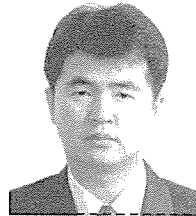


혼합 폐플라스틱 재활용을 위한 재질분리 기술개발

1. 서론

플라스틱은 물리·화학적 성질과 활용성이 뛰어난 고분자 화합물로서 고기능성, 위생성, 편리성 그리고 경제성 등을 지닌 우수한 재질 특성과, 바이오플라스틱, 내연플라스틱, 섬유강화 플라스틱 그리고 섬유 플라스틱 등의 다기능 재질이 개발되어 사용량이 매년 크게 증가하고 있다.

우리나라는 석유산업이 크게 발달하여 세계에서 4번째로 많은 년 간 약 900만 톤의 플라스틱을 생산하고 있으며, 이로 인하여 매년 약 350만 톤의 폐플라스틱이 발생하고 있다. 뿐만 아니라 플라스틱을 대체할 수 있는 다기능의 경제성 있는 재질 개발이 이루어지지 않아 5년 내에 년 1,100만 톤의 플라스틱을 생산하여 500만 톤 이상의 폐플라스틱이 발생할 것으로 예상하고 있다. 그러나 현재 폐플라스틱의 재활용이 20%에 그치고 있어 80% 이상이 매립이나 소각에 의해 처리되고 있으므로 환경문제뿐만 아니라 경제적인 손실도 상당한 것으로 평가되고 있다. 특히, 폐플라스틱의 매립은 매립 부지의 확보뿐만 아니라 유해성분이 용출될 수 있으며, 단위 무게에 비해 부피가 커 보관, 운반의 문제와 매립 효율을 저하시키고, 또한 소각에 의한 처리는 일부 열 에너지를 이용할 수 있지만 많은 경제적인 손실을 초래하고, 염화수소에 의한 소각로의 부식과 다이옥신 등 각종 유독성 가스를 방출하여 사회적인 문제를 일으킬



전호석 박사
한국지질자원연구원

수 있다. 따라서 향후 폐플라스틱의 경우 소각과 매립을 법으로 규제할 계획에 있어 플라스틱 산업 및 환경 보호를 위해서는 재활용 기술 개발이 시급히 이루어져야 할 것이다.

플라스틱을 재활용할 수 있는 기술로는 연료화와 화학적 재순환 그리고 물질 재순환 등 여러 방법이 있으나, 그중 물질 재순환이 가장 효율적인 방법으로 평가받고 있다. 혼합 플라스틱을 재질별로 분리할 수 있는 물리적 선별방법은 크게 비중선별, 부유선별, 정전선별, Color Sorting 그리고 분광법 등으로 분류된다. 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. 독일과 일본 등에서는 폐플라스틱의 재활용을 높이기 위해 air table을 이용한 비중선별과 분광법 등을 개발하여 일부 상용화를 이루었으나, 여전히 이 기술은 해결해야 할 많은 문제점을 안고 있다.

본 연구의 목적은 혼합플라스틱을 재질별로 분리할 수 있는 마찰하전형정전선별 기술을 개발하는데 있다. 이를 위해 마찰하전형정전선별에 앞서 재질분리 효율을 높이기 위해 플라스틱의 입도조절 기술과 플라스틱에 혼입된 금속 및 비금속 물질을 제거하기 위한 전처리 기술을 개발하고, 본 연구의 핵심인 혼합플라스틱의 재질분리에 적합한 마찰하전형정전선별기 장치설계 및 제작과 이를 이용한 최적 선별기술을 개발하는데 있다. 또한 마찰하전형정전선별에 의한 플라스틱 재질분리 효율을 높이기 위해 특수 전극개발 및 하전장치를 개발은 물론 2종, 3종 이상의 혼합 플라스틱을 분리할 수 있는 종합 선별공정을 개발하였다. 전처리기술개발에서는 목적인 입도조절을 위해 cutting를 이용해 시료를 0.1~30mm까지 제조할 수 있었으며, 폐플라스틱에 혼입되어 있는 유리, 돌, 금속 등과 같은 불순물을 제거하기 위한 이물질 제거 기술개발에서는 돌, 유리등은 비중선별로 그리고 금속은 자력선별과 유류정전선별 및 본 연구에서 개발한 새로운 정전유도형 선별장치를 이용하여 99% 이상 제거할 수 있는 기술을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 마찰하전형정전선별 장치를 이용한 혼합플라스틱의 재질분리 실험결과 모든 재질로부터 PVC를 98% 이상 제거할 수 있는 선별기술을 개발하였으며, 또한 PVC를 제외한 PET, PS, PP, PE, ABS, POM, ABS, Calibre 등의 2종 혼합 플라스틱 재질은 96% 이상 그리고 3종 이상 혼합된 플라스틱은 95% 이상 재질분리를 할 수 있는 선별기술을 개발하여 플라스틱의 재활용을 높일 수 있는 재질분리 기술을 확립하였다.

