

## 高比重 終末品 廢플라스틱 大量處理를 위한 摩擦荷電 靜電選別 技術開發<sup>†</sup>

朴哲賢 · <sup>‡</sup>全好錫 · 白尙昊 · 金炳坤

韓國地質資源研究院

### Development of Tribo-electrostatic Separation Technique for Scale-up Process of Heavy Group Plastic Tailings<sup>†</sup>

Chul-Hyun Park, <sup>‡</sup>Ho-Seok Jeon, Sang-Ho Baek and Bong-Gon Kim

Korea Institute of Geoscience and mineral Resources

#### 요 약

습식 비중선별에서 sink products로 회수된 종말품 고비중 폐플라스틱 산물의 재활용을 위한 마찰하전정전선별 실증화 연구를 수행하였다. 종말품 고비중 폐플라스틱의 재질분리에 있어 적합한 하전물질 선정을 위한 하전특성 연구결과, high density polyethylene (HDPE) 재질이 가장 효과적인 하전물질로 규명되어, 이 재질을 이용하여 하전장치를 제작하였다. 실험결과 최적조건인 전극의 전 기장 250 kV/m, 분리대의 위치 (-) 8 cm, 그리고 상대습도 40%이하에서 PET, PS and others 산물의 품위와 회수율이 각각 99.1% 와 86.0%인 결과를 얻었다. 또한 300 kg/h 규모의 대량처리 기술을 개발하여 종말품 폐플라스틱을 2등급 이상의 RPF나 RDF로 재활용할 수 있는 즉, PVC를 1% 미만을 줄일 수 있는 선별기술을 개발하였다.

주제어 : 폐플라스틱, 마찰하전, 정전선별, 재활용

#### Abstract

In this research, we studied the scale-up triboelectrostatic process for separation of PVC from higher gravity fraction of plastic wastes produced from wet gravity separation process. High density polyethylene (HDPE) was found to be the most effective materials for a tribo-charger in the separation of plastic tailings. In a commercial scale triboelectrostatic separator unit, using the HDPE pipe-line charger, a grade of 99.1% with PET, PS and others and a recovery of 86% was obtained under optimum conditions at over 250 kV/m electric field, a splitter position of -8 cm from the center, and less than 40% relative humidity. The developed unit can process the plastic wastes at a 300 kg/h, and the product can be utilized as RPF or RDF of over grade 2.

Key words : plastic wastes, tribo charging, electrostatic separation, recycling

#### 1. 서 론

현재, 정전선별법은 기존의 선광법으로 분리가 어려운 혼합물질의 분리와 폐자원의 재활용 분야에 확대 적용되고 있다. 이 중 폐자원 재활용 분야의 적용에 있어 폐 자동차, 폐 전기·전자제품, IT 제품 그리고 생활계 및 산업폐기물로부터 발생된 폐플라스틱은 산업의 발달과 이들 제품의 수명 단축으로 인하여 지속적으로 증가

되고 있다.<sup>1-3)</sup> 따라서 폐플라스틱의 재활용 공정이나 재질분리 기술은 전 세계적으로 중요한 이슈가 되고 있다.

플라스틱은 전 세계적으로 매년 약 15,000 만 톤이 생산되고 있으며,<sup>4)</sup> 한국은 석유화학공업의 발달로 인해 매년 약 1,100 만 톤 정도의 생산력을 갖춘 세계의 주요 플라스틱 생산국 중에 하나이다. 폐플라스틱의 주요 발생국은 미국, 유럽 그리고 일본으로서 이들 국가에서 약 5,000 만 톤이 발생되고 있다.<sup>5,6)</sup> 국내에서는 매년 약 400만 톤이 발생되고 있으나 재활용률이 30% 이하로 낮아 많은 양이 매립이나 소각에 의해 처리되고 있다.<sup>7-8)</sup>

<sup>†</sup> 2008년 3월 10일 접수, 2008년 11월 20일 수리

<sup>‡</sup> E-mail: hsjeon@kigam.re.kr

현재 고품폐기물의 소각과 매립은 보다 많은 처리 비용과 환경적 문제를 일으키고 있다.<sup>9)</sup> 소각 처리와 관련하여 폐플라스틱 내의 Polyvinyl chloride(PVC) 재질의 경우 Cl, DEHP(Diethylhexyl phthalate), 왁스 등이 함유되어 있어 소각이나 매립 시 염화수소, 다이옥신, 중금속 그리고 독성첨가물 등이 유출되어 환경 유해성이 심각한 것으로 알려져 있으며, 소각 설비 장치의 수명 단축 및 부식을 유발시키고 있다.<sup>5,8)</sup> 또한 PVC 재질은 폐플라스틱 고품연료제품(RPF, Reused plastic fuel), 생활폐기물 고품연료제품(RDF, Refuse Derived Fuel), 유화, 물질재생 등에 있어 폐플라스틱의 재활용을 어렵게 만드는 주요 원인이 되고 있다. 이는 다량의 첨가물들로 인하여 주요 플라스틱들의 특성을 저하시키거나 새로운 화합물을 형성함으로써 플라스틱의 재활용률을 감소시키기 때문이다.<sup>4,10)</sup> 따라서 이들의 문제점을 원천적으로 해결하고 폐플라스틱의 재활용률을 높일 수 있는 PVC 제거 기술 및 각 재질별 분리 기술의 개발이 선행되어야 한다.

