

廢自動車 라디에이터로부터 Nylon 회수를 위한 摩擦荷電靜電選別 技術開發

白尙昊 · [†]全好錫* · 金壽康* · 李光薰**

科學技術聯合大學院大學校,
*韓國地質資源研究院, **韓國海洋大學校

Development of Triboelectrostatic Separation Technique for Recovery of Nylon from Radiator of End-of-Life Vehicle

Sang-Ho Baek, [†]Ho-Seok Jeon*, Su-Gang Kim* and Kwang-Hoon Lee**

University of Science & Technology
*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources
**Korea Maritime University

요 약

본 연구에서는 마찰하전정전선별을 적용하여 폐자동차 라디에이터의 Nylon을 회수하기 위한 재질분리 연구를 수행하였다. 시료(Nylon, PP glass)의 효율적인 재질분리를 위하여, 각각의 시료를 대상으로 다양한 하전재질에 따른 하전극성과 하전량을 faraday cage로 조사하였다. 그리고 시료를 분극할 수 있는 재질을 대상으로 기초 분리실험을 수행하여 하전재질을 선정하였다. 선정된 하전재질을 사용하여 연속처리가 가능한 마찰하전정전선별 장치를 개발하였으며, 다양한 조건별로 분리실험을 수행하여 시료의 회수 가능성을 확인하였다.

주제어 : 마찰하전정전선별, 폐자동차 라디에이터, 재활용, 재질분리, 하전재질

Abstract

The study on the recovery of Nylon from a radiator of End-of-Life Vehicle was conducted by using triboelectrostatic separation technique. For the effective separation of the sample(Nylon, PP glass), charge polarity and amount of each sample with various charging materials have been investigated by faraday cage. And then, charging material was selected as carrying out basic separation experiments with materials that can be possible to polarize samples. Finally, the continuous type triboelectrostatic separator was developed with selected charging material and the recovery possibility of the sample was confirmed as carrying out various separation experiments.

Key Words : triboelectrostatic separation, radiator of End-of Life Vehicle, recycle, material separation, charging material

1. 서 론

지구 부존자원의 채굴량 한계, 산업규모의 증가 등으

로 인해 원료 자원의 수요에 비해 공급량 부족 현상이 발생할 것으로 예상됨에 따라 이미 사용수명이 다한 폐기물로부터 유효한 자원을 회수하는 재활용 이슈가 부

* Received : July 25, 2012 · Revised : September 11, 2012 · Accepted : October 30, 2012

[†]Corresponding Author : Ho-Seok Jeon (E-mail: hsjeon@kigam.re.kr)

Mineral Processing, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea
Tel : +82-42-868-3582 / Fax : +82-42-868-3637

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

각되고 있다. 특히, 근대화된 도시로부터 발생하는 폐기물은 기하급수적으로 증가하고 있으며, 이 중 자동차의 경우 전기·전자제품과 더불어 주요 도시광산으로써 중요성이 점점 증가하고 있는 실정이다.¹⁾ 이러한 추세를 반영하여 유럽을 위시한 선진국에서는 폐자동차 재활용을 달성을 위한 강력한 규제가 제정되어 시행되고 있다. 독일의 경우 2015년까지 자동차 폐기물량을 5%까지 감소할 것을 법제화하였으며, 일본 또한 2015년까지 자동차 재활용률 95% 이상을 목표로 하고 있다. 우리나라는 ‘전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률’을 제정하여 폐차의 95% 재활용을 목표로 하고 있다.²⁾