II. 국내의 기술개발 현황

Table 1은 국민 1인당 년간 플라스틱 소비량을 나타낸 것으로 국내 플라스틱 생산량은 매년 증가하여 2001년도에 약 900만톤을 생산하였으며, 향후 1100만톤 이상을 생산할 것으로 예상된다. 2001년도 합성수지 국내 소비량과 국민1인당 년간 소비량을 추이해보면 국내 생산량(A)에서 수출량(C)을 빼고 수입량(B)을 더하면 소비량(D)은 총 480만 톤으로 여기에 국내 인구수

로 나는 한국인 1인당 소비량이 101.59kg으로 매년 그 소비량이 증가 추세에 있다.

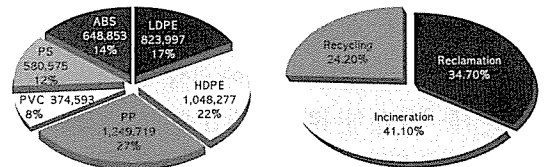
Fig. 1은 2001년도 열가소성 플라스틱의 국내 생산량과 폐플라스틱 처리현황을 나타낸 것으로 국내 플라스틱의 대부분을 차지하는 범용 수지인 열가소성 플라스틱은 PE(HDPE, LDPE)가 39%로 가장 높고 다음으로 PP(27%), ABS(14%), PS, PVC 재질이 차지하고 있다. 또한 Table 1의 년도별 수출량(C)에서와 같이 90년대 후반부터는 플라스틱 생산량 중 약 50% 이상이 수출되고 있어 플라스틱 산업이 국내에서 차지하는 비중과 영향을 알 수 있다. 그러나 소비 후 발생된 폐플라스틱은 대부분 매립이나 소각에 의존하고 있어 재활용률은 25% 이하 수준이며 매립과 소각을 법으로 규제할 상황에서 폐플라스틱의 재활용 기술개발이 시급한 실정이다.

Table 1. The per Capita Consumption of Plastic

Year	Production (A)	Import (B)	Export (C)	Consumption (D)	Population (1,000person)	Consumption (kg/person)
1992	5,169,171	165,871	1,957,393	3,377,649	43,748	77.21
1993	5,776,536	185,120	2,335,075	3,626,581	44,195	82.06
1994	6,221,571	158,764	2,371,561	4,008,774	44,642	89.80
1995	6,689,222	194,819	2,767,221	4,116,820	45,093	91.30
1996	7,260,117	229,294	3,110,393	4,379,018	45,525	96.19
1997	8,198,298	177,918	3,882,117	4,554,099	45,945	97.80
1998	8,456,136	96,796	5,282,546	3,270,386	46,287	70.65
1999	9,082,664	168,016	4,818,122	4,432,558	46,617	95.08
2000	9,196,622	175,243	4,857,306	4,514,559	47,008	96.04
2001	9,489,688	163,815	4,844,054	4,809,449	47,343	101.59

Note : (D)=(A)-(C)+(B)

Fig. 1 Thermoplastic Production and Waste Plastic Recycling ratio (2001 year).



2.1. 국내

우리나라는 혼합 폐플라스틱의 재활용을 위한 선별 기술 개발이 미흡하여 대량 연속처리공정이 이루어지고 있는 곳이 거의 없다. 다만 농촌 폐비닐의 경우 단일

재질로 이루어져 있어 이물질 제거 후 세척과정을 거쳐 재질을 재활용하고 있으나, 이 분야도 재생 재질의 품위가 낮고 처리 비용이 높아 많은 어려움을 겪고 있다. 그 외 지자체 플라스틱 종말처리장에서 일부 재질을 회수하여 재활용하고 있으나 선별기술개발 미흡으로 많은 량이 매립 혹은 소각에 의해 처리되고 있는 실정이다. 다만 작고 영세한 플라스틱 재활용 업체에서 육안에 의한 수선작업을 거쳐 재질 재활용이 일부 이루어지고 있지만 처리용량의 한계로 플라스틱 재활용에 큰 역할을 못하고 있다. 국내에서 폐플라스틱 재활용을 위한 자동화공정이 갖추어진 곳은 시화공단 (주)삼양사의 PET공장에서 미국 Frankel Industrial 사의 기술을 도입하여 PET와 PVC를 분리하고 있으나, 이 회사는 PET만을 재활용하기 위한 공정을 갖추고 있다.

2.2. 국 외

Fig. 2는 미국에서 개발되어 일부 상용화가 이루어진 비중선별법을 나타낸 것으로, 혼합 플라스틱이 부침선별로 투입되면 이곳에서 비중이 낮은 올레핀계열(PP, PE)은 부유되어 분리되고, 다른 비중이 높은 플라스틱은 침전되어 분리가 이루어진다. 그리고 heavy fraction 물질들은 세척 컬럼으로 이동되면 여기서 PS는 물의 흐름과 함께 이동되어 윗부분으로 향하게 되고 PVC는 침전되어지게 된다. 세척 컬럼 바닥으로 이동된 PVC는 수거 침전조에 남게 된다. 모든 플라스틱들은 스크린에서 수거되며, 대부분의 물은 재활용이 된다. 또한 현재 미국에는 Tennessee, Nashville에 위치한 National Recovery Technologies, Inc.(NRT)와 Magnetic Separation Systems(MSS) 두 회사가 플라스틱을 색깔에 따라 분리할 수 있는 자동 선별장치를 생산하고 있다.

