

하전특성에 따른 플라스틱 재질 분리 연구

박철현*, 전호석, 백상호**, 김병곤, 박재구*
한국지질자원연구원, 한양대학교*, 조선대학교**

1. 서론

플라스틱은 물리·화학적 성질과 활용성이 뛰어난 고분자 화합물로 우리 일상생활에서 없어서는 안 될 중요한 물질자원으로서 산업화와 석유화학공업의 발전에 따라 생산량과 소비량이 지속적으로 증가되고 있다. 폐플라스틱의 발생량은 년 간 약 350만톤 정도를 이루고 있고 재활용율은 20% 이하로 대부분 매립이나 소각에 의해 처리되고 있다. 이렇게 처리된 폐플라스틱은 매립 부지의 한계와 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. 정부의 정책적 측면에서도 확대생산자책임재활용제도의 시행으로 인해 폐플라스틱 발생량은 증가할 것으로 예상되며 법적으로 폐플라스틱의 매립과 소각을 규제하고 있어 폐플라스틱 재활용의 필요성이 가중되고 있다.

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, 진습식비중선별, 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. 일본과 독일 등에서는 air table을 이용한 비중선별과 분광법 등을 개발하여 일부 상용화를 이루었으나, 여전히 이 기술은 해결해야 할 많은 문제점을 안고 있다. 정전선별법은 하전방식에 따라 전도성 및 비전도성물질을 분리할 수 있는 정전유도형과 코로나 방전형이 있으며, 비전도성 물질을 work function 값의 차를 이용해 정전기적으로 분리하는 마찰하전형이 있다.

본 연구에서는 마찰하전형정전선별법을 적용하여 혼합플라스틱의 재활용을 위한 플라스틱 재질선별 실험을 수행하였다. 본 선별법의 분리효율을 높이기 위해서는 플라스틱 재질의 하전량을 극대화시켜야만 한다. 따라서 하전량을 최적화할 수 있는 하전 특성인 습도, 입자 크기, 온도, 공기량에 따른 적정 조건을 규명하고 하전된 물질을 전기적 에너지로 분리할 수 있는 전기장과 분리대의 위치변화에 따른 분리특성실험을 수행하였다. 마찰하전형정전선별 장치를 실험실 규모로 제작하여 플라스틱의 종류 중 재활용 차원에서 가장 문제가 되고는 PVC와 PET, ABS 등의 물질을 선정하여 대상 시료로 사용하였다. 본 연구에서 개발된 마찰하전형정전선별법은 장치 제작비용이 저렴하고 연속처리가 용이하며, 또한 혼합된 모든 재질의 플라스틱 선별이 가능하고 선별효율이 높아 개발 즉시 상용화가 가능한 장점을 갖추고 있다.

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 재질분리를 위한 마찰하전정선선별법의 분리공정을 나타낸 것이다. 본 연구의 시료는 수순한 플라스틱 원료제품으로써 PVC, PET, ABS 등의 시료를 Cutting Mill에 의해 목적인 입도크기로 파쇄하여 체에 의해 입도조절을 하였다. 일정한 무게비로 혼합한 2종의 혼합시료를 원통형 파이프의 하전장치 내부에 공기와 함께 투입하여 충돌·마찰시킨 후 일함수 값에 따라 서로 다른 극으로 표면 하전된 입자를 고전압의 전극판 쪽으로 이동시켜 분리하였다. Fig.3은 재질분리 효율 및 하전량에 영향을 미치는 각종 실험인자들을 나타낸 것이다.

