



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2016년 2월
석사학위논문

ASR로부터 철 및 비철금속 선별

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

이 윤 섭

ASR로부터 철 및 비철금속 선별

-Separation of Iron and non-ferrous metals from ASR-

2016년 2월 25일

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

이 윤 섭

ASR로부터 철 및 비철금속 선별

지도교수 한 오 형

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2015년 10월

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

이 윤 섭

이윤섭의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박 천 영 ①

위 원 조선대학교 교수 강 성 승 ①

위 원 조선대학교 교수 한 오 형 ①

2015년 11월

조선대학교 대학원

- 목 차 -

List of tables	iii
List of figures	iv
Abstract	vi
제 1 장 서론	1
제 2 장 이론적 배경	3
제 1 절 풍력선별	3
제 2 절 자력선별	5
제 3 절 코로나 방전형 정전선별	8
제 3 장 시료 및 실험방법	11
제 1 절 시료	11
제 2 절 실험방법	11
제 4 장 실험결과 및 고찰	14
제 1 절 풍력선별	14
1. -10 mm 시료	14
2. -20 mm 시료	15
3. -30 mm 시료	16
제 2 절 자력선별	18
1. -10 mm 시료	18
2. -20 mm 시료	18
3. -30 mm 시료	20

제 3 절 코로나 방전형 정전선별	22
1. 입도크기의 영향	22
2. 적용전압의 영향	23
3. 분리대 위치의 영향	25
4. 드럼회전수의 영향	25
5. 처리횟수의 영향	27
제 5 장 결론	29
참고문헌	31
부록	33

List of tables

Table 3-1 Composition of raw sample 11

List of figures

Figure 1-1. End of life vehicles process	2
Figure 2-1. Schematic view of (a) zig zag and (b) air gravity separators	4
Figure 2-2. (a) Drum and (b) cross-belt type magnetic separators	7
Figure 2-3. Principle and schematic diagram of corona electrostatic separation	10
Figure 2-4. The concept of the image force	10
Figure 3-1. A separation process for recovery of ferrous and non-ferrous metals from ASR	12
Figure 3-2. (a) High-speed disintegrator and (b) Cutting mill used in this study	13
Figure 3-3. (a) Pneumatic separator, (b) magnetic separator and (c) corona electrostatic separator used in this study	13
Figure 4-1. Effect of air velocity on removal of light group and recovery of heavy group from ASR in pneumatic separation (-10 mm)	15
Figure 4-2. Effect of air velocity on removal of light group and recovery of heavy group from ASR in pneumatic separation (-20 mm)	16
Figure 4-3. Effect of air velocity on removal of light group and recovery of heavy group from ASR in pneumatic separation (-30 mm)	17
Figure 4-4. Effect of magnetic intensity on grade and recovery magnetic of products in magnetic separation (-10 mm)	19
Figure 4-5. Effect of magnetic intensity on grade and recovery magnetic of products in magnetic separation (-20 mm)	20
Figure 4-6. Effect of magnetic intensity on grade and recovery magnetic of products in magnetic separation (-30 mm)	21
Figure 4-7. Effect of particle size on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation	23
Figure 4-8. Effect of applied voltage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (-6 mm)	24
Figure 4-9. Effect of splitter position grade and recovery of non-ferrous in corona electrostatic separation (-6 mm)	26

Figure 4-10.Effect of drum speed on grade and recovery of non-ferrous
metal in corona electrostatic separation (-6 mm) 27

Figure 4-11.Effect of cleaning stage on grade and recovery of
non-ferrous metal in corona electrostatic separation (-6 mm) 28

Abstract

-Separation of Iron and non-ferrous metals from ASR-

By Lee, Yun Sub

Adv. Prof. : Han, Oh Hyung

Dept. of Energy Resource Engineering

Graduate School, Chosun University

The number of domestic automobiles is about 20 million based on 2014. About 800 thousand waste automobiles are occurring accordingly, about 100 thousand ones among them are exported as secondhand cars and remaining 700 thousand ones are being recycled after being disassembled. Meanwhile, wastes occurring in the city are rapidly increasing with a quick growth of the automobile industry. As the importance of the automobile as the urban mine is increasing with the electronics, it is urgent to secure the core technology for the eco-friendly waste car disposal and the recycle. However, as the domestic technology and infrastructure are poor, the recycle rate of the nonferrous metal is no more than 52.5%, the recycle rate of the scarce metal 5.5%. Therefore, in this study, fluff substances and magnetic products were removed & collected through the pneumatic separation and magnetic separation for sorting out the fine particle iron and the nonferrous metal in order to collect the valuable metal which occurred in ASR(Automobile Shredder Residue) when shredding waste cars, and as a result of collecting conductor through Corona Electrostatic separation, a

result of the collect rate 75.7% and grade 52.1% could be obtained under the condition of Voltage 30 kV, Splitter Position 30°, Drum Speed 40 rpm, Cleaning Stage when the particle size was -6mm.

제 1 장. 서 론

지구 부존자원의 채굴량 한계 및 지속적인 산업발달로 인한 자원 수요 증가가 예상됨에 따라, 사용수명이 다한 폐기물로부터 유용 자원을 다시 회수할 수 있는 재활용 기술개발이 이슈화되고 있다. 특히 폐 자동차의 경우, 폐 전기·전자제품 및 IT 제품과 더불어 주요 도시광산으로써 그 중요성이 점점 증가하고 있는 추세이다(백상호 등 2014, 오재현 등 2010).

선진국의 경우 도시광산 관련 산업을 녹색 산업으로 분류, 새로운 경제발전을 위한 신 성장동력으로 활용하는 전략을 채택하는 등 빠르게 대응하고 있다. 2010년 기준 전 세계에서 등록된 자동차는 약 10억 대에 이르며, 폐기된 자동차는 4천만 대에 달한다(이화영과 오종기 2005, 백상호 등 2014). 향후 세계의 폐차 재활용 시장은 환경 친화적이며 경제적인 신개념의 폐차 처리기술을 기반으로 하는 폐차 처리업체가 50 % 이상 점유할 것으로 예측되며, 폐차처리의 소요 비용 등을 고려해 볼 때 관련 시장은 국내의 약 70배에 해당하는 시장 규모이다(Cui and Forsberg 2003). 국내의 경우 2014년 기준 국내 자동차 등록대수는 약 2,000만 대로 추정되며, 이로 인해 80만 대의 폐 자동차가 발생하는 수준으로 선진국에 비해 작은 규모이다.

폐 자동차 재활용율은 75 % 수준으로 재활용 물질은 철과 비철금속에 국한되고 나머지는 대부분 소각 또는 매립되고 있다(Morselli et al 2010). 한편, 도시광산 관련기술 부족으로 인해 회소금속 대부분이 저가의 폐기물 상태로 일본과 같은 해외로 수출되고 있으며, 공업원료 형태로 다시 재수입 되고 있는 실정이다.

Fig. 1-1은 폐 자동차 ASR 재활용 과정을 나타낸 것으로, 일반적으로 폐 자동차의 재활용은 대개 해체와 파쇄의 2단계 공정으로 이루어진다. 먼저 해체업자에게 인도되어 해체공정에 의해 폐 자동차로부터 유용 부품이 회수된 후 압축차량(Press Body)으로부터 철 및 비철금속 등 유가금속을 회수하기 위한 shredder(파쇄) 공정을 거치게 되면 합성수지, 유리, 고무, 혼합된 금속 등의 잔재물이 남는데 이를 ASR(Automobile Shredder Residue) 혹은 SD(Shredder Dust)라고 한다(Lee et al

2012, 백상호 등 20140). ASR은 중량비로 폐 자동차의 25%를 차지하고 있으며 금속재질에 비해 재활용률이 낮고 관련 기술이나 인프라가 구축되어 있지 않아 대부분 소각이나 매립에 의하여 처리되고 있다. ASR의 소각이나 매립은 폐 자동차의 재활용을 감소와 매립지의 부족, 환경오염 문제 등을 야기하고 있어 재활용을 위한 기술개발이 필요한 실정이다. 또한 환경부의 자원순환법률로 폐 자동차의 재활용률을 95% 이상으로 규정하고 있어, ASR의 재활용은 폐 자동차 재활용률 달성을 위하여 필수적이다(이화영 2007, 백상호 등 2014).

본 연구에서는 폐 자동차 재활용 과정에서 발생하는 ASR로부터 철 및 비철금속 회수를 위한 과분쇄 및 입도제어 기술개발하고 풍력, 자력 및 코로나 방전형 정전선별을 조합한 혼합 공정개발 및 각 공정별 최적 조건을 확립하는데 있다.



Fig. 1-1. End of life vehicles process (Lee et al 2012)

제 2 장. 이론적 배경

제 1 절. 풍력선별

비중선별법은 고체입자의 밀도의 차를 이용한 고체분리를 위한 선별법의 하나로서, 광물처리에 있어서 유용광물과 맥석과의 분리를 위한 중요한 수단으로서 발전해 왔다. 최근에는 폐기물중 유기물의 분리·회수를 위한 수단으로서도 많이 이용되고 있고, 자원 재활용에 있어서도 중요한 기술이 되고 있다. 비중이 다른 두 종의 물질에 외력을 작용시키면 비중 차에 의해서 두 종의 물질은 서로 다른 운동을 하거나 중력에 의한 등속 침강을 한다. 이러한 원리를 이용하는 비중선별법에는 공기의 흐름을 이용한 건식 선별법과 물을 매질로 이용한 습식 선별법으로 구분되는데, 건식선별법은 zigzag형 비중선별기와 air gravity separator, air table, 원심분리법등이 있다. 습식 비중선별법은 유막선별, 중액선별, 지그, 스파이럴 등의 여러 방법이 있으며, 어느 선별법에 있어서도 고체입자의 밀도의 차가 1 이상인 경우에는 선별이 가능하다. 밀도의 차가 1~0.5 일 때는 상당한 주의가 필요하다.

앞서 언급한 바와 같이 건식 비중선별은 매질로 공기를 이용하기 때문에 풍력선별이라고도 불린다.

Fig. 2-1은 zigzag 건식선별과 공기 비중선별 장치의 개략도를 나타낸 것으로, zigzag 선별은 fan에 의해 공기를 일정한 유량으로 흡입함으로서 항상 zigzag관 내부에 일정한 공기가 흐르는 상태를 유지할 수 있다. 입자들이 zigzag관 내부로 투입되면 비중이 큰 입자를 하부로, 비중이 작은 입자를 상부로 이동시켜 상하분리가 이루어진다. 이때 zigzag관은 두 물질간의 입자 체류시간을 높이고 관 내부와의 충돌 기회를 부여하여 입자 크기 및 비중 차에 의한 분리효율을 높이는 역할을 한다. 또한 air gravity separator도 zigzag 선별기와 비슷한 선별 메커니즘을 가지며, 시료투입량과 공기량을 일정하게 조절한 다음 혼합된 대상 시료를 선별기 내부에 투입하면 관내부의 기체 유동층에 의한 입자간의 비중분리가 이루어져 비중이 큰 물질은 하부로 그보다 낮은 비중의 물질은 상부로 이동하게 된다.