Fig. 3과 Fig. 4는 최근 독일 TLT사와 미국에서 각각 개발된 플라스틱 선별장치의 개략도를 나타낸 것으로, Fig. 3은 혼합플라스틱의 비중차가 0.2 이상만 되어도 99% 이상의 재질분리가 가능한 것으로 알려져 있다. 그리고 Fig. 4는 hindered gravity separator로 급광된 시료가 역방향으로 흐르는 물의 힘에 의해 분리되

는 방법으로 혼합된 플라스틱의 비중차에 따라 역방향 물의 흐름을 조절하여 분리효율을 높일 수 있다. 또한 이 방법은 역방향으로 흐르는 물이 선별장치 하단에 위치한 구슬모양의 bid를 구르게 함으로 heavy 플라스틱에 부착되어 아래로 이동한 light 플라스틱을 떨어뜨리기 때문에 분리효율이 높은 특징이 있다.

Fig. 2 Hydraulic separation of Mixed Plastics developed in U.S.A.

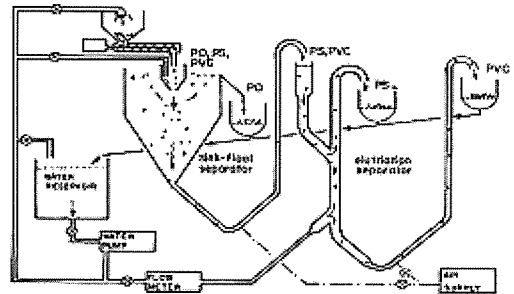


Fig. 3 Schematic flowsheet of TLT plastic separation technology

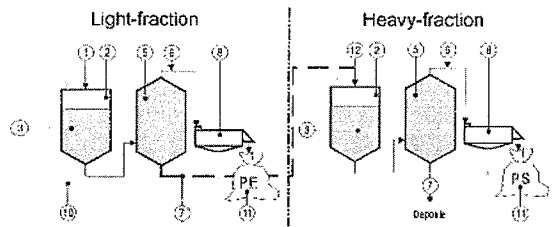
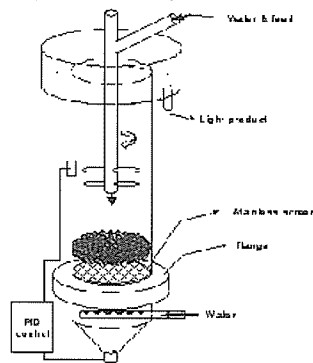


Fig. 4 Hindered Gravity Separator developed in USA.

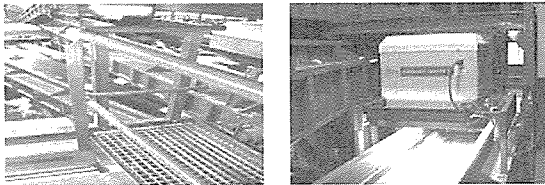


독일은 세계적으로 폐자원 재활용 분야에 있어서 가장 앞선 기술을 보유하고 있다. 플라스틱 재활용 분야도 재질분리 기술을 확립하여 재활용을 상용화하고 있으며, 연구 또한

가장 활발히 진행되고 있는 국가의 하나이다. 개발된 기술 중 상용화가 가장 많이 이루어진 분광법은 독일과 미국을 중심으로 이루어지고 있다. 독일의 경우

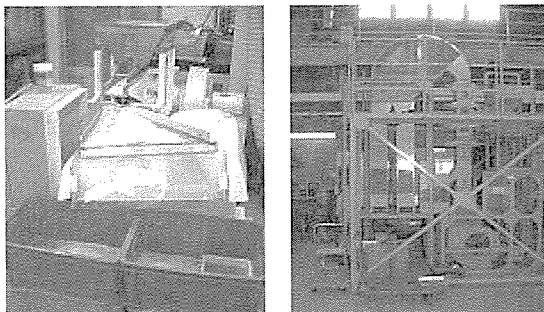
Bezner사와 BFI Ent. GmbM 사 그리고 Duales System 사는 플라스틱 각 재질의 근 적외선 반사파를 이용한 분광법을 개발하여 상용화를 하고 있으며, Fig. 5는 Duales System 사에서 개발한 분광선별기를 나타낸 것이다.