국민생활 수준의 향상으로 내수시장이 확대되어 2009년 12월 기준 우리나라의 자동차 등록대수는 1,730만 여대에 이른다. 이로 인하여 폐자동차의 발생량도 1999년부터 2009년까지 일시적인 감소를 제외하고는 꾸준히 증가하여, 2009년에는 70만 여대의 폐자동차가 발생하였다.³⁾ 이 중 10만 여대가 중고차로서 수출되고 대부분은 해체되어 재활용 대상이 된다. 폐자동차의 해체공정을 살펴보면, 최초 해체업자에게 인도되어 유용 부품이 회수된 후, 압축하여 슈레더 업체로 옮겨지며 이렇게 압축된 차량을 press body라고 한다. Press body에서 철, 비철금속 등의 유가금속을 회수하기 위한 슈레더 공정을 거치고 나면, 재이용이 곤란한 합성수지, 유리, 고무 등의 잔재물이 남는데, 이러한 잔재물을 ASR(Automobile Shredder Residue) 또는 SD(Shredder Dust)라고 한다. 일반적으로 자동차 중량의 약 25%를 차지하는 ASR은 보통 플라스틱 33%, 섬유 및 스폰지 32%, 고무 10%, 금속 4%, 유리 및 나무 4% 그리고 토사류 및 기타 17%로 구성되어 있다. 이러한 ASR은 금속에 비해 재활용률이 낮고 관련 기술이나 처리 기반이 구축되어 있지 않아 대부분 소각이나 매립에 의하여 처리되고 있다. 소각하여 감용화 하는 것이 가능한 고체 산업폐기물은 소각하여 매립하는 것이 일반적이지만, ASR의 소각이나 매립은 폐자동차의 재활용률 감소와 매립지의 부족, 환경오염 문제 등을 야기하고 있어 재활용을 위한 기술개발이 필요한 실정이다. 이중 ASR의 가장 많은 부분을 차지하는 플라스틱의 경우, 전량 소각이나 매립하고 있어 폐자동차의 재활용률 달성을 위한 재활용 기술개발이 필수적이라 할 수 있다.^{2,4)}

플라스틱은 다른 물질에 비해 쉽게 분해 및 변질이 이루어지지 않아, 효율적인 선별기술만 개발된다면 재활용이 가장 용이한 물질중의 하나이다. 이러한 플라스틱 재활용 방법으로는 에너지 재활용, 화학적 재활용 그

리고 물질 재활용이 있으며, 이중 플라스틱의 값싼 특성을 고려할 때 물질 재활용이 가장 효율적인 방법으로 평가받고 있다. 그러나 어느 방법이든 다른 종류의 플라스틱이 혼재되어 있으면 물성이 크게 저하되기 때문에 플라스틱의 재질분리 기술은 재활용에 있어서 가장 중요하다. 혼합 플라스틱을 재질별로 분리할 수 있는 물리적 선별방법은 크게 수선법, 비중선법, 부유선법, 정전선법, color sorting, 열점착 그리고 분광법 등이 있다.^{5,6)}

본 연구에서는 폐자동차의 재활용률 향상을 위하여, 전량 소각 및 매립에 의해 처리되고 있는 폐자동차 라디에이터의 플라스틱 부분(Nylon, PP glass)을 해체공정에서 회수하고 마찰하전정전선별을 적용하여 재질분리 특성 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 시료의 효율적인 재질분리를 위하여 각각의 시료를 대상으로 하전재질에 따른 하전극성과 하전량을 faraday cage 법으로 조사하였으며, 대상 플라스틱을 분극할 수 있는 재질을 대상으로 기초 분리실험을 수행하여 하전재질을 선정하였다. 그리고 선정된 하전재질을 사용하여 연속처리가 가능한 마찰하전정전선별 장치를 개발하였으며, 다양한 조건별로 분리실험을 수행하여 본 시료의 회수 가능성을 확인하였다.

2. 이론적 배경

마찰하전은 전기적으로 중성인 물질이 충돌·마찰 시 전자를 잃거나 얻는 과정에서 발생하는 현상이다. 마찰하전에서 전자 이동의 일반적인 이론은 입자가 서로 다른 입자나 혹은 표면에 충돌·마찰하게 되면 두 입자의 일함수 값(work function)의 차이에 의해 Fermi-Level이 같아지는 방향으로 전자의 이동이 있게 된다. 충돌·마찰 후 입자가 표면에서 분리되면 전자의 과잉 또는 부족현상이 생기므로 입자는 negative(-) 혹은 positive(+)로 대전되게 된다. 즉, 일함수 값이 큰 입자는 전자를 얻어 negative(-)로 작은 입자는 전자를 잃어 positive(+)로 대전되게 된다. 마찰하전정전선별에서 마찰하전현상은 마찰하전 장치 내에서 입자와 입자 또는 입자와 표면과의 충돌·마찰에 의해서 발생하므로, 하전재질과 마찰하전 방식에 따라 대전 발생 구조와 크기가 달라질 수 있다.⁷⁻¹⁰⁾

