



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](#)

2017년 2월

석사학위논문

물리적선별법에 의한 ASR로부터 철 및 비철금속의 회수

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

김 양 수

물리적선별법에 의한 ASR로부터 철 및 비철금속의 회수

Recovery of Particulate Ferrous and Nonferrous Metal
from ASR by Physical Separation

2017년 2월 24일

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

김 양 수

물리적선별법에 의한 ASR로부터 철 및 비철금속의 회수

지도교수 박 철 현

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2016년 10월

조선대학교 대학원

에너지자원공학과

김 양 수

김양수의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박 천 영 ㉠

위 원 조선대학교 교수 최 태 진 ㉠

위 원 조선대학교 교수 박 철 현 ㉠

2016년 11월

조선대학교 대학원

- 목 차 -

List of tables	iii
List of figures	iv
Abstract	vi
제1장 서론	1
제2장 이론적 배경	3
제1절 공기분급	3
제2절 자력선별	5
제3절 코로나 방전형 정전선별	8
제3장 시료 및 실험방법	10
제1절 시료	10
제2절 실험방법	11
제4장 실험결과 및 고찰	17
제1절 공기분급	17
제2절 자력선별	19
제3절 Corona 방전형 정전선별	21
1. 전압세기	21
2. 드럼회전속도	24
3. 분리대 위치	27
4. 전극간의 거리	30
제5장 결론	33

참고문헌 35

부 록 37

List of tables

Table 3-1 Composition of raw sample 10

List of figures

Figure 2-1 Schematic of gravity separator	4
Figure 2-2 Drum type magnetic separator	7
Figure 2-3 Cross belt type magnetic separator	7
Figure 2-4 Schematic diagram of corona electrostatic separation	9
Figure 3-1 Scheme of ASR processing	12
Figure 3-2 High-speed disintegrator	13
Figure 3-3 Cutting mill	13
Figure 3-4 Pneumatic separator	15
Figure 3-5 Magnetic separator	15
Figure 3-6 Corona electrostatic separator	16
Figure 4-1 Effect of air velocity on (a) removal of light group and (b) recovery of heavy group in pneumatic separation	18
Figure 4-2 Effect of magnetic intensity on (a) grade and (b) recovery of magnetic products in magnetic separation	20
Figure 4-3 Effect of drum speed on (a) grade and (b) recovery of ASR in corona electrostatic separator	23
Figure 4-4 Effect of applied voltage on (a) grade and (b) recovery of ASR in corona electrostatic separator	26
Figure 4-5 Effect of splitter position on (a) grade and (b) recovery of ASR in corona electrostatic separator	29

Figure 4-6 Effect of distance between the induction electrode on (a) grade and
(b) recovery of ASR in corona electrostatic separator 32

Abstract

–Recovery of Particulate Ferrous and Nonferrous Metal from ASR by Physical Separation–

By Kim, Yang Soo

Adv. Prof. : Park, Chul Hyun

Dept. of Energy Resource Engineering

Graduate School, Chosun University

Due to the improvement of economic life quality of citizens in 2015, it reached to about 21 million for the number of registered domestic automobiles in Korea. Accordingly, it is occurring the 770 thousand wastes. However, recycle rate of waste automobiles in Korea is low, compared to that of the developed countries. Therefore, laws about recycling of resources to promote the recycle of waste automobiles are implemented following the world trend, but based on 2015, it did not even reach to 95 percent for recycling duty rate. Thus, it is important to develop technologies for recycling of waste automobile.

Automotive shredder residue (ASR), the residual fraction of approximate 25% obtained after dismantling and shredding from waste car, consists of polymers (plastics and rubber), metals (ferrous and non-ferrous), wood, glass, and fluff (textile and fiber). ASR cannot be effectively separated due to its heterogeneous materials and coated or laminated complexes, and then largely deposited in land-fill sites as waste. Thus, reducing a pollutant release before disposal, techniques that can improve the liberation of coated (or laminated) complexes and the recovery of valuable metals from the shredder residue are needed. ASR

may be separated by a series of physical processing operations such as comminution, air, magnetic and electrostatic separations. The work deals with the characterization of the shredder residue coming from an industrial plant in Korea, and focuses on estimating the optimal conditions of corona electrostatic separation for improving the separation efficiency of valuable non-ferrous metals such as aluminum, copper and etc. It carried out the experiments by line of wind force and magnetic force, prior to the experiment of electrostatic line of type of corona discharge. As a result of experiment, it could be obtained 87.3% in the recovery rate of high density group, and 87.1% in that of low density group, respectively, among conditions of -10mm and 2m/s. In case of line by magnetic line, it could have outputs of each 91.5% and 91% in the grade of magnetic output and recovery rate, under conditions of -10mm and 400 Gauss. For the non-ferrous outputs, the maximum separation achievable for non-ferrous metals using a corona electrostatic separation has been shown to be recovery of 90.7% at a grade of 79.2%, from the results of test. The recommended values of the process variables, particle size, electrode potential, drum speed, and splitter position are -6mm, 50kV, 35rpm, respectively.

제 1 장. 서 론

자원과 인구가 많은 브릭스(BRICs) 국가 등 신흥공업국들의 경제적 성장과 선진국들의 녹색산업 투자확대에 따라 첨단제품의 수요도 지속적으로 증가되고 있다. 첨단산업의 종합예술이라 할 수 있는 자동차 산업의 경우, 경량화와 고효율화로 인한 신제품의 개발 및 소비자의 수요 증가에 따라 생산량도 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 전 세계에서 자동차 생산량은 년 간 약 7,760만대(2010년 기준)에 달하며 이에 따라 폐자동차 발생량도 약 5,500만대에 이른다(백상호 등 2014, 오재현 등 2010). 그러나 폐자동차의 재활용률은 75%이하로써 나머지는 소각 및 매립되고 있다(Morselli Luciano 외, 2010). 따라서 폐자동차의 재활용율을 95%이상 높일 수 있는 기술 개발이 필요한 실정이다.(Cui, J, 2003)

현재 자동차, 전기·전자제품, 그리고 각종 유가 폐기물에 축적된 금속 및 비금속 등의 유용자원을 재자원화는 산업을 도시광산이라 한다. 도시광산의 개념은 1980년대 일본에서 처음으로 시작되었으며, 지구에 매장된 자원 중 석유나 석탄 등은 한번 사용하고 나면 사라져 버리지만 금속은 사용 이후에도 폐기물 속에 그대로 남아 있어 재활용이 가능하다는 개념에서 비롯되었다. 이러한 개념을 토대로 현재까지 세계 각국의 금속자원 및 희소금속 확보를 위한 도시광산 개발은 중요한 산업으로 자리매김하고 있다. 이 과정을 통해 철, 비철금속, 귀금속 및 희소금속 등을 얻을 수 있다. (이화영, 2005, 오중기 2005)

한편, 폐자동차의 재활용의 경우 일반적으로 폐 자동차로부터 철 및 비철금속을 회수하는 공정은 크게 두 가지 작업에 의해 이루어진다. 1차적으로 해체업자에 의해 유용 부품이 회수된 후 압축 및 shredder의 과정을 거쳐 파쇄된다. 이후 폐차 파쇄물로부터 철 및 비철금속 등의 유용금속들이 회수되고 재활용이 곤란한 플라스틱, 고무, 유리, 혼합 금속등이 남게 되는데 이를 자동차 파쇄 잔재물 (ASR, Automobile Shredder Residue)라고 한다(Lee et al. 2012, 백상호 등 2014). 자동차 파쇄 잔재물은 폐자동차의 25%를 차지하는데 이들은 대부분 소각 또는 매립되고 있다. 따라서 앞서 언급한바와 같이 이들의 재활용율을 높일 수 있는 기술개발이

요구된다. 특히 재활용이 어려운 폐자동차 잔재물의 선별기술 개발이 시급한 실정으로, 이는 폐자동차 재활용율을 95%이상 달성하는데 필수적이다.

본 연구의 목적은 폐자동차 파쇄 잔재물(ASR)의 재활용을 위하여 공기분급 및 자력선별을 통한 자성물질(철) 회수 그리고 코로나 방전형 정전선별을 이용하여 비자성산물로부터 비철금속을 효과적으로 회수하는데 있다. 특히 본 연구는 정전선별법의 주요변수인 전압세기, 분리대위치, 전극간거리 및 드럼회전속도에 따른 최적 분리조건을 확립하는데 있다.

제 2 장. 이론적 배경

제 1 절. 공기분급

고체 물질들이 유체(물과 공기) 내에서 낙하할 때 비중차에 따라 고유의 운동을 하게 되는데 비중선별은 이들의 상대적 운동의 차를 이용하여 목적하는 물질을 분리하는 방법이다. 이 방법은 알의 비중, 크기, 모양에 따라 각각 다른 침강속도를 갖게 되고 매질인 유체의 성질까지 영향을 받게 된다. 즉, 크기가 크고 무게가 무겁고 모양이 둥글수록 더 빨리 침강하게 된다. 비중선별법은 부유선별법이 출현하기 전까지는 가장 중요한 선광법이었으나, 현재는 부유선별 전후의 보조적인 선별 방법으로 많이 활용되고 있다.

비중선별법에는 매질로 공기 혹은 기체를 이용하는 건식법과 물을 이용하는 습식법으로 구분된다. 건식 선별법은 싸이클론 분급기, 지그재그 분급기, air table 및 원심분리법 등이 있으며 습식선별법은 하이드로사이클론, 요동테이블, 지그, 스파이럴, 벨슨비중선별기 등이 있다. 물을 사용하지 않는 건식 선별법은 매질을 공기로 이용하기 때문에 풍력 선별법이라고 부르며 앞서 언급한 바와 같이 대부분 싸이클론형이 이용되고 있다. Fig. 2-1은 싸이클론 공기분급기의 원리를 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 선별기 내에 일정한 압력 및 유량 상태로 공기의 흐름을 유지시키고 선별대상 물질들을 선별기 내에 투입되면 비중이 큰 입자는 하부로 그리고 작은 입자는 상부로 각각 이동되어 선별이 이루어진다.

본 연구에서는 건식선별법 중 air gravity separator 방식의 공기분급기를 이용하여 토사, 유리조각 및 금속 등의 혼합 ASR로부터 철 및 비철금속을 회수하기 위한 실험을 수행하였다. Air gravity separator는 Air table에 비해 수직의 상단 방향으로 유동하는 공기내로 대상 물질을 공급시킴에 따라 플라스틱과 비중이 비슷한 물질의 분리 또는 불규칙한 형상의 물질까지도 선별효율을 높일 수 있다.

제 2 절. 자력선별

자력선별은 광물 중 자석에 의해 끌리는 자성광물과 비자성광물을 선별할 수 있는 선별법이다. 자성광물 중에서도 자성 감도에 따라 반자성, 상자성, 강자성 광물로 나눌 수 있다.

자력선별기는 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 인위적으로 가해지는 자력에 대한 광물들 간의 고유한 자화율(magnetic susceptibility)의 차를 이용하는 선별법이다.

자석이 광물을 끌어당기는 능력은 자기장의 세기뿐 아니라 자기장 구배의 크기에 도 관계된다. 약자성 광물은 물이나 공기 등과 같은 주위 매질보다 대자율이 높기 때문에 외부 자기장의 자력선을 따라 밀집된다. 따라서 대자율이 높을수록 광물입자의 밀도도 높아지고 자력구배를 따르는 인력도 커지게 된다.