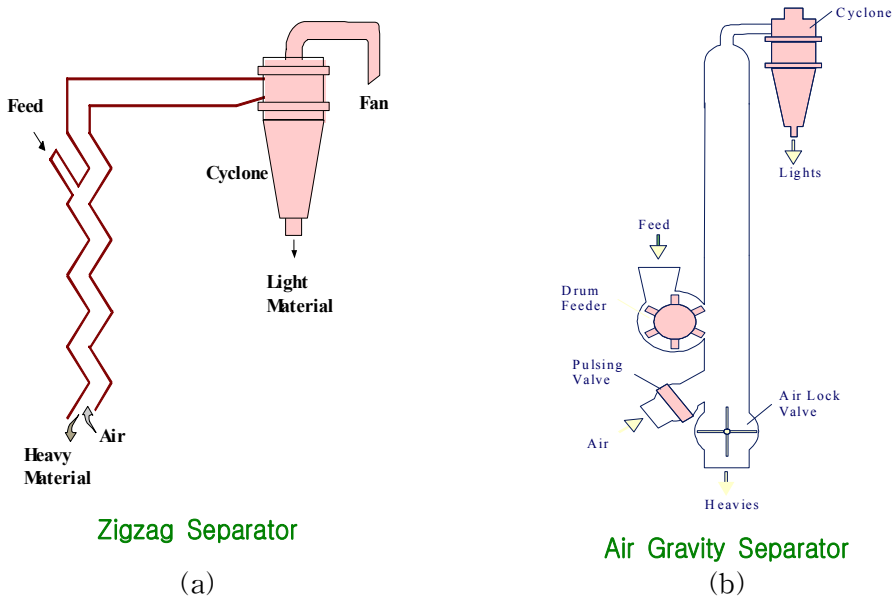


Fig. 2-1. Schematic view of (a) zig zag and (b) air gravity separators.

본 연구의 대상 시료인 ASR은 고비중 물질인 토사, 유리조각 및 금속과 저비중 물질인 종이, fluff 및 천 등으로 혼재되어 있다. 향후 목적 물질인 철 및 비철 금속의 회수를 위한 자력 및 정전선별 시 저비중 물질인 종이, fluff 및 천 등은 간섭 현상을 일으킨다. 특히 코로나방전 정전선별시 저비중 미세 유기물 입자들은 금속 표면에 부착되어 이온하전을 방해거나 급광시 정전기력과 상관없이 공기중으로 분분하여 전도성 물질의 회수대로 이동하여 선별효율을 떨어뜨리게 된다. 따라서 본 연구에서는 이들 저비중 물질의 제거를 위해 (b)의 air gravity separator 타입과 유사한 풍력선별기를 이용하였다. 본 풍력선별기는 수직방향으로 유동하는 공기내로 대상 물질을 공급시킴에 따라 고비중 물질에 부착된 fluff 등을 쉽게 탈리시키고 형상분리가 용이해 선별효율을 향상시킬 것으로 판단된다.

제 2 절. 자력선별

자력선별이란, 자장(magnetic field)내에 투입된 물질들 중 자성 물질은 자력에 의해 끌리고 비자성 물질은 중력, 원심력, 유체의 힘만이 작용하게 됨으로서 자성 물질과 비자성 물질을 분리할 수 있다. 즉, 자력선별(magnetic separation)은 기본적으로 외부에서 주어지는 자력에 대한 광물들 간의 고유한 자화율(magnetic susceptibility)의 차를 이용하는 선별법으로 이러한 자화율의 차이에 따라 광물의 특성이 크게 세 가지로 나누어진다.

① 반자성(diamagnetism) : 자력이 감소되는 방향으로 반발력이 작용한다. 반자성의 성질은 외부자장에 의하여 반대방향으로 자기모멘트가 물질 내에 유도되는 것에 기인한다. 고강도 자석에 의하지 않고서는 자력에 의한 분리가 불가능하다.

② 상자성(para magnetism) : 자력이 증가하는 방향으로 끌리게 되어 자장의 흐름 방향으로 입자들이 배열된다. 강한 자석으로 분리가 가능하고 약자성이라 한다.

③ 강자성(ferro magnetism) : 상자성 물질과 유사한 특성을 지니지만 약한 외부 자장에 의해서도 강하게 자화되어 영구자석의 성질을 가지는 경우이다.

자력선별은 크게 자석의 자장강도를 조절 할 수 있는 전자석과 자장의 강도가 고정되어 있는 영구자석으로 분류하며, 자석이 벨트위에 설치되어 있는 부양형(suspended type)과 풀리형(pulley type)으로도 나누어진다. 또한 매질을 사용하는 습식자력선별과 건식자력선별로도 나눌 수 있으며, 메커니즘에 따라 드럼타임과 크로스벨트형으로도 나눌 수 있다. 또한 자력선별의 경우 자성산물의 분리효율을 높이기 위해 구배력을 향상시킨 고구배 자력선별기가 개발되었으며, 최근에는 자장의 세기를 10T(100,000 gauss) 까지 높일 수 있는 초전도체자력선별기가 개발되었다.

자력선별에서 두 개의 자극을 가까이 놓았을 때, 그 사이에 작용하는 인력 혹은 척력은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$F = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

F는 “다인”으로 표현 힘(력), m_1 , m_2 는 자성의 강도 단위로 표시한 자극의 세기, d 는 cm로써 표시한 극과 극의 거리, μ 는 매질에 관한 상수이다. 상수 μ 를 투자율(Permeability)이라 하여 진공은 1이며, 많은 물질에서는 극히 1에 가깝다. 그러나 강자성물질은 대단히 큰 수치를 보인다. 오늘날 자력선별기로 사용되고 있는 자석은 특수한 경우를 제외하고는 직류 전자석이다. 전자석이 영구자석보다 강력하고 자력의 조절이 쉽다는 장점을 가지고 있으나, 최근에는 금속소재의 발달로 강력한 자력밀도를 갖는 희토류 영구자석도 개발되어 사용되고 있다. 전자석은 철심(iron core)에 전선을 감고(solenoid), 전류를 흘려 보냄으로써 철심을 자화시키는 것인데, 이때 자기의 세기는 다음 식으로 나타낸다.

$$H = \frac{0.4\pi wi}{l}$$

[H : 자계의 세기(gauss), w : 솔레노이드 감은 수,
 i : 전류 (amp.), l : 솔레노이드 길이 (cm)]

즉, 자기력은 입자의 크기, 자화율, 자장구배의 영향을 받게 되나 입자경이나 자화율은 시료의 특성에 관련된 조건이므로, 선별효율의 향상을 위한 자기력 증가를 위해서는 자장과 자장구배의 증가가 필수적이라고 할 수 있다. 이외에도 자력 선별에서 입자를 끌어당기는 힘의 세기는 입자와 자극간의 거리, 입자에 작용하는 중력, 입자의 모양, 자력선의 모양, 단체분리의 상태, 투입량 및 투입형태 등에 따라서 변화하므로 자력선별을 적용할 때는 이와 같은 것을 고려해야 할 것이다.

자력선별기는 앞에서 언급하였듯이 자석의 종류에 따라서 영구자석식 자력선별기와 전자석식 자력 선별기로 분류되며, 또한 중간매질에 따라서 건식과 습식 자력 선별기로 분류할 수 있다. 영구자석식 자력선별기는 전자석에 비하여 자장강도는 크지 않고 자장강도의 조절이 어려우며, 입자분산이 충분하지 않기 때문에 분리성에 문제가 있기는 하지만, 유지비가 저렴하므로 강자성 입자의 대량처리에 효과적이다. 습식 자력선별기는 자력선별시 물의 저항으로 인하여 자성광물의 운동이 활발하지 않지만, 미립의 비자성 물질이 자성물질에 붙어서 투자율에 변동을 일으킨

다든지, 자성물질 입자들 사이에 비자성물질이 비선택적으로 포획되는 가능성이 낮아, 건식보다 비교적 선별효율이 우수한 것으로 알려져 있다.

Fig. 2-2는 drum-type과 cross-belt type의 건식자력선별기의 모식도를 나타낸 것으로, (a) 회전하는 자성에 상자성 물질이 부착되어 자력선별이 이루어지는 것이고, (b) 벨트 위에 자석을 설치하여 자성산물이 공중으로 부양되어 자석에 부착함으로써 분리되는 원리이다. (a)의 경우 유지 및 운전상의 편리성과 비용이 저렴한 장점은 있으나 비자성 산물이 비선택적으로 혼입될 수 있는 문제가 있다. 반면 (b) 자력선별기는 다소 복잡하고 장비가 비싼 문제는 있으나 공기 중에 부양시켜 선별을 함으로 비자성 산물의 혼입을 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 조립자 철의 최적선별을 위해 (b)의 cross belt type의 건식 자력선별기를 이용한 연구를 수행하였다.