근래의 선행연구자들은 대전 메커니즘을 전자전달(electron transfer), 이온전달(ion transfer), 전하를 운반하는 물질전달(material transfer)의 세 가지 방식으로 설명하고 있다. 입자들이 충돌·마찰에 의해 하전될 때

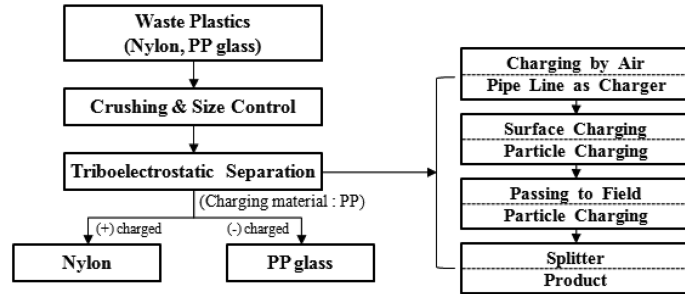


Fig. 1. Flowchart of material separation test by triboelectrostatic separator.

전자 이동이 대전의 주된 메커니즘으로 작용하지만, 전자 전달, 이온전달 그리고 물질전달의 세 가지 방식이 복합적으로 작용해서 대전이 발생하는 것으로 보고하고 있다.⁶⁾

3. 시료 및 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 국내 S사에서 입수한 폐자동차 라디에이터의 플라스틱 부분으로, Nylon과 PP glass가 혼합되어 있다. 자동차 라디에이터의 특성상 내열성과 열변형온도 등이 뛰어난 Nylon과 PP(polypropylene)에 유리섬유가 첨가된 PP glass가 사용되었다. 원시료의 분석결과 Nylon과 PP glass 재질이 각각 66.7%와 33.3%임을 확인하였다.

본 연구에서는 하전제질 선정을 위하여, Nylon과 PP glass에 대한 하전특성을 조사하였다. 실험을 위하여 각각의 시료를 cutting mill에 의해 6 mm 이하로 파쇄하고 체를 이용하여 1~6로 입도조절 하였다. 입도 조절된 시료는 다양한 하전통(PVC, PP, HDPE, PET, HIPS, ABS, PMMA, POM, Nylon)에 투입하고 수직왕복형 하전장치로 충돌·마찰시킨 후, faraday cage를 사용하여 각 시료의 하전극성 및 하전량을 측정하였다. 그리고 이를 기초로, 각각의 시료를 분극할 수 있는 재질을 대상으로 하전통을 이용한 분리실험을 수행한 후, 마찰하전 정전선별을 위한 하전제질을 선정하였다. Fig. 1은 본 시료의 재질분리를 위한 공정도를 나타낸 것으로, 먼저 시료를 파쇄하고 목적인 크기(1 mm ~ 6 mm)로 입도 조절하였다. 입도 조절된 시료는 하전장치인 pipeline 내부에 공기와 함께 투입하여 충돌·마찰시킨 후, 서로 다른 극으로 하전된 입자들을 고전압의 전기장 내로 이동시켜 분리하였으며, 실험변수인 전극의 전압세기, 공기의 속도, 분리대의 위치, 습도를 변화하면서 최적 분리 조건 및 분리효율을 확인하였다.