대부분의 자력선별기는 전자석이나 영구자석의 극 사이에 일정 간격을 갖도록 제작되어 있다. 자력구배는 한쪽 극보다 다른 한쪽 극에 더 큰 자력을 공급함으로써 얻는다. 이렇게 만들어진 자력구배 안으로 시료 입자들을 통과시킨다. 자력구배를 얻는 가장 간단한 방법으로는 평평한 모양의 자극 위에 V자 형의 자극을 놓는 방법이며 자성을 갖는 물질과 갖지 않는 물질의 박판을 서로 교호시키는 방법도 있다. 자기장 내에 강자성체를 둬으로써 분리에 효과적인 자기장 구배를 갖는 2차 극을 형성시킬 수 있다. 이러한 강자성체의 방향과 모양이 자력 구배의 강도를 결정하는 중요한 요소이다. 시료가 자력 분리를 통과하는 속도 또한 중요한 요소이다. 입자들의 뭉쳐짐을 방지하기 위해서 반대되는 극을 연속적으로 병렬 연결한 팽창 자장을 일반적으로 이용하기도 하지만, 이는 서로 다른 극을 가진 입자들이 180°로 배열하게 되어 극과 극사이의 자기장 강도를 감소시키는 단점이 있다.

오늘날 자력선별기로 사용되고 있는 자석은 특수한 예외를 제외하고는 직류전자석이다. 전자석은 영구자석(permanent magnet)보다 강력하고, 자력의 조절이 쉽다

는 장점을 가지고 있다. 전자석은 철심에 전선(solenoid)을 감고 전류를 통하므로 철심을 자화시키는 것인데 이때의 자장의 세기는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$H = \frac{0.4\pi\omega i}{l}$$

[H:자장의 세기 Gauss, w: solenoid 감는 수, i: 전류, l solenoid 길이]

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 드럼타입과 크로스벨트형으로도 나눌 수 있다. 또한 자력선별의 경우 자성산물의 분리효율을 높이기 위해 구배력을 향상시킨 고구배 자력선별기가 개발되었으며, 최근에는 자장의 세기를 10T(100,000gauss)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(이윤섭, 2016).

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

F는 “다인”으로 표현한 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.

Fig. 2-2 및 2-3은 drum-type과 cross belt-type의 건식자력선별기의 모식도를 나타낸 것으로, drum-type 자력선별기의 원리는 회전하는 자성에 상자성 물질이 부착되어 자력선별이 이루어지는 것이며 cross belt-type 벨트 위에 자석을 설치하여

자성산물이 공중으로 부양되어 자석에 부착함으로써 분리되는 원리이다. drum-type의 경우 유지 및 운전상의 편리성과 비용이 저렴한 장점은 있으나 비자성 산물이 비선택적으로 혼입될 수 있는 문제가 있다. 반면 cross belt-type 자력선별기는 다소 복잡하고 장비가 비싼 문제는 있으나 공기 중에 부양시켜 선별을 함으로 비자성 산물의 혼입을 줄일 수 있는 장점이 있다(이윤섭, 2016). 따라서 본 연구에서는 조립자 철의 최적선별을 위해 cross belt-type의 건식 자력선별기를 이용한 연구를 수행하였다.

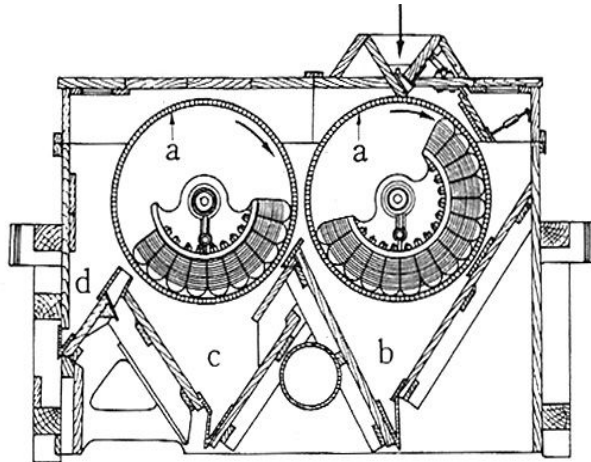


Fig. 2-2. Drum type magnetic separator

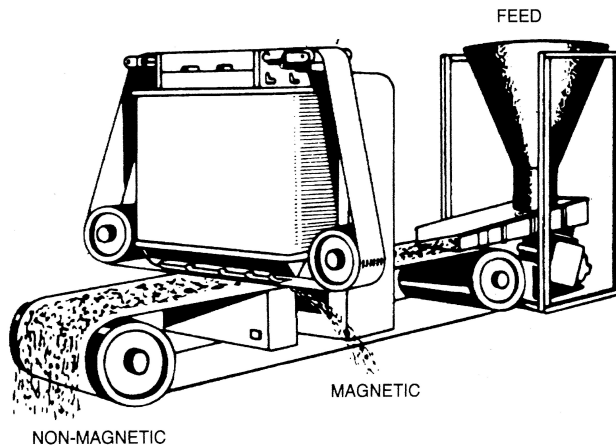


Fig. 2-3. Cross belt type magnetic separator

제 3 절. Corona 방전형 정전선별

Fig. 2-4.은 corona 방전형 선별원리를 설명하는 모식도를 나타낸 그림이다. corona 방전형의 선별원리는 corona 혹은 이온충돌은 공기를 통하여 전자, 이온을 방전시켜 전기를 전도시키는 것으로, 선별장치의 고안은 하전 메커니즘 방식에 의존한다. 공기나 다른 기체들은 정상적인 조건에서는 이온이나 전자를 가지고 있지 않으며 기체분자들은 절연체 역할을 한다. 그러나 전극 사이에 높은 강도의 전압을 가하면 기체는 전기적 절연과괴를 일으키고 이들 기체는 방전하게 되어 도체의 성질을 지니게 된다. 다시 말하자면 corona 혹은 이온충돌은 전도성과 비전도성 혼합물이 접지된 roll과 평행한 corona 발생 전극 사이로 공급되고 corona 방전은 침극의 전압세기가 상승하여 주변 공기의 절연과괴 강도를 넘어서는 전기장에서 발생하는 것으로 이 선별법은 높은 전기장의 영향 하에서 하전된 입자들을 인력이나 반발력에 기초하여 분리하는 고전압 선별법이라고도 한다(한성수 외 3명, 2014). 또한 corona 방전형은 선별단계 이전에 입자들이 정전기적으로 하전 되어야 하며 이들의 하전은 입자의 전기저항과 전기적 표면구조의 차이로 발생되며, 입자에 작용하는 힘은 하전입자와 전기장 사이의 상호작용에 기인한다.

전기를 잘 전도하는 물질을 전도체(conductor), 잘 전도하지 않는 물질을 비전도체(non-conductor), 부도체 또는 절연체(insulator)라고 한다. 물질의 특성에 따라 전도체 중에서도 더 전기를 잘 전도하는 물질이 있으며, 절연체 중에서도 전기를 매우 전도하지 않는 물질들이 있다.

전도체, 부도체는 전기전도도(electronic conductivity)로부터 결정된다. 일반적으로 전기전도도는 물질이나 용액이 전하를 운반할 수 있는 정도로 비저항의 역수이다. 단위는 지멘스(S, Siemens)/m 이나 1/Ωm을 사용한다. 지멘스는 다음과 다음식과 같은 단위를 가진다.

$$S[\text{siemens}] = \frac{1}{\Omega[\text{ohm}]} = \frac{A}{V} = \frac{C^2s}{kgm^2} = \frac{A^2s^2}{kgm^2}$$

물질의 저항을 R , 비저항을 ρ , 단면적을 S , 길이를 l 라고 하면 $R=\rho l/S$ 의 관계식이 성립한다. 전기 전도도 L 은 비저항의 역수이므로 $L=1/\rho=l/RS$ 로 표현된다.

corona 방전형은 주로 금속, 비금속선별에 많이 쓰이며, 정전 유도형보다 선별효율이 높은 것으로 알려져 있다. 최근에는 corona 방전을 응용하여 corona 방전 플라즈마를 곡류의 미생물 오염 저감을 위한 살균에 적용하기도 하며, $1\ \mu\text{m}$ 미만의 미세 분진을 포집하는 집진기의 원리에 사용되기도 한다. 그 밖에도 방전 플라즈마를 이용한 탈황·탈질 기술을 개발하였으며 이 기술은 기존의 화학적 처리법에 비해 제거율이 대단히 효과적이다. 또한 폐놀수용액 처리에도 사용되는 등 corona 방전을 이용하여 많은 분야에 사용되고 있다.

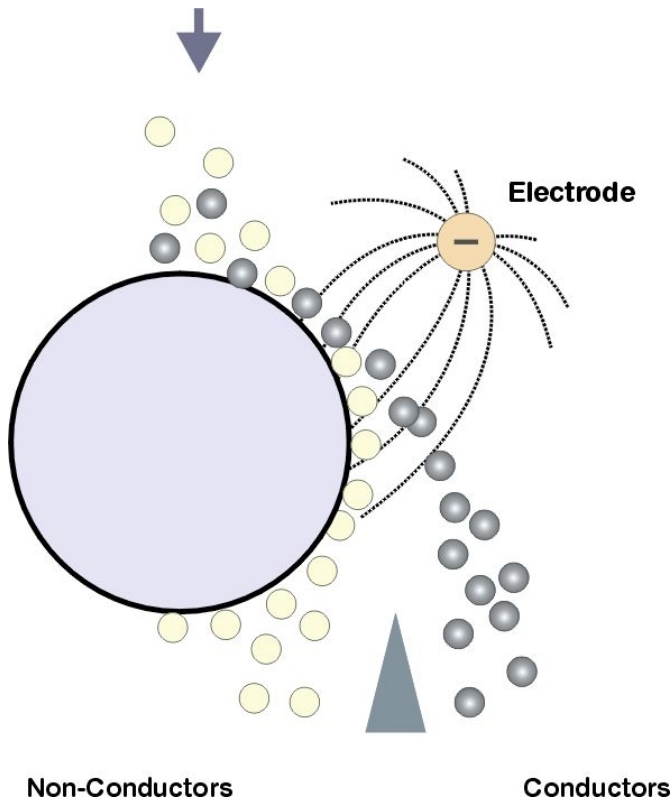


Fig. 2-4. Schematic diagram of corona electrostatic separation

제 3 장. 시료 및 실험방법

제 1 절. 시료

본 연구에 사용된 시료는 1차적으로 해체업자에 의해 유용 부품이 회수되고 압축 및 파쇄 과정을 거친 후 유용금속들이 회수되고 남은 재활용이 곤란한 플라스틱, 고무, 유리 및 혼합 금속 등으로 구성된 자동차 파쇄 잔재물 (ASR, Automobile Shredder Residue)이다.

ASR 원시료의 입도는 대략 50mm 이하였으며 이들에 대한 성분 분석은 다양한 물질들이 혼재되어 있어 물리화학적 방법으로는 분석의 한계가 있을 것으로 판단되었다. 따라서 원시료에 대한 성분분석은 수선별에 의해 이루어졌다. Table. 3-1은 원 시료의 성분분석 결과를 나타낸 것으로써, 철 4.1 %, 비철금속 3.2 %, 비자성 물질 92.7 %로 구성되어 있음을 확인하였다.

