여 분리대의 위치를 negative electrode 쪽으로 6 cm 이동한 지점을 최적조건으로 하였으며, 이때 PET의 품위와 회수율이 각각 98.7%와 89.7%인 결과를 얻었다.

4.2.4. 상대습도

Fig. 11은 실험실의 상대습도가 선별효율에 미치는 영향을 관찰한 것으로 전압의 세기 25 kV, 공기속도 12.45 m/s

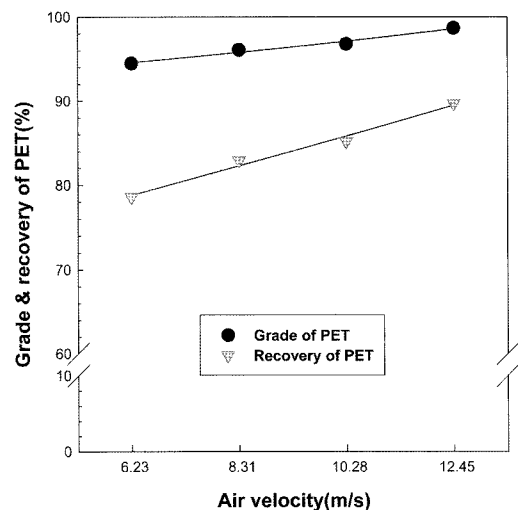


Fig. 11. The effect of relative humidity on PET grade and recovery in triboelectrostatic separation.

그리고 분리대의 위치 증상으로부터 negative 전극으로 6 cm 이동한 지점에서, 실험실의 상대습도를 가습기와 제습기로 20%에서 70%까지 변화하며 EVA와 PET의 분리특성을 관찰한 것이다. 실험결과 상대습도 40%까지는 PET의 품위와 회수율에 큰 영향을 미치지 않지만, 이보다 상대습도가 증가하면 품위와 회수율이 크게 감소되어 선별효율을 크게 떨어뜨리게 되는 것을 알 수 있다. 즉 상대습도가 가장 낮은 20%일 때 PET의 품위와 회수율이 각각 98.7%와 90.0%로 가장 높지만 상대습도 40%에서도 각각 98.5%와 88.9%로 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 상대습도가 이보다 증가하면 선별효율이 크게 낮아져 상대습도 70%에서는 PET의 품위와 회수율이 각각 66.5%와 51.9%까지 감소되어, 선별효율의 향상을 위해서는 상대습도가 40% 이하로 유지되어야 함을 알 수 있다. 본 연구에서는 상대습도 30%를 최적실험 조건으로 분리실험을 수행하였으며, 이때 PET의 품위와 회수율이 각각 98.7%와 89.7%인 결과를 얻었다.

이와 같이 상대습도가 EVA와 PET 혼합 페플라스틱의 재질분리에 영향을 미치는 이유는, 상대습도가 높을수록 공기 중의 수분이 마찰하전 시 입자간의 표면분극을 방해하고, 하전된 입자의 전하를 방전시키기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 마찰하전형정전선별법을 적용하여 EVA와 PET 혼합 페플라스틱의 재질분리 연구를 수행하였다. 재질분리에 적합한 하전물질 개발 및 기초 데이터를 확보하고, 하전효율 및 분리효율을 극대화할 수 있는 최적 선별조건을 규명하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. EVA와 PET의 경우 일함수 값이 PTFE, PVC, HDPE 하전물질보다 낮아 모두 positive로, PET, HIPS, Cu, SS, Al, PMMA, POM, NYLON 하전물질보다는 높아 모두 negative로 하전이 이루어지지만, PP 하전물질은 EVA와 PET 사이에 일함수 값이 위치하여 각각 반대극성으로 하전시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 PP 재질을 하전물질로 선정하여 분리실험을 수행하였다.

2. 입자의 체류시간과 단일시료 및 혼합시료에 대한 하전량 특성실험 결과, 하전장치 내에서 체류시간 4분까지는 하전량이 증가하지만, 이보다 길어지면 하전량의 변화가 거의 없어 임계 하전시간에 도달됨을 알 수

있었다. 그리고 혼합시료의 경우 하전물질과의 충돌 및 마찰 이외에 혼합된 상대 물질과의 충돌 및 마찰에 의해서도 하전이 이루어져, 단일시료보다 하전량이 높게 나타나 이론보다 실제분리 효율이 높은 원인을 확인하였다.

