

폐플라스틱 종말품 재활용을 위한 하전특성 연구

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

The Study of Charging Property for Recycling of Final Waste Plastic

Chul-Hyun Park, Ho-Seok Jeon*, Bung-Kon Kim*, Sang-Ho Baek*, Je-Koo Park
Hanyang university, KIGAM

I. 서 론

고유가 시대의 지속과 확대생산자책임제도의 시행으로 플라스틱의 안정적 수급과 함께 폐플라스틱 재활용의 필요성이 가중되고 있다. 국내 폐플라스틱은 매년 약 400만 톤이 발생되고 있으나 재활용이 20~30% 정도로 낮아 많은 양이 매립이나 소각에 의해 처리되고 있다. 환경적 측면에서 볼 때 도쿄의정서의 발효와 더불어 폐플라스틱의 소각과 매립을 2004년 이후 법으로 규제하고 있어 폐플라스틱의 재활용 및 재질분리 기술개발이 필요한 실정이다. 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 야기 시키고 있다.

폐플라스틱을 물질재생으로 재 자원화 할 수 있는 물리적 재질선별 방법은 정전선별, 건·습식 비중선별, 부유선별, 색선별 그리고 분광법등이 있다. 본 연구에서는 폐플라스틱의 모든 재질의 분리가 가능한 마찰하전형정전선별법을 적용하였다. 마찰하전형정전선별법은 비전도성물질을 work function 값의 차를 이용하여 마찰·충돌시켜 반대 극성으로 하전 된 물질을 정전기적으로 분리하는 선별법이다. 본 선별법의 경우 하전물질 및 하전장치의 개발에 따라 선별효율을 크게 향상시킬 수 있다.

Table 1은 플라스틱의 마찰하전방식 및 하전량 측정에 관한 선행연구자들의 연구를 정리한 것이다. 하전방식은 Table 1에서와 같이 진동형, cyclone, fluidized bed, rotating cylinder, honeycomb, spiral tube charger 등이 있으며, 하전량 측정법은 ball probe법과 faraday cage법이 있다. 본 연구에서는 기존의 하전방식 이외의 수직 왕복형 하전장치를 개발하여 하전물질에 따른 플라스틱의 하전극성과 하전량을 faraday cage법으로 조사하였으며, 이를 기초로 하여 실제 폐플라스틱 종말품을 대상으로 하전물질에 따른 분리실험을 수행하였다. 대부분 PET와 PVC로 구성되어 있는 폐플라스틱 종말품의 하전특성 실험결과 PET와 PVC의 분극과 하전량을 높일 수 있는 하전재질은 PS, PP, PE 재질였으며, 최적실험 조건에서 PET와 PVC를 97% 이상 분리할 수 있는 기술을 개발하였다.

Table 1. Preview Studies of on the Charge Measurement of the Plastics

Author(Year)	Tribo Chager	Charge Analysis	Particles	Particle Size	Charge Amount
Fujita(1995)	Vibrating Feeder	Faraday Cage	PS, PE, PC, PVC, PTFE, ABS	9×9×1(mm)	10 ⁻⁴ ~10 ⁻⁶ (C/m ²)
Pearse(1978)	Cyclone	Faraday Cage	PE, PVC, ylon66	4×4×1(mm)	10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁷ (C/kg)
Yanar(1995)	Cyclone	Faraday Cage	PE, PVC	170~150(μm)	2×10 ⁻⁴ (C/Kg)
Higashiyama(1997)	Vibrating Type	Faraday Cage	PMMA, PC, PE, PP	3~4(mm)	0.4~5.9×10 ⁻⁶ (C/Kg)
Sharemerl(1999)	Fludized Type	Faraday Cage	PA	75~106(μm)	0.2~0.3×10 ⁻⁶ (C/Kg)

II. 시료 및 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 재활용 사업장에서 습식 비중선별을 거친 sink 산물로서 대부분 PET와 PVC로 구성된 산물이었다. Fig. 1은 폐플라스틱 종말품의 하전특성 연구를 위해 제작한 수직 왕복형 하전장치로서 하단부의 모터를 통한 회전운동을 Cam 축에 의해 상하 왕복운동으로 변환시켜 상단의 하전통에 투입된 종말품을 하전 시키도록 고안하였다. 실험 방법은 Fig. 2에서와 같이 먼저 THF 용액을 이용하여 원시료의 조성을 분석하였으며, cutting mill을 이용하여 시료를 4~6mm 이하로 제조 하였다. 입도조절 된 시료를 자체 제작한 하전통(PVC, PP, PE, PS, PET, ABS)에 투입하여 수직 왕복형 하전장치로 마찰, 충돌시킨 후 일함수 값 차에 의해 서로 다른 극으로 분극된 시료를 고전압의 전극판 사이로 자유 낙하시켰다. Positive 전극과 negative 전극으로 편향된 각각의 산물에 대해 faraday cage를 이용하여 하전량을 측정하였으며, THF 용액으로 PVC 함량을 분석하였다. 이와 같이 하전 물질에 따른 폐플라스틱 종말품의 하전극성과 하전량을 조사한 후 선별효율이 높은 하전물질을 연속공정이 가능한 Cyclone 하전장치에 적용하여 재질분리 실험을 수행하였다.

