

# PS cyclone 하전장치를 이용한 폐플라스틱 종말품 재질분리 연구

박철현 · 전호석\* · 김병곤\*, 박재구

한양대학교, \*한국지질자원연구원

## The Study of Material Separation of Final Waste Plastic Using PS Cyclone Charger

Chul-Hyun Park, Ho-Seok Jeon\*, Bung-Kon Kim\*, Je-Ko Park  
Hanyang university, KIGAM

### I. 서론

폐플라스틱은 혼합재질의 경우 물질재활용 및 재질특성이 저하되어 반드시 재질분리 기술이 개발이 선행되어야 한다. 특히 PVC 재질의 경우 염소를 함유하고 있어 HCl, 다이옥신 방출과 함께 다량의 첨가물들로 인하여 열분해가 심하게 일어나거나 새로운 화합물이 생성되어 재활용을 어렵게 만들고 설비 장치 등의 부식문제를 야기시키고 있다. 본 연구에서는 폐플라스틱의 모든 재질의 분리가 가능한 마찰하전형 정전선별법을 적용하였다. 마찰하전형 정전선별법은 비전도성물질을 work function 값의 차를 이용하여 마찰·충돌시켜 반대 극성으로 하전된 물질을 정전기적으로 분리하는 선별법이다. 본 선별법의 경우 하전물질 및 하전장치의 개발에 따라 선별효율을 크게 향상시킬 수 있다. 하전방식은 vibration, cyclone, fluidized bed, 이외에 rotating cylinder, honeycomb, spiral tube charger 등이 있으며 하전량 측정법은 ball probe법과 faraday cage법이 있다.

플라스틱과 같은 절연체 물질을 대상으로 마찰대전량 측정 및 분리에 관한 연구가 시작된 것은 최근의 일로서 폐플라스틱 재활용의 관점에서 마찰대전 현상을 규명하고 마찰대전기 내에서 마찰대전량을 증가시켜 분리효율을 향상시키고자 하는 노력들이 현재 활발히 진행되고 있다. 본 연구는 하전방식 중 연속처리가 가능하고 재질 분리효율이 높은 cyclone 하전방식을 적용하였다. cyclone 하전장치에 관한 연구는 먼저 Pearse(1978)가 니켈 재질의 사이클론(cyclone) 마찰대전기에서 PVC, PE, Nylon66 재질의 pellet 입자의 마찰대전량을 faraday cage를 이용하여 측정하였다. 또한 Yanar(1995)는 구리 재질의 사이클론(cyclone) 마찰대전기에서 PVC, PE 재질의 마찰대전량을 faraday cage를 이용하여 측정하였고 상대습도에 관한 마찰대전량의 변화를 측정하여 상대습도가 낮을수록 마찰대전량이 증가하며, 80% 이상의 고습 조건에서는 마찰대전량 변화가 불안정하며 입자의 극성이 변한다는 것을 밝혔다.

본 연구에서는 기초연구를 통하여 확인한 종말품에 대한 하전물질 선정 실험에서 PET, PVC 하전량이 약  $\pm 20\text{nC/g}$  이상을 나타내어 우수한 하전물질로 확인된 PS, PP, PE 중 PS 재질을 cyclone에 적용시켜 습식비중선별 후 대부분 PET와 PVC로 구성된 sink 산물에 대

한 재질분리 실험을 수행하였다. 연구결과, 최적실험 조건에서 PET와 PVC를 98% 이상 분리할 수 있는 기술을 개발하였다. 본 tribo-cyclone 선별시스템의 장점은 연속처리가 가능하고, pipe line과 cyclone를 함께 사용함으로써 하전효율을 높일 수 있으며, 시료와 함께 투입된 공기를 cyclone의 상단으로 배출할 수 있어 시료의 중력낙하 속도를 줄일 수 있어 높은 선별효율을 기대할 수 있다.