Table 3-1. Composition of raw sample

Elements	Iron (Fe)	Non-ferrous (Cu, Al, Cu+Zn)	Non-magnetic material (fluff, glass, rubber, plastic)
Composition(wt, %)	4.1	3.2	92.7

제 2 절. 실험방법

ASR을 효과적으로 분리하기 위해서는 입도조절 및 단체분리가 선행되어야 한다. 이 후 시료의 구성산물의 물리적 특성에 따라 적절한 선별법의 선택이 요구된다. Fig. 3-1은 ASR의 선별을 위한 혼합선별 공정도를 나타낸 것으로, 먼저 원 시료인 ASR을 대상으로 고속파쇄기를 이용하여 -10 mm, -20 mm 및 -30 mm의 3구간으로 파쇄 후 싸이클론 공기분급기를 이용하여 고비중 산물(heavy product) 및 저비중 산물(light product)을 선별하였다. 회수된 고비중 산물을 대상으로 cross-belt형 건식자력선별기를 이용하여 자성산물(magnetic)과 비자성 산물(non-magnetic)으로 선별을 수행하여 철(ferrous) 산물을 회수하였다. 이후 40 mesh 표준체를 이용하여 전선(wire)과 유리(glass)가 제거된 비자성 산물을 대상으로 cutting mill(PULVERISETTE 19, 독일 FRITTSCH GmbH 社)을 이용하여 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm의 4구간으로 분쇄하였다. 최종적으로 코로나 방전형 정전선별기를 이용하여 비철금속을 회수하였다.

Fig. 3-2와 3-3은 본 연구에서 공기분급, 자력선별 및 정전선별 실험에 적합한 입도 조절을 위해 이용된 슈레더(shredder)와 분쇄기(cutting mill) 사진을 나타낸 것이다. Fig. 3-2의 슈레더(DWC-10HP, 덕우에코시스템㈜)는 주로 플라스틱, 고무제품 및 연질의 금속 등을 주로 파쇄 하는데 사용된다. 이를 이용해 ASR 원시료를 풍력 및 자력선별에 적합한 -10 mm, -20 mm 그리고 -30 mm의 입도로 파쇄 및 입도 조절하였다. 본 장치의 주요 특징은 장치내에 충격 및 마모도가 강한 재질의 회전 및 고정 칼날이 장착되어 있고 소음의 영향이 적을 뿐만 아니라 능률적인 칼날들의 배치 때문에 파쇄 능력이 우수하다. 또한 하부의 스크린의 교체를 통해 입도조절이 용이하다. Fig. 3-3의 cutting mill(PULVERISETTE 19, 독일 FRITTSCH GmbH 社)의 경우 자력선별실험으로부터 구한 비자성 산물을 대상으로 하여 코로나 방전형 정전선별에 적합한 시료제조를 위해 이용되었으며 분쇄 및 입도 조절된 시료의 입자크기는 각각 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm이었다.

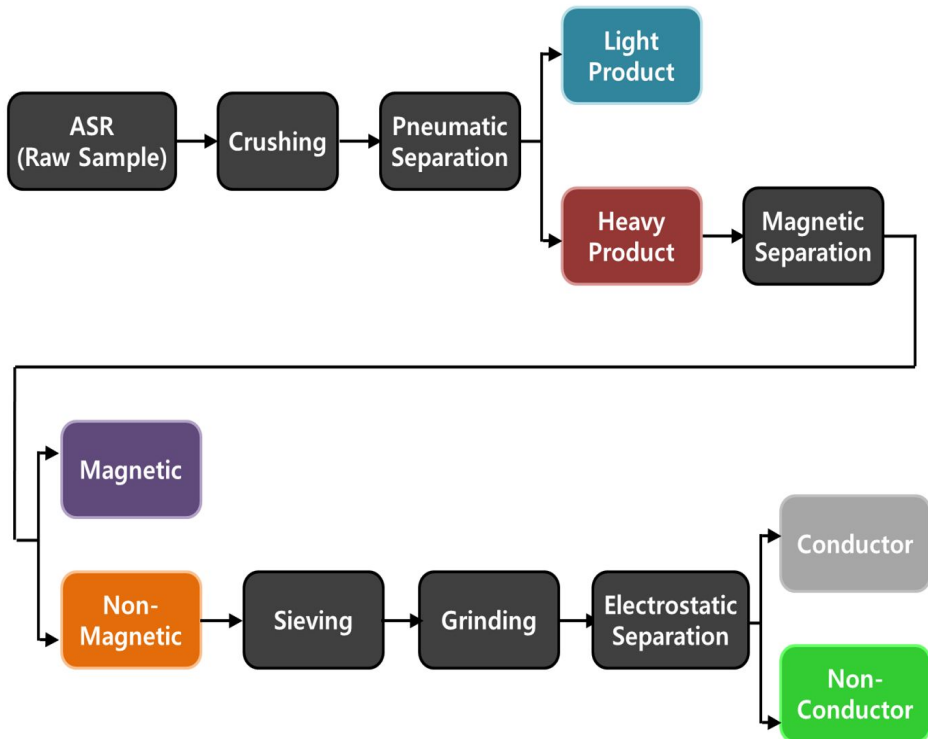


Fig. 3-1 Scheme of ASR separation process



Fig. 3-2. High-speed disintegrator



Fig. 3-3. Cutting mill

Fig. 3-4에서 3-6은 본 연구에 이용된 주요 선별장치들을 사진으로 나타낸 것으로, 먼저 비중선별에 있어서 ASR 원시료를 고비중 그룹과 저비중 그룹으로 분리하는데 Fig. 3-4의 공기분급기 (Pneumatic separator, (주) 대원 GSI)가 이용되었고 목적물질인 철 (ferrous)의 회수를 위해 Fig. 3-5의 cross belt type 자력선별기 (대보마크네텍(주))가 이용되었다. 본 자력선별기는 2개의 연속적인 영구자석들이 상단에 부착되어 있어 선별효율이 높을 것으로 판단된다.

또한 비자성산물로부터 비철금속(non-ferrous metal) 회수를 위해 Fig. 3-6의 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 이루어지는 우측부에는 코로나전극/정전유도전극, 회전드럼 및 분리대가 장착되어 있다. 본 코로나 방전형 정전선별 장치는 공정제어 박스에서 정전선별의 주요변수인 시료 공급량, 회전드럼 속도 및 전극의 세기를 조절할 수 있으며 수동으로 전극거리 및 전극의 각도를 조작할 수 있는 시스템이다. 본 연구에서는 코로나 방전형 정전선별의 최적조건을 확인하기 위해 전압세기, 분리대 위치, 전극간의 거리 및 드럼회전속도의 변화에 따른 조건실험을 수행하였다.



Fig. 3-4 Pneumatic separator



Fig. 3-5 Magnetic separator

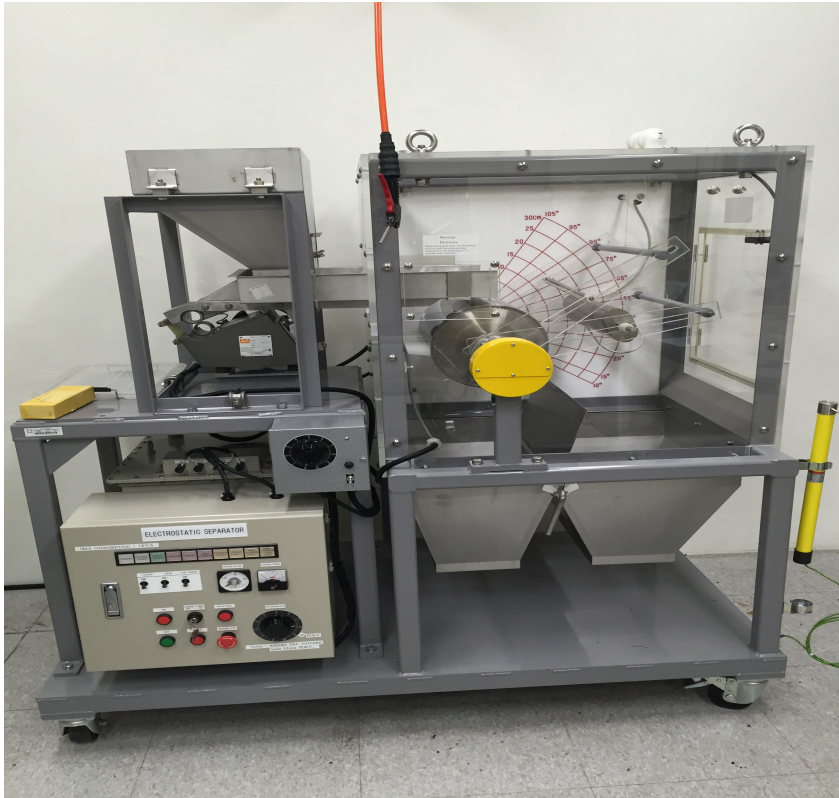


Fig. 3-6 Corona electrostatic separator

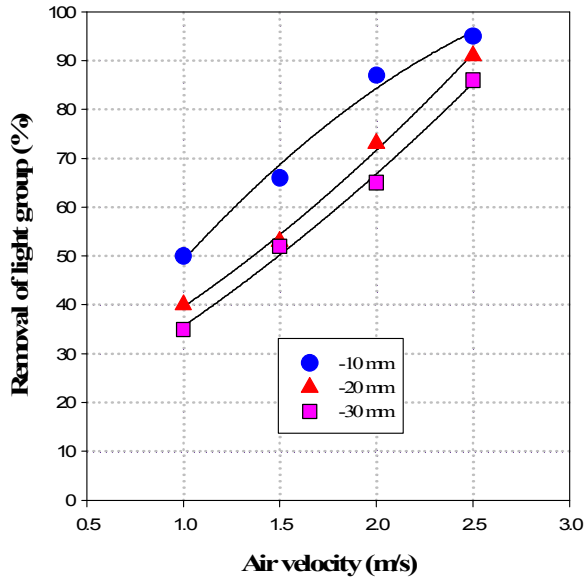
제 4 장. 실험결과 및 고찰

제 1 절 공기분급

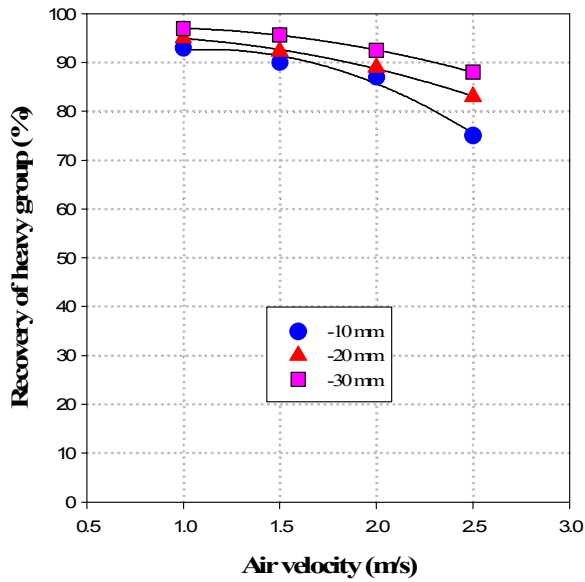
본 연구에서 자력 및 정전선별을 통해 목적하는 철 및 비철금속의 회수시 선별 효율을 저하시키는 해섬지 등의 저비중 물질의 제거가 선행되어야 한다. 따라서 공기분급기를 이용하여 토사, 유리조각 및 금속과 같은 고비중 그룹으로부터 종이, fluff 및 천과 같은 저비중 그룹의 제거 실험을 수행하였다. 공기분급 즉 비중선별의 경우 비중, 형상 및 입도크기가 선별효율에 영향을 미칠 수 있으므로 원시료의 입도크기를 각각 -10 mm, -20 mm 그리고 -30 mm 입도로 파쇄한 후 공기속도 변화에 따른 공기분급 실험을 수행하였다.