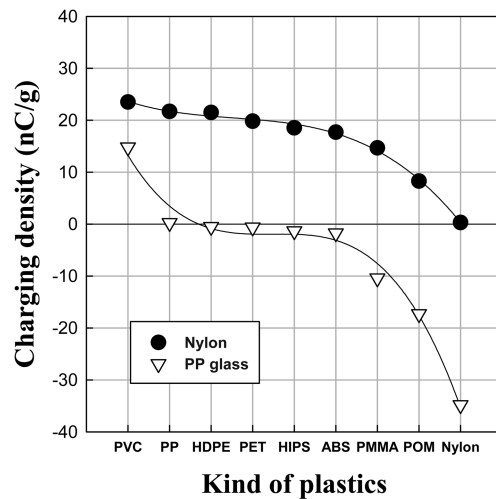


Fig. 2. Charging property of Nylon and PP glass as charging materials.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 하전특성

본 연구에서는 시료를 각각 반대 극성으로 하전시킬 수 있는 하전제질을 확인하기 위한 하전특성 실험을 수행하였다. 서로 다른 일함수 값과 대전서열을 가진 하전통(PVC, PP, HDPE, PET, HIPS, ABS, PMMA, POM, Nylon)에 Nylon과 PP glass를 각각 단일 상태로 투입하고 수직왕복형 하전장치로 하전시킨 후, 각 플라스틱의 하전극성과 하전량을 faraday cage를 이용하여 측정하였다. 시료는 20 g을 사용하였으며, 실험변수인 상대습도와 온도를 각각 30%와 25 kV, 회전속도와 체류시간을 각각 250 rpm과 2분으로 조절하여 실험을 수행하였다. Fig. 2는 실험결과를 나타낸 것으로, Nylon(시료)의 경우 같은 재질인 Nylon(하전 제질)에서 거의 하전이

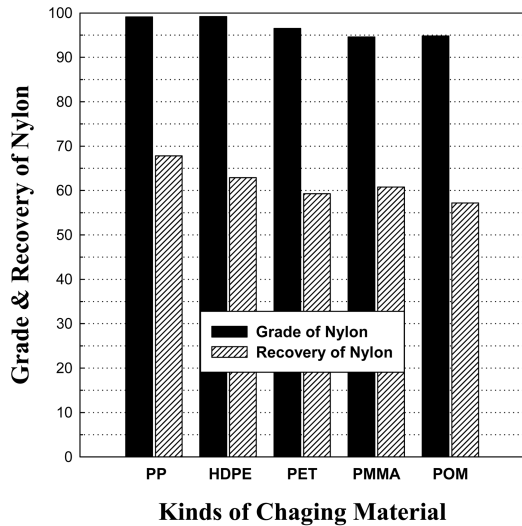


Fig. 3. Separation efficiency of Nylon based on charging materials.

이루어지지 않았으며 그 외의 모든 재질에서 positive로 하전이 이루어지는 것을 알 수 있다. 이는 Nylon의 일함수 값이 다른 재질에 비해 낮기 때문이다. 그리고 PP glass의 경우 PVC와 PP를 제외한 모든 재질에서 negative로 하전되는 것을 확인하였다. 이는 PP glass가 PVC와 PP를 제외한 모든 재질보다 일함수 값이 높기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 폐자동차 플라스틱 라디에이터 시료(Nylon, PP glass)를 서로 반대 극성으로 분극할 수 있는 재질은 HDPE, PET, HIPS, ABS, PMMA 그리고 POM임을 확인하였다.

Fig. 3은 연속처리가 가능한 마찰하전정전선별 장치의 하전재질 선정에 위하여, 상기의 실험에서 규명된 Nylon과 PP glass를 분극할 수 있는 PET, ABS, PMMA, POM 네 개의 하전통과 원시료에서 상대적으로 양이 많아 하전장치 내에서 충돌-마찰의 기회가 많은 PP 하전통을 이용한 분리실험 결과이다. 시료는 Nylon과 PP glass가 혼합된 원시료 20g을 사용하였고 실험변수인 상대습도, 온도, 회전속도와 체류시간은 상기의 실험과 동일한 조건이었으며, 하전통에 의해 하전된 시료를 마찰하전정전선별기 내에 자유낙하시켜 분리효율을 관찰하였다. 실험결과 PP와 HDPE 재질에서 분리효율이 높게 나타났다. 이는 시료의 66.7%로 상대적으로 양이 많은 Nylon이 PP 및 HDPE 재질과 일함수 값의 차이가 크기 때문으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 품위는 HDPE 재질과 비슷하지만 약 5% 높