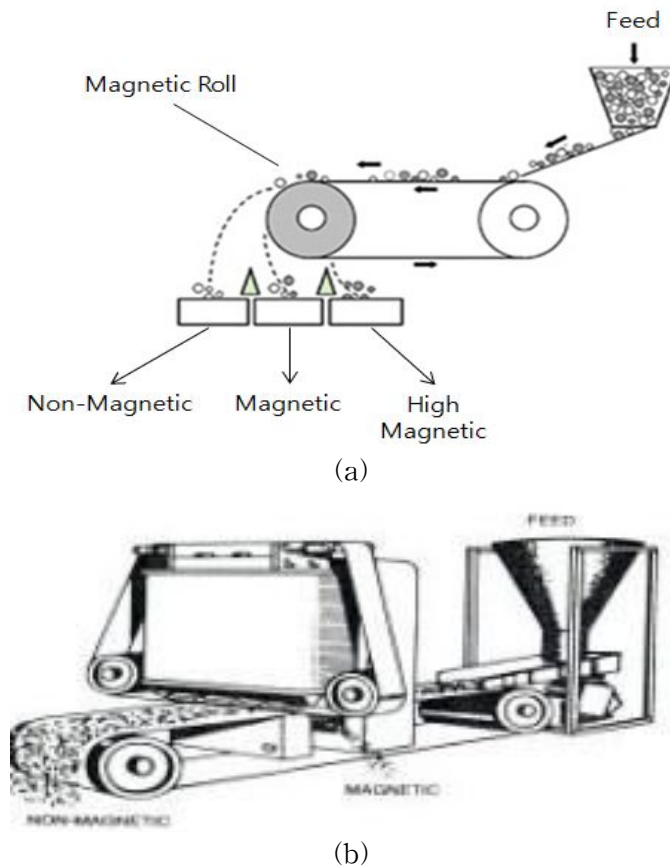


Fig. 2-2. (a) Drum and (b) cross-belt type magnetic separators

제 3 절. 코로나 방전형 정전선별

정전선별법은 광물처리에 있어 철광, 티타늄, 칼륨, 금 그리고 다이아몬드와 같은 유용광물의 처리와 석탄 및 석탄회의 선별처리에 이용되어 왔으며 현재는 기존의 선광법으로 분리가 어려운 혼합물질의 분리와 폐자원의 재활용 분야에 확대 적용되고 있다(박철현 2007, Gente et al 2003, Wills 2003). 또한 이 선별법은 높은 전기장의 영향 하에서 하전된 입자들을 인력이나 반발력에 기초하여 분리하는 고전압 선별법(high tension separation)이라고도 한다(Inculet 1984). 정전선별법은 선별 단계 이전에 입자들이 정전기적으로 하전되어야 하며 이들의 하전은 입자의 전기저항과 전기적 표면구조의 차이로 발생된다(Mazumder et al 1994, Kelly and Spottiswood 1989). 정전선별법의 종류는 전도성 물질과 비전도성 물질이 혼합된 산물을 분리할 수 있는 정전유도형과 코로나 방전형, 그리고 전도성 물질과 비전도성 물질에 구분없이 혼합된 물질의 분리가 가능한 마찰하전형이 있다. 특히 코로나 방전형은 이온 충돌 방법으로써 입자의 하전율이 가장 높아 다른 하전방식에 비해 선별효율인 높게 평가된다.

Fig. 2-3은 코로나 방전의 원리와 선별장치의 개략도를 나타낸 것으로, 코로나 혹은 이온 bombardment는 공기를 통하여 전자, 이온을 방전시켜 전기를 전도시킨다. 공기나 다른 기체들은 정상적인 조건에서는 이온이나 전자를 가지고 있지 않으며 기체분자들은 훌륭한 절연체이다. 그러나 전극 사이에 높은 강도의 전압을 인가하면 기체는 전기적 절연과 파괴를 일으키고 이들 기체는 방전하게 되어 도체의 성질을 지니게 된다. 코로나 혹은 이온 bombardment는 전도성과 비전도성 혼합물이 접지된 rotor와 평행한 코로나 발생 전극사이로 공급되고 코로나 방전은 가는 실선(fine wire)이나 침극(needle point)의 전압세기가 상승하여 주변 공기의 절연과 파괴 강도를 넘어서는 전기장에서 발생한다. 코로나 전극은 보통 텅스텐이 이용되며 연소할 수 있는 광물(석탄 등)의 처리 시 특수 전극이 필요하다(Manouchehri 2000).

코로나 유형은 이온화 전극의 극성에 따라 코로나 발광(corona glow)과 코로나 방전(corona discharge)형이 있다. 코로나 전극이 (+)전극일 경우 (-)이온이 전극쪽으로 향한다. 공기분자의 절연파괴는 코로나 발광(corona glow)의 형태로 전극의 밖으로 (+)이온이 제거됨으로서 발생된다. 다른 한편 (-)전극일 경우 전극으로부터 음(-)으로 하전된 산소 이온들이 반발을 일으키면서 (+)이온이 전극을 향해 가속화되고 이때 코로나 방전(corona discharge)이 발생한다. 투입된 입자들은 이온화 전극의 방전장 안으로 접지 전극에 의해 운반되고 이 영역에서 이온 충돌에 의해 하전되며, 모든 입자들은 동일 부호로 하전된다. 이 때 선별의 핵심은 하전된 입자들의 전하 소멸 비율 차이이다. 즉 비전도성 물질이나 절연체는 접지 롤에 천천히 전하를 잃게 되고 따라서 'image force'에 의해 접지 롤의 표면에 부착되어 있게 된다. 반대로 도체는 재빨리 접지 롤이나 전극에 전하를 분배하거나 잃게 되어 원심력, 중력, 항력의 조합에 따라 포물선 운동을 하면서 접지롤로부터 멀리 이동하여 낙하한다. Fig. 2-4에서와 같이 'image force'는 접지극 표면과 하전된 입자 사이의 인력으로 표현할 수 있다. 즉 하전된 입자로부터 접지극 표면에 거울상 위치와 같은 반대부호의 전하로서 동등하다.

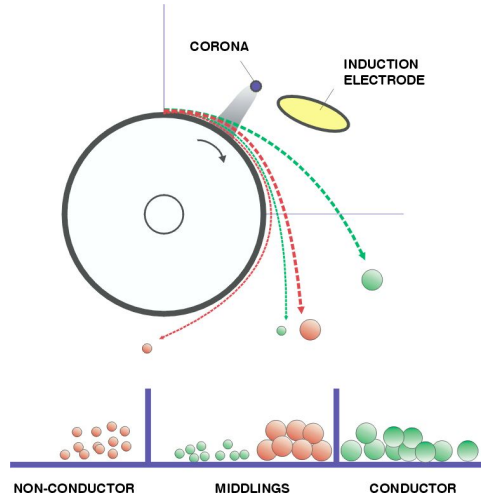


Fig. 2-3. Principle and schematic diagram of corona electrostatic separation.

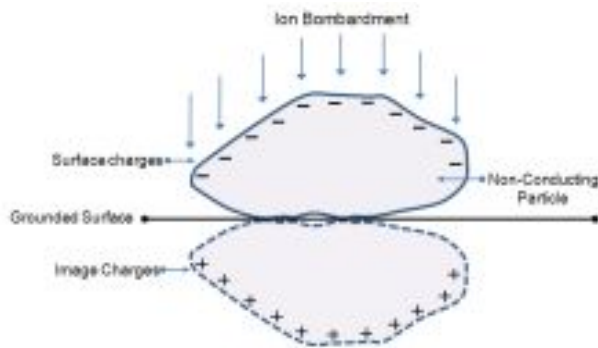


Fig. 2-4. The concept of the image force.

제 3 장. 시료 및 실험방법

제 1 절. 시료

본 연구에 이용된 대상 시료는 폐 자동차의 해체, 압축 및 분쇄 과정에서 유용 물질을 회수하고 남은 잔류물(ASR, Automobile Shredder Residue)로써, 수선에 의한 원 시료의 성분비 분석결과, Table 3-1에서와 같이 철 3.8 %, 비철금속 2.9 % 그리고 유기 물질 93.3 %로 구성되어 있음을 확인하였다.

Table 3-1. Composition of raw sample

Elements	Iron (Fe)	Non-ferrous (Cu, Al, Cu+Zn)	Organic material (fluff, glass, rubber, plastic)
Composition(wt, %)	3.8	2.9	93.3

제 2 절. 실험방법

Fig. 3-1은 ASR로부터 철 및 비철금속을 회수하기 위한 혼합선별 공정도를 나타낸 것으로, 먼저 고속파쇄기를 이용하여 원 시료를 -10 mm, -20 mm 그리고 -30 mm 입도로 각각 파쇄한 후 풍력선별기를 이용하여 저비중 그룹(light group)인 스펀지, 나무, 해삼지를 제거하였다. 이후 고비중 그룹(heavy group)을 대상으로 자력선별을 수행하여 자성산물인 철(ferrous)을 회수하였고 비자성산물의 경우 40 mesh 표준체에 의해 전선(wire)과 유리(glass)가 제거된 시료를 대상으로, cutting mill을 이용하여 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm의 4구간으로 분쇄한 후 코로나 방전형 정전선별을 수행하였다.

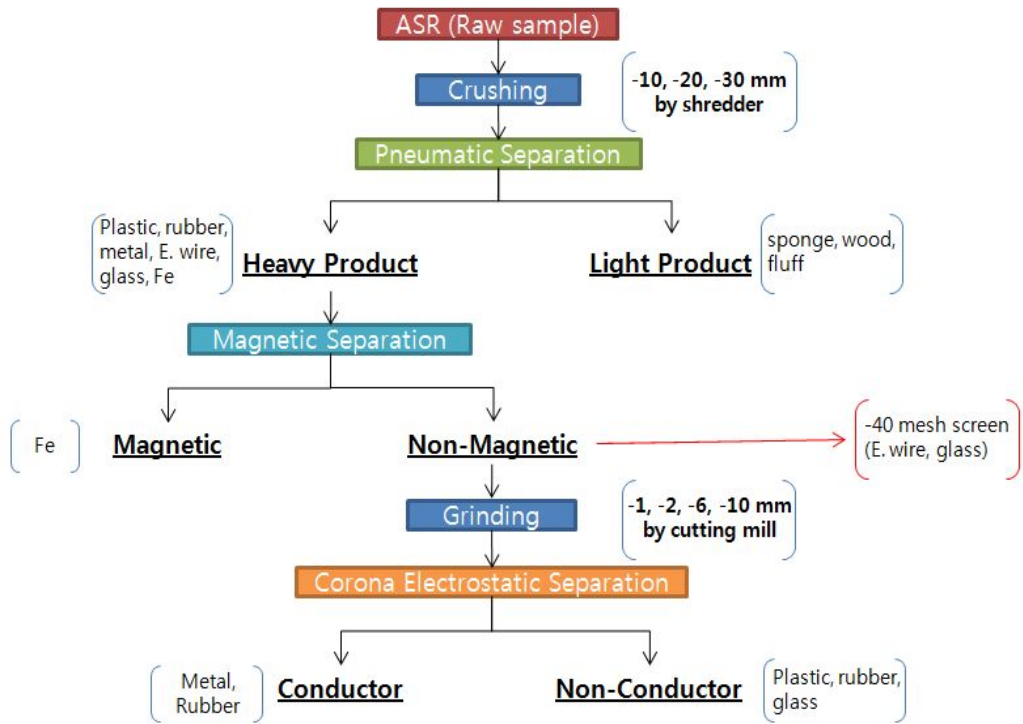


Fig. 3-1. A separation process for recovery of ferrous and non-ferrous metals from ASR

Fig. 3-2는 본 연구에서 풍력 선별, 자력선별 및 정전선별 실험에 적합한 입도 조절을 위해 이용된 고속파쇄기와 분쇄기(cutting mill) 사진을 나타낸 것으로, (a) 고속파쇄기 (DWC-10HP, 덕우에코시스템(주))의 경우 풍력 및 자력선별을 위해 -10 mm, -20 mm 그리고 -30 mm 입도로 파쇄하는데 이용되었으며 cutting mill (PULVERISETTE 19, 독일 FRITSCH GmbH 社)은 정전선별을 위해 시료를 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm의 입도로 분쇄하는데 이용되었다.