Fig. 4-1은 공기분급 실험에서 저비중그룹(종이, fluff 및 천)의 제거율 및 고비중그룹(토사, 유리조각 및 금속)의 회수율에 대한 공기 주입속도 영향을 나타낸 것으로 입도는 -10 mm ~ -30 mm로 각각 조절되었고 공기 주입속도는 1 ~ 2.5 m/s로 변화되었다. 실험결과, 먼저 Fig. 4-1 (a)의 저비중 그룹의 제거율은 전반적으로 공기속도의 증가에 따라 비례적으로 증가한 것을 알 수 있으며 입도 크기별 제거율 비교시 입도가 작아질수록 제거 효율이 증가하였다. 이는 저비중(종이, fluff 및 천)이면서 크기가 작은 입자들이 공기속도가 증가할수록 유체의 힘에 견디지 못하고 유체의 흐름을 따라 상단의 over flow stream 쪽으로 이동되기 때문으로 판단된다. 반면 Fig. 4-1 (b)의 고비중 그룹의 회수율의 경우 공기속도가 증가할수록 감소한 것을 알 수 있으며 입도크기별 회수율 비교시 입도가 작아질수록 회수율이 감소하였다. 이는 고비중(토사, 유리조각 및 금속)이면서 크기가 작은 입자들 또한 공기속도 증가에 따라 유체의 힘에 견디지 못하고 over flow stream으로 손실되기 때문으로 판단된다.

그림에서와 같이 저비중그룹의 제거율과 고비중그룹의 회수율을 고려한 최적 입도 및 공기속도 조건은 -10mm 및 2 m/s이었으며, 이때 저비중그룹의 제거율과 고비중그룹의 회수율은 각각 87.3 %와 87.1 %임을 확인하였다.



(a)



(b)

Fig. 4-1. Effect of air velocity on (a) removal of light group and (b) recovery of heavy group in pneumatic separation

제 2 절 자력선별

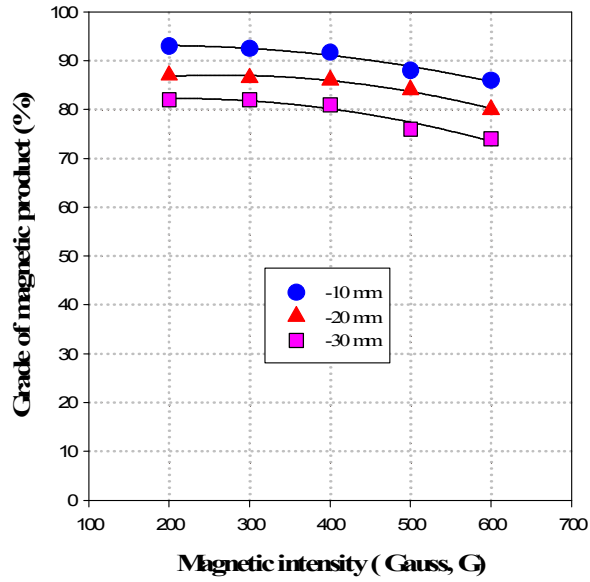
앞서 수행된 공기분급을 통해 회수된 고비중 그룹(토사, 유리조각 및 금속)으로부터 철(ferrous) 회수를 위한 자력선별 실험을 수행하였다. 본 실험에 이용된 자력선별기는 cross belt type으로써 하부에 벨트를 통해 시료가 이송되고 상부에 2개의 영구자석이 연속적으로 설치되어 선별효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

Fig. 4-2은 자력선별에서 자성산물의 품위와 회수율에 대한 자장세기의 영향을 나타낸 것이다. 실험 조건에 있어서, 먼저 적용된 입도는 저비중 산물이 제거된 -10 mm, -20 mm 및 -30 mm 크기의 고비중 산물이었으며 자장세기의 변화는 100 ~ 800 Gauss의 범위이었다.

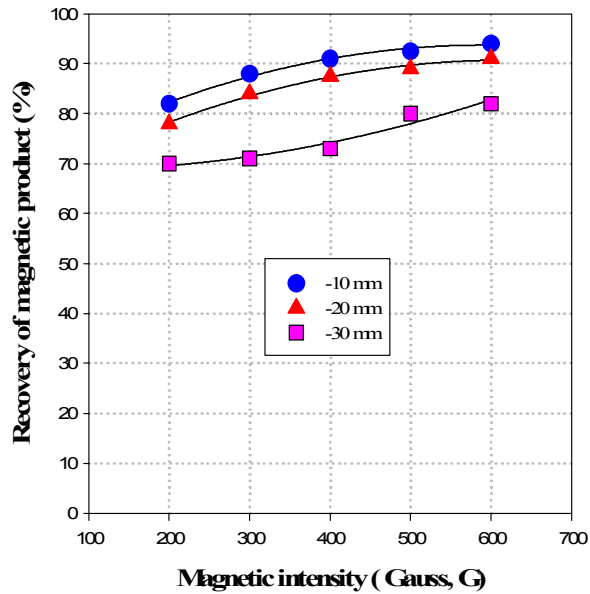
실험결과, Fig. 4-2 (a)의 자장 세기에 따른 품위 변화의 경우 자장의 세기가 증가함에 따라 품위는 감소하였다. 이는 자장의 세기가 강해질수록 미단체분리된 즉 자성 및 비자성산물이 결합된 형태로 존재하는 입자들이 회수준으로 동반 이동되어 품위가 점차 감소하는 것으로 판단된다. 또한 입도 크기별 품위 비교시 입도가 작을수록 품위가 높게 나타나는데, 이는 전처리 과정인 파분쇄시 입도크기가 작아질수록 자성산물과 비자성 산물의 단체분리도가 증가하기 때문으로 판단된다.

Fig. 4-2 (b)의 자성산물의 회수율은 자장의 세기가 증가할수록 회수율도 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 높은 비중을 가진 자성물질이 낮은 자장세기에서는 상단의 cross belt type의 자석에 의해 부착되지 못하다가 자장세기가 점차 강해질수록 cross belt type의 자석에 부착된 후 회수준으로 이동되기 때문에 회수율이 증가한 것으로 판단된다. 또한 입도 크기별 회수율 비교시 입도 크기가 증가할수록 회수율은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 동일한 자장의 세기를 기준으로 한 회수율 비교시 입도의 크기가 커질수록 즉 시료의 질량 증가에 따라 영구자석의 끌어당기는 힘이 약화되기 때문에 회수준으로 이동하는 자성산물의 회수율 감소하는 것으로 판단된다.

최종적으로 Fig. 4-2의 (a)와 (b)의 자성산물의 품위와 회수율을 고려한 최적 입도 및 자장세기의 조건은 -10mm 및 400 Gauss이었으며, 이때의 품위와 회수율은 각각 91.5 %와 91 %로 확인되었다.



(a)



(b)

Fig. 4-2. Effect of magnetic intensity on (a) grade and (b) recovery of magnetic products in magnetic separation

제 3 절 코로나 방전형 정전선별

본 절에서는 ASR내 존재하는 철 및 비철금속을 회수하기 위한 마지막 공정으로 써, 공기분급 및 자력선별을 통해 저비중 산물과 자성산물이 제거된 비자성 산물을 대상으로 정전선별 실험을 수행하였다. 본 실험에 이용된 선별장치는 Eriz 社에서 판매되고 있는 코로나 방전형 정전선별기를 사용하였으며 입도 적용에 있어서는 공기분급 및 자력선별 공정을 거친 - 10 mm 비자성 산물을 대상으로 cutting mill을 이용하여 -10mm, -6mm 및 -2mm의 입도로 분쇄하였다. 이는 - 10 mm 비자성 산물만을 정전선별에 이용할 경우 단체분리 특성 그리고 중력과 정전기력 사이의 상호작용에 있어서 그 적용이 어려울 것으로 판단되어 이들을 각각 -10mm, -6mm 및 -2mm의 입도로 조절하였다. 입도조절된 각 시료를 대상으로 전압세기, 드럼회전속도, 분리대위치 및 전극간의 거리에 따른 조건실험을 수행하여 각각의 품위와 회수율을 비교하였다.

1. 전압세기

Fig 4-3은 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 전압세기의 영향을 나타낸 것으로, 전압세기를 20 ~ 60 kV까지 변화시켜 실험한 결과이다. 이때 대상 시료의 입도는 각각 - 10 mm, - 6 mm 및 - 2 mm이었으며 고정 조건은 드럼회전속도 35 rpm, 분리대 위치 20° 및 전극간의 거리 15cm 이었다.

실험결과, Fig 4-3 (a)에서 비철금속의 품위는 전압세기가 증가할수록 50 kV까지 일정하게 증가하다 그 이후 감소하였다. 20 kV의 낮은 전압에서는 전도성 물질을 회수대로 편향시키는 정전기력이 약하여 품위가 가장 낮았으며 전압세기가 증가할수록 정전기력도 증가되어 품위가 점차 증가하였고 50 kV에서는 단체분리된 전도성 물질이 선택적으로 선별되기 때문에 품위가 가장 높게 나타난 것으로 판단된다.

또한 60 kV 이상의 고전압에서는 미단체분리된 전도성과 비전도성물질, 그리고

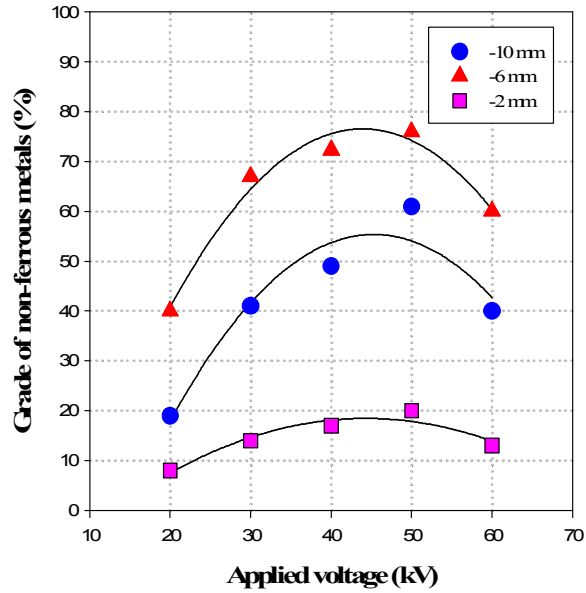
비전도성 물질(고무, 플라스틱 등)에 코팅된 금속물질이나 내부에 함유된 카본(carbon)의 영향으로 이들 비전도성물질이 전도성물질과 함께 회수되어 품위가 낮아진 것으로 판단된다.