Fig. 5 Optical Equipments designed by Duales Stste



분광법 다음으로 폐플라스틱 재질분리에 많이 이용되고 있는 기술은 플라스틱 재질의 비중차를 이용한 비중선별법으로, 이 기술의 경우 일본 자원총합연구소에서 플라스틱에 적합한 Air Table을 개발하여 현장 상용화를 준비 중에 있다. Fig. 6은 일본 자원총합연구소에서 개발한 2종의 비중선별기를 나타낸 것으로, (a)는 Air Table이고 (b)는 공기의 흐름에 따라 낙하하는 지점의 차이를 이용한 풍력선별기이다. 또한 Fuji Recycle Co.사에서는 산업계 혼합플라스틱을 5000톤/년, 생활계 혼합플라스틱 400톤/년 처리할 수 있는 유회공정 시스템을 가동 중이다.

Fig. 6 Air Table and Wind Separation developed in Japan



(a) Air Table

(b) Wind Separation

Fig. 7은 플라스틱 표면의 물리화학적 특성을 이용한 부유선별법을 나타낸 것으로, 미국에서는 일부 상용

화가 이루어져 플라스틱의 재활용에 이용되고 있으나 계면활성제, 포수제 등 시약을 사용하기 때문에 처리비용이 높고 사용된 물을 처리해야 하는 문제가 있어 혼합 플라스틱의 재질분리에는 한계가 있다. 또한 Fig. 8에서 보느바와 같이 모든 플라스틱이 소수성을 띄고 있어 시약선정 및 개발이 요구된다.

Fig. 7 Froth Flotation for separation of mixed plastic

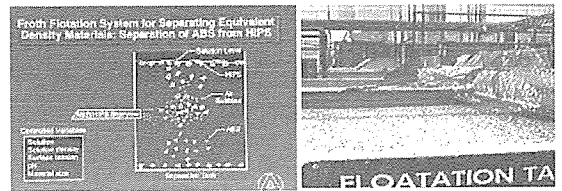
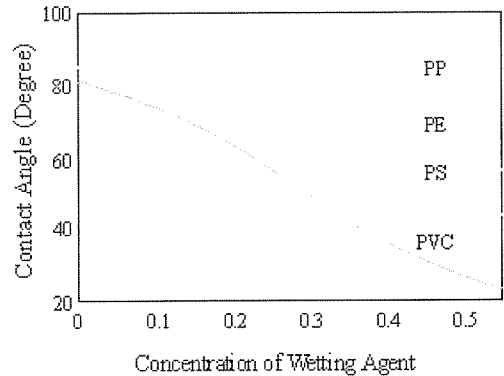
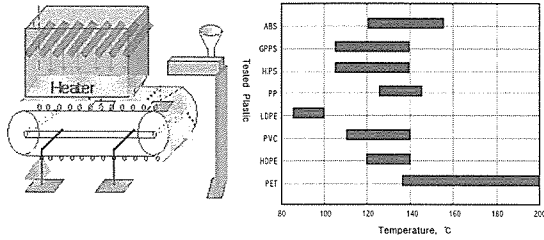


Fig. 8 Variation of Contact Angle of Plastics by Sodium Lignosulfonate



플라스틱은 재질에 따라 서로 다른 연화온도, 녹는 온도와 열 점착 특성을 가지고 있으며, 입자의 열적 특성에 의해 선택적으로 점착된다(Thermal adhesion). 따라서 혼합 플라스틱으로부터 온도에 의존하여 선택적으로 각 재질별로 고순도의 분리가 가능한 열점착(온도 차이를 이용)을 이용한 플라스틱의 분리는 주로 열가소성 수지에 이용된다. Fig. 9는 플라스틱의 열점착 특성 차이를 이용한 선별장치와 플라스틱의 종류별 열점착 온도를 비교하여 나타낸 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 LDPE, PET의 재질분리는 가능하나 다른 플라스틱은 열점착 온도가 중첩되어 모든 플라스틱의 재질분리에는 한계가 있음을 알 수 있다.

Fig. 9 Schematic View of Thermal Adhesion Separator and Range of Thermal Adhesion Temperature of Various Plastics

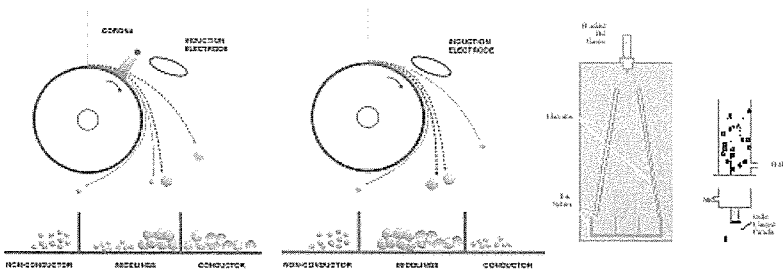


정전선별은 구성 물질들 간의 유전상수, 전기전도도, 접촉 전위차 등과 같은 전기적 물성차를 이용하여 입자에 전하를 띄게 한 후 이것을 전기장 내로 투입하여 정전기적 인력이나 척력에 의해 분리하는 방법이다. 지금까지 정전선별법은 주로 정전유도형이나 코로나방전형이 광물처리에 많이 이용되었으나, 최근에는 미립자의 표면전하 특성을 이용한 마찰하전형이 비전도체 광물의 선별을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 정전선별법은 Fig. 10과 같이 크게 정전유도형과 코로나방전형 그리고 마찰하전형으로 분리된다.