폐플라스틱의 재활용 방법은 에너지 재활용, 화학적 재활용 그리고 물질 재활용이 있으며, 이중 물질 재활용이 처리비용과 기술면에 있어 가장 효율적인 방법으로 평가받고 있다.<sup>11)</sup> 현재 폐플라스틱은 대부분 수선(hand picking)에 의해 처리되고 있으나 각 분야별 재질분리 기술의 연구도 많은 진보를 이루고 있다. 습식 비중선별은 고비중(PVC, PET, PS, PC)과 저비중(HDPE, LDPE, PP) 그룹의 분리가 용이하며,<sup>12)</sup> 부유선별은 소수성과 접촉각을 이용하여 각 재질을 선택적으로 분리할 수 있다. 그러나 비중선별은 동일 그룹(특히 PET/PVC, PE/PP)내 유사 비중의 분리가 어렵고, 부유선별은 시약에 의한 수처리의 문제를 안고 있다.<sup>13)</sup> 분광법과 색선별은 조사된 근적외선과 색상의 상이점을 이용해 플라스틱에 반사광을 검출, 재질 인식 후 공기 토출 장치로 자동 분리하는 방식으로 bottles 및 일반 용기 수준의 크기 선별은 가능하나, 동일 피크(peak)와 색상 분리가 어렵고 폭 넓은 입자의 처리가 불가능한 단점을 갖고 있다.<sup>14)</sup> 현재 종말품과 같은 폐플라스틱은 단일 처리법으로는 선별이 어려운 상황이다 따라서 이들에 대한 혼합선별공정이 주류를 이루고 있다.

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.<sup>15-16)</sup> 본 선별법의 경우 모든 혼합 폐플라스틱의 재

질 분리뿐만 아니라 다양한 조합의 물질분리가 가능하며, 하전물질 및 하전장치의 개발에 따라 선별효율을 크게 향상시킬 수 있다. 또한 마찰하전 정전선별법은 앞서 언급한 선별방법에 비해 에너지 소비가 적으며, 장치 및 선별비용이 저렴하고 분리 효율이 높아 개발 즉시 상용화할 수 있는 장점이 있다.<sup>7,17)</sup>

종말품이라 함은 일반적으로 가정에서 분리 배출된 폐플라스틱으로부터 수선별 및 물리적 선별 공정을 거친 후 남은 찌꺼기 혹은 잔류물을 말한다. 종말품 폐플라스틱의 경우 플라스틱들과 오염물질(흙, 종이, 해섬지 등)이 혼재된 상태로 배출됨에 따라 소각과 매립이 금지된 상황에서 이들의 물질 재활용은 어려운 현실이다. 따라서 이들의 재활용 방안은 고품연료화(RPF, RDF)나 연료유로의 에너지적 재활용이 차선책이다. 현재 “자원의절약과재활용촉진에관한법률”의 개정안(2006)에서 고품연료제품의 등급을 Table 1과 같이 Cl 함량에 따라 규정하고 이를 준수하도록 하고 있다. 일반적으로 PVC 내에 Cl의 함량은 57%이다. 따라서 최 저급인 4 등급인 플라스틱으로(RPF, RDF) 재활용 한다 하더라도 PVC 함량을 최소 3.5%이내로 조절할 수 있는 기술개발이 필요하다. 한편, PET 병의 경우 Cl의 함량을 0.05%(500 ppm) 이하로 규정하고 있다. 이처럼 산지별 폐플라스틱의 PVC의 함량의 규정은 각각 다르므로 상황과 용도에 따라 폐플라스틱 재질분리 목표를 다양화해야 할 것이다.

Fig. 1은 종말품 폐플라스틱에 대한 국내의 혼합 선별공정을 나타낸 것이다. Fig. 1에서와 같이 먼저 근적외선 분광법에 의해 병, 용기류와 같은 제품류를 회수하고 그 외의 폐플라스틱 잔류물을 습식비중선별에서 세척과 함께 의해 2그룹인 float(경량물)와 sink(중량물) 산물로 처리되고 있다. Float 산물의 대부분인 올레핀계에서도 PVC 함량이 RPF 기준에 비해 높아 PVC제거 기술개발이 필요한 실정이며, 특히 sink 산물의 대부분을 이루는 PET와 PVC 재질은 비중이 서로 중첩되어

**Table 1.** PVC content(%) as Cl density(%) standards in RPF and RDF

Grade	Cl density(%) standard (dry state)	PVC content(%) standard (dry state)
1	- 0.50	- 0.87
2	0.50 ~ 1.00	0.87 ~ 1.75
3	1.00 ~ 1.50	1.75 ~ 2.63
4	1.50 ~ 2.00	2.63 ~ 3.50