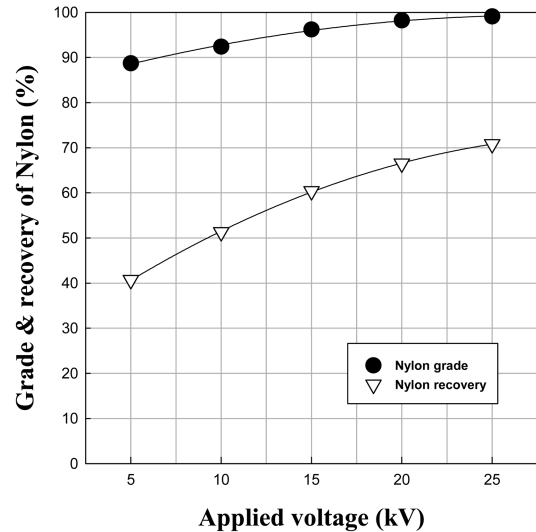


Fig. 4. Effect of applied voltage on Nylon grade and recovery in triboelectrostatic separation.

은 회수율을 나타내는 PP 재질을 하전재질로 선정하여 분리실험을 수행하였다.

4.2. 분리특성

Fig. 4는 전극의 전압세기가 선별효율에 미치는 영향을 관찰한 것이다. 공기속도 10.28 m/s, 분리대의 위치 중앙에서 negative 전극 쪽으로 6 cm 이동한 지점, 상대습도 30%의 조건에서 전압세기에 따른 선별효율을 확인하였다. 실험결과 전압세기가 증가할수록 Nylon의 품위와 회수율이 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 전압세기가 가장 약한 5에서 품위와 회수율이 각각 88.7%와 40.7%로 가장 낮지만, 가장 강한 25 kV에서는 각각 99.1%와 70.8%까지 증가하였다. 이와 같이 전극의 전압세기가 본 연구에 영향을 미치는 이유는, 하전장치 내에서 하전된 입자들의 하전량과 전기장 내에서 낙하하는 속도가 모두 다르기 때문이다. 또한 하전된 입자들의 하전량이 nC 단위로 미미한 에너지이므로 이 입자들을 전극 쪽으로 끌어당기기 위해서는 높은 에너지가 필요하다. 본 연구에 사용된 power supply의 최대 용량이 25 kV여서 그 이상의 전압 세기에 관한 연구는 이루어지지 않았으며, 전극의 전압세기를 25 고정하고 분리실험을 수행하였다.

Fig. 5는 마찰하전정전선별에서 시료를 전기장으로 이송하고 하전을 일으키는 공기 속도가 선별효율에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 공기 속도를 4.15 m/s에서

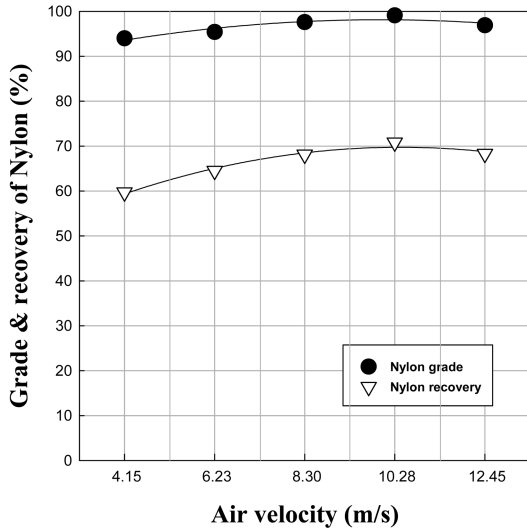


Fig. 5. Effect of air velocity on Nylon grade and recovery in triboelectrostatic separation.