## II. 시료 및 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 대전시 재활용 사업장에서 습식 비중선별을 거친 sink 산물로서 대부분 PET와 PVC로 구성된 산물이었다. Fig. 1은 폐플라스틱 종말품의 재질분리 효율을 높이고 연속처리 및 대량처리를 위해 제작한 cyclone 하전장치를 나타낸 것으로 기초연구에서 규명된 종말품 재질분리에 적합한 PS 하전물질이 cyclone 내부에 tapping 되었으며 원심력을 하에서 입자와 입자간 혹은 입자 가속도와 벽과의 마찰력의 결과로 입자가 하전될 수 있도록 고안되었다. 본 선별 장치의 운용체계는 air compressor, feeder, tribo-cyclone, DC power source, separating electrode, bins의 6가지로 구성되며 분리 전극의 시스템은 DC power source에 의해 공급된 2개의 screen형의 구리판으로 만들어진 높은 고전압 전극을 갖는다. cutting mill에 의해 4~6mm로 입도 조절된 플라스틱 시료는 air compressor에서 공급된 공기에 의해 pipe line를 따라 tribo-cyclone에 투입된다. 이때 공기 흐름은 flow meter (유속제어기)로 일정하게 유지되고 cyclone 안으로 공기와 함께 이동된 혼합물은 내벽의 하전물질 및 플라스틱 입자간의 마찰, 충돌에 의해 하전이 이루어진다. cyclone 상단의 공기 배출구에 30mesh 체를 설치하여 입자의 overflow를 방지하였으며 입자 하전량은 하전장치 재질, 공기 주입속도, 상대습도, 온도로 조절된다. 일함수 값 차에 의해 서로 다른 극으로 분극된 입자들이 고전압의 전극판 사이로 자유 낙하되고 positive 전극과 negative 전극으로 편향된 각각의 산물에 대해 faraday cage를 이용하여 하전량을 측정하였으며, THF 용액으로 PVC 함량을 분석하였다.

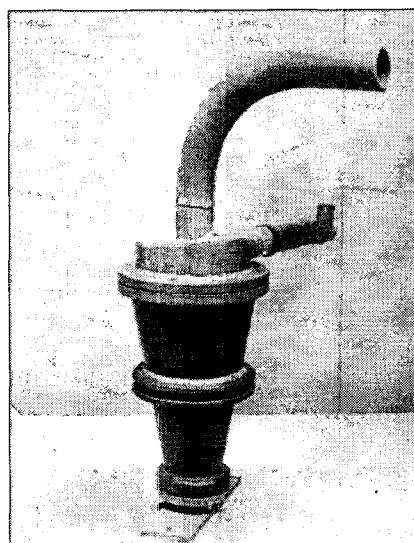


Fig.1 The tribo-charger of cyclone type used this test

### III. 실험결과

본 실험은 수직 왕복형 하전장치를 이용한 종말품의 하전물질 선정 기초실험에서 우수한 하전물질로 확인된 PS, PP, PE 중 PS재질을 cyclone에 적용시켜 폐플라스틱 종말품의 하전 효율 및 재질분리 연구를 수행한 것이다. Fig. 2는 PS cyclone을 이용하여 상대습도 40% 이하의 조건에서 폐플라스틱 종말품 PET와 PVC 혼합물 각각의 표면 하전량에 대한 공기 주입속도 영향을 나타낸 것으로 공기 주입속도 증가에 따라 플라스틱 각각의 표면 하전량이 증가됨 알 수 있다. 이는 공기속도가 증가할수록 시료 이동속도가 빨라져 플라스틱 입자들 간의 마찰하전과 cyclone 하전장치 내벽에 대한 플라스틱 입자 마찰 및 충돌이 증가하여 전자의 이동이 활발해지기 때문이다. 공기 주입속도가 10.28m/s, 그 이상으로 유지될 때 PET/PVC 혼합물이 전극세기20kV 하에서 정전선별에 대한 충분한 하전을 갖는다. 공기 주입속도가 한계이상이면 cyclone 하전장치 내벽에 정전기적 부착이 형성이 증가하여 부착된 플라스틱 부피가 급속히 증가한다. 따라서 공기주입 속도를 12.45m/s 이하로 유지하여 분리 실험을 수행하였다. 또한 공기 중의 수분이 마찰하전시 입자간의 표면분극 및 하전효율에 미치는 영향을 관찰한 상대습도에 따른 하전량의 변화실험에서는 상대습도 40% 이하에서 우수한 하전효율을 나타내었다.

Fig. 3의 A는 하전된 폐플라스틱 종말품 시료가 전기장 내를 통과할때 전극의 전압세기가 PET와 PVC의 재질분리에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 전극의 전압세기가 높을수록 분리 효율이 증가하여 20kV 이상이 효과적임을 알 수 있다. 이는 하전장치에 의해 하전된 입자들의 하전량이 nC 단위로 매우 약하기 때문에 이들 입자들을 각각의 전극으로 끌어당길 수 있는 높은 전기에너지가 필요하기 때문이다. 따라서 입자의 하전량을 높이는 기술이 개발된다면 낮은 전압세기에서도 높은 선별효율을 기대할 수 있어, 하전량을 극대화할 수 있는 하전특성이 매우 중요함을 알 수 있다. Fig. 3의 B는 정선횟수에 따른 PET와 PVC 분리효율 향상 실험에서는 정선횟수 3회에서 PET 품위와 회수율을 98%, 95%로 향상시킬 수 있었으며 이때 PVC 제거율은 94% 이상이었다.