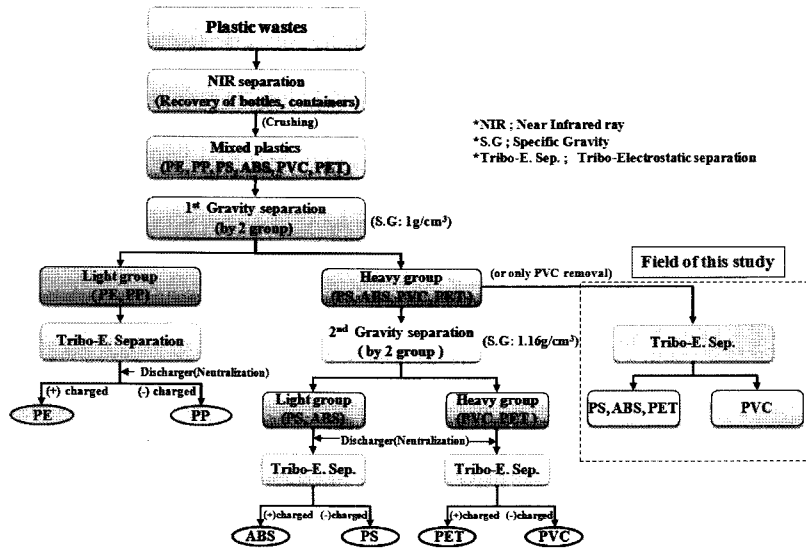


Fig. 1. The separation process for recycling of plastic tailings.

이들을 선별하는데 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 마찰하전 정전선별법을 이용하여 폐플라스틱의 재활용의 차원에서 가장 문제가 되고 있는 습식 비중선별 후의 sink 산물을 대상으로, 종말품 폐플라스틱을 2등급 이상의 고품연료제품으로 재활용하기 위한 PVC 제거 실험을 수행하였다.

비중 1.16의 중액으로 선별한 결과, 부유 산물은 PS, ABS와 기타물질로써 48%를 이루고 있었으며, 침강 산물은 PET와 PVC로써 52%를 이루고 있었다. 또한 THF 용매를 이용하여 침강 산물인 PET와 PVC를 분석한 결과, 본 연구의 주요 제거 물질인 PVC 함량은 7%이었다.

## 2. 시료 및 실험방법

### 2.1. 시료

본 연구에서 사용된 시료는 앞에서 기술한 바와 같이 중력선별로 1차 분리된 산물 중 고비중 그룹에 해당되는 것으로 주성분은 PS, ABS, PVC, 그리고 PET이다. Table 2는 중액선별과 THF(tetrahydrofuran, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O)을 이용하여 분석한 중량물 시료의 각 플라스틱 함량을 나타낸 것이다. 먼저 소금(NaCl: 98%)을 사용하여 제조한

### 2.2. 실험방법

Fig. 2는 본 연구에 이용된 scale-up 되어진 마찰하전 정전선별 시스템을 나타낸 것으로 전북 임실군 오수면 금암리에 위치한 (주)에코닉스에 설치되어 있다. Fig. 2에서와 같이 scale-up 마찰하전 정전선별기의 구성은 본체 우측에 시료의 저장 탱크와 공급 장치, 그리고 공정제어 박스가 있으며, 본체와 공급기 중간에는 고전압(±40,000V)의 power supply가 위치해 있다. 공급 장치로부터 파이프라인 하전장치와 본체 상단에 위치한 싸

Table 2. Content analysis of plastics by Heavy-liquid separation and THF solvent

Separation Contents(%)	Heavy-liquid separation (S.G: 1.16 g/cm <sup>3</sup> , media: NaCl)		PVC analysis by THF (dissolution time: 6 hr)	
	Float	Sink	Residue	dissolution
PS, ABS, others	48%			
PET, PVC		52%		
PET			45%	
PVC				7%

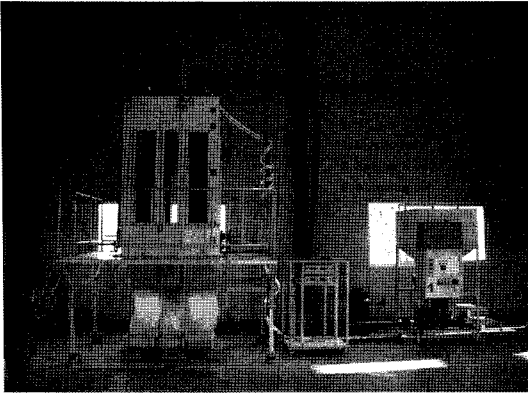


Fig. 2. Photograph of scale-up triboelectrostatic separation system.

이클론형 하전장치가 연결되어 있으며, 본체 중간에 하전된 물질을 정전기적으로 편향시킬 수 있는 전극과 본체 하단에 분리된 산물을 회수하는 회수대가 설치되어 있다. 공정제어 박스에서 시료 공급량, 공기주입 속도, 전기장의 세기, 공급부의 온도를 조절한다. 또한 정전선별의 중요한 변수인 상대습도 조절하기 위하여 현장 플랜트에 chamber와 제습기 설치되어 있으며, chamber 내의 상대습도를 40%로 유지하였다. 본 연구에서 개발한 마찰하전 정전선별 장치는 시간당 처리량이 100~400 kg로 연속처리가 가능하도록 설계 제작되었다.