정전유도형은 혼합된 도체인 산물과 부도체인 산물을 분리하는 방법으로, 혼합된 시료를 전정유도 시키면 도체는 유도되고 부도체 산물은 유도가 되지 않는 원리를 이용한 것이다. 코로나방전형은 혼합된 도체 및 부도체 산물을 분리하는 방법은 정전유도형과 같으나, 공기중의 이온을 코로나 방전시켜 시료를 접지가 되어 있는 롤에 투입하여 도체와 부도체를 분리하는 원리에서 다소 차이가 있다.

본 연구에서 수행된 마찰하전형은 두 물질간의 work function 값의 차를 이용하여 마찰·충돌시켜 반

Fig. 10 Principle and Kinds of Electrostatic Separation



대 극성으로 하전된 물질을 정전기적으로 분리하는 선별법으로 선별장치의 비용이 저렴하고 재질별 분리가능하다.

III. 원리 및 실험방법

3.1. 원리

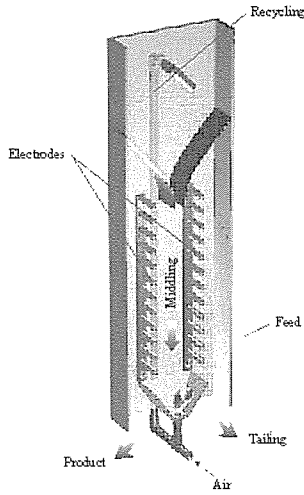
본 연구의 최종 목표는 마찰하전형정전선별 장치를 이용하여 혼합플라스틱을 재질별로 분리할 수 있는 기술을 개발하는데 있다. 이 기술의 선별원리는 서로 다른 재질의 입자가 충돌을 하거나 다른 제3의 재질에 충돌하게 되면, work function이 작은 입자는 전자를 잃어 positive(+)로 하전을 띄게 되고 work function이 높은 입자는 전자를 얻어 negative(-)로 하전이 이루어지게 된다. 이렇게 서로 반대극성으로 하전된 혼합 입자들을 Fig. 11에서와 같이 높은 전압이 흐르는 전기장 내로 통과시키면 positive로 하전된 입자는 negative 전극으로 이동하게 되고, 이와 반대로 negative로 하전된 입자는 positive 전극으로 이동되어 분리가 이루어진다. 이때 입자의 하전량은 혼합 재질의 work function 값의 차이와 하전장치의 역할이 매우 크게 영향을 미치기 때문에 이들에 대한 자료를 충분히 확보해야 좋은 선별 결과를 얻을 수 있다.

3.2. 실험방법

Fig. 12는 혼합 플라스틱의 재질분리를 위한 실험공정도를 나타낸 것이다. 먼저 시료를 목적한 입도크기로 파쇄 한 다음 선별 대상 시료를 제조하여 Fig. 11에 나타난 마찰하전형정전선별 장치의 급광부터 일정량씩 시료를 급광한다.

시료의 급광 전에 일정한 양의 공기가 급광부 아래에 위

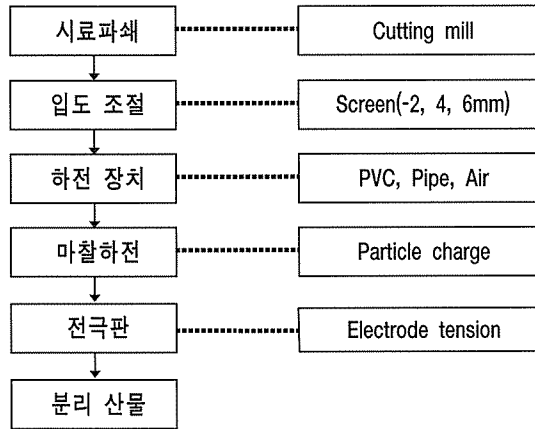
Fig. 11 Schematic representation of a bench scale TES unit



치한 pipe로 주입되어 급광된 시료를 선별이 이루어지는 전기장 내로 이동시키게 된다. 이때 선별대상 시료의 표면하전은 급광된 시료가 공기

에 의해 pipe안을 통과하면서 입자간의 충돌과 pipe 재질에 rubbing이 되면서 이루어지게 되며, 이때 pipe의 수직부위에서 이동방향이 바뀌며 강한 충돌에 의해 입자의 하전량이 증가하게 된다.

Fig. 12 Flowsheet of Triboelectrostatic Separation for Separation of Mixed Plastics.