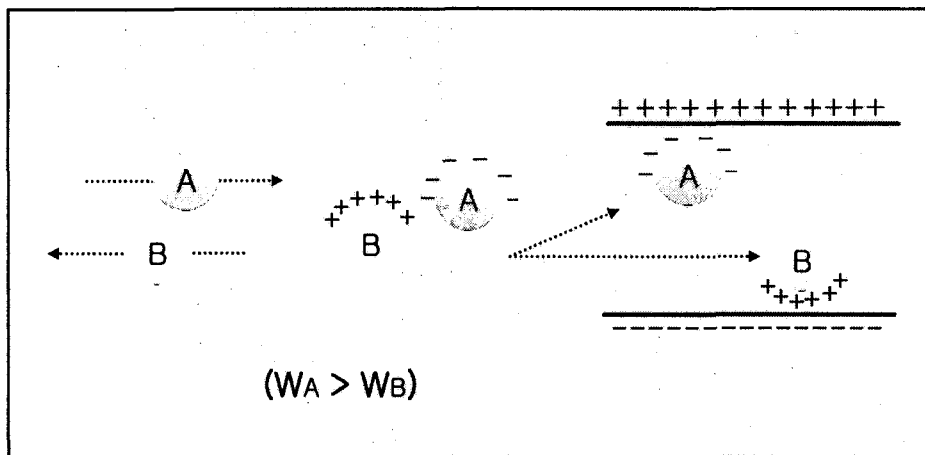


Fig. 1 Principle of Triboelectrostatic Separation

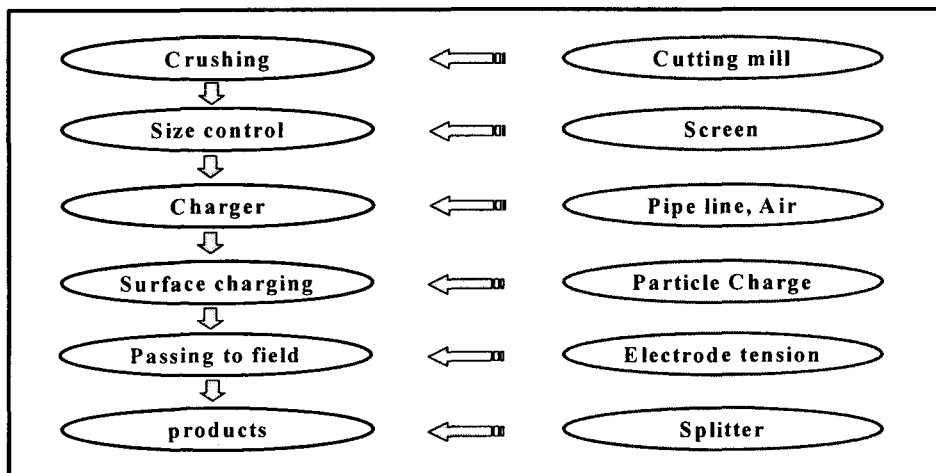


Fig. 2 Flowsheet of Mixed Plastics by Triboelectrostatic Separation

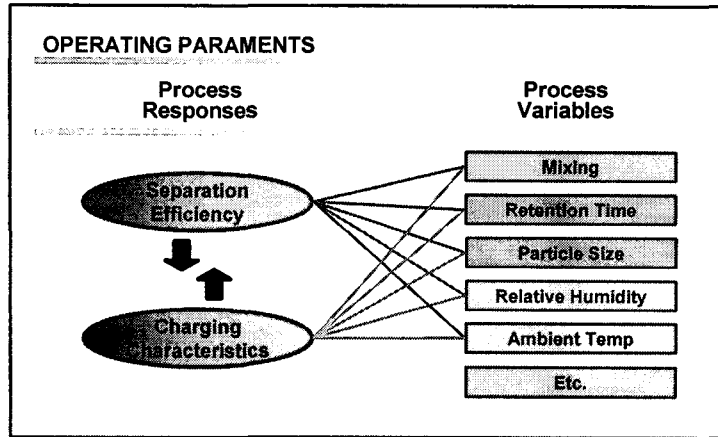


Fig. 3 A main operating parameter for an increase of charging amounts

4. 실험결과

Fig. 4는 마찰하전형정전선별에 영향을 미칠 수 있는 전극세기, Air rate, 분리대 간격, 상대습도 등에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. Fig. 4의 A는 PVC : ABS의 혼합비가 50 : 50 인 시료를 공기를 이용하여 하전시킨 다음, 전기장 내로 통과시켜 분리할 때 전극의 전압세기가 ABS와 PVC의 재질분리에 결과를 나타낸 것이다. Work function 값이 작아 positive(+)로 하전된 ABS 재질은 negative 전극 쪽으로 이동하며, 반대로 negative(-)로 하전된 PVC 재질은 positive 전극 쪽으로 이끌리게 된다. 전극의 전압세기가 높아질수록 분리효율이 증가하여 20kv 이상이 효과적임을 알 수 있는데, 이는 하전장치에 하전된 입자들의 하전량이 nC 단위로 매우 약하기 때문이다. 그러나 전극의 세기 25kv 이상에서는 뚜렷한 분리효율의 증가 없이 에너지 손실만 증가되어 효과적이지 못함을 알 수 있다. 즉, 입자의 하전량을 높을 수 있는 기술개발이 이루어지면, 낮은 전극의 전압세기에서도 높은 선별효율을 기대할 수 있기 때문에, 입자의 하전량 극대화할 수 있는 하전특성이 매우 중요함을 알 수 있다.