Fig. 3은 종말품 폐플라스틱의 재질분리를 위한

scale-up 마찰하전 정전선별 공정도를 나타낸 것이다. 먼저 cutting mill에 의해 -10 mm로 제조된 시료는 접지선을 이용하여 방전시켰다. 본 실험인 종말품 폐플라스틱의 재질분리에 앞서, scale-up 하전장치의 하전물질 선정실험에 이용된 재질은 정립된 triboelectric series와 고안된 수직왕복 하전시스템<sup>18)</sup> 이용하여 AI, Hard PVC, Soft PVC, PP, HDPE로 결정하였으며, 하전장치 타입은 파이프라인(Ø50 mm)을 적용하였다. 공정제어 박스로부터 시스템을 가동하면 시료공급 장치에 의해 시료가 일정하게 공급되고 이와 동시에 blower에 의해 강한 유체 흐름이 발생된다. 이로 인해 혼합시료가 하전장치를 통과하면서 각각 반대극성으로 하전되고, 하전된 시료는 전기장이 형성된 전극 사이를 통과하면서 정전기력에 의해 분리된다.

분리 효율은 품위(Grade)와 회수율(Recovery)을 적용하여 평가하였다. 품위는 식 (1)에서와 같이 생산물 내의 목적물질의 함량을 말한다. 마찰하전 정전선별 장치에 의해 분리된 각 산물의 품위는 앞서 2.1 시료의 항목에서 언급한 중액선별과 THF 용매를 이용하여 분석하였다. 따라서 PET, PS, other 산물의 품위는 100 - PVC (%) 함량으로 구할 수 있다. 회수율은 (2)에서와 같이 공급물 내의 목적물질이 생산물 내에 얼마만큼 회수되었는가를 말한다. 따라서 PET, PS, other의 회수율은 생산물 내의 PET, PS, other의 무게에 대한 공급물 내 PET, PS, other의 무게 백분율로 구할 수 있다.

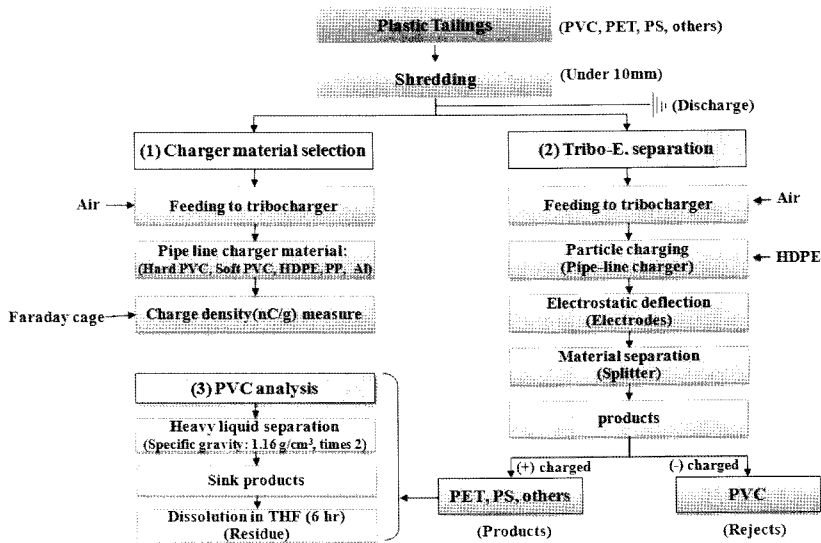


Fig. 3. Flow sheet of the scale-up T-E-S process for PVC removal from plastic tailings.

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

$$\begin{aligned} \text{회수율 (Recovery)} &= \frac{\text{생산물 내의 목적물질의 무게}}{\text{공급물 내의 목적물질의 무게}} \times 100 \\ &= \frac{cC}{fF} \quad (2) \end{aligned}$$

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

### 3. 실험결과

#### 3.1. 전기장의 영향

Scale-up 마찰하전 정전선별에 있어서 주요 공정 변수는 하전량(nC/g)과 전기장(kV/m)으로 표현할 수 있는 정전기력과 입자의 낙하 궤적을 추적할 수 있는 분리대 위치이다. 그리고 하전효율과 관계가 있는 하전장치의 하전물질, 상대습도와 같은 공정 변수들이 있다. 따라서 본 연구에서는 각각의 분리변수들과 분리효율의 관계를 확인하고, 이때의 최적 조건에서 본 장치의 처리용량(kg/h)과 분리효율의 관계를 확인하였다.