IV. 실험결과

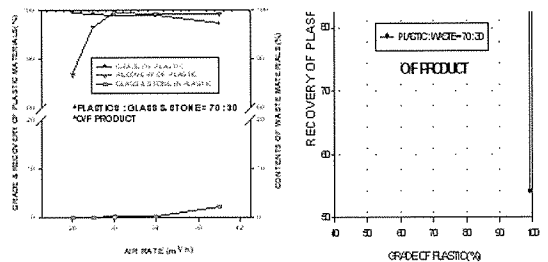
4.1. 비금속물질 제거실험

본 연구는 이물질 제거를 위한 전처리 기술 중 비금속물질 제거 실험으로, 플라스틱보다 비중이 큰 유리, 돌과 같은 비금속 물질을 Zig Zag 공기분급기를 이용

해 이물질 제거실험을 수행하였다. Fig. 13은 Zig Zag Classifier를 이용한 비중선별 실험에서 공기의 흡입력인 Air Rate가 플라스틱으로부터 유리 및 돌 등의 이물질 제거에 미치는 영향을 관찰하기 위해 Air Rate를 26 m³/h에서 40m³/h까지 변화하며 실험한 결과이다. 실험 결과 overflow product인 플라스틱의 품위는 Air Rate가 가장 작은 26m³/h에서 99.6%로 가장 높고 Air Rate가 가장 높은 40m³/h에서 97.3%로 가장 낮아 vacuum pump의 Air Rate가 낮을수록 비중이 낮은 플라스틱의 품위는 높아짐을 알 수 있다. 그러나 플라스틱의 회수율은 이와 반대로 Air Rate 26m³/h에서 86.7%로 가장 낮고 Air Rate 40m³/h에서 99.3%로 가장 높아, 품위와는 반대로 Air Rate 값이 커질수록 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 Air Rate가 플라스틱의 품위와 회수율에 미치는 영향을 고려할 경우 최적 실험조건은 플라스틱 회수율의 뚜렷한 증가 없이 품위가 높은 30m³/h임을 알 수 있다.

다음 그림은 본 연구에서 얻은 결과를 플라스틱 품위와 회수율의 관계로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 플라스틱의 품위를 99%까지 언더라도 회수율이 98% 이상으로 매우 높아 선별효율에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 따라서 플라스틱 내에 혼입되어 있는 유리, 돌 같은 불순물의 제거는 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

Fig. 13 The Effect of factors and relation of grade & recovery on the plastic separation in Zig Zag Classifier



4.2 금속물질 제거실험

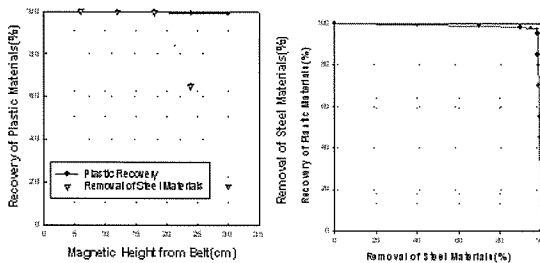
Fig.14는 플라스틱 내에 혼입되어 있는 금속 자성산물을 제거하기 위한 자력선별 실험결과를 나타낸 것으

로, 자력선별기의 높이 변화에 따른 실험결과 플라스틱의 회수율은 거의 변화를 보이지 않지만 자성산물의 제거율은 벨트로부터 18cm보다 높아지면 크게 감소되는 것을 알 수 있다. 즉, 플라스틱 회수율의 경우 자력선별기의 높이 6cm에서 99.8%로 가장 높지만 자력선별기의 높이가 가장 높은 30cm에서도 98.8%로 큰 차이를 보이지 않는다.

그러나 자성산물의 제거율은 자력선별기의 높이 18cm까지는 99.4%로 큰 변화를 보이지 않으나 이보다 자력선별기의 위치가 높아지면 제거율이 크게 감소되어 30cm에서는 자성산물의 제거율이 18.0%로 거의 분리가 이루어지지 않음을 알 수 있다.

자성산물 제거율에 따른 플라스틱 회수율의 관계를 나타낸 그래프에서 알 수 있듯이 자성산물 제거율 99%까지는 플라스틱 회수율이 거의 감소되지 않는 것을 알 수 있으며, 마찬가지로 플라스틱 회수율을 98% 이상으로 높여도 자성산물의 제거율이 뚜렷하게 떨어지지 않음을 알 수 있다.

Fig. 14 The Effect of Magnetic Height on Plastic Recovery and Steel Removal in Magnetic Separation.



4.3. 2종 혼합 플라스틱 선별 실험

Fig. 15는 본 연구에서 개발된 bench scale 마찰하 전형정전선별 장치를 이용한 선별실험에서, 전극의 전압세기, Air rate, 상대습도 그리고 시료의 혼합비가 PET 회수율과 PVC 제거율에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 이들 변수들을 각각 변화시켜 실험한 결과이다.