Fig. 3-3은 본 연구에 이용된 주요 선별장치들을 사진으로 나타낸 것으로, 먼저 비중선별에 있어서 ASR 원 시료를 고비중 그룹과 저비중 그룹으로 분리하는데 Fig. 3-3 (a)의 풍력선별기 (Pneumatic separator, (주)대원GSI)가 이용되었고 목적물질인 철 (ferrous)의 회수를 위해 Fig. 3-3 (b)의 cross belt type 자력선별기(대보 마그네틱(주))가 이용되었다. 본 자력선별기는 2개의 연속적인 영구자석들이 상단에

부탁되어 있어 선별효율이 높을 것으로 판단된다.

또한 비자성 산물로부터 비철금속(non-ferrous metal) 회수를 위해 Fig. 3-3 (c)의 코로나 방전형 정전선별기(ERIEZ 社)가 이용되었다. 본 선별 장치의 구성은 좌측에 시료 공급장치, power supply($\pm 40,000V$) 및 공정제어 박스가 있으며 시료의 분리가 이루지는 우측부에는 코로나전극/정전유도전극, 회전드럼 및 분리대가 장착되어 있다. 본 코로나 방전형 정전선별 장치는 공정제어 박스에서 정전선별의 주요 변수인 시료 공급량, 회전드럼 속도 및 전극의 세기를 조절할 수 있으며 수동으로 전극거리 및 전극의 각도를 조작할 수 있는 시스템이다.



Fig. 3-2. (a)High-speed disintegrator and (b)Cutting mill used in this study

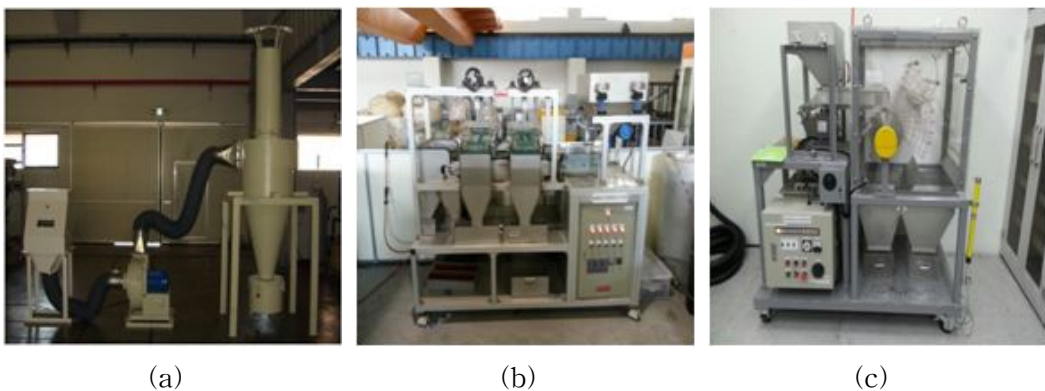


Fig. 3-3. (a) Pnematic separator, (b) magnetic separator and (c)corona electrostatic separator used in this study

제 4 장. 실험결과 및 고찰

제 1 절 풍력선별

ASR로부터 철 및 비철금속 회수를 위한 1단계 공정으로써, 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)으로부터 저비중 그룹 (종이, fluff 및 천)을 제거할 수 있는 풍력선별 실험을 수행하였다. 풍력선별의 경우 비중, 형상 및 입도크기가 선별효율에 영향을 미칠 수 있다. 주어진 시료의 특성상 입도크기의 경우, 파쇄기에 의해 입도 조절이 가능함에 따라 이들 원 시료를 각각 -10 mm, -20 mm 그리고 -30 mm 입도로 파쇄한 후 공기속도 변화에 따른 풍력선별 실험을 수행하였다.

1. -10 mm 시료

Fig. 4-1.은 입도 조절된 -10 mm ASR을 대상으로 한 풍력선별 실험에서 저비중 그룹(종이, fluff 및 천)의 제거율 및 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)의 회수율에 대한 공기 주입속도 영향을 나타낸 것으로 공기 주입속도의 변화조건은 0.5 ~ 2.5(m/s)이었다.

실험결과, 저비중 그룹의 제거율은 공기속도 0.5 m/s에서는 큰 변화가 없으나 1 ~ 2 m/s까지 급격히 증가하였고 2 ~2.5 m/s에서는 완만히 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 공기속도 1~2 m/s 범위가 저비중 입자들(종이, fluff 및 천)의 형상 및 비중 분리에 큰 영향을 미치기는 것으로 판단된다. 반면 고비중 그룹의 회수율은 공기속도가 증가할수록 점차 감소함을 알 수 있다. 이는 금속보다 비중이 낮고 입자가 작은 토사 및 유리조각들이 저비중 그룹과 함께 제거되는 것으로 판단된다. 저비중 그룹의 제거율과 고비중 그룹의 회수율 고려한 최적 공기속도 조건은 2 m/s이었으며, 이때 저비중 그룹의 제거율과 고비중 그룹의 회수율은 각각 86.7 % 와 87.5 %임을 확인하였다.

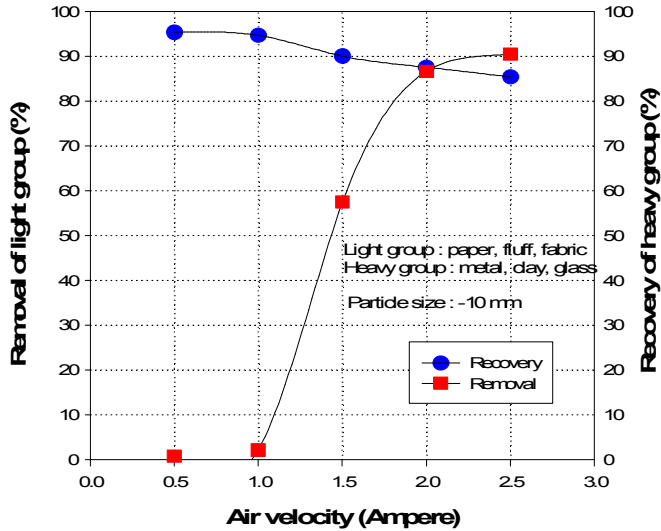


Fig. 4-1. Effect of air velocity on removal of light group and recovery of heavy group from ASR in pneumatic separation (Particle size : -10 mm)

2. -20 mm 시료

Fig. 4-2는 입도조절된 -20 mm ASR을 대상으로 한 풍력선별 실험에서 저비중 그룹(종이, fluff 및 천)의 제거율 및 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)의 회수율에 대한 공기 주입속도 영향을 나타낸 것으로 공기 주입속도의 변화조건은 1.5 ~ 3 m/s이었다.

-20mm입도에 대한 예비실험 결과, 앞서 선행된 -10mm 보다 -20mm로 입도가 커짐에 따라 공기속도 1.5 이하에서는 선별효율에 영향이 미치지 못하였다.

따라서 본 실험을 공기속도 1.5 이상에서 시작하여 3까지 증가시킴에 따라 저비중 그룹의 제거율은 증가한 반면 고비중 그룹의 회수율은 감소함을 알 수 있었다. 특히 공기속도 3이상에서는 고비중 그룹의 회수율이 급격히 감소하여 이 조건에서는 토사 및 유리조각과 함께 금속 물질도 저비중 그룹으로 제거되는 것으로

판단된다. 따라서 저비중 그룹의 제거율과 고비중 그룹의 회수율을 고려한 최적 공기속도 조건은 2.5 m/s이었으며, 이때 저비중 그룹의 제거율과 고비중 그룹의 회수율은 각각 88.7 %와 76.4 %임을 확인하였다.

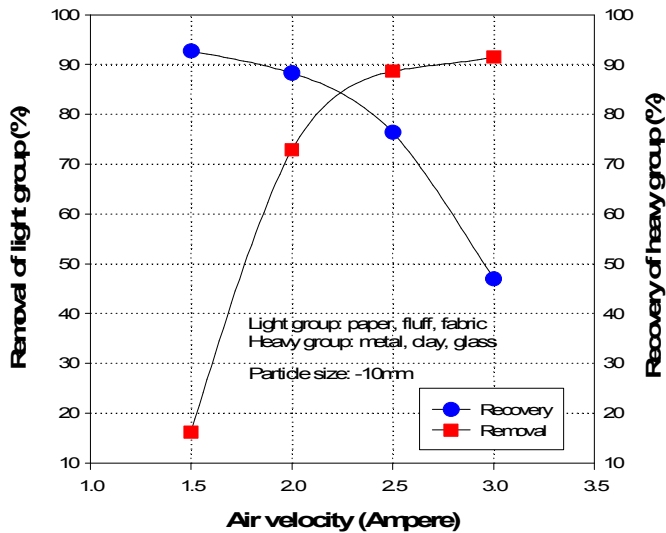


Fig. 4-2. Effect of air velocity on removal of light group and recovery of heavy group from ASR in pneumatic separation (Particle size : -20 μ m)

3. -30 μ m 시료

Fig. 4-3는 입도 조절된 -30 μ m ASR을 대상으로 한 풍력선별 실험에서 저비중 그룹(종이, fluff 및 천)의 제거율 및 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)의 회수율에 대한 공기 주입속도 영향을 나타낸 것으로 공기 주입속도의 변화조건은 2 ~ 3.5 m/s이었다.

실험결과, 공기속도가 증가할수록 저비중 그룹(종이, fluff 및 천)의 제거율은 점차 증가한 반면 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)의 회수율은 급격히 증가하

였다. 저비중 그룹의 제거율 및 고비중 그룹의 회수율을 고려한 적정 조건은 공기 속도 2.5 m/s이었으며, 이때 제거율과 회수율은 각각 86.3 %와 77.6 %이었다.