Fig. 4는 scale-up 마찰하전 정전선별에서 고비중 중 말품 페플라스틱의 재질분리에 대한 전기장의 영향을 나타낸 것이다. 실험 조건은 하전장치 재질: HDPE, 입자크기: -10+0.5 mm, 상대습도: 40% 공기속도: 20 m/s,

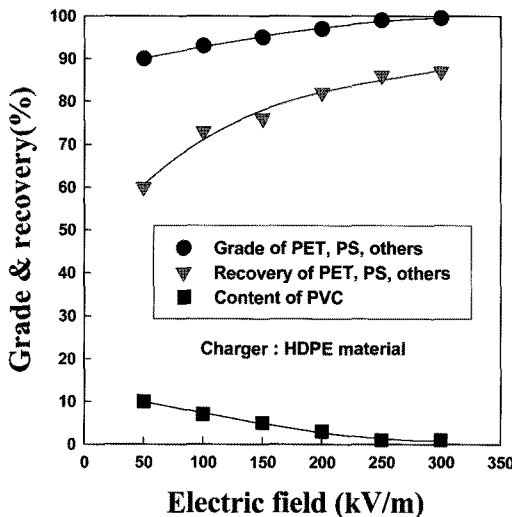


Fig. 4. Effect of electric field on grade and recovery of PET, PS, others in scale-up triboelectrostatic separation.

처리량: 300 kg/h으로 결정하였으며, 분리대위치를 중앙으로부터 음(-)전극 쪽으로 8 cm 이동한 조건에서 전극 상단의 전기장을 50 kV/m에서 300 kV/m까지 변화시켜 실험한 결과이다. 실험결과, 전기에너지가 강할수록 PET, PS and others의 품위와 회수율이 증가하여 전기장 250 kV/m에서 각각 99.1%와 86%를 나타내어 효과적임을 알 수 있다. 이는 하전 입자의 전기장 내에서의 거동식<sup>19)</sup>에서 기술된 바와 같이  $F_e = \frac{qE}{m}$ 로부터 전극판 사이에 전하를 띤 하전 입자가 근접하면 정전기력이 작용한다. 이때 입자 대전량이 일정할 경우 정전기력은 전기장이 강할수록 증가하게 되어 입자가 전극판 쪽으로 쉽게 편향된다. 따라서 마찰하전 정전선별 성능은 전극판 사이에 형성되는 전계강도에 많은 영향을 받으며, 전극판 사이에 코로나 방전이 발생하지 않는 범위에서 전계강도가 증가할수록 입자의 정전분리 성능은 증가함을 알 수 있다. 반면 입자의 하전량이 충분히 많다면 낮은 전기장에서도 높은 선별효율을 기대할 수 있다.

한편 Table 1과 비교한 PVC 함량 기준은 200 kV/m에서는 3% 함량을 나타내어 4 등급의 고품연료 제품을 활용 가능하고, 300 kV/m에서는 0.9%로써 2등급 이상의 고품 연료 제품으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 3.2. 분리대 위치의 영향

Fig. 5는 마찰하전 정전선별에서 중말품 페플라스틱 선별효율에 대한 분리대 위치의 영향을 확인하기 위하여 HDPE 하전물질, 전기장의 세기 250 kV/m, 분리대 위치 상대습도 40% 이하의 조건에서 분리대의 위치를 전기장의 중심(0)으로부터 -12 cm~+12 cm 범위로 변화시켜 실험한 결과이다. 분리대의 위치가 전기장의 중심(0) 지점에서 양(+) 전극으로 이동할수록 PET, PS and others의 품위는 감소하나 회수율이 증가하고 음(-) 전극으로 이동할수록 반대의 결과를 보인다. 이는 PET, PS and others 재질은 양(+)으로 하전 되고 PVC 재질은 음(-)으로 하전 되기 때문에 분리대의 위치에 따라 회수대의 넓이가 결정되기 때문이다. 본 연구에서 PET, PS and others의 품위와 회수율을 고려한 분리대의 위치는 전기장의 중심(0) 지점에서 -8 cm 지점이 가장 효과적이며, 이때의 PET의 품위와 회수율은 각각 99.1%와 86%이었다. 이는 일함수 값, 공기속도, 입자크기, 상대습도와 같은 하전특성 인자들에 의해 서로 다른 하전량 갖게 되고 이들의 낙하지점은 중력, 항력, 정전기력에 따라 달라진다.<sup>15,20)</sup> 특히 하전량이 작은 입자들은 하전량이 높은 입자들보다 전극으로 편향되는 힘이 덜

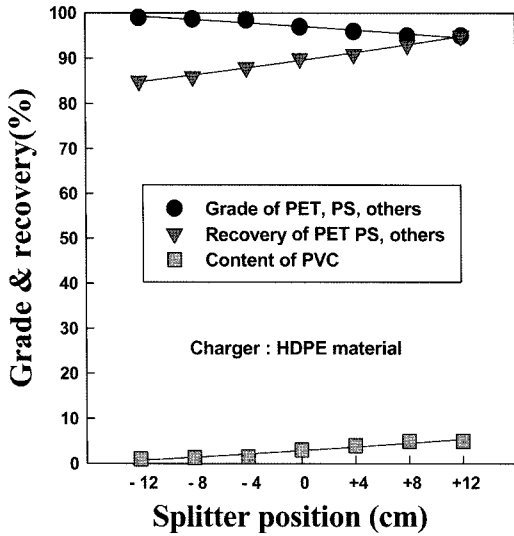


Fig. 5. Effect of splitter position on grade and recovery of PET, PS, others in scale-up triboelectrostatic separation.