따라서 입자의 하전특성을 좌우하는 중요한 인자로서 마찰하전시 입자의 하전량과 시료의 이동 및 낙하속도에 절대적 영향을 미치는 air rate의 변화실험을 수행하여, Fig. 4의 B에 나타내었다. 실험결과 air rate 2.0~2.5kg/cm² 조건이 가장 효과적임을 알 수 있다. 즉, air rate가 높으면 입자의 하전량이 증가하여 선별효율이 증가하나, 적정 이상으로 많아지면 공기의 흐름이 빨라져 하전된 입자가 전극사이를 통과하는 속도가 빨라짐으로, 전극사이에서의 체류시간이 짧고 중력낙하 에너지가 증가되어 분리효율을 저하시키는 원인도 된다. Fig. 4의 C는 분리대 위치에 따른 변화실험을 수행한 결과로써, ABS의 품위와 회수율을 고려하여 최적 분리대의 위치는 전기장의 가운데(0)에서 negative 전극으로 4cm 이동한 지점임을 알 수 있다. 분리대 위치 변화실험은 혼합된 입자의 work function 값의 차이에 따라 하전량이 각각 다르고, 또한 상대습도, air rate와 같은 하전특성 인자들에 의해 다른 하전량을 갖기 때문이다. 즉, 하전량이 작은 입자들은 하전량이 높은 입자들보다 전극으로 이끌리는 힘이 떨어지기 때문에 분리대위치를 변화시켜 분리효율을 높이는 것이다. Fig. 4의 D는 공기 중의 상대습도가 재질분리에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 실험결과에서 알 수 있듯이 상대습도가 40% 이하에서 효과적임을 알 수 있다.

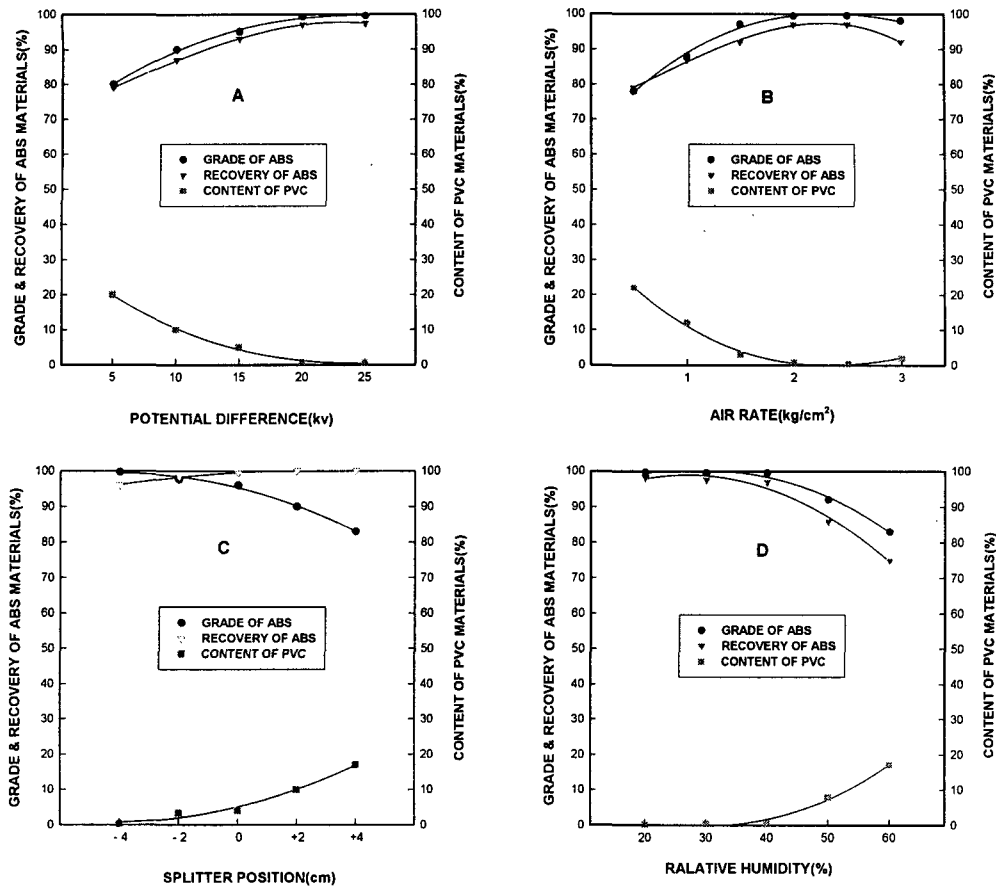


Fig. 5 Effect of various factors on Plastics Grade and Recovery in Triboelectrostatic Separation.

5. 결 론

폐플라스틱의 재활용을 위한 PVC, ABS 등의 혼합 플라스틱 재질분리실험을 마찰대전형 정전선별법으로 수행하였다. 최적실험 조건인 전압세기 20kV, 공기세기 2.0~2.5kg/cm² 이상, 상대습도 40% 이하 그리고 분리대 위치 positive 전극쪽으로 4cm 지점에서, ABS 품위와 회수율이 각각 약 99.5%와 98%인 결과를 얻었으며, 이때 ABS 산물 중의 PVC 함량은 0.5%이하였다.

V. 참고문헌

- 1) 전호석, 박철현, 신선명, 백상호, 2004, "Development of Separation Technique for Removal of PVC Material from Waste Plastics" 한국고분자학회 춘계학술발표회.
- 2) Incullet, 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 WorkshopIII, pp118-127.