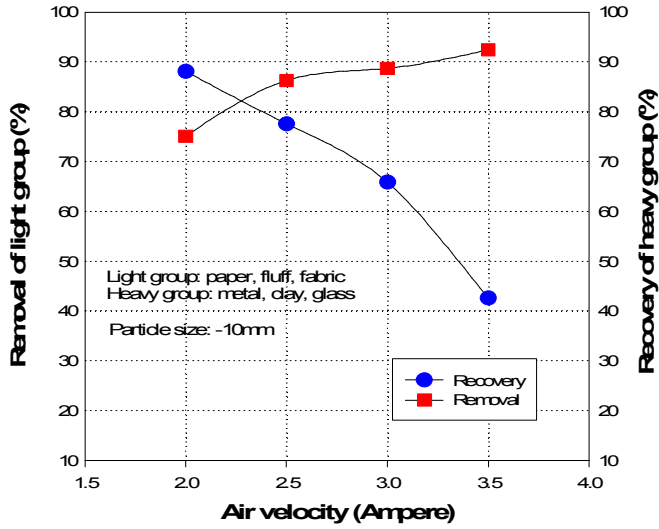


Fig. 4-3. Effect of air velocity on removal of light group and recovery of heavy group from ASR in pneumatic separation(Particle size : -30 mm)

제 2 절. 자력선별

ASR로부터 철 및 비철금속 회수를 위한 2단계 공정으로써, 1단계인 풍력선별로 부터 회수된 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)으로부터 철(ferrous)을 회수할 수 있는 자력선별 실험을 수행하였다. 선별장치로서 벨트위에 2개의 자석이 연속적으로 장착된 cross belt type의 자력선별기가 이용되었으며 적용시료는 -10 mm, -20 mm 그리고 -30 mm 입도의 고비중 그룹 산물을 대상으로 하였으며 각각 입도별 자력세기에 따른 선별 실험을 수행하였다.

1. -10 mm 시료

Fig. 4-4는 풍력선별 후의 -10mm의 고비중 산물을 대상으로 한 자력선별 실험에서 자성산물의 품위 및 회수율에 대한 자력세기의 영향을 나타낸 것으로 자력세기의 범위는 100 ~ 500 Gauss이었다.

실험결과, 그림에서 보는 바와 같이 자력세기의 증가에 따라 자성산물의 품위는 큰 변화 없이 일정하였으나 회수율은 100 ~ 400 gauss 점차 증가하다 500 Gauss에서 변화 없이 일정함을 알 수 있다. 자성산물의 회수율이 증가하는 이유는 자력선별기의 자장의 세기가 강해질수록 미자성 산물도 회수되어 회수율이 증가하기 때문으로 판단된다. 따라서 최적조건은 자력세기 400 gauss로 결정되었으며 이 때 자성산물의 품위와 회수율은 각각 93.6 %와 91.6 %이었다.

2. -20 mm 시료

Fig. 4-5는 풍력선별 후의 -20mm의 고비중 산물을 대상으로 한 자력선별 실험에서 자성산물의 품위 및 회수율에 대한 자력세기의 영향을 나타낸 것으로 자력

세기의 범위는 200 ~ 600 Gauss이었다.

실험결과, 그림에서 보는 바와 같이 자력세기의 증가에 따라 자성산물의 품위는 큰 변화 없이 일정하였으나 회수율은 200 ~ 500 gauss 점차 증가하다 600 Gauss에서 변화 없이 일정함을 알 수 있다. -10mm와 -20mm 입도의 자력세기 비교시, -10mm에 비해 -20mm 입도에서는 선별효율을 높이기 위해 자력의 세기를 증가시켜야 함을 알 수 있다. 이는 예를 들어 -20mm 입도에 대해 -10mm와 동일한 자력세기를 적용시 입자의 크기가 증가함에 따라 무게비도 증가하여 벨트위를 지나가는 자성산물을 끌어당기는 자기력이 약하기 때문이다. 따라서 입도크기가 증가하면 자력세기도 증가시켜야 함을 알 수 있다.

또한 Fig. 4-5에서 보는 바와 같이 자성산물의 회수율이 증가하는 이유는 자력 선별기의 자장의 세기가 강해질수록 미자성 산물도 회수되어 회수율이 증가하기 때문으로 판단된다. 품위와 회수율을 고려한 최적조건은 자력세기 500 gauss로 결정되었으며 이때 자성산물의 품위와 회수율은 각각 89.3 %와 91.6 %이었다.

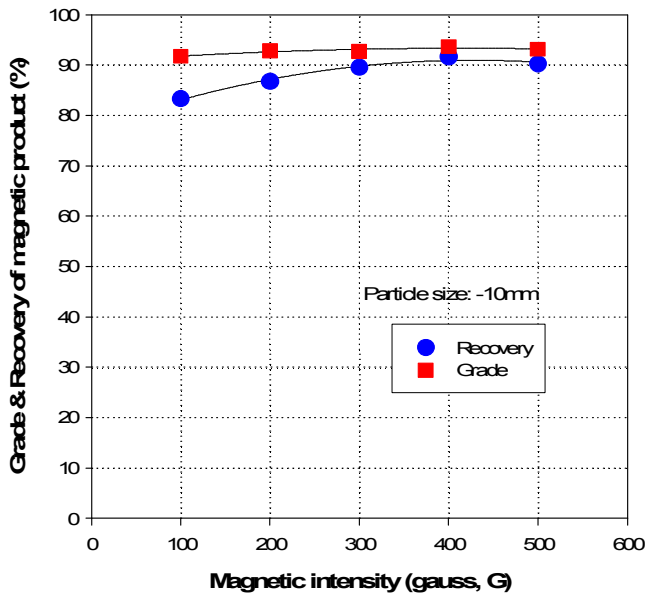


Fig. 4-4. Effect of magnetic intensity on grade and recovery of magnetic products in magnetic separation (Particle size : -10 mm)

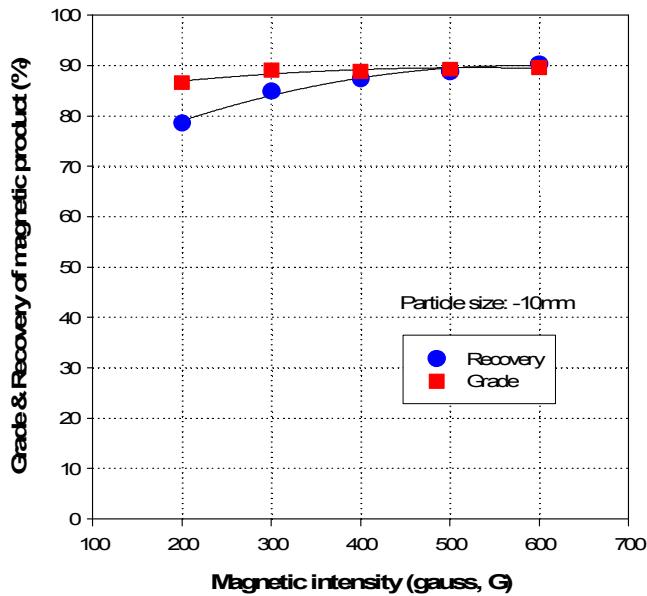


Fig. 4-5. Effect of magnetic intensity on grade and recovery of magnetic products in magnetic separation (Particle size : -20 mm)

3. -30 mm 시료

Fig. 4-6은 풍력선별 후의 -20mm의 고비중 산물을 대상으로 한 자력선별 실험에서 자성산물의 품위 및 회수율에 대한 자력세기의 영향을 나타낸 것으로 자력세기의 범위는 400 ~ 800 Gauss이었다.

실험결과, 자력세기의 증가에 따라 자성산물의 품위는 큰 변화 없이 일정하였으나 회수율은 400 ~ 700 gauss 점차 증가하다 800 gauss에서 변화 없이 일정함을 알 수 있다. 자력세기 700 gauss일 때 자성산물의 품위와 회수율은 각각 85.3%와 84.8%이었으며, 800 Gauss일 때 품위 84.6%와 회수율 85.1%임을 알 수 있다. 700 gauss와 800 gauss를 비교했을 때 회수율이 0.2% 그리고 품위가 0.2%

로 큰 차이가 나지 않기 때문에 700 gauss가 적정조건임을 확인하였다. 앞선 실험과 비교하였을 때 -10 mm, -20 mm 시료의 경우보다 선별이 낮은 것을 확인할 수 있는데 이는 단체분리도의 영향을 받은 것으로 판단된다.

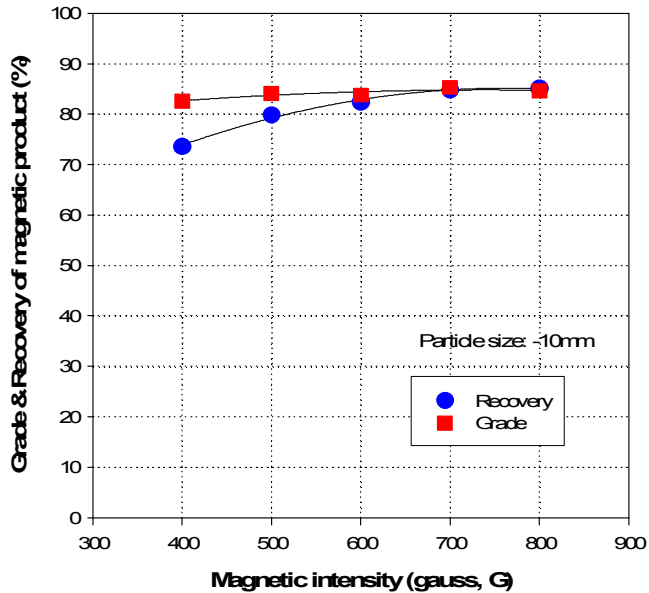


Fig. 4-6. Effect of magnetic intensity on grade and recovery of magnetic products in magnetic separation (Particle Size : -30 mm)

제 3 절. 코로나 방전형 정전선별

ASR로부터 철 및 비철금속 회수를 위한 3단계 공정으로써, 2단계인 자력선별로부터 회수된 비자성산물로부터 비철금속을 회수할 수 있는 코로나 방전형 정전선별을 수행하였다. 먼저 정전선별에 적합한 시료의 제조를 위해 40 mesh 표준체를 이용하여 전선(wire) 및 유리(glass) 등을 제거하였으며, cutting mill을 이용하여 각각 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm의 입도로 분쇄한 후 입도별 정전선별 실험을 수행하였다.

이후 최적 입도로 선정된 -6 mm 시료를 대상으로 전극세기, 분리대위치 드럼회전수 및 정전회수에 따른 코로나 방전형 정전선별 실험을 수행하였다.

1. 입도크기의 영향

Fig. 4-7은 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 입자 크기의 영향을 나타낸 것으로 이용된 입도크기는 각각 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm이었으며 고정된 실험조건은 적용전압 30 kV, 분리대 위치 30° 그리고 드럼회전수 40 rpm이었다.

