

정전선별법을 이용한 PVC, HDPE, CALIBRE 3종 혼합플라스틱 재질분리 연구

전호석, 박철현*, 신선명, 김정호**, 이영효***

한국지질자원연구원, 한양대학교*, 수원대학교**, 서울산업대학교***

1. 서론

플라스틱은 산업화와 석유화학공업의 발전에 따라 생산량과 소비량이 지속적으로 증가되고 있으며, 특히 물리·화학적 성질과 활용성이 뛰어난 고분자 화합물로 우리 일상생활에서 없어서는 안 될 중요한 물질자원이다. 폐플라스틱의 발생량은 년 간 약 350만톤 정도로 재활용율 20% 이하로 대부분 매립이나 소각에 의해 처리되고 있다. 이렇게 처리된 폐플라스틱은 다이옥신 및 유독가스등을 배출해 환경오염의 거시적 원인이 되고 있으며 플라스틱을 재활용할 수 없어 경제적 손실이 야기되고 있는 실정이다. 또한 폐플라스틱은 단일 재질의 재생은 가능하나 혼합재질의 경우 이종간의 물성을 저하시키고 상용성이 떨어져 재생을 어렵게 만든다. 따라서 폐플라스틱을 재질별로 분리하고 재활용할 수 있는 선별기술이 필요한 실정이다.

일반적으로 폐플라스틱 재활용 방법은 크게 에너지적 재순환과 화학적 재순환 그리고 물질 재순환이 있으나, 이 중에서 물질 재순환이 처리비용이 저렴한 가장 효과적인 방법으로 평가되고 있다. 혼합 플라스틱을 재질별로 분리할 수 있는 물리적 선별방법은 크게 정전선별, 비중선별, 부유선별, Color Sorting, 그리고 분광법 등이 있다. 현재 폐플라스틱의 재활용을 위해 일부 상용화가 되고 있는 기술로는 비중선별과 사람에 의한 수선(hand picking), 색깔의 차이를 이용한 Color Sorting 그리고 재질의 특성을 이용한 분광법 등이 있다. 독일과 일본 등에서는 폐플라스틱의 재활용을 높이기 위해 air table을 이용한 비중선별과 분광법 등을 개발하여 일부 상용화를 이루었으나, 여전히 이 기술은 해결해야 할 많은 문제점을 안고 있다. 정전선별법은 하전방식에 따라 코로나 방전형, 정전유도형, 마찰하전형의 3종류가 있다. 정전유도형과 코로나 방전형은 전도성 및 비전도성물질을 분리할 수 있으며, 마찰하전형은 비전도성물질을 work function 값의 차를 이용하여 마찰·충돌시켜 반대 극성으로 하전된 물질을 정전기적으로 분리하는 선별법이다. 혼합플라스틱의 재질분리를 위해 본 연구에서 개발중인 마찰하전형정전선별법은 플라스틱 입자의 하전특성 차이를 이용한 것으로 이 기술의 경우 하전물질 및 하전장치의 개발에 따라 선별효율을 크게 향상시킬 수 있다. 따라서 본연구의 목적은 하전물질에 따른 플라스틱 재질별 하전특성을 규명하고 이에 따른 플라스틱 재질분리효율 향상을 위한 최적 선별기술을 개발하는데 있다. 본 선별기술은 정전선별기의 장치 제작비용이 저렴하고 연속처리가 용이하며, 또한 혼합된 모든 재질의 플라스틱 선별이 가능하고 선별효율이 높아 개발 즉시 상용화가 가능한 장점도 갖추고 있다. 마찰하전형정전선별 장치를 실험실 규모로 제작하여 플라스틱의 종류 중 재활용 차원에서 가장 문제가 되는 PVC와 HDPE, Calibre의 대상물질을 선정하여 전극의 세기, 공기세기, 입도크기, 습도, 하전장치의 재질, 분리대 위치 등의 조건으로 마찰하전형정전선별법을 이용해 3종 혼합플라스틱 분리를 위한 선별실험을 수행하였다.