3. 연속처리가 가능한 PP 재질의 pipe line을 하전장치로 이용하여 분리실험을 수행한 결과, 전극의 전압세기 25 kV, 공기의 세기 12.45 m/s, 분리대의 위치 증양에서 negative electrode 쪽으로 6 cm 이동한 지점 그리고 상대습도 30%인 조건에서 PET의 품위와 회수율이 각각 98.7%와 89.7%인 결과를 얻었다.

사 사

본 연구는 과학기술부의 21C Frontier 연구개발 사업으로 자원 재활용 기술개발사업단의 지원으로 연구가 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 전호석, 백상호, 박철현, 김병곤, 2007 : PET와 ABS 혼합 플라스틱 재질분리를 위한 정전선별 기술개발, 추계학술연구발표회, 대한환경공학회, 강원대학교, 11월 1~2일, pp. 373-376.
2. 박철현, 전호석, 박재구, 2006 : 마찰하전에 의한 플라스틱의 하전특성 및 대전서열 정립에 관한 연구, 한국지구시스템공학회지, Vol. 43, No. 6, pp. 1-10.
3. M. F. Ali, and M. N. Siddiqui, 2005 : Thermal and catalytic decomposition behavior of PVC mixed plastic waste with petroleum residue, J. Anal. Appl. Pyrol., Vol. 74, pp. 282-289.
4. C. H. Park, H. S. Jeon, and J. K. Park, 2007 : PVC removal from mixed plastics by triboelectrostatic separation, J. Hazard. Mater., Vol. 144, pp. 470-476.
5. H. S. Lee, 2003 : International Workshop on Extended Producer Responsibility (EPR), Current state of EPR-based regulations and policies on recycling products at domestic and international level, June 27, Seoul, Korea.
6. Chemlocus, <http://www.chemlocus.co.kr/>
7. L. W. Reid, 1996 : Plastic incineration versus recycling: a comparison of energy and landfill cost savings, J. Hazard. Mater., Vol. 47, pp. 295-302.
8. 전호석, 백상호, 박철현, 김병곤, 2007 : 마찰하전형 정전선별에 의한 고비중 플라스틱 혼합물의 재질분리에 관한 연구, 한국자원리싸이클링학회지, 16(2), pp. 56-62.
9. R. H. Yoon, 2002 : Recent development in plastics recycling in the U.S., Processing International Symposium on Es-

- tablissement of Recsour. Recy. Soc., October1-2, Seoul, Korea.
10. M. Lungu, 2004 : *Electrical separation of plastic materials using the triboelectric effect*, Miner. Eng., Vol. **17**, pp. 69-75.
 11. E. G. Kelly, and D. J. Sottiswood, 1988 : *The theory of electrostatic separations: a Review, Part, Fundamentals*, Minerals Engineering, **12**(1), pp. 33-46.
 12. H. B. Michaelson, 1977 : *The work function of the elements and its periodicity*, J. Appl. Phys., Vol. **48**, No. 11, pp. 4729-4733.
 13. T. X. Li, H. Ban, J. C. Hower, J. M. Stencil, and K. Saito, 1999 : *Dry triboelectrostatic separation of mineral particles: A Potential Application in Space Exploration*, Journal of Electrostatics, **47**, pp. 133-142.
 14. H. B. Michaelson, 1977 : *The work function of the elements and its periodicity*, J. Appl. Phys., Vol. **48**, No. 11, pp. 4729-4733.
 15. J. Lowell, 1991 : "Contact electrification of polyamides", J. Electrostat., Vol. **26**, pp. 261-273.
 16. J. Lowell, and A. C. Rose-Innes, 1980 : Contact electrification, Advances In Physics. **29**, pp. 947-1023.
 17. T. J. Lewis, 1990 : Charge transport, charge injection and breakdown in polymeric insulators, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. **23**, pp. 1469-1478.

全 好 錫

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
 - 당 학회지 제 10권 3호 참조
-

朴 哲 賢

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 post doc.
 - 당 학회지 제15권 1호 참조
-

白 尙 昊

- 현재 한국지질자원연구원 신진연구원
 - 당 학회지 제15권 6호 참조
-

金 炳 坤

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
 - 당 학회지 제15권 1호 참조
-

金 亨 錫

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 선임연구원
 - 당 학회지 제13권 3호 참조
-