실험결과, Fig. 4-7에서 보는 바와 같이 비철금속의 품위는 -1 mm 입자에서 -6 mm 입자크기까지 49.2%에서 52.1%로 다소 증가하였으나 -10 mm 입자크기에서는 52%로써 변화 없이 일정하였다. 비철금속의 회수율의 경우, -1 mm 입자에서 -6 mm 입자크기까지 68.3 %에서 75.1 %로 증가하였으나 -10 mm 입자크기에서는 36.2 %로써 급격히 감소하였다. 즉 입자크기가 -6 mm까지 커질수록 분리효율은 향상되나 입자크기 -10 mm에서는 분리효율이 급격히 감소하는 것을 알 수 있는데 이는 조립자인 -10 mm 입도에서는 미단체 분리된 플라스틱 및 고무류로 인해 비철금속들의 하전량 감소와 함께 정전기적 힘도 약화되어 전도성물질의 회수대 쪽으로 편향되지 않고 중력과 원심력에 의해 낙하하기 때문이다.

이상과 같이 비철금속들의 품위와 회수율을 고려한 최적입도는 -6 mm임을 확인할 수 있었다. 이 후 코로나 방전형 정전선별의 조건실험에서는 -6 mm 입도를 대상으로 전극세기, 분리대위치 드럼회전수 및 정선히수 실험을 수행하였다.

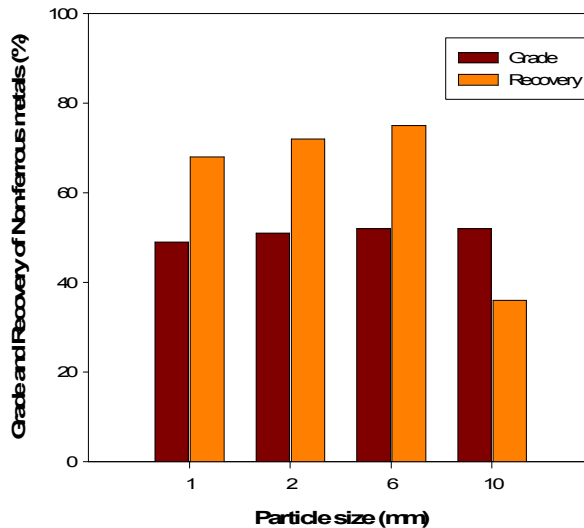


Fig. 4-7. Effect of particle size on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Applied Voltage: 30 kV, Splitter Position: 30°, Drum Speed: 40 rpm)

2. 적용전압의 영향

Fig. 4-8은 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 전극의 적용전압의 영향을 나타낸 것으로, 입도크기 -6mm, 분리대 위치 30° 그리고 드럼회전수 40 rpm의 조건에서 전압을 20 ~ 50 kV까지 변화시켜 실험한 결과이다.

실험결과, 그림에서 보는 바와 같이 비철금속의 품위는 전압세기 30 kV까지 증

가하나 그 이상에서는 감소하였고 회수율의 경우 전압세기 40 kV를 기준으로 감소함을 알 수 있다. 적용전압 30 kV와 40 kV의 분리효율 비교시, 전압 30 kV일 때 품위 52.1 %과 회수율 75.7 %을 그리고 전압 40 kV일 때 품위 45.3 %와 회수율 76.8 %을 나타내어 에너지 비용을 감안할 때 30 kV가 보다 더 효과적임을 알 수 있다.

한편, 적용전압 30 kV 이상에서 품위가 급격히 감소하는 이유는 30 kV 이상으로 전압세기가 증가할수록 단체분리가 되지 못한 비전도성 물질인 플라스틱과 고무에 각각 코팅된(laminated) 금속물질이나 내부에 함유된 카본(carbon)의 영향으로 이들 비전도성물질들이 전도성물질의 회수대에 동반 회수되어 품위가 감소한 것으로 판단된다.

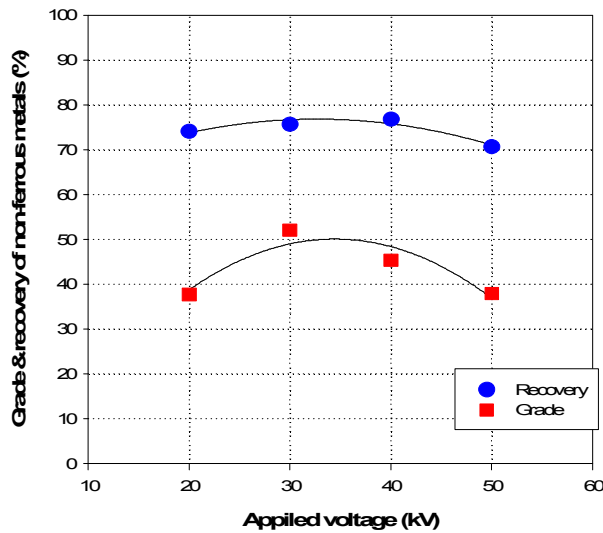


Fig. 4-8. Effect of applied voltage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -6 mm, Splitter Position : 30°, Drum Speed : 40 rpm)

3. 분리대 위치의 영향

Fig. 4-9은 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 전극의 분리대 위치의 영향을 나타낸 것으로, 입도크기 -6mm, 적용전압 30 kV 그리고 드럼회전수 40 rpm의 조건에서 분리대 위치를 10 ~ 40°까지 변화시켜 실험한 결과이다.

실험결과, 그림에서 보는 바와 같이 비철금속의 품위는 분리대위치(각도)가 증가할수록 증가하나 회수율은 감소함을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 분리대의 위치에 따라 전도성물질과 비전도성물질의 회수량이 달라지기 때문이다. 즉, 분리대 위치 즉, 각도가 커지면 비전도성물질의 회수존이 넓어져 하전량이 적은 비철금속들이 전도성물질의 회수존을 넘어가지 못하기 때문에 회수율은 감소하고 품위는 증가하게 된다. 또한 분리대 위치 즉, 각도가 작아지면 이와 반대로 회수율은 증가하나 품위는 감소하게 된다. 본 연구에서는 비철금속의 품위와 회수율을 고려하여 분리대위치 40°을 최적조건으로 결정하였으며, 이때 비철금속의 품위와 회수율이 각각 52.1 %와 75.7 %인 결과를 얻을 수 있었다.

4. 드럼 회전수의 영향

Fig. 4-10은 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 전극의 분리대 위치의 영향을 나타낸 것으로, 입도크기 -6mm, 적용전압 30 kV 그리고 분리대 위치 30°의 조건에서 드럼회전수를 35 ~ 55 rpm까지 변화시켜 실험한 결과이다.

실험결과, 그림에서 보는 바와 같이 드럼회전수가 증가할수록 비철금속의 품위는 감소하나 회수율은 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 동일한 적용전압 하에서 드럼회전수가 증가하게 되면 시료에 대해 강한 원심력이 작용하여 전도성물질인 비철금속과 함께 일부의 전도성물질을 함유한 플라스틱 및 고무가 전도성물질의 회

수대로 이동되어 품위는 감소하고 회수율은 증가하는 것으로 판단된다. 드럼회전수 35 rpm에서 비철금속의 품위가 59.4 %로 가장 높으나, 회수율은 34.7 %로 가장 낮았다. 40 rpm으로 증가할 경우 품위는 52.1 %로 점차 감소하나 회수율은 75.7 %로 급격히 증가하였으며 이후 드럼회전수가 증가할수록 품위는 감소하고 회수율은 증가하였다. 품위와 회수율을 고려한 최적조건은 드럼회전속도는 40 rpm으로 결정되었으며 이때 비철금속의 품위와 회수율은 각각 52.1 %와 75.7 %이었다.

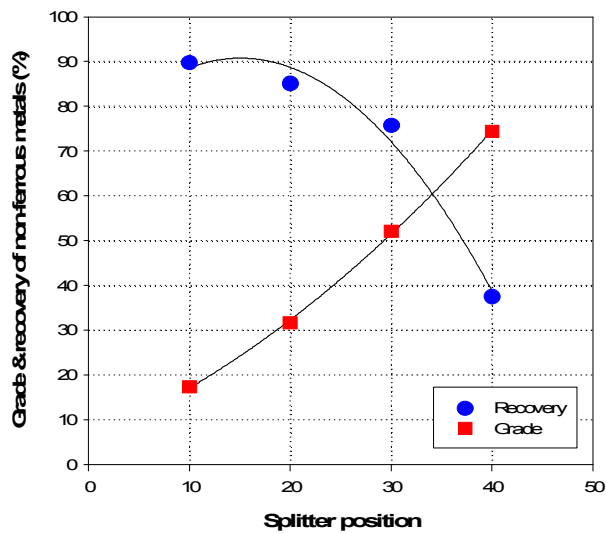


Fig. 4-9. Effect of splitter position on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -6 mm, Voltage : 30 kV, Drum Speed : 40 rpm)

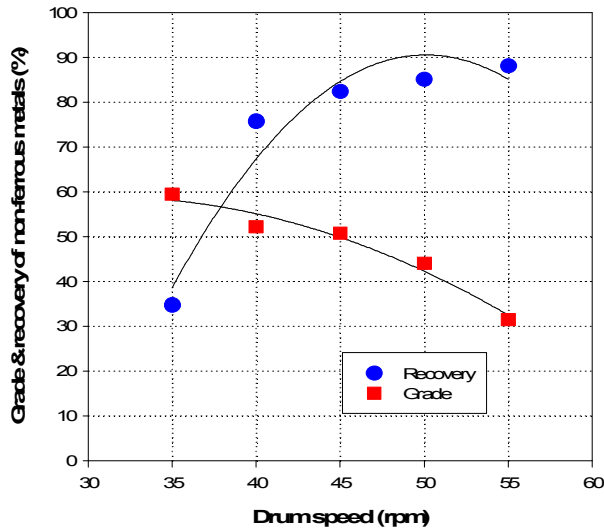


Fig. 4-10. Effect of drum speed on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -6 mm, Voltage : 30 kV, Splitter Position : 30°)

5. 처리횟수의 영향

Fig. 4-10은 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 처리횟수의 영향을 나타낸 것으로, 입도크기 -6mm, 적용전압 30 kV, 분리대 위치 30° 그리고 드럼회전수 40 rpm의 조건에서 처리회수를 1~4회까지 변화시켜 실험한 결과이다.

실험결과, 코로나 방전형 정전선별의 처리횟수가 증가할수록 품위는 증가하고 회수율은 감소하는 것을 알 수 있는데, 처리횟수 1회에서는 품위와 회수율이 각각 39.5%와 82.1%이었고, 2회에서는 품위와 회수율이 각각 46.3 %와 79.3%를 나타내었다. 또한 3회에서는 품위와 회수율이 각각 50.6 %와 76.9%를, 그리고 4회에서는 품위와 회수율이 각각 52.1 %와 75.7%를 나타내어 처리횟수의 증가에 따라 품위를

39.5%에서 52.1%까지 향상시킬 수 있었다.