2. 원리 및 실험방법

본 연구의 선별원리는 서로 다른 재질의 입자가 충돌을 하거나 다른 제3의 재질에 충돌하게 되면, Fig. 1에서와 같이 work function이 작은 입자는 전자를 잃어 positive(+)로 하전을 띄게 되고 work function이 높은 입자는 전자를 얻어 negative(-)로 하전이 이루어지게 된다. 이렇게 서로 반대극성으로 하전된 혼합 입자들을 높은 전압이 흐르는 전기장 내로 통과시키면 positive로 하전된 입자는 negative 전극으로 이동하게 되고, 이와 반대로 negative로 하전된 입자는 positive 전극으로 이동되어 분리가 이루어진다. Fig. 2는 혼합 플라스틱 재질 분리를 위한 마찰하전정선선별법의 분리공정을 나타낸 것이다. 본 연구의 시료는 수순한 플라스틱 원료제품으로써 PVC, HDPE, CALIBRE 각각의 시료를 Cutting Mill에 의해 목적인 입도크기로 파쇄하여 일정무게비로 혼합 제조하였다. 1차 실험에서는 3종 혼합시료를 PVC 원통형 파이프의 하전장치 내부에 공기와 함께 투입하여 충돌·마찰시킨 후 서로 다른 극으로 표면 하전된 입자를 고전압의 전극판 쪽으로 이동시켜 PVC와 HDPE, CALIBRE를 분리하였다. 2차 실험에서는 같은 극성으로 하전된 HDPE와CALIBRE를 IONIZER로 방전시켜 PPC재질의 하전장치를 사용하여 분리하였다.

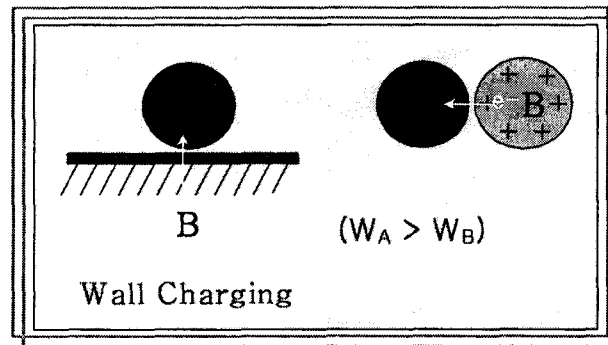


Fig. 1 Principle of Triboelectrostatic Separation

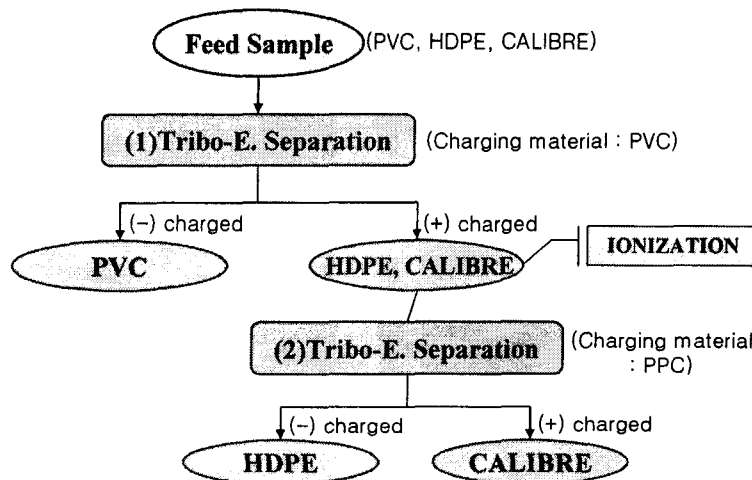


Fig. 2 Flowsheet of Mixed Plastics by Triboelectrostatic Separation

4. 실험결과

마찰하전형정전선별의 중요 분리 특성인 전극 세기, Air rate, 분리대 간격, 상대습도에 대한 영향을 조사하였다. PVC : HDPE : CALIBRE의 혼합비가 50 : 50 : 50인 시료를 하전물질로 PVC재질을 사용하여 PVC와 HDPE, CALIBRE를 1차로 분리하였으며, 1차 분리 실험의 최적조건하에서 PPC 하전물질을 이용하여 HDPE와 CALIBRE를 2차로 분리하였다.