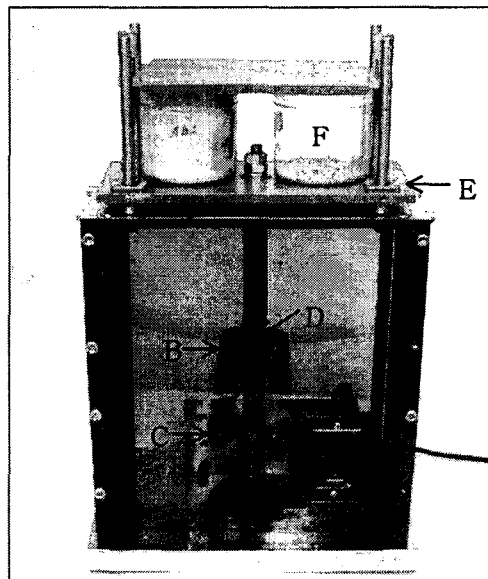


Fig.2 The Charger of a Vertical Motion Used This Test(A: Controller(RPM), B: Motor(Cont 50~1700rpm), C: Rotation disc, D: The Axis of Cam, E: A Vertical Motion Plate, F: Charging bottle)

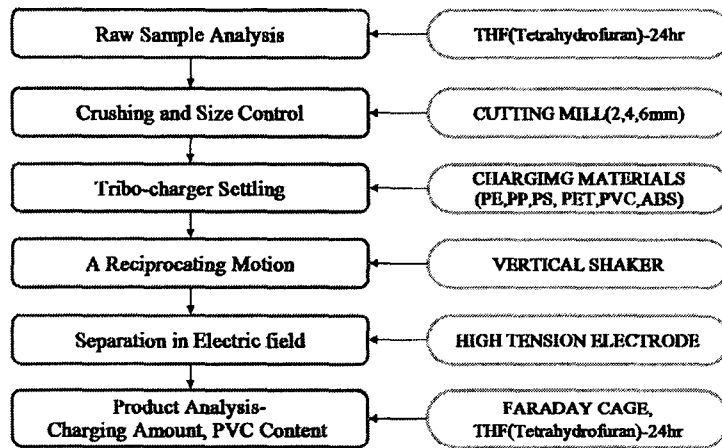


Fig. 3 Flowsheet for Recycling of Waste Plastic in Triboelectrostatic Separation

III. 실험결과

Fig. 4는 폐플라스틱 종말품 분리에 효과적인 하전물질을 선정하기 위하여 수직 왕복형 하전장치와 다양한 재질의 하전물질들(PS, PE, PP, PVC, ABS, PET)을 이용하여 상대습도 40% 이하, RPM: 300, 체류시간 5min.의 조건에서, 종말품 시료(PET, PVC)에 대한 하전 실험 결과를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 같이 PS, PP, PE 하전물질에서 종말품의 PET, PVC 하전량이 약 $\pm 20\text{nC/g}$ 을 나타내어 ABS, PET, PVC 하전물질보다 더 효과적이었다. 이는 PS, PP, PE 하전물질들이 마찰대전 서열상에서 대상 시료인 PET와 PVC의 중간에 위치하고 있어 PET와 PVC 시료간의 마찰·충돌과 함께 이들 중간의 일함수 값을 갖는 PS, PP, PE 하전장치와의 마찰·충돌에 의해 일함수 값이 작은 물질의 표면에서 큰 물질의 표면으로 전자 이동이 활발하여 서로 반대극성으로 분극 되는 대상시료 입자의 표면하전량이 증가하기 때문이다. 반면 PET, PVC 하전물질의 경우 대상 시료와 동일한 일함수 값에 의해 하전장치에 의한 하전보다는 PET와 PVC 시료간의 하전만이 이루어져 하전효율이 낮게 나타난 것이다.

Fig. 5는 마찰하전형정전선별법에서 상대습도가 선별효율에 미치는 영향을 관찰한 것으로 PS, ABS 재질의 하전장치에 PET, PVC 종말품 시료를 RPM: 300, 체류시간 5min.으로 고정시키고 상대습도 30~70%의 조건에서 각각 대전시킨 후 전극의 전압세기 30kV으로 분리한 결과를 나타낸 것이다.