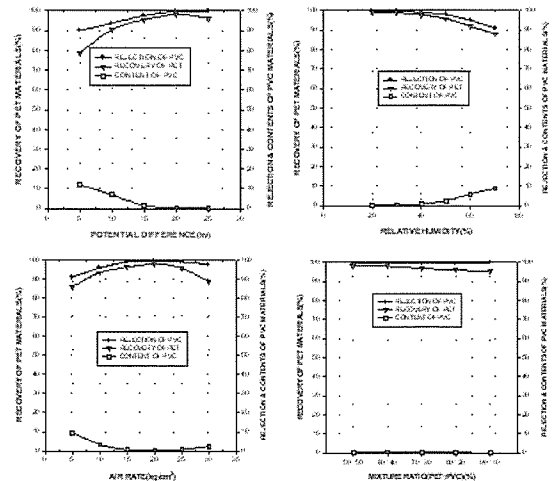
실험결과 전압의 세기가 증가하면 증가할수록 PET 회수율과 PVC 제거율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 하전장치에 의해 하전된 플라스틱의 입자들은 대부

분 200nC 정도의 작은 하전 값을 갖고 있어 이들을 전기적으로 끌어당기기 위해서는 비교적 강한 전기장이 필요하기 때문이다. 따라서 본 연구에 사용된 마찰하 전형정전선별 장치에 의해 하전된 입자들의 경우 전극의 전압 세기가 20kV 이상 되어야 높은 선별효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 또한 선별효율에 영향을 미치는 상대습도는 40% 이하에서 PET 회수율과 PVC 제거율이 증가하는데 그 이유는 습도 함량이 입자의 표면하전에 영향을 주기 때문이다.

플라스틱 입자를 전기장까지 수송하고, 수송하는 과정에서 입자의 표면을 하전시키는 Air Rate는 20kg/cm²에서 가장 효과적이었으며, PET와 PVC 혼합비율을 50:50에서 90:10까지 변화하며 실험한 결과 PET 회수율과 PVC 제거율이 뚜렷한 차이가 없어 어느 한쪽의 혼합비가 높더라도 선별효율에 크게 영향을 미치지 않았다.

이상과 같이 조건에 따른 실험결과 최적조건에서 PET 회수율과 PVC 제거율 그리고 PET 내의 PVC 함량이 각각 98.2%와 99.6% 그리고 0.5%인 산물을 얻을 수 있었다. 그리고 PVC와 혼합된 PET 재질 외에도 ABS, GPPS, HDPE, COPP 그리고 LDPE 등 어떠한 재질이 혼합되어 있어도 PVC를 99% 이상 제거할 수 있는 기술을 개발하였다.

Fig. 15 The Effect of Various Factors on PET Recovery and PVC Rejection In Bench Scale Triboelectrostatic Separation



4.4. 3종 혼합 플라스틱 선별 실험

본 실험은 PVC : PET : ABS의 혼합비가 50 : 50 : 50인 시료를 하전물질로 PVC재질을 사용하여 PVC와 PET, ABS를 1차로 분리하였으며, HDPE 하전물질을 이용하여 PET와 ABS를 2차로 분리한 실험결과를 Fig. 16에 나타내었다. 하전장치를 통과하여 각각 반대로 하전된 입자들이 분리되는 전극의 전압세기 변화실험 결과, 1차 분리 실험에서는 positive와 negative 전극의 전류세기가 20,000voltage 이상이 되어야 효과적임을 알 수 있으며, 2차 분리실험 결과 25,000voltage에서 효과적이었다. 전극 전압의 세기가 작으면 하전된 입자를 전기적으로 끌어당기는 에너지가 약하고, 이보다 전류의 세기가 크면 뚜렷한 선별효율의 향상 없이 에너지 소비가 증가되어 효과적이지 못하다.

입자의 하전량과 시료의 이동 및 낙하속도에 영향을

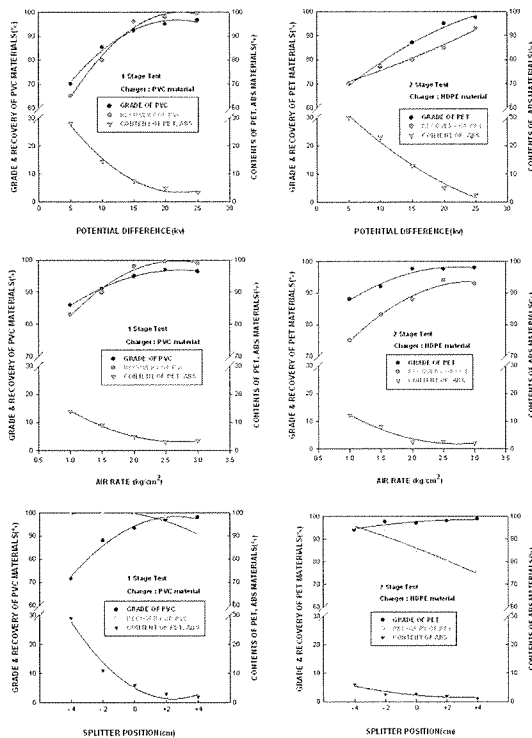
주는 공기량은 2.5~3kg/cm²가 최적 조건이었으며, 하전된 입자들이 전기장 내에서 각각 분리될 때 입자의 하전 상태에 따라 낙하지점이 달라진다. 따라서 분리대 위치에 따른 변화실험을 수행한 실험결과 그래프에서 알 수 있듯이, 1차 실험에서는 분리대의 위치를 positive 전극으로 이동할수록 PVC의 품위는 향상되나 회수율이 감소하는 것을 알 수 있으며, 이와 반대로 negative 전극으로 분리대를 이동시키면 품위는 감소하나 회수율이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 PVC의 품위와 회수율을 고려하여 최적 분리대의 위치는 전기장의 가운데(0)에서 positive 전극으로 2cm 이동한 지점이 가장 효과적임을 알 수 있다. 또한 PET와 ABS 분리를 위한 2차 실험에서는 1차 실험과 반대 현상인 negative 전극으로 분리대를 2cm 이동한 지점이 우수한 선별효율을 나타냈다.