Fig. 3은 하전장치를 통과하여 각각 반대로 하전된 입자들이 분리되는 전극의 전압세기 변화실험 결과이다. 1차 분리 실험에서는 positive와 negative 전극의 전압세기가 20kv 이상이 효과적임을 알 수 있으며, 2차 분리 실험결과 30kv에서 효과적이었다. Fig. 3에서도 알 수 있듯이 2차 분리실험결과에 비해 1차 분리실험의 전극 전압세기가 더 낮지만 분리효율이 높은 특성을 나타내는데, 이는 1차 분리실험에서 PVC와 다른 재질간의 Work Function 값 차이가 커 마찰 및 충돌에 의한 하전시 상대적으로 높은 하전량을 갖기 때문이다. 따라서 재질간에 분극된 입자의 하전량이 많으면 낮은 전압세기로도 하전 입자를 편향시킬 수 있어 분리효율을 높일 수 있다. 2차 분리실험에서는 HDPE와 CALIBRE의 Work Function 값 차이가 작아 하전량이 적기 때문에 입자를 상대적으로 전극의 전압세기를 높여야 분리효율을 높일 수 있었다.

Fig. 4는 공기량의 변화실험으로 1차 실험에서 2.0~2.5kg/cm²이 적정조건이었으며, 2차 실험에서는 2.0kg/cm² 이상이 효과적이었다. 공기량은 입자의 하전특성을 좌우하는 중요한 인자로서 마찰하전시 입자의 하전량과 시료의 이동 및 낙하속도에 절대 영향을 미친다. 공기량이 많으면 입자의 하전량을 높이고 분리효율을 높일 수 있으나 공기량이 너무 많으면 입자의 낙하속도를 증가시켜 전기장의 에너지보다 중력가속도의 힘이 더 크게 작용하여 편향되지 않고 입자의 일부가 그대로 낙하된다. 분리대 위치에 따른 변화실험을 수행한 결과 1차 실험에서는 PVC의 품위와 회수율을 고려하여 최적 분리대의 위치는 전기장의 가운데 (0)에서 positive 전극으로 2cm 이동한 지점이 가장 효과적었으며, HDPE와 CALIBRE 분리를 위한 2차 실험에서는 1차 실험과 반대 현상인 negative 전극으로 분리대를 2cm 이동한 지점이 우수한 선별효율을 나타냈다. 또한 공기중의 수분 함량이 재질분리 실험에 미치는 영향을 관찰한 실험결과 상대습도가 50% 이하였다.

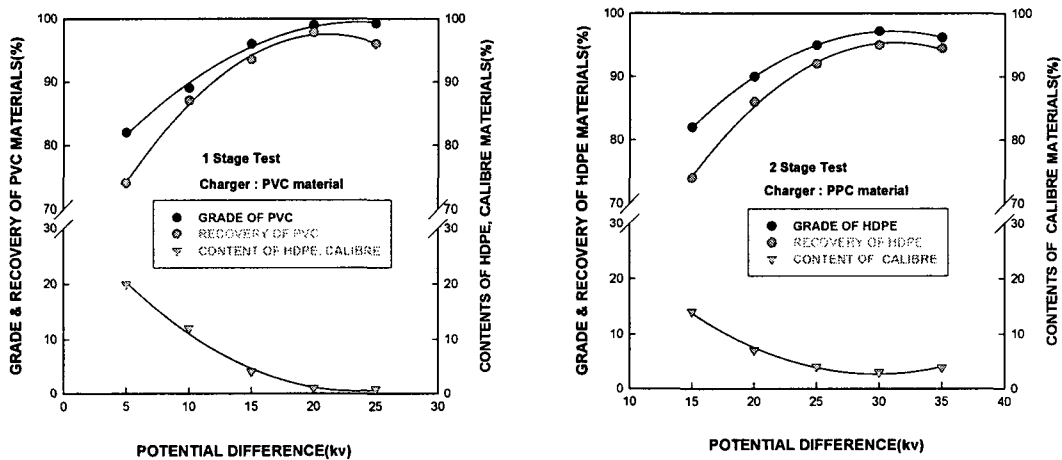


Fig. 3 Effect of Potential Difference on Plastics Grade and Recovery in Triboelectrostatic Separation.

