Organic Waste Treatment and Composting

Chapter 5. 물질의 회수

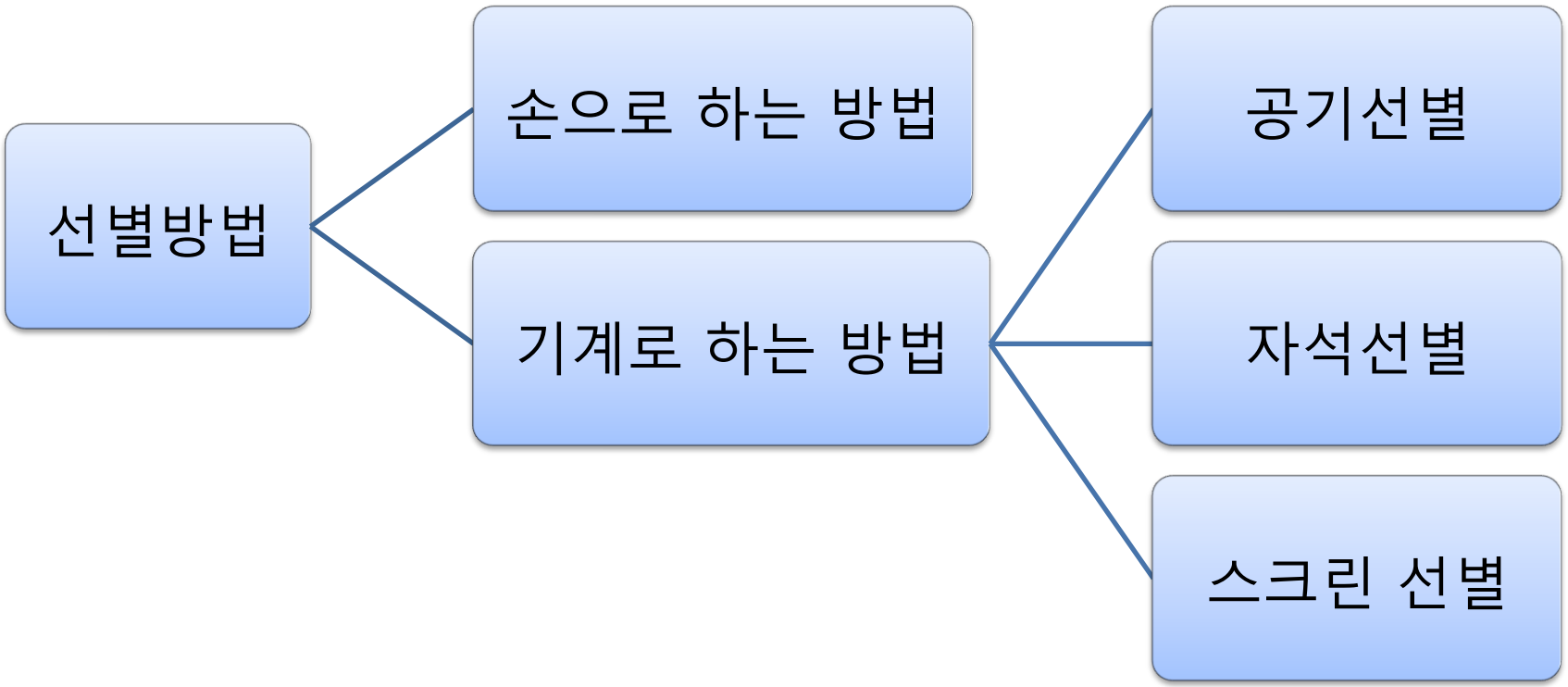
박 성 직

1. 물질회수

- 물질 회수?
  - 폐기물을 처리 또는 처분하기 전에 재활용 가능한 성분을 선별、수집하는 것
- 전형적인 도시 폐기물 성분
  - ① 음식물류 ② 종이류 ③ 플라스틱류 ④ 금속류 ⑤ 유리류 ⑥ 고무/가죽류 ⑦ 목재류 ⑧ 섬유류 ⑨ 연탄재
- 국내 성분별 평균 구성비율 (2003)
  - ① 음식물류 : 23.4 %
  - ② 연탄재 : 1.2 %
  - ③ 종이류 : 11.1 %
  - ④ 금속. 유리류 : 6.6 %
  - ⑤ 고무. 가죽류, 목재. 섬유류 : 5 % 미만

1. 물질회수

- 선별 방법



2. 인력선별

- 인력선별?
  - 콘베이어 벨트(conveyer belt)를 이용하여 손으로 종이류, 플라스틱류, 금속류, 유리류 등을 분류하는 방법
- 특성
  - 사람이 직접 손으로 분류하기 때문에 정확도가 높고 파쇄공정으로 유입되기 전에 폭발가능성이 있는 위험물질을 분류 가능
  - 사람이 더러운 작업에 직접 노출되기 때문에 먼지흡입, 악취, 뾰족한 물체로 인해 다치는 수가 있고 기계적인 선별보다 작업량이 떨어질 수 있음