12.45 m/s까지 변화하며 실험한 결과이다. 전극의 전압 세기 25 kV, 분리대의 위치 중앙에서 negative 전극 쪽으로 6 이동한 지점, 상대습도 30%에서 공기 속도의 변화가 선별에 미치는 영향을 관찰하였다. 실험결과 공기 속도의 변화에 따라 Nylon의 선별효율에 큰 변화가 있음을 확인하였다. 즉, 공기 속도가 가장 낮은 4.15 m/s에서 품위와 회수율이 각각 94.0%와 59.7%로 가장 낮지만, 공기속도 10.28 m/s에서는 각각 99.1%와 70.8%로 가장 높은 것을 알 수 있다. 그러나 공기 속도가 10.28 m/s보다 증가하면 선별효율이 감소되어, 공기 속도 12.45 m/s에서는 각각 96.9%와 68.3%로 감소되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 하전장치내의 공기 속도가 선별효율에 영향을 미치는 이유는 공기 속도가 높아져 유체의 외부에너지가 증가되면 유동층 내 시료의 운동 에너지도 증가하게 되어 하전장치 내벽과 입자간 그리고 입자와 입자간의 충돌 횟수와 강도가 증가하기 때문이다. 시료의 충돌 횟수와 강도가 증가하면 전자의 이동이 활발해져 입자의 표면 하전량도 증가할 것이다. 이렇게 하전량이 큰 입자는 고전압의 전기장에서 쉽게 전극 쪽으로 편향되어 분리효율이 증가하게 된다. 그러나 공기 속도가 적정 속도보다 커지면 입자의 하전량은 높일 수 있으나 전기장 내에서 체류시간이 짧고 입자의 낙하 속도를 증가시켜 전극으로의 편향에 영향을 줄 수 있다. 또한 편향된 입자의 속도가 빨라 전극이나 splitter에 bounding 되어 선별효율이 감소하게 된다.

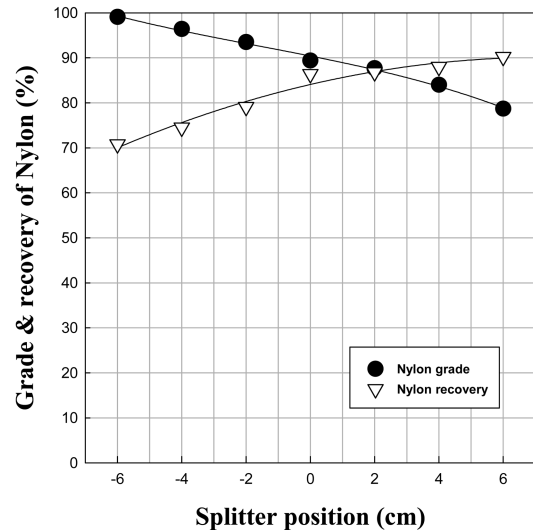


Fig. 6. Effect of splitter position on Nylon grade and recovery in triboelectrostatic separation.

하전장치에 의해 하전된 입자들이 전기장 내에서 분리될 때 하전량에 따라 전극으로 이동되는 속도와 거리가 다르기 때문에 전기장 하단에 위치한 분리대를 이동시켜 선별에 적합한 조건을 얻을 수 있다. Fig. 6은 분리대의 위치가 선별효율에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 전압세기 25 kV, 공기세기 10.28 m/s 그리고 상대습도를 30%로 고정하고, 분리대의 위치를 중앙으로부터 positive와 negative 전극 쪽으로 각각 6 cm까지 이동하며 실험한 결과이다. 실험결과 분리대의 위치가 negative 전극으로 갈수록 Nylon의 품위는 증가하나 회수율이 감소하는 것을 알 수 있다. 반대로 분리대의 위치가 positive 전극으로 이동하면 품위는 증가하나 회수율이 감소하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 분리대의 위치는 품위와 회수율을 고려하여, 중앙에서 negative 전극 쪽으로 6 cm 이동한 지점을 최적 분리대의 위치로 선택하였다. 이때 Nylon의 품위와 회수율은 각각 99.1%와 70.8%인 결과를 얻었다. 이와 같이 분리대의 위치에 따라 선별효율이 달라지는 이유는 분리대의 위치에 따라 회수량에 차이를 보이기 때문이다. 즉, 분리대의 위치가 positive 전극으로 이동하게 되면 positive로 하전된 Nylon의 회수준이 넓어지고 negative로 하전된 PP glass의 회수준은 좁아져 Nylon의 회수율은 높아지지만, 하전효율이 낮은 PP glass가 Nylon 회수준으로 이동할 수 있어 Nylon의 품위는 낮아지는 것이다. 반대로 분리대의 위치가 negative 전극으로 이동하게 되