이와 같이 비철금속 회수를 위한 코로나 방전형 정전선별의 있어서, 품위를 52.1% 이상 높이지 못한 이유는 앞서 토론된 바와 같이 비전도성 물질인 플라스틱과 고무에 각각 코팅된(laminated) 금속물질이나 내부에 함유된 카본(carbon)들의 상당량이 단체분리 되지 못했기 때문으로 판단된다. 이에 향후 연구에서는 이들의 단체분리도를 높일 수 있는 과분쇄 기술의 연구가 요구된다.

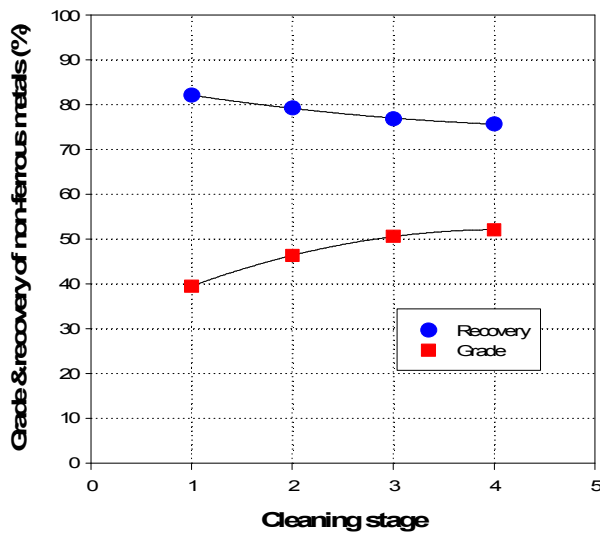


Fig. 4-11. Effect of cleaning stage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -6 mm, Voltage : 30kV, Splitter Position : 30°, Drum Speed : 40 rpm)

제 5 장. 결 론

본 연구에서는 폐 자동차 재활용 과정에서 발생하는 ASR로부터 철 및 비철금속 회수를 위한 풍력, 자력 및 코로나 방전형 정전선별 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) ASR 원시료의 성분비 분석 결과, 철 금속 3.62 %, 비철금속 2.85 %, 유기물질 93.53 %로 구성되어 있으며, 비철금속의 경우 Cu, Zn, Al 등을 함유하고 있음을 확인하였다.
- 2) 파분쇄 및 입도조절 연구결과, ASR 원시료를 대상으로 고속파쇄기를 이용한 파쇄실험으로부터 단체분리와 풍력 및 자력선별 공정에 적합한 -10 mm, -20 mm 및 -30 mm의 입도를 제조할 수 있었다. 또한 비자성 산물을 대상으로 cutting mill 을 이용한 분쇄실험으로부터 코로나 방전형 정전선별에 적합한 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm의 입도를 각각 제조할 수 있었다.
- 3) 풍력선별 실험결과, -10 mm, -20 mm 및 -30 mm의 시료를 대상으로 한 선별효율 비교시, 저비중 그룹의 제거율과 고비중 그룹의 회수율이 각각 86.7 %와 87.5 % 인 -10 mm 시료가 가장 우수한 선별효율을 보였으며 이때 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)부터 저비중 그룹(종이, fluff 및 천)을 효과적으로 제거할 수 있었다.
- 4) 자력선별 실험결과, -10 mm (고비중 산물)의 입도 그리고 자력세기 400 gauss의 조건에서 자성산물의 품위와 회수율을 각각 93.6 %와 91.6 %로 얻을 수 있었다.
- 5) 자력선별로부터 얻은 비자성 산물을 분쇄 및 입도조절한 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm 시료를 대상으로 한 입도별 코로나 방전형 정전선별 실험결과, -6

mm 시료가 품위와 회수율이 52.1 %와 75.1 %로 선별효율이 가장 우수하였다.

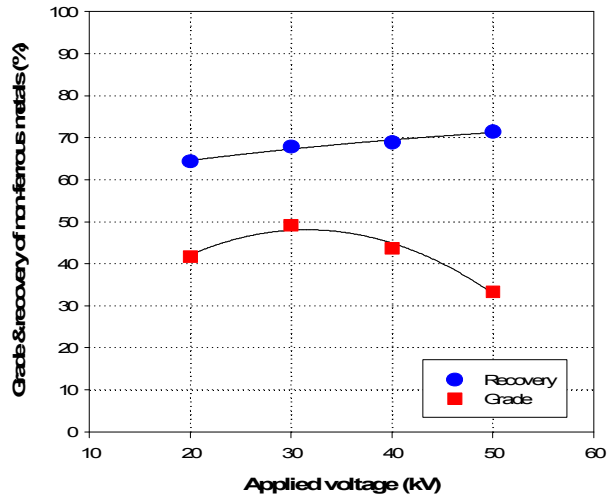
- 6) 코로나 방전형 정전선별의 조건 실험결과, 최적 조건인 입도크기 -6 mm, 적용전압 30 kV, 분리대 위치 30°, 드럼회전수 40 rpm 그리고 처리횟수 3회에서 비철금속의 품위와 회수율이 각각 52.1 %와 75.7 %인 결과를 얻을 수 있었다.
- 7) 이상의 결과를 요약하면, ASR로부터 철 및 비철금속을 회수하기 위한 파분쇄 및 입도제어 기술개발과 함께 풍력, 자력 및 정전선별 혼합선별 공정을 개발할 수 있었다. 각 공정별 선별효율에 있어서, 풍력선별 공정에서 고비중 그룹로부터 저비중 그룹(종이, fluff 및 천)의 제거율 86.7 %, 자력선별 공정에서 자성산물의 품위와 회수율을 각각 93.6 %와 91.6 % 그리고 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율을 각각 52.1 %와 75.7 %로 선별할 수 있는 기술을 개발하였다.
- 8) 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위는 52.1%로서 다소 낮은 선별효율을 나타내는데, 이는 비전도성 물질인 플라스틱과 고무에 각각 코팅된 (laminated) 금속물질이나 내부에 함유된 카본(carbon)들의 상당량이 단체분리되지 못했기 때문으로 판단된다. 이에 향후 연구에서는 이들의 단체분리도를 높일 수 있는 파분쇄 기술의 연구가 요구된다.

참고문헌

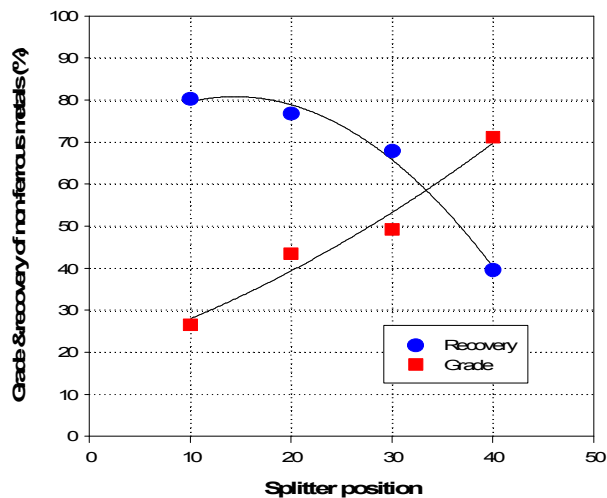
- 박철현, 2007, “마찰하전 정전선별법에 의한 혼합 플라스틱의 하전특성 및 분리효율에 관한 연구”, 한양대학교 박사 학위논문
- 백상호, 전호석, 이은선, 최희경, 김재궁, 2014, “EU의 ELVs & SLF/ASR 재활용 현황”, 한국자원리사이클링학회, Vol. 23, No 4, pp.58-68
- 오재현, 김준수, 문석민, 민지원, 2010, “도시광산 사용후 제품 재자원화의 필요성과 배경”, 한국자원리사이클링학회, Vol. 19, No 5, pp.13-24
- 이화영, 2007, “ASR 소각재의 이화학적 물성 및 재활용을 위한 기초연구”, 한국자원리사이클링학회, Vol. 16, No. 2, pp.32-39
- 이화영, 오종기, 2005, “폐 자동차 ASR의 풍력 및 비중선별에 의한 처리연구”, 한국자원리사이클링학회, Vol. 14, No. 2, pp.3-9
- Cui, J. and Forssberg, E., 2003, "Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review", J. Hazard. Mater, Vol. B99, pp. 243-263.
- Gente, V., Marca, F. L., Lucci, F. and Massacci, P., 2003, "Electrical separation of plastics coming from special waste", Waste Manage., Vol. 23, pp. 951-958
- Inculet, I. I., 1984, "Electrostatic mineral separation", Research Studies Press, Wiley, New York.
- Kelly, E. G. and Spottiswood, D. J., 1989a, "The theory of electrostatic separations: A review part I. Fundamentals", Miner. Eng., Vol. 2, No. 1, pp. 33-46.
- Kelly, E. G. and Spottiswood, D. J., 1989c, "The theory of electrostatic separations: A review part.II. Particle charging", Miner. Eng., Vol. 2, No. 2, pp. 193-205.
- Kelly, E. G. and Spottiswood, D. J., 1989, "The theory of electrostatic separations: A review part III. The separation of particles", Miner. Eng.,

- Vol. 2, No. 3, pp.337-349.
- Lee, J. S., Mo, P. T. and Wu, Dong Yang 2012, "Polymer Recovery from Auto Shredder Residue by Projectile Separation Method", Sustainability, Vol. 4, No. 4, pp.643-655
- Manouchri, H. R., 2000, "Review of electrical separation methods", Mineral and Metallurgical processing, Vol. 17, pp.23-36
- Mazumder, M. K., Banerjee, S., Ware, R. E., Mu, C., Kaya, N. and Huang, C. C., 1994, "Characterization of tribocharging properties of powder paint", IEEE-IAS, Vol.30, No. 2, pp. 365-369.
- Morselli, L., Santini A., Passarini F. and Vassura I., 2010, "Automotive shredder residue (ASR) characterization for a valuable management", Waste Management, Vol. 30, No. 11, pp. 2228-2234
- Wills, B. A., 2003, "Mineral Processing Technology", sixth edition 1997.