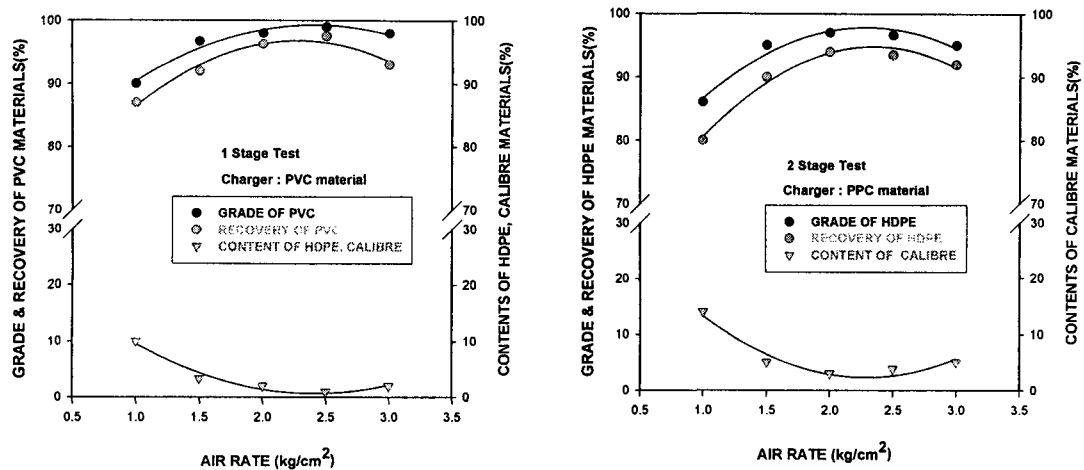


Fig. 4 Effect of Air Rate on Plastics Grade and Recovery in Triboelectrostatic Separation

5. 결 론

PVC, HDPE 그리고 Caribre 3종 혼합 폐플라스틱의 재활용을 위하여 마찰대전형정전선 별법을 이용한 재질분리 실험을 수행하였다. HDPE, CALIBRE 재질로부터 PVC를 먼저 제거하기 위한 1차 분리실험결과, 최적실험 조건인 전압세기 20kv, 공기압 2.5kg/cm² 이상, 상대습도 40% 이하 그리고 분리대 위치는 중앙으로부터 positive 전극 쪽으로 2cm인 지점에서, PVC 품위와 회수율이 각각 약 99%와 98%인 결과를 얻었다. 또한 하전물질로 PPC를 사용하여 HDPE와 CALIBRE를 분리하기 위한 2차 실험결과, 전압세기 30kv, 공기압 2.0kg/cm², 상대습도 30% 이하 그리고 분리대 위치는 negative 전극으로 2cm인 지점에서 HDPE 품위와 회수율이 각각 약 97%와 95%인 결과를 얻었다.

6. 참고문헌

- 1) 전호석, 박철현, 신선명, 백상호, 2004, "Development of Separation Technique for Removal of PVC Material from Waste Plastics" 한국고분자학회 추계학술발표회.
- 2) Inculat, I.I., Castle, G.S.S. 1994, "Tribo-Electrification System for Electrostatic Separation of Plastics", IEEE Trans. IAS, pp1397-1399.
- 3) Dr.Michael B.Biddle, 1999 "Electrosatatic Separation", APC Durables Recycling Workshop III, pp118-127.
- 4) D.K. Yanar, B.A. Kwetkus, 1995, "Electrostatic separation of polymer powders" Journal of Electrostatics 35, PP257-266.