한편, 입도크기에 따른 전도성물질의 품위 비교시 -6 mm의 입도가 -10 mm 입도보다 단체분리의 영향으로 보다 효과적이었다. 그러나 -2 mm의 입도의 경우 품위가 전체적으로 저하된 결과를 나타내었다. 이는 첫째 자력선별로부터 구한 비자성산물의 혼합비에 있어서 전도성물질: 비전도성물질= 10% : 90%로 비전도성물질의 함량이 대부분을 차지하고 있고 둘째 특히 미단체분리된 입도가 작아질수록 정전전적 인력이 증가하기 때문에 전도성물질과 함께 다량의 비전도성물질도 동반해서 회수대로 이동한 것으로 판단된다.

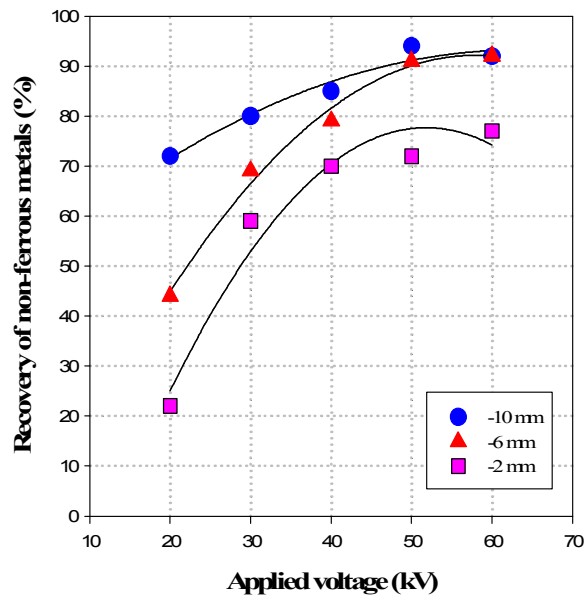
Fig 4-3 (b)는 전압세기에 따른 회수율의 변화를 나타낸 것이다. 실험결과 전압의 세기가 증가함에 따라 회수율도 비례적으로 증가하였다. 이는 전압세기가 증가할수록 동일 크기 및 비중에 의한 중력의 힘보다 정전기력이 상대적으로 증가하여 코로나 및 유도 전극 방향으로 보다 많은 입자들이 편향되어 회수율이 증가하기 때문이다.

입도크기에 따른 전도성물질의 회수율의 경우, 전압세기 20 ~ 40kV까지는 -10 mm 입도가 -6 mm의 입도 보다 더 높았으나 50kV 이상에서는 두 시료 모두 거의 비슷한 값을 나타내었다. 그러나 -2 mm의 입도의 경우 앞서 언급한 품위의 경우처럼 전체적으로 분리효율이 저하된 결과를 나타내었다. 이는 90% 이상의 다량의 비전도성물질과 미단체분리된 전도성/비전도성 입자들의 간섭현상으로 인해 전도성물질의 입자들이 목적하는 코로나 혹은 유도전극 쪽으로 편향되지 못하고 여러 방향으로 분분하여 회수율이 저하된 것으로 판단된다. 특히 -2mm 시료의 경우 실제 실험과정에서 미립의 입자들이 분분하면서 선별기 내부 곳곳에 부착된 현상을 발견하였으며 따라서 이들의 선별효율의 측정과 계산에 어려움을 겪었다.

최종적으로 Fig 4-3의 (a)와 (b)의 비철금속의 품위와 회수율을 고려한 최적 입도 및 전압세기는 -6 mm 및 50 kV 이었으며, 이때의 품위와 회수율은 각각 77.2 % 및 90.7 %로 확인되었다.



(a)



(b)

Fig. 4-3. Effect of applied voltage on (a) grade and (b) recovery of ASR in corona electrostatic separator

(Drum Speed : 35 rpm, Electrodes distance : 15 cm, Splitter Position : 20°)

2. 드럼회전속도

Fig 4-4는 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 드럼회전속도의 영향을 나타낸 것으로, 드럼회전속도를 30 ~ 45 rpm 까지 변화시켜 실험한 결과이다. 이때 대상 시료의 입도는 각각 -10 mm, -6 mm 및 -2 mm이었으며 고정조건은 전압세기 50 kV, 분리대 위치 20° 및 전극간의 거리 15 cm이었다.

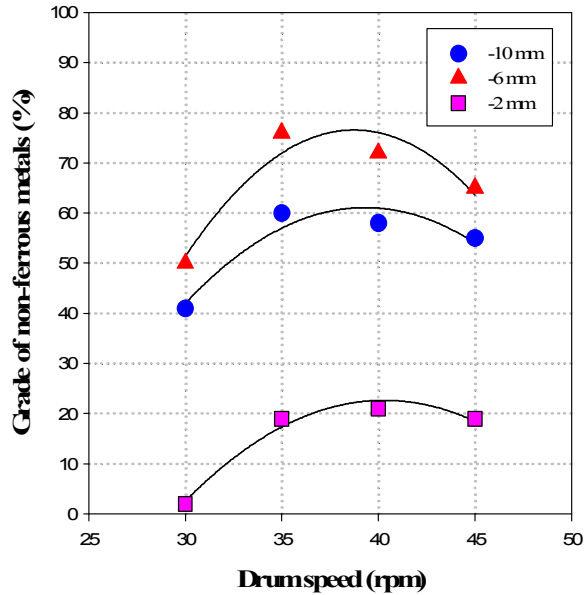
실험결과, Fig. 4-4 (a) 비철금속의 품위는 드럼회전속도 35 rpm까지 증가하다 이후 점차 감소하였다. 30 rpm의 드럼회전속도에서는 시료의 약한 원심력에 의해 회수대 방향으로 멀리 이동하지 않고 중력에 의해 드럼과 가까운 곳에 낙하하기 때문에 품위가 낮은 것으로 판단된다. 회전속도가 증가함에 따라 품위도 증가하게 되는데 회전속도 35 rpm에서 가장 높은 품위를 나타내어 이 조건이 전도성물질의 품위에 대한 최적 조건임을 알 수 있었다. 이후 45 rpm 이상으로 증가할수록 강한 원심력에 의해 비철금속이 외에 고무 및 플라스틱 등의 비전도성 산물까지 회수되어 품위가 감소된 것으로 판단된다.

한편, 입도크기에 따른 전도성물질의 품위 비교시 -6 mm 입도가 -10 mm 입도에 비해 단체분리의 영향으로 효과적임을 알 수 있었다. 그러나 -2 mm 입도의 경우 타 입도에 비해 낮은 품위를 나타내는데 이는 입도가 작아질수록 원심력의 영향은 약해진 반면 90% 이상의 다량의 비전도성물질과 미단체분리된 전도성/비전도성 입자들이 정전전적 인력에 의해 전도성물질과 함께 회수대로 이동한 것으로 판단된다.

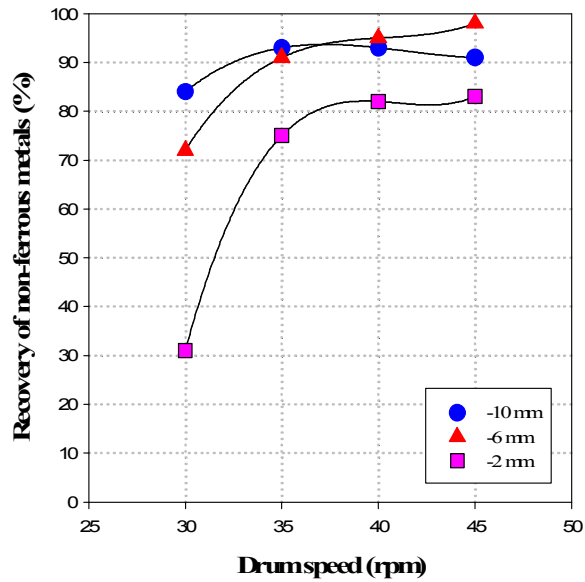
Fig. 4-4 (b)는 드럼회전속도에 따른 회수율의 변화 결과를 나타낸 것이다. 실험결과 드럼회전속도가 증가함에 따라 회수율도 비례하여 증가하였다. 이는 드럼회전속도의 증가에 따라 동일 시료에 대한 원심력도 증가하여 전도성물질이 보다 더 멀리 회수대 방향으로 궤적을 그리며 낙하하게 된다. 또한 보다 더 멀리 궤적을 그린 입자에 대한 전기장의 증가에 따라 정전기력도 증가하여 회수대 방향으로 편향되는 전도성 입자가 많아져 회수율이 증가한 것으로 사료된다.

입도크기에 따른 전도성물질의 회수율의 경우, 드럼회전속도 30 ~ 35 rpm까지는 -10 mm 입도의 회수율이 -6 mm의 입도 보다 더 높았으나 40 rpm 이상에서는 -6 mm가 -10 mm 입도보다 더 높은 회수율을 나타내었다. 그러나 -2 mm의 입도의 경우 두 시료의 보다 더 상대적으로 낮은 회수율을 보였다. 이는 다량의 비전도성물질과 미단체분리된 전도성/비전도성 입자들의 간섭현상으로 인해 전도성물질의 입자들이 목적하는 회수대 방향으로 편향되지 못하고 여러 방향으로 분분하여 회수율이 저하된 것으로 판단된다.

Fig 4-4의 (a)와 (b)의 비철금속의 품위와 회수율을 고려한 최적 입도크기와 드럼회전속도는 -6 mm 및 35 rpm 이었으며, 이때의 품위와 회수율이 각각 77.2% 및 90.7%인 결과를 얻을 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 4-4. Effect of drum speed on (a) grade and (b) recovery of ASR
 in corona electrostatic separator
 (Applied voltage : 50 kV, Electrodes distance : 15 cm, Splitter position : 20°)

3. 분리대 위치

Fig 4-5는 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 분리대 위치(각도)의 영향을 나타낸 것으로, 분리대 위치를 10 ~ 50° 까지 변화시켜 실험한 결과이다. 이때 대상 시료의 입도는 각각 -10 mm, -6 mm 및 -2 mm이었으며 고정조건은 전압세기 50 kV, 드럼회전속도 35 rpm 및 전극간의 거리 15 cm이었다.

실험결과, Fig. 4-5 (a)에서 보는 바와 같이 비철금속의 품위는 분리대 위치가 전도성산물의 회수준으로 이동할수록 즉, 분리대의 각도가 커질수록 증가하는 것을 알 수 있다. 10°의 작은 분리대 각도에서는 전도성산물의 회수준이 넓어지기 때문에 전도성 물질과 함께 다량의 비전도성 물질들도 이동되어 품위가 낮았으며 분리대 각도가 커질수록 전도성 물질의 회수준이 좁아지게 되고 따라서 전도성 물질의 회수준으로 비전도성 물질들 편향되지 못하기 때문에 전도성물질의 품위는 증가한 것으로 판단된다. 그림에서와 같이 분리대 위치 20°을 기준으로 그 이상으로 갈수록 품위의 곡선 기울기가 완만하고 큰 변화없이 분리대 위치 20°이 적정 조건임을 알 수 있었다.