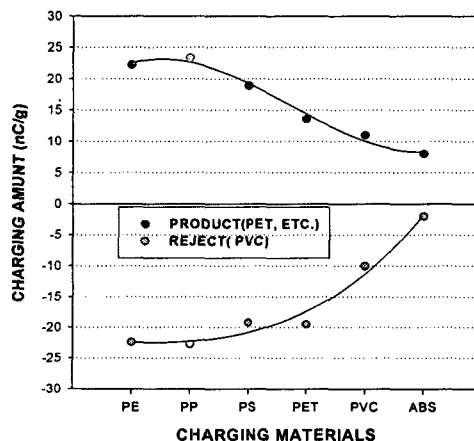


Fig. 4 Charging Amount Variation of Waste Plastics as Charging materials

PS 하전장치에 의해 하전된 시료의 경우 상대습도 40% 이하의 조건에서 PET 품위와 회수율이 각각 97%와 88% 이상을 나타내었으며, 이때 PVC 제거율은 93% 이상이었다. 이와 같이 상대습도에 따른 하전량의 변화는 상대 습도가 높을수록 공기 중의 수분이 마찰하전시 입자의 표면분극을 방해하고 하전된 입자의 전하를 방전시키기 때문으로 생각된다. ABS 하전장치에 의해 하전된 시료의 경우 상대습도가 높을수록 PET 품위와 PVC 제거율은 증가하나 PET 회수율이 52% 이하로 아주 낮게 나타났다. 이는 앞서 언급한 시료간의 마찰하전 및 시료와 하전장치의 마찰하전 메카니즘에서 PET와 PVC는 각각 positive와 negative로 분류되어야 하지만 ABS 하전물질이 PET, PVC의 일함수 값보다 낮아 하전시 PET, PVC 시료 모두 negative으로 하전시키기 때문이다. 이와 같이 positive로 하전 되어야 할 상당량의 PET 시료가 negative로 하전되어 PVC와 함께 positive 전극쪽으로 이동되어 PET 회수율이 낮게 나타난 것이다.

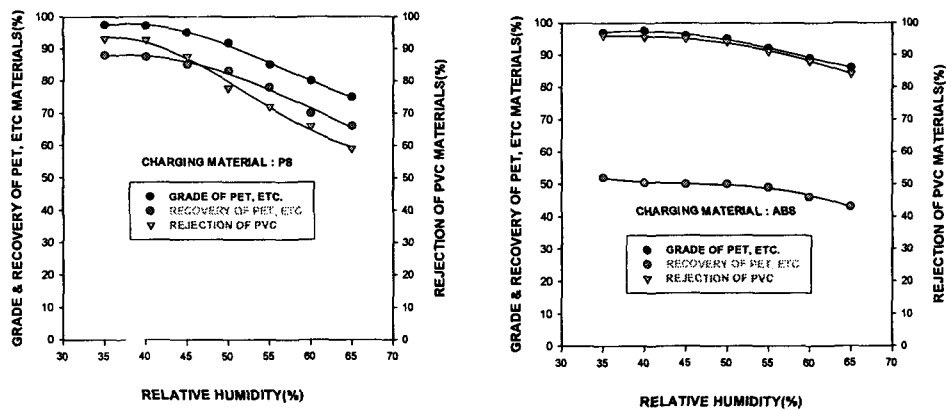


Fig. 5 Effect of Relative Humidity on Waste Plastic Grade and Recovery in T-E-S

IV. 결론

마찰하전형정전선별법을 이용하여 폐플라스틱 종말품의 재활용을 위한 하전특성 연구를 수행하여, 다음과 같은 결론을 얻었다. THF 용액을 이용하여 폐플라스틱 종말품 원시료에 대한 PVC 함량을 분석한 결과 PET, etc.: 78.5%, PVC: 21.5% 임을 확인하였다. 수직 왕복형 하전장치를 이용한 폐플라스틱 종말품 하전특성 실험에서 RPM: 300, 상대습도 40% 이하, 체류시간 5min.의 조건에서 PS, PP, PE 하전물질이 PET, PVC 하전량 약 $\pm 20\text{nC/g}$ 이상을 나타내어 효과적임을 확인하였다. PS 하전장치를 이용하여 상대습도가 분리효율에 미치는 영향을 관찰한 결과 상대습도 40% 이하의 조건에서 PET 품위와 회수율이 각각 97%와 88% 이상으로, 이때 PVC 제거율은 93% 이상 이었다

V. 참고문헌

1. H.R. Manouchehri, 2000, "Review of Electrical Separation Methods", Mineral and Metallurgical Processing, Vol. 17, pp23-36.
2. Incullet, 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 Power" 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 engineerings, Vol.2, No.1, pp. 33-46.