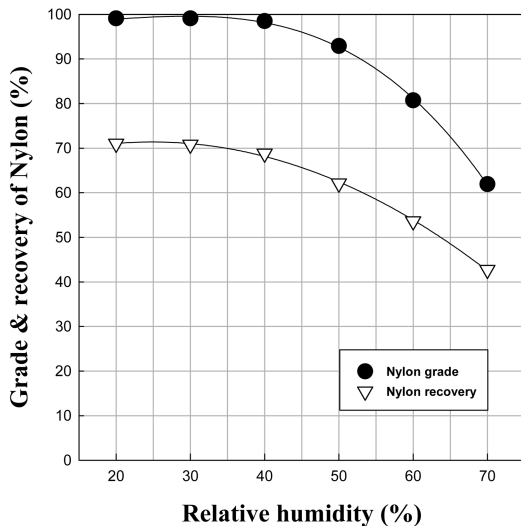


Fig. 7. Effect of relative humidity on Nylon grade and recovery in triboelectrostatic separation.

면 Nylon의 회수율이 높아져 하전효율이 높은 Nylon만 회수되기 때문에 품위는 높아지나, 하전효율이 낮은 Nylon은 PP glass 회수대로 이동하여 회수율이 낮아지는 것이다.

Fig. 7은 실험실의 상대습도가 선별효율에 미치는 영향을 관찰한 것으로, 전압의 세기 25 kV, 공기속도 10.28 m/s 그리고 분리대의 위치 중앙에서 negative 전극 쪽으로 6 cm 이동한 지점에서 실험실의 상대습도를 가습기와 제습기를 이용하여 20%에서 70%까지 조정하며 분리효율을 확인하였다. 상대습도 40%까지는 선별효율에 큰 영향을 미치지 않지만, 이보다 상대습도가 증가하면 품위와 회수율이 크게 감소되는 것을 알 수 있다. 즉 상대습도가 가장 낮은 20%일 때 Nylon의 품위와 회수율이 각각 99.1%와 71.0%로 가장 높지만 상대습도 40%에서도 각각 98.5%와 68.8%로 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 상대습도가 이보다 증가하면 선별효율이 크게 낮아져 상대습도 70%에서는 품위와 회수율이 각각 61.9%와 42.7%까지 감소되어, 높은 선별효율을 위해서는 상대습도가 40% 이하로 유지되어야 함을 확인하였다. 본 연구에서는 상대습도 30%를 최적실험 조건으로 분리실험을 수행하였으며, 이때 Nylon의 품위와 회수율이 각각 99.1%와 70.8%인 결과를 얻었다. 이와 같이 마찰하전정전선별에서 상대습도가 재질분리에 영향을 미치는 이유는, 상대습도가 높을수록 공기 중의 수분이 마찰하전 시 입자간의 표면분극을 방해

하고, 하전된 입자의 전하를 방전시키기 때문이다.