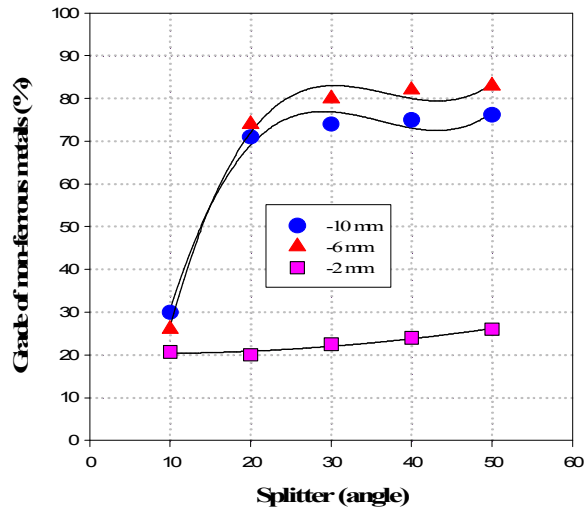
한편, 입도크기에 따른 전도성물질의 품위 비교시 -6 mm 입도가 -10 mm 입도에 비해 상대적으로 효과적임을 알 수 있었다. 이는 첫째 -6 mm 입도가 -10 mm에 비해 단체분리도가 높고 둘째 동일한 분리대 위치를 기준하여 시료의 입도가 작은 즉, -6 mm의 전도성입자에 대해 정전기력 및 원심력의 힘이 크게 작용하기 때문에 회수준으로 멀리 편향되어 낙하하기 때문이다. 그러나 -2 mm 입도의 경우 타 입도에 비해 낮은 품위를 나타내는데 이는 입도가 작아질수록 다량의 비전도성물질과 미단체분리된 전도성/비전도성 입자들이 정전전적 인력에 의해 전도성물질과 함께 선별기 내부에서 분분하여 전도성 물질의 회수대로 이동한 것으로 판단된다.

Fig. 4-5 (b)는 분리대 위치에 따른 회수율의 변화 결과를 나타낸 것이다. 실험결

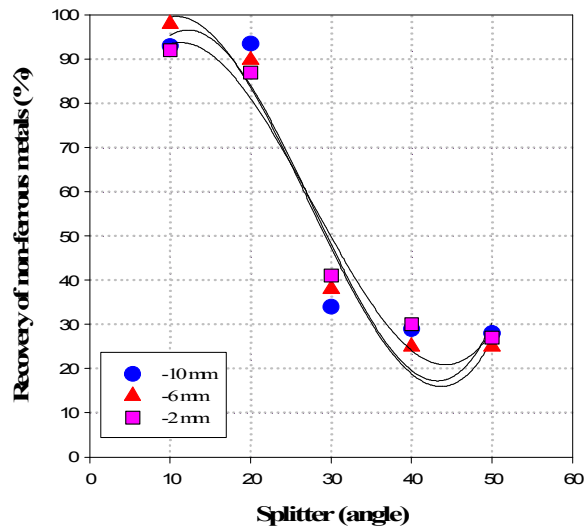
과, 분리대 위치 즉 각도 커짐에 따라 회수율은 감소하였다. 이는 분리대 각도가 커짐에 따라 비전도성 물질의 회수존이 넓어져 하전량이 적은 비철금속들은 전도성 물질의 회수존으로 편향되지 못하기 때문에 회수율은 감소한 것으로 판단된다.

입도크기에 따른 전도성물질의 회수율의 경우, - 10 mm, - 6 mm 및 - 2 mm의 입도 모두 분리대의 각도 30°이상에서 급격한 회수율 변화를 나타내었다. 이는 분리대 각도가 커짐에 따른 전도성 물질의 회수존이 감소하여 전도성 물질 및 미단체분리된 전도성/비전도성 물질이 편향되지 못하여 회수율이 감소한 것으로 사료된다. 이와 같이 분리대 위치가 전도성물질의 회수율 변화에 큰 영향을 미침에 따라 본 코로나 방전형 정전선별의 실험조건 중 분리대위치가 중요한 변수 중에 하나임을 확인할 수 있었다.

최종적으로 Fig 4-5의 (a)와 (b)의 비철금속의 품위와 회수율을 고려한 최적의 분리대 위치는 품위와 회수율을 고려하였을 때 입도도크기와 분리대 위치는 - 6 mm 및 20° 이었으며, 이때의 품위와 회수율은 각각 78.2% 및 89.8%였다.



(a)



(b)

Fig. 4-5. Effect of splitter position on (a) grade and (b) recovery of ASR in corona electrostatic separator

(Drum Speed : 35 rpm, Voltage : 50 kV, Electrodes distance : 15 cm)

4. 전극간의 거리

Fig 4-6는 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위와 회수율에 대한 전극간 거리의 영향을 나타낸 것으로, 전극간의 거리를 10 ~ 30 cm 까지 변화시켜 실험한 결과이다. 이때 대상 시료의 입도는 각각 - 10 mm, - 6 mm 및 - 2 mm이었으며 고정조건은 전압세기 50 kV, 드럼회전속도 35 rpm 및 분리대 위치 20°이었다.

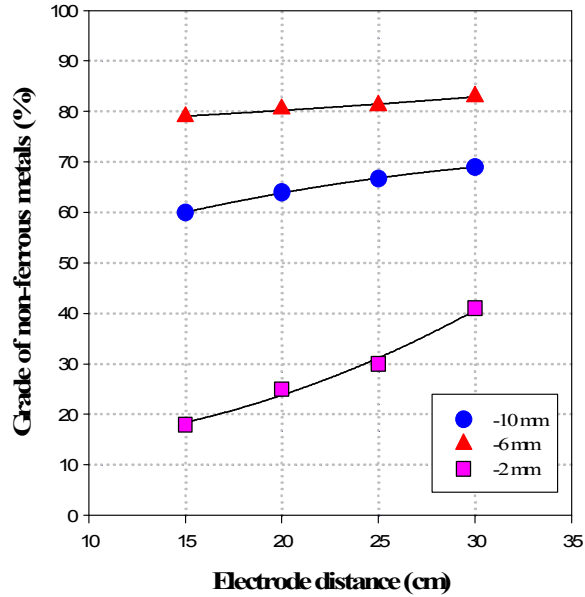
실험결과, Fig 4-6 (a) 비철금속의 품위는 전극간의 거리가 멀어질수록 품위는 증가하였다. 전극간 거리 15 cm와 같이 거리가 짧을 경우 정전기력이 강해져 전도성물질과 함께 미단체분리된 물질들까지 회수대로 편향되어 품위가 낮게 나타났다. 이와 반대로 전극간의 거리가 멀어질수록 미단체분리된 시료에 포함된 비전도성물질을 회수대로 편향시키는 작용하는 정전기력이 감소하기 때문에 품위가 높게 나타는 것으로 판단된다.

한편, 입도크기에 따른 전도성물질의 품위 비교시 - 6 mm의 입도가 - 10 mm 입도보다 단체분리의 영향으로 보다 효과적이었다. 그러나 - 2 mm의 입도의 경우 품위가 전체적으로 저하된 결과를 나타내었다. 이는 첫째 자력선별로부터 구한 비자성산물의 혼합비에 있어서 전도성물질: 비전도성물질 = 10 % : 90 %로 비전도성물질의 함량이 대부분을 차지하고 있고 둘째 특히 미단체분리된 입도가 작아질수록 정전전적 인력이 증가하기 때문에 전도성물질과 함께 다량의 비전도성물질도 동반해서 회수대로 이동한 것으로 판단된다.

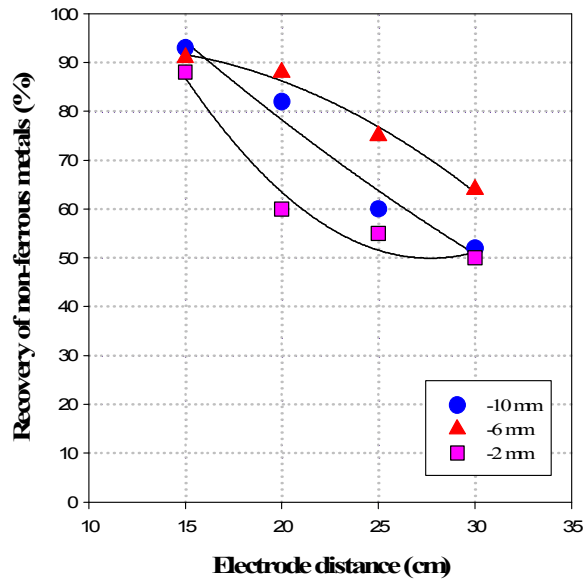
Fig 4-6 (b)는 전극간 거리에 따른 회수율의 변화 결과를 나타낸 것으로 전극간 거리가 증가함에 따라 회수율은 감소하였다. 이는 전극간 거리가 증가함에 따라 동일 시료에 작용하는 정전기력이 약해져 상당량의 전도성 물질이 비전도성 물질의 회수대 방향으로 낙하되기 때문이다. 즉 정전기력에 비해 중력의 영향이 증가하여 회수율이 감소한 것으로 사료된다. 특히 전극간의 거리 10 cm 에서는 입도와 상관 없이 전극간 방전으로 인해 스파크가 발생하여 이 조건 이하에서는 선별 가능성이 없음을 확인할 수 있었다.

입도크기에 따른 전도성물질의 회수율의 경우, 전극간 거리 15 cm에서 - 10 mm 입도의 회수율이 - 6 mm의 입도 보다 더 높았으나 20 cm 이상에서는 - 6 mm가 - 10 mm 입도보다 더 높은 회수율을 나타내었다. 이는 동일한 자장의 세기를 기준으로 한 회수율 비교시 입도의 크기가 커질수록 즉 시료의 질량 증가에 따라 중력의 힘이 정전기력보다 더 커져 목적하는 회수대 방향으로 보다 더 멀리 편향하지 못하고 낙하하기 때문으로 판단된다. 한편 - 2 mm의 입도의 경우 두 시료의 보다 더 상대적으로 낮은 회수율을 보였다. 이는 시료의 90%를 구성하고 있는 비전도성물질과 미단체분리된 전도성/비전도성 입자들의 간섭현상으로 인해 전도성물질의 입자들이 전도성 물질 회수대 방향으로 편향되지 못하고 여러 방향으로 선별기 내부에서 분분하여 회수율이 저하된 것으로 판단된다.

Fig 4-4의 (a)와 (b)의 비철금속의 품위와 회수율을 고려한 최적 입도크기와 전극간의 거리는 - 6 mm 및 15 cm 이었으며, 이때의 품위와 회수율이 각각 79.2% 및 90.7%인 결과를 얻을 수 있었다.



(a)



(b)

Fig. 4-6. Effect of distance between the induction electrode on (a) grade and (b) recovery of ASR in corona electrostatic separator
 (Drum Speed : 35 rpm, Voltage : 50 kV, Splitter Position : 20°)

제 5 장. 결 론

본 연구에서는 폐자동차 재활용에 있어서 이슈가 되고 있는 ASR(폐차파쇄잔재물)로부터 비철금속을 회수하기 위한 분급, 자력선별 및 정전선별 등의 물리적 선별 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) ASR 원시료를 대상으로 수선별한 성분분석 결과, 철, 비철 및 비자성물질이 각각 4.1 %, 3.2 % 그리고 92.7 %로 구성되어 있음을 확인하였다. 이를 대상으로 슈레더(shredder)를 이용하여 각각 -10mm, -20mm 및 -30mm의 3구간으로 파쇄하여 공기분급 및 자력선별에 적합한 시료를 제조할 수 있었다.