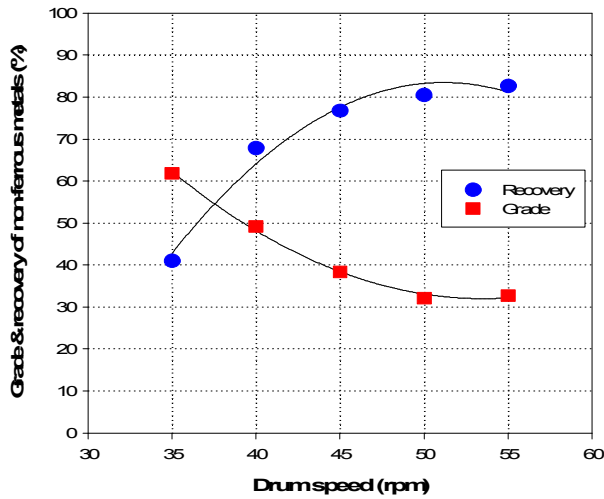
부 록



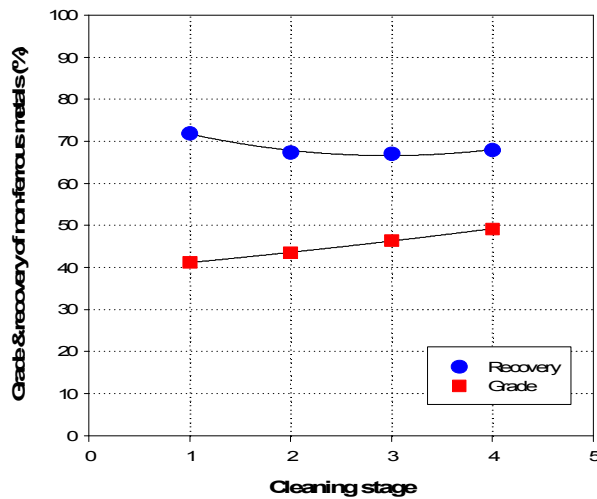
Appendix 1. Effect of applied voltage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -1 mm, Splitter Position : 30°, Drum Speed : 40 rpm)



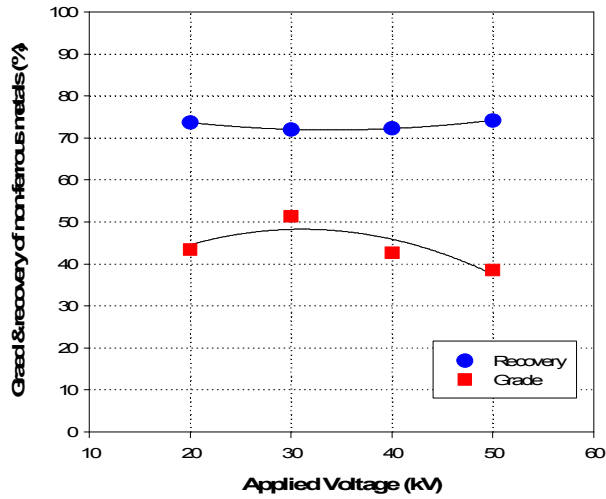
Appendix 2. Effect of splitter position grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -1 mm, Voltage : 30 kV, Drum Speed : 40 rpm)



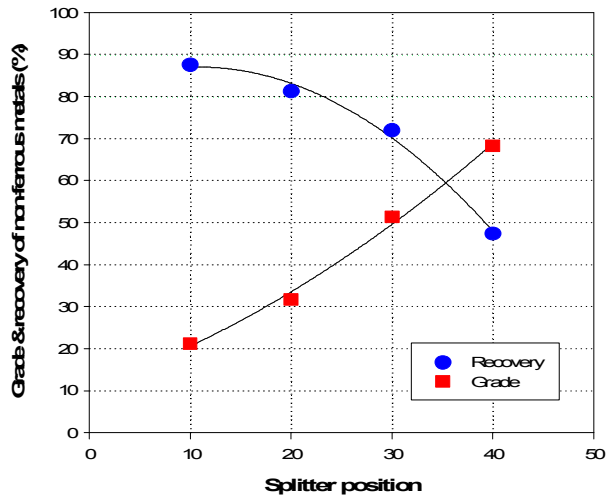
Appendix 3. Effect of drum speed on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -1 mm, Voltage : 30 kV, Splitter Position : 30°)



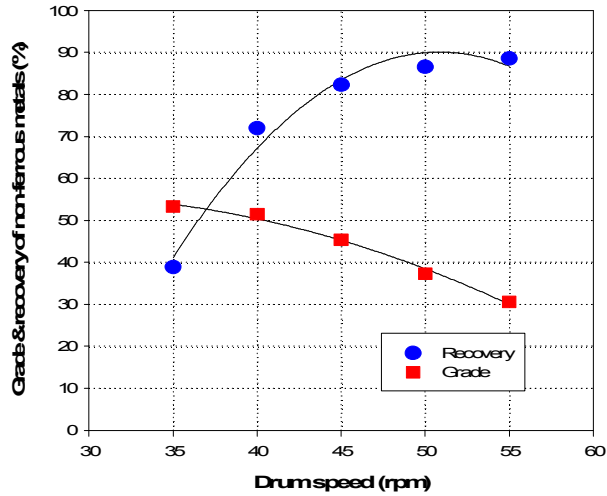
Appendix 4. Effect of cleaning stage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -1 mm, Voltage : 30 kV, Splitter Position : 30°, Drum Speed : 40 rpm)



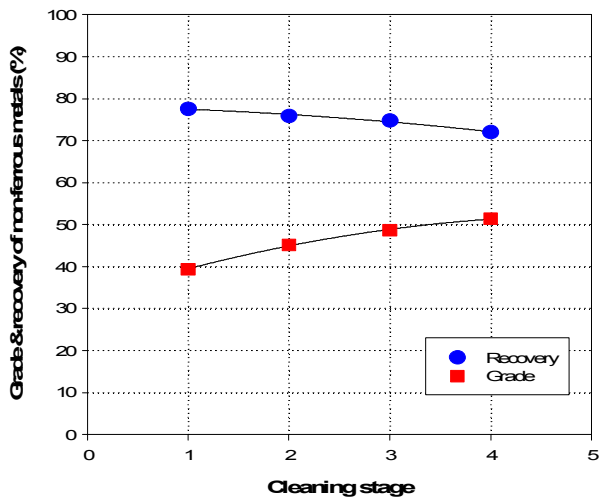
Appendix 5. Effect of applied voltage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -2 mm, Splitter Position : 30°, Drum Speed : 40 rpm)



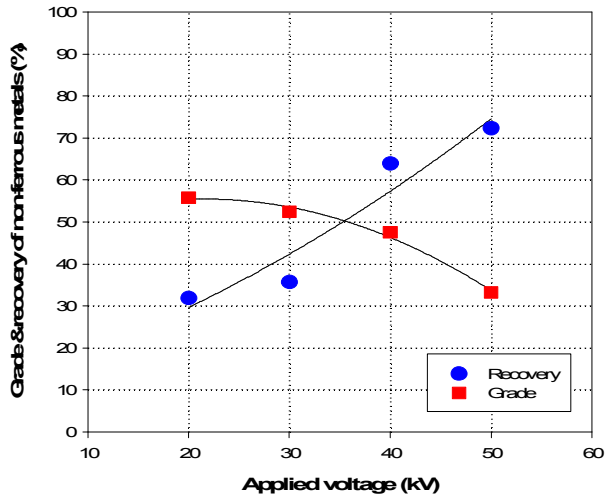
Appendix 6. Effect of splitter position grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -2 mm, Voltage : 30 kV, Drum Speed : 40 rpm)



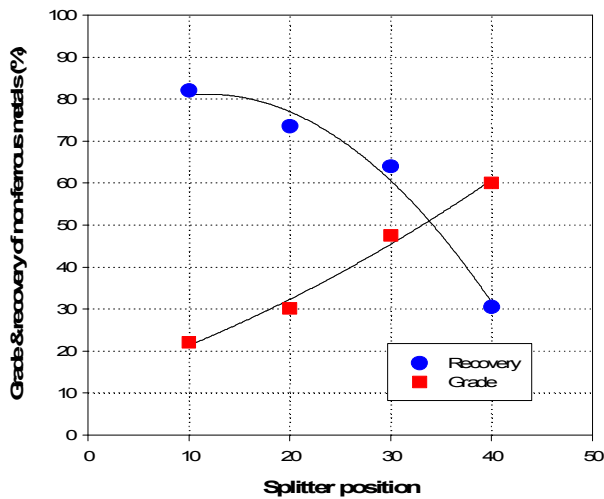
Appendix 7. Effect of drum speed on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -2 mm, Voltage : 30 kV, Splitter Position : 30°)



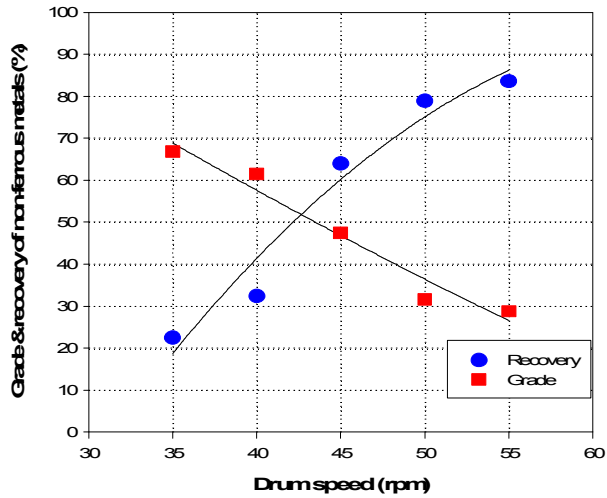
Appendix 8. Effect of cleaning stage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -2 mm, Voltage : 30 kV, Splitter Position : 30°, Drum Speed : 40 rpm)



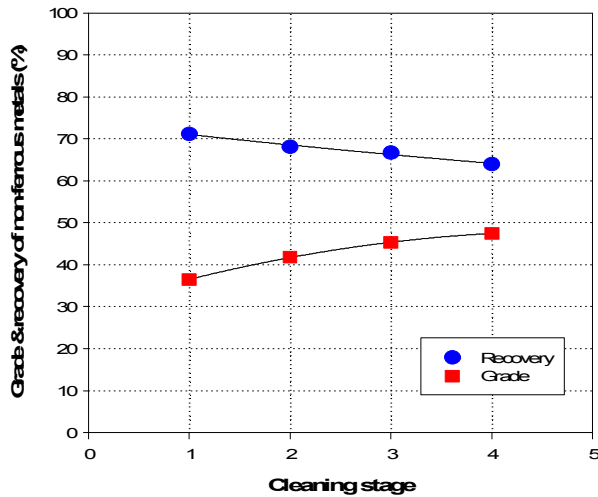
Appendix 9. Effect of applied voltage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -10 mm, Splitter Position : 20°, Drum Speed : 45 rpm)



Appendix 10. Effect of splitter position grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -10 mm, Voltage : 40 kV, Drum Speed : 45 rpm)



Appendix 11. Effect of drum speed on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -10 mm, Voltage : 40 kV, Splitter Position : 30°)



Appendix 12. Effect of cleaning stage on grade and recovery of non-ferrous metal in corona electrostatic separation (Particle Size : -10 mm, Voltage : 40kV, Splitter Position : 20°, Drum Speed : 45 rpm)