어지기 때문에 분리효율을 높이기 위해서는 분리대 위치를 변화시켜야 한다. PVC 함량 기준은 전기장의 중심(0)으로부터 -4 cm 이상의 구간에서 PVC 함량 1.5% 이하를 나타내어 이 구간에서 2등급 이상의 고품 연료 제품으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3. 상대습도의 영향

Fig. 6은 마찰대전 정전선별에서 종말품 폐플라스틱 선별효율에 대한 상대습도의 영향을 확인하기 위하여 HDPE 하전물질, 전기장의 세기 250 kV/m, 분리대의 위치 (음) 전극 쪽으로 8 cm 이동한 지점에서 상대습도를 70%~30% 범위로 변화시켜 실험한 결과이다. 실험 결과, 현장내의 상대습도 40% 0% 이하에서 PET, PS and others의 품위와 회수율이 각각 99.1%와 86%로 가장 높지만, 상대습도가 증가할수록 선별효율은 낮아져 상대습도가 가장 높은 70%에서는 PVC의 품위와 회수율이 각각 94.5%와 74%로 낮아져 현장내의 상대습도가 선별효율에 매우 민감하게 작용하는 것을 알 수 있다. Woodhead and Armour-Chelu<sup>21)</sup>는 습도가 증가할수록 대기 중의 물 분자가 플라스틱 표면에 흡착하거나 층을 만들어 하전된 플라스틱을 방전시킬 수 있으며 표면에서 물 분자의 해리에 의해 이온이 형성되며 이들 이온은 전하를 수반하고 불순물들이 물 분자에 의해 용해되거나 거동할 수 있다고 하였다. 이와 같이 상대습

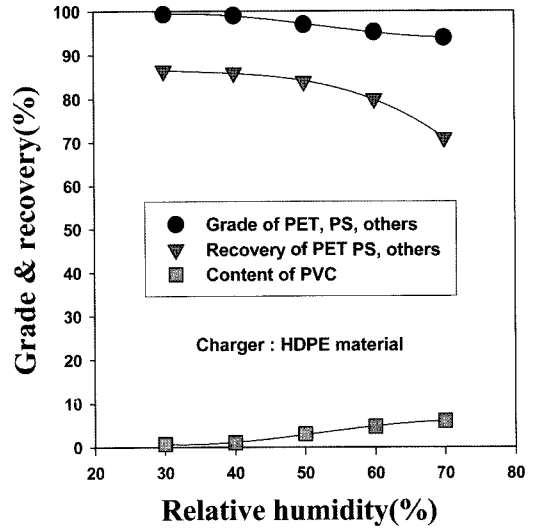


Fig. 6. Effect of relative humidity on grade and recovery of PET, PS, others in scale-up triboelectrostatic separation.

도에 따른 분리효율의 변화는 상대습도가 높을수록 공기 중의 수분이 마찰대전시 입자간의 표면분극을 방해하고, 하전된 입자의 전하를 방전시키므로, 입자 표면의 하전량은 상대습도 함량에 반비례한다고 할 수 있을 것이다.<sup>16,22)</sup>

### 3.4. 하전물질의 영향

Fig. 7은 고비중 종말품 폐플라스틱의 재질분리에 대한 하전물질의 영향을 나타낸 것이다. Al, hard PVC, soft PVC, PP, HDPE와 같은 다양한 재질의 하전장치들을 이용하여 전기장의 세기 250 kV/m, 분리대의 위치 (음) 전극 쪽으로 8 cm 이동한 지점, 상대습도 40% 이하의 조건에서 종말품 폐플라스틱 재질 분리 실험 결과, Fig. 7에서 같이 HDPE와 PP 하전물질에서 PET, PS and others의 품위와 회수율은 각각 99.1%, 86%와 98%, 87%를 나타내어 Al, hard PVC, soft PVC 하전물질보다 더 효과적이었다. 이는 HDPE와 PP 하전물질들이 마찰대전 서열상에서 대상 시료인 PET, PS와 PVC의 중간에 위치하고 있어 PET, PS와 PVC 시료간의 마찰·충돌과 함께 이들 중간 값의 일함수를 갖는 HDPE, PP 하전장치와의 마찰·충돌에 의해 일함수 값이 작은 물질의 표면에서 큰 물질의 표면으로 전자 이동이 활발하여 서로 반대극성으로 분극 되는 대상시료 입자의 표면하전량이 증가하기 때문이다. 본 연구에서

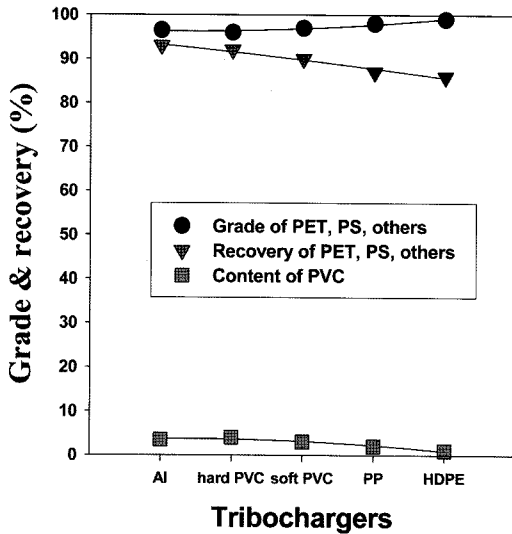


Fig. 7. Effect of tribocharger materials on grade and recovery of PET, PS, others in scale-up triboelectrostatic separation.