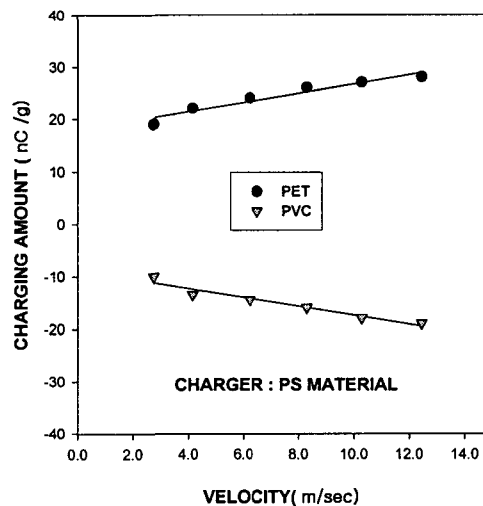


Fig. 2 Charging amount variation of waste plastics as air injection velocity in PS tribo-charger.

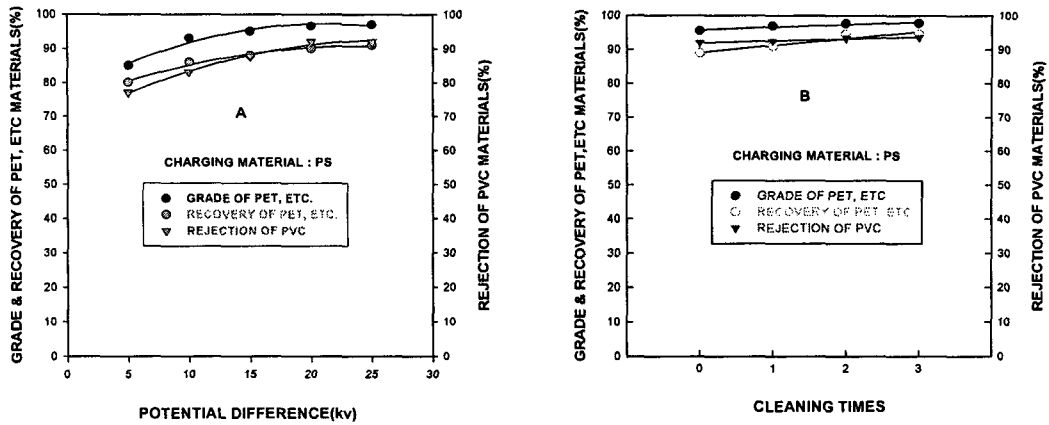


Fig. 3 Effect of potential difference and cleaning times on grade and recovery of plastics in triboelectrostatic separation.

#### IV. 결론

폐플라스틱 종말품 재활용을 위한 cyclone 하전장치 연속처리 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. PS tribo-cyclone을 이용한 종말품의 하전특성 실험에서 공기 주입속도 10.28m/s, 상대습도 40% 이하의 조건에서 PET, PVC 하전량 약  $\pm 20\text{nC/g}$  이상을 나타내어 효과적임을 확인하였다. 폐플라스틱 종말품 재질분리 실험결과 전극의 전압세기 20kV 이상, 정선횟수 3회에서 PET 품위와 회수율을 각각 98%와 95% 이상으로 얻을 수 있었으며, 이때 PVC 제거율은 94% 이상이었다. 따라서 하전효율을 높이기 위해서는 공기속도와 같은 외부에너지의 증가와 함께 건조상태에서 마찰하전이 이루어져야 하며, 입자에 대한 전기장의 힘이 증가할수록 하전된 입자들이 보다 더 쉽게 정전기적 편향이 일어남을 확인하였다.

#### V. 참고문헌

1. D.K. Yanar, B. A.Kwetkus, 1995: *Electrostatic separation of polymer powders*, Journal of Electrostatics, Vol. 35, PP 257-266.
2. Inculet, I.I., Castle, G.S.S. 1994, "Tribo-Electrification System for Electrostatic Separation of Plastics", IEEE Trans. IAS, pp1397-1399.
3. Toshiyuki Noura, 2003, "The Environment Humidity Effect on the Tribo-charge of Powder" Powder Technology
4. Kelly, E. G. and D. J. and D. J. Sottiswood 1988, "the theory of electrostatic separations : a review, part. I , fundamentals", minerals engineering, Vol.2, No.1, pp. 33-46.
5. Jean Cross, 1987, "Electrostatics : Principles, Problems and Applications", Adam Hilger, pp. 17-46, pp. 237-242, pp. 425-433.
6. H.R. Manouchehri, 2000, "Review of Electrical Separation Methods", Mineral and Metallurgical Processing, Vol. 17, pp23-36.
7. Mihai Lungu, 2004: *Electrical separation of plastic materials using the triboelectric effect*, Minerals Engineering, Vol. 17, PP 69-75.