2) 공기분급 실험결과, 공기속도가 증가할수록 저비중 그룹의 제거율은 증가되었으며 고비중 그룹의 회수율은 감소함을 확인하였다. 입자크기와 공기속도가 각각 -10 mm 및 2 m/s인 조건에서 저비중 산물을 효과적으로 제거할 수 있었으며 이때 고비중 그룹의 회수율과 저비중 그룹의 제거율이 각각 87.3 % 와 87.1 %인 산물을 얻을 수 있었다.

3) 자력선별 실험결과, 자력세기가 증가할수록 자성산물의 품위와 회수율이 증가하였다. 입자크기와 자력세기가 각각 -10 mm 및 400 Gauss인 조건에서 자성산물의 품위와 회수율을 각각 91.5 %와 91 %인 산물을 얻을 수 있었다.

4) 비자성 산물을 대상으로 cutting mill을 이용하여 정전선별에 적합한 입도조절을 수행하였으며 각각 -1 mm, -2 mm, -6 mm 및 -10 mm의 시료를 제조하였다. 코로나 방전형 정전선별 실험결과, 분리효율은 -6 mm 입도가 가장 우수하였으며 드럼회전속도 35 rpm, 전압세기 50 kv, 분리대 위치 20° 및 전극간의 거리 15 cm의 조건에서 비철금속의 품위와 회수율이 79.2% 및 90.7%인 결과를 얻을 수 있었다.

5) 한편 2 mm 이하의 입도에서는 미단체분리된 작은 입자들은 중력에 비해 정전기력의 영향을 받기 때문에 상당량의 비전도성물질들이 회수조에 혼입되어 전도성물질의 품위가 현저히 감소하는 현상이 관찰되었다.

6) 이상의 연구로부터 ASR 선별을 위한 과분쇄 및 혼합선별공정을 개발하였다. 먼저 공기분급 및 자력선별 실험결과, -10 mm 입도크기에서 각각 저비중을 그룹을 87.1% 이상 제거할 수 있었고 자성산물의 품위와 회수율이 각각 91.5 %와 91 %인 산물을 얻을 수 있었다. 최종공정인 코로나 방전형 정전선별로부터 -6mm 입도에서 전도성산물의 품위와 회수율이 각각 79.2% 및 90.7%인 산물을 생산할 수 있었다.

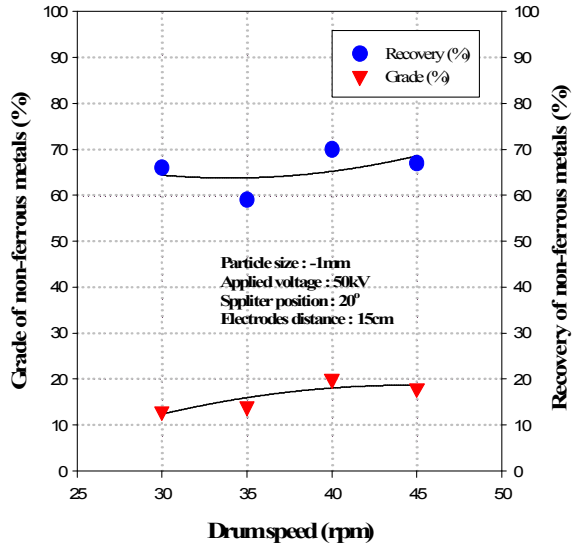
7) 코로나 방전형 정전선별에서 비철금속의 품위향상을 위한 단체분리는 필수적이다. 본 연구에서 미립자 시료의 경우 타 입도에 비해 상대적으로 품위가 낮은 경향을 보인다. 따라서 향후 연구에서는 미립자 ASR 선별에 대한 추가 연구가 요구된다.

참고문헌

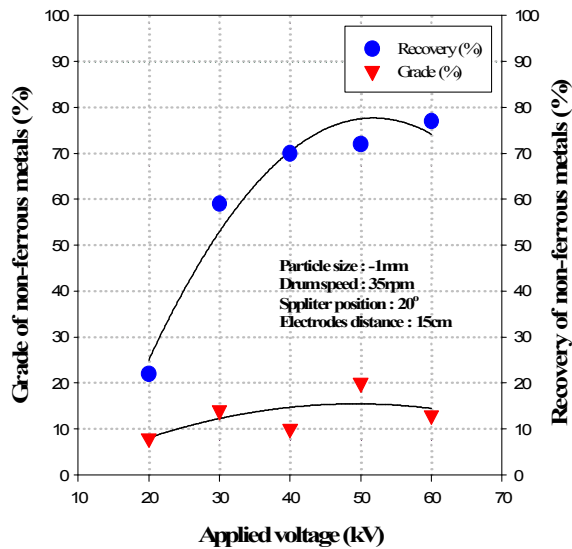
- 박철현, 2007, “마찰하전 정전선별법에 의한 혼합 플라스틱의 하전특성 및 분리효율에 관한 연구”, 한양대학교 박사 학위논문
- 이윤섭, 2015, “ASR로부터 철 및 비철금속 선별”, 조선대학교 석사 졸업논문
- 정밤빛, 2007, “풍력선별을 이용한 혼합폐플라스틱 재질분리에 관한 연구”, 수원대학교 석사 졸업논문
- 이화영, 오종기, 2005, “폐 자동차 ASR의 풍력 및 비중선별에 의한 처리연구”, 한국자원리사이클링학회, Vol. 14, No. 2, pp.3-9
- 이화영, 2007, “ASR 조각재의 이화학적 물성 및 재활용을 위한 기초연구”, 한국자원리사이클링학회, Vol. 16, No. 2, pp.32-39
- 한성수, 2015 “코로나 정전선별기 내 PCB 입자의 이동궤도에 대한 전산모사”, 한양대학교 석사 졸업논문
- 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
- Kang, H. Y., 2012 : “Current Status of Research and Development on the Recycling of By-products in the Domestic Industry“, 2012 KNA Environment Forum, pp. 168-195
- Cui, J. Forssberg, E., 2003, “Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review”, J. Hazard. Mater, Vol. B99, pp. 243-263.
- Morselli Luciano, Santini Alessandro, Passarini Fabrizio, Vassura Ivano, 2010, “Automotive shredder residue (ASR) characterization for a valuable management”, Waste Management, Vol. 30, No. 11, pp. 2228-2234
- Younes A, Younes M, Sayah H, Bilici M, Samuila A, Dascalescu L, 2013, “Effect of spark discharges on the trajectories of insulating particles in roll-type corona-electrostatic separators. Experimental and numerical

- study", Journal of Electrostatics, Vol. 71, No. 1, pp. 84-91
- 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.
- Manouchri, H. R., 2000, "Review of electrical separation methods", Mineral and Metallurgical processing, Vol. 17, pp.23-36
- 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

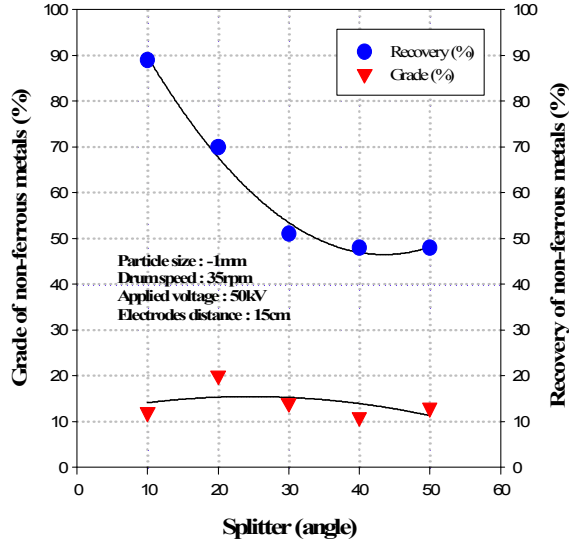
부 록



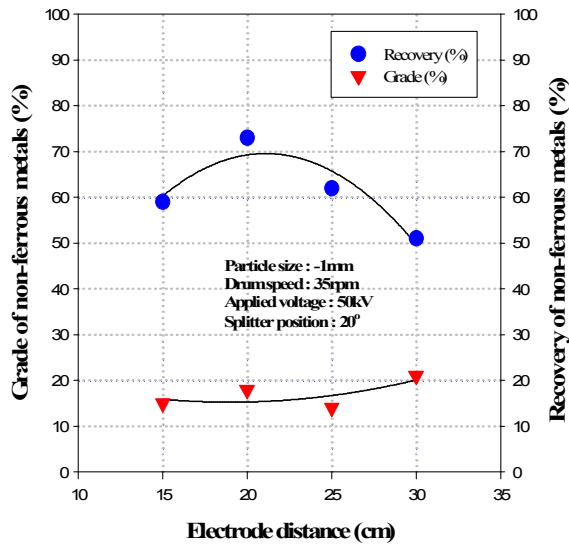
Appendix 1. Effect of drum speed on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



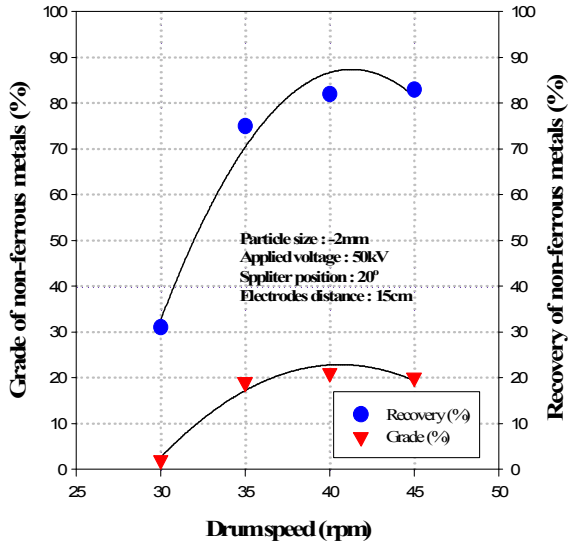
Appendix 2. Effect of applied voltage on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



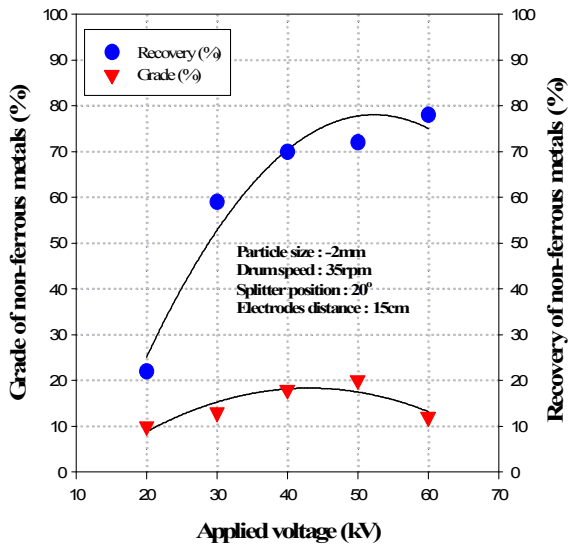
Appendix 3. Effect of splitter position on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