는 PET, PS and others의 품위가 PP보다 더 높은 HDPE를 하전물질로서 결정하였다. 이에 반해, hard PVC와 soft PVC 하전물질에서는 HDPE 하전물질에 비해 품위가 낮게 나타났다. 이는 종말품 폐플라스틱내에 다양한 PVC가 분포하고 있어 일부의 PVC 폐플라스틱을 반대극성으로 하전시키지 못하고 PET, PS and others와 같은 극성으로 하전시키기 때문으로 판단된다.

### 3.5. 처리용량의 영향

Fig. 8은 scale-up 마찰하전 정전선별에서 종말품 폐플라스틱 선별효율에 대한 처리용량의 영향을 나타낸 것이다. 처리용량은 조업시 플라스틱의 생산성과 경제성 평가에 아주 중요한 근거된다. 따라서 본 연구에서 이용된 scale-up 마찰하전 정전선별 장치의 처리용량을 규명하기 위한 시료의 공급량 변화실험을 수행하였다. 시료의 공급량을 100 kg/h 에서 300 kg/h 까지 변화시키면서 실험한 결과, 시료의 공급량이 증가할수록 PET, PS and others의 품위는 큰 변화가 없이 99% 이상을 유지하였다. 이에 반해 회수율은 시료의 공급량 100 kg/h에서 90%이었으나 공급량이 증가하여 300 kg/h에서는 PET, PS and others의 회수율이 86%로 다소 감소하였다. 이와 같이 처리량의 증가에 따라 회수율은 약 4%정도 감소하지만 품위와 생산성을 고려한다면 상대적으로 많은 폐플라스틱을 처리할 수 있는 300 kg/h 이

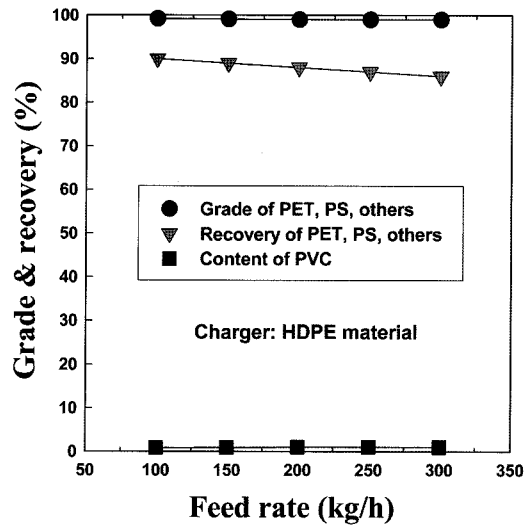


Fig. 8. Effect of feed rate on grade and recovery of PET, PS, others in scale-up triboelectrostatic separation.

최적 처리 조건으로 결정되었다.

종말품 폐플라스틱을 4 등급 이상의 RPF, RDF로 활용하기 위해서는 Table 1에서와 같이 플라스틱내의 PVC 함량을 최소 3.5%이내로 조절할 수 있는 기술개발이 필요하다. 따라서 처리용량 300 kg/h의 scale-up 마찰하전정전선별기를 이용한 폐플라스틱 종말품 분리 실험 결과, 종말품 내 1% 이하의 PVC 함량을 나타내어 2등급 이상의 RPF나 RDF로의 활용가능성을 확인하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 폐플라스틱 재활용에서 문제가 되고 있는 습식 비중선별 후의 고비중 종말품 폐플라스틱 산물을 2등급 이상의 고품질연료제품으로 재활용하고자 scale-up 마찰하전정전선별을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고비중 종말품 폐플라스틱내의 각 플라스틱 함량을 중액선별과 THF(tetrahydrofuran,  $C_4H_8O$ ) 용매를 이용하여 분석하였다. 소금을 매질로 제조한 중액(비중:  $1.6 \text{ g/cm}^3$ ) 선별에서 부유 산물(PS, ABS와 others)은 48%였으며, 침강 산물(PET와 PVC)은 52%이었다. 또한 THF 용매를 이용하여 침강 산물을 분석한 결과, 본 연구의 주요 제거 물질인 PVC 함량은 7%임을 확인하였다.

2. 종말품 폐플라스틱으로부터 PVC 제거를 위한 scale-up 마찰하전정전선별 시운전 실험결과 최적 실험 조건인 입도크기 -10 mm, 하전물질 HDPE, 전극의 전 기장 250 kV/m, 분리대의 위치 (-) 8 cm, 상대습도 40%이하에서 PET, PS and others 산물을 품위 99.1% 이상, 그리고 회수율 86% 이상으로 회수할 수 있는 기술을 개발하였다.