5. 결 론

본 연구에서는 폐자동차의 재활용률 향상을 위하여, 폐자동차 라디에이터의 플라스틱 부분(Nylon, PP glass)을 대상으로 마찰하전정전선별을 적용하여 재질분리 연구를 수행하였다. 재질분리에 적합한 하전재질 개발 및 기초 데이터를 확보하고, 하전효율 및 분리효율을 극대화할 수 있는 최적 선별조건을 규명하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 하전재질 선정을 위한 기초 데이터를 확보하기 위하여 다양한 하전통(PVC, PP, HDPE, PET, HIPS, ABS, PMMA, POM, Nylon)을 이용한 하전특성 실험을 수행한 결과, Nylon(시료)의 경우 같은 재질인 Nylon(하전 재질)에서 거의 하전이 이루어지지 않았으며 그 외의 모든 재질에서 positive로 하전이 이루어지는 것을 관찰하였다. 그리고 PP glass의 경우 PVC와 PP를 제외한 모든 재질에서 negative로 하전되는 것을 확인하였다. 따라서 시료(Nylon, PP glass)를 서로 반대 극성으로 분극할 수 있는 재질이 HDPE, PET, HIPS, ABS, PMMA 그리고 POM임을 확인하였다.

2. 하전재질 선정을 위한 PP, PET, ABS, PMMA 그리고 POM 다섯 개의 하전통을 이용한 분리실험 결과, PP와 HDPE 재질에서 분리효율이 높게 나타났다. 이는 시료의 66.7%로 상대적으로 양이 많은 Nylon이 PP 및 HDPE 재질과 일함수 값의 차이가 크기 때문으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 품위는 HDPE 재질과 비슷하지만 약 5% 높은 회수율을 나타내는 PP 재질을 하전재질로 선정하여 분리실험을 수행하였다.

3. 연속처리가 가능한 마찰하전정전선별장치의 하전장치로 PP 재질의 pipe line을 이용하여 분리실험을 수행한 결과, 전극의 전압세기 25 kV, 공기의 세기 10.28 m/s, 분리대의 위치 중앙에서 negative 전극 쪽으로 6 cm 이동한 지점 그리고 상대습도 30%인 조건에서 Nylon의 품위와 회수율이 각각 99.1%와 70.8%인 결과를 얻었다.

사 사

본 논문은 환경부 글로벌탑 환경기술개발사업 중 폐금속유용자원재활용기술개발사업단의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다(GT-11-C-01-170-0).

참고문헌

1. Jae-Hyun Oh etc., 2010: *Necessity and Background of the Metal Recycling from Urban Mine Resources*, Korean Institute of Resources Recycling, **19**(5), pp. 13-24.
2. Jeong Hyeon Tae etc., 2003: *A Study on the Kinetics of Thermal Degradation of Automobile Shredder Residue*, Korea Society of Waste Management, **20**(4), pp. 415-422.
3. Korea Automobile Manufacturers Association, 2010: statistical data
4. Ho-Seok Jeon etc., 2006: *The Development of Material Separation Technique for Recycling of Waste Car Tail Lamp*, Korean Institute of Resources Recycling, **15**(6), pp. 25-32.
5. Ho-Seok Jeon etc., 2006: The Development of Triboelectrostatic Separation Technique for Recycling of Seaweed Drying Waste Plastic, Korea Society for geosystem engineering, **43**(6), pp. 579-584.
6. Chul-Hyun Park etc., 2006: A Study on Charging Properties and Tribo Series of Plastic by Tribo-charging, Korea Society for geosystem engineering, **43**(6), pp. 1-10.
7. Dr. Michael B. Biddle, 1999: *Electrostatic separation*, APC Durables recycling workshop , pp. 118-127.
8. Kelly E. G., Sottiswood D. J., 1988: *The theory of electrostatic separations : A Review, Part, Fundamentals*, Minerals Engineering, **12**(1), pp. 33-46.
9. Manouchehri H. R., 2000: *Review of Electrical separation methods*, Mineral and Metallurgical Processing, **17**, pp.23-36.
10. Mihai Lungu, 2004: *Electrical separation of plastic materials using the triboelectric effect*, Minerals Engineering, **17**, PP. 69-75.

白 尙 昊

- 조선대학교 자원공학과 학사
- 조선대학교 자원공학과 석사
- 현재 과학기술연합대학원대학교 박사과정

全 好 錫

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

金 壽 康

- 한국해양대학교 자원공학과 학사
- 현재 한국지질자원연구원 석사후연구생

李 光 薰

- 한국해양대학교 자원공학과 학사
- 현재 한국해양대학교 자원공학과 석사과정