V. 결론

일반적으로 폐플라스틱의 경우 3종 혹은 그 이상의 재질이 혼합된 상태로 수거된다. 뿐만 아니라 폐플라스틱 내에는 유리, 돌과 같은 무기 이물질과 알루미늄, 철과 같은 금속 이물질이 혼입되어 있어 폐플라스틱을 재활용하기 위해서는 이들 이물질의 제거기술과 혼합폐플라스틱의 재질분리 기술이 함께 개발되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 폐플라스틱의 재활용을 높일 수 있도록 이들 모두를 처리할 수 있는 종합선별 기술을 개발하였으며, 이에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 혼합플라스틱의 재질분리 효율을 높이고 또한 재활용에 문제가 되는 금속 및 비금속 물질을 제거하기 위한 전처리 기술개발 결과, 유리와 돌 같은 비금속 물질을 제거하기 위한 Zig Zag 분급실험결과 최적실험 조건에서 이들 이물질을 99% 이상 제거할 수 있는 기술을 개발하였다. 또한 플라스틱 내에 혼입된 철 및 비철금속을 제거하기 위한 eddy current 정전선별 실험결과 철의 경우 입자 크기에 관계없이 99% 이상 제거하였으며, 알루미늄과 같은 비철금속은 입자크기 30mm 이상에서 99.5% 이상 제거할 수 있는

Fig. 16 Effect of potential difference, air rate and splitter position on plastics grade and recovery in triboelectrostatic separation of the three kinds of plastic



기술을 개발하였다.

2. 혼합플라스틱의 재활용을 위해 본 연구에서 개발한 마찰하전형정전선별를 이용한 2중 혼합 플라스틱 재질분리 실험결과, 플라스틱의 재활용에 가장 나쁜 영향을 미치는 PVC 재질의 경우 최적실험 조건에서 PET, ABS, GPPS, HDPE, COPP 그리고 LDPE 등 어떠한 재질과 혼합되어 있어도 99% 이상 제거할 수 있는 기술을 개발하였다. 그리고 PVC 이외에 2종으로 혼합된 PET, ABS, PE, PS, PP 플라스틱 재질은 각 재질분리에 적합한 하전물질을 개발하여 선별효율이 95~98%인 재질분리 기술을 개발하였다.

3. 3중 혼합 플라스틱의 재질분리를 위한 실험결과 work function 값이 가장 작은 플라스틱을 positive로 하전시켜 1차 제거한 후, 남아 있는 재질에 각각 반대부호의 하전 값을 부여할 수 있는 하전물질을 선정하는 방법으로 혼합된 플라스틱을 재질별로 분리한 실험결과 최적 실험조건에서, 각 재질에 따라 92%~98%의 재질분리가 가능한 선별법을 개발하였다.

PVC의 품위와 회수율을 고려하여 최적 분리대의

위치는 전기장의 가운데(0)에서 positive 전극으로 2cm 이동한 지점이 가장 효과적임을 알 수 있다.

또한 PET와 ABS 분리를 위한 2차 실험에서는 1차 실험과 반대 현상인 negative 전극으로 분리대를 2cm 이동한 지점이 우수한 선별효율을 나타냈다.

참고문헌

1. 전호석, 신선명, 박철현, 조성백, 조희찬, “폐플라스틱 재질분리를 위한 건식선별 기술 개발”, 한국자원리싸이클링학회 추계학술발표대회 논문집, pp.122~125(2002)
2. 김도균, 조희찬, 전호석, “폐플라스틱 정전분리를 위한 하전특성에 관한 연구”, 한국자원리싸이클링학회, Vol. 11, No. 3, pp37~45(2002)
3. Roe-Hoan Yoon, “Recent Development in Plastics Recycling in the U. S.”, Virginia Polytechnic Institute(2002)
4. Incelet, I.I., Castle, G.S.S. and Brown, J.D, “Tribo-Electrification System for Electrostatic Separation of Plastics”, IEEE Trans. IAS, pp1397~1399(1994)
5. Kelly, E.G. and D.J. and D.J.Sottiswood, “The Theory of Electrostatic Separations : A Review, Part. I, Fundamentals”, Minerals Engineering, Vol.2, No.1, pp.33-46(1988)
6. Mukherjee, A., 1987, “Characterization and Separation of Charged Particles”, Ph.D. Dissentation, Illinois Institute of Technology, Dept. of Chemical Engineering.