3. 처리용량 300 kg/h의 scale-up 마찰하전정전선별기를 이용한 폐플라스틱 종말품 분리실험 결과, 종말품 내 1% 이하의 PVC 함량을 나타내어 Table 1을 기준으로 2등급 이상의 RPF나 RDF로의 활용가능성을 확인하였다.

4. 현재, 본 연구에서 개발한 마찰하전형 정전선별법에 의한 종말품 폐플라스틱의 PVC 제거 기술을, 분광법 및 비중선별법과 연계하여 대량처리 plant를 지자체에 설치 중에 있어, 향후 폐플라스틱 재활용 증대에 크게 기여할 것으로 생각된다.

## 사 사

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

## 참고문헌

1. R. Koehnlechner, 2001 : *Recycling of cable residues*, WAI 71st Annual Convention, Atlanta, GA USA.
2. S. Zhang, and E. Forssberg, 1997 : *Mechanical separation-oriented characterization of electronic scrap*, Resour. Conserv. Recy., Vol. 21, pp. 247-269.
3. H. M. Veit and et al., 2006 : *Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy*, J. Hazard. Mater., Vol. 137, pp. 1704-1709.
4. B. T. Simoneit, and et al., 2003 : *Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere*, Environ. Sci. Technol., Vol. 37, pp. 652-656.
5. 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.
6. R. H. Yoon, 2002 : *Recent development in plastics recycling in the U.S.*, Processing International Symposium on Establishment of Recsour. Recy. Soc., October1-2, Seoul, Korea.
7. 전호석, 박철현, 김병곤, 박재구, 2006 : *생활계 폐플라스*

- 틱 재활용을 위한 정전선별 기술개발, 한국자원리사이틀링학회지, Vol. 15, pp. 28-36.
8. C. H. Park, H. S. Jeon, and J. K. Park, 2007 : *PVC removal from mixed plastics bytriboelectrostatic separation*, J. Hazard. Mater., Vol. 144, pp. 470-476.
9. L. W. Reid, 1996 : *Plastic incineration versus recycling: a comparison of energy and landfill cost savings*, J. Hazard. Mater., Vol. 47, pp. 295-302.
10. K. S. Rebeiz, and A. P. Craft, 1995 : *Plastic waste management in construction: technological and institutional issues*, Resour. Conserv. Recy., Vol. 15, pp. 245-257.
11. G. Dodbibia, and et al., 2005 : *The use of air tabling and triboelectric separation for separating a mixture of three plastics*, Miner. Eng., Vol. 18, Issue 15, pp. 1350-1360.
12. X. Hu, and J. M. Calo, 2006 : *Plastic particle separation via liquid-fluidized bed classification*, AIChE. J., Vol. 52, No. 4, pp. 1333-1342.
13. H. Shent, and R. J. Pugh, 1999 : *A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics*, Resour. Conserv. Recy., Vo. 25, pp.85-109.
14. P. Tatzer, and M. Wolf, 2005 : *Industrial application for inline material sorting using hyperspectral imaging in the NIR range*, Real-Time Imaging, Vol. 11, pp. 99-107.
15. E. G. Kelly, and D. J. Sottiswood, 1988 : *The theory of electrostatic separations : a Review, Part., Fundamentals*, Miner. Eng., Vol.2, No.1, pp. 33-46.
16. M. Lungu, 2004 : *Electrical separation of plastic materials using the triboelectric effect*, Miner. Eng., Vol. 17, pp. 69-75.
17. H. B. Michaelson, 1977 : *The work function of the elements and its periodicity*, J. Appl. Phys., Vol. 48, No. 11, pp. 4729-4733.
18. 박철현, 전호석, 박재구, 2006 : *마찰하전에 의한 플라스틱의 하전특성 및 대전서열 정립에 관한 연구*, 한국지구시스템공학회지, Vol. 43, No. 6, pp. 1-10.
19. 박철현, 2007 : *마찰하전 정전선별법에 의한 혼합플라스틱의 하전특성 및 분리효율에 관한 연구*, 박사학위논문, 한양대학교.
20. H. W. Gibson, 1984 : *Control of electrical properties of polymers by chemical modification*, Polymer, Vol. 25, January, pp. 3-27.
21. S. R. Woodhead, and D. I. Armour-Chelu, 2003 : *The influence of humidity, temperature and other variables on the electric charging characteristics of particulate aluminium hydroxide in gas-solid pipelines flows*, J. Electrostat., Vol. 58, pp. 171-183.
22. T. Nomura, T. Satoh, and H. Masuda, 2003 : *The environment humidity effect on the tribo-charge of powder*, Powder Technology, Vol. 135-136, pp. 43-49.



**朴 哲 賢**

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

**全 好 錫**

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제10권 3호 참조

**白 尙 昊**

- 현재 한국지질자원연구원 신진연구원
- 당 학회지 제15권 6호 참조

**金 炳 坤**

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

**學 會 誌 投 稿 安 內**

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展 望, 解 說	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解說, Review
技 術 報 告	實際的인 試驗, 調查의 報告
技 術, 行 政 情 報	價値있는 技術, 行 政 情 報를 간결히 解說하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外的 研究 幾關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 階霜 등
Group 紹介	企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 揭載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.