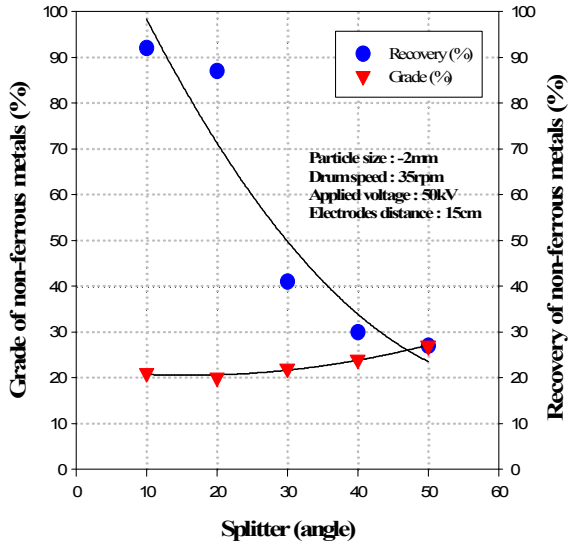
Appendix 4. Effect of distance between the induction electrode on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



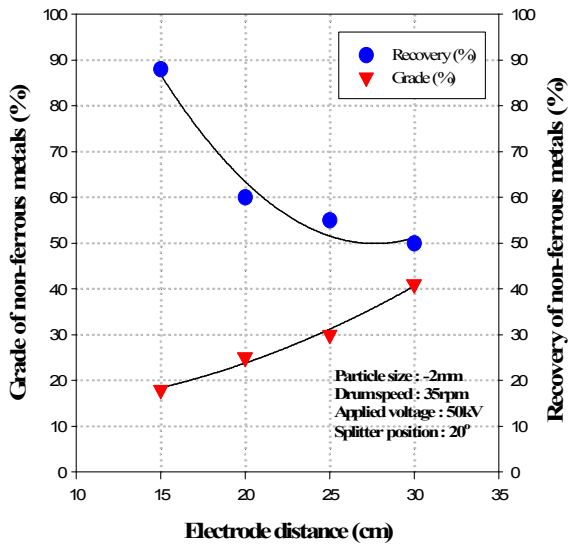
Appendix 5. Effect of drum speed on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



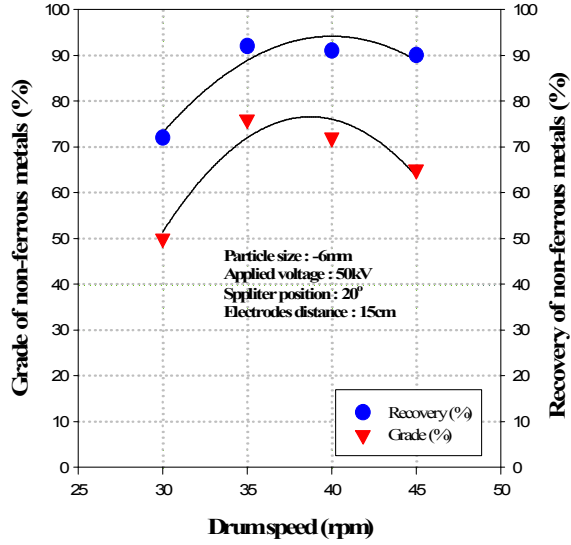
Appendix 6. Effect of applied voltage on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



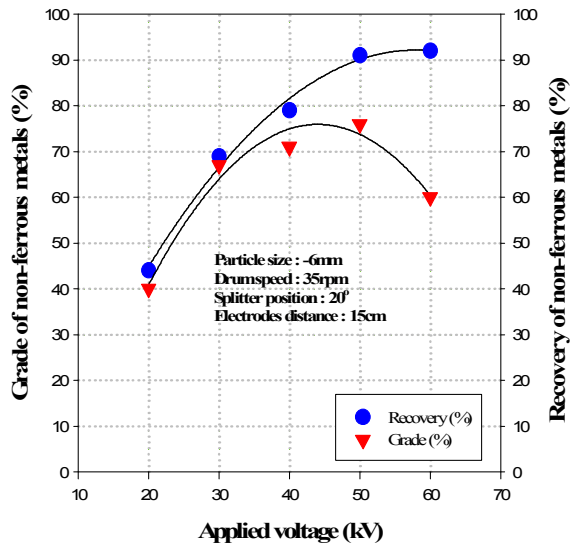
Appendix 7. Effect of splitter position on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



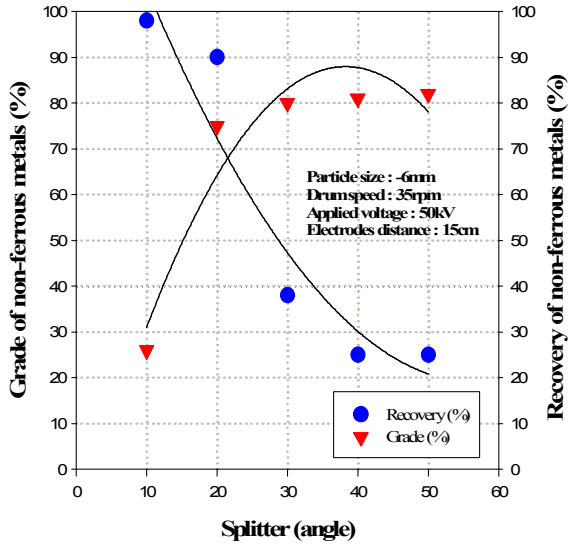
Appendix 8. Effect of distance between the induction electrode on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



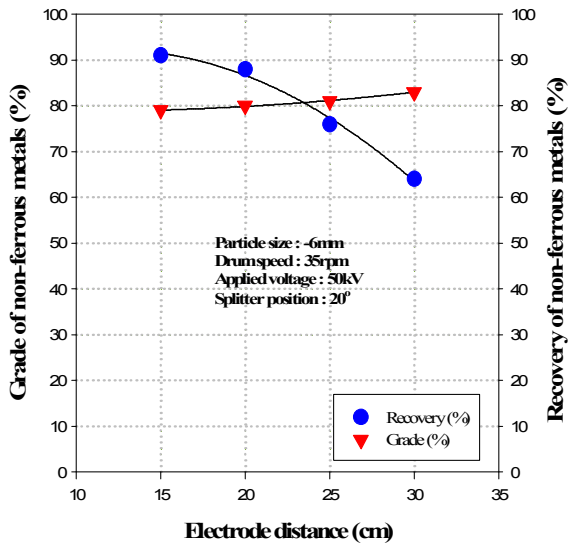
Appendix 9. Effect of drum speed on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



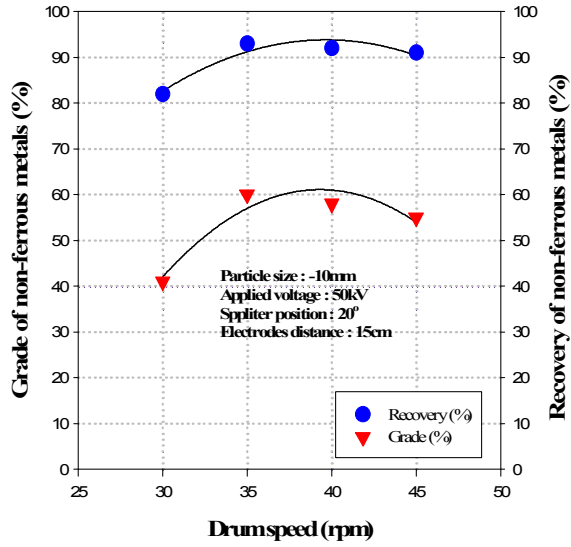
Appendix 10. Effect of applied voltage on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



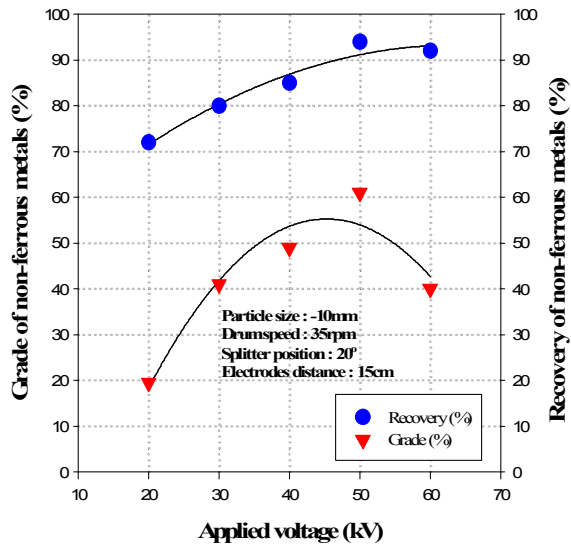
Appendix 11. Effect of splitter position on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



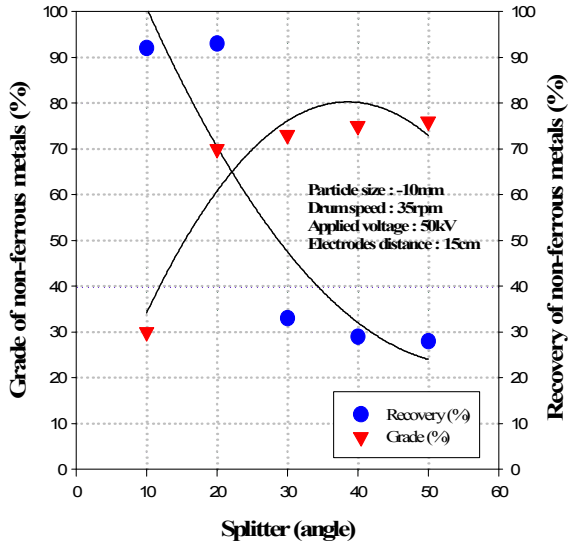
Appendix 12. Effect of distance between the induction electrode on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



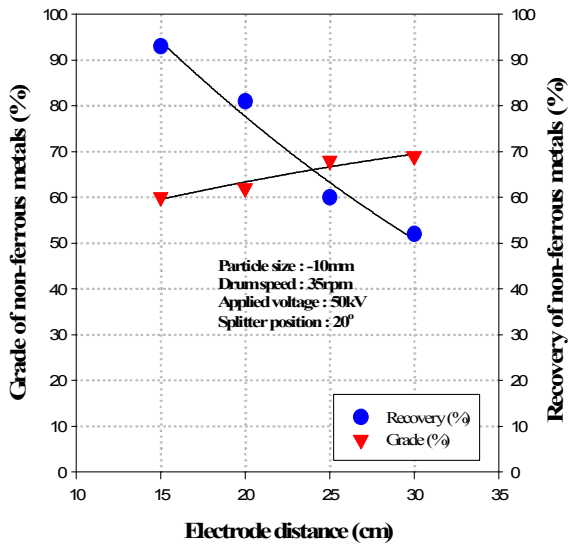
Appendix 13. Effect of drum speed on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



Appendix 14. Effect of applied voltage on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



Appendix 15. Effect of splitter position on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator



Appendix 16. Effect of distance between the induction electrode on grade and recovery of ASR in corona electrostatic separator