2. 인력선별

- 콘베이어
  - ① 고무벨트식
    - 생쓰레기를 운반하는 데는 부적합하지만 공기선별한 쓰레기 등 비교적 고운 물질의 운반에는 적합
  - ② 진동식

2. 인력선별

③ 공기식

- 주로 병원이나 대형빌딩에서 봉지에 넣은 생쓰레기를 수송하는 데 사용

④ 나사식

- 쓰레기 저장시설에서 흔히 이용

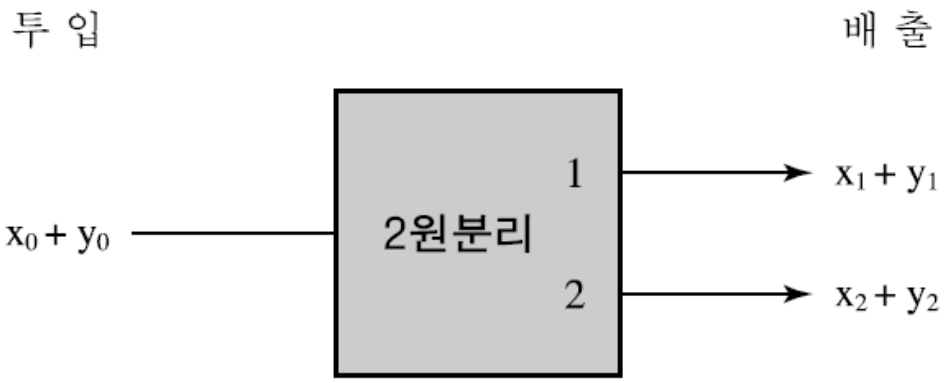
3. 분리 이론

- 기계적인 선별 장치에 의한 선별 효율
  - 회수율

$$x \text{ 회수율} = \frac{x_1}{x_0}$$

여기서, x_1 : 회수된 x의 순량

x_0 : 투입된 x의 총량



x : 회수 대상 물질
y : 기타 도시 폐기물

첨자 0 : 투입
1 : 회수
2 : 제거

  - 기각율

$$y\text{기각률} = 1 - \frac{y_1}{y_0} = \frac{y_0 - y_1}{y_0} = \frac{y_2}{y_0}$$

여기서, y_0 : 투입된 기타 폐기물의 양

y_1 : 회수되는 기타 도시 폐기물의 양

y_2 : 제거되는 기타 폐기물의 양

3. 분리 이론

– 선별 효율

- Worrell 식

$$\text{선별효율}(E) = (x \text{ 회수율})(y \text{ 기각률}) \times 100(\%)$$

$$= \frac{x_1}{x_0} \cdot \frac{y_2}{y_0} \times 100(\%)$$

- Rietema 식

$$E = |(x \text{ 회수율}) - (y \text{ 회수율})| \times 100(\%) = \left| \frac{x_1}{x_0} - \frac{y_1}{y_0} \right| \times 100(\%)$$

3. 분리 이론

- 예) 투입량이 1 ton/h이고, 회수량이 600 kg/h(그 중 회수대상물질은 550 kg/h)이며 제거량은 400 kg/h(그 중 회수대상물질은 70 kg/h)일 때 회수율을 위의 두 가지 방법으로 계산하시오.

4. 스크린 선별

- 스크린 선별?
  - 구성의 폐기물을 스크린의 크기에 따라 분류하는 방법으로 유리를 회수하거나 재 등의 미세물질을 제거
  - 파쇄된 폐기물에서 종이나 플라스틱 등 크기가 큰 유기물질을 회수하는 데 이용
- 스크린의 종류

① 회전 스크린(rotating screen) : 일반적으로 도시폐기물 선별에 많이 사용하는 스크린이다 (trommel screen이 대표적).

② 진동 스크린(vibrating screen) : 주로 골재 분리에 많이 이용한다. 체경이 막히는 문제가 발생할 수 있다.

4. 스크린 선별

- 스크린의 위치에 따른 분류
  - Post-screening : 파쇄 → 스크린
    - 선별효율의 증진을 목적
  - Pre-screening : 스크린 → 파쇄
    - 파쇄설비의 보호를 목적

4. 스크린 선별

- 트롬멜 스크린
  - 스크린 중에서 선별효율이 가장 좋고 또한 유지관리상의 문제가 적음
  - 선별효율에 영향을 주는 인자
    - ① 체의 눈 크기
    - ② 폐기물의 부하와 특성
    - ③ 직경(길이가 길면 효율은 증진되나 동력소모가 많다.)
    - ④ 경사도(경사도가 크면 효율도 떨어지고 부하율도 커진다. 대개 2~3°
    - ⑤ 회전속도(rpm)
  - 회전속도

$$n_c(\text{임계속도}) \times 0.45 = \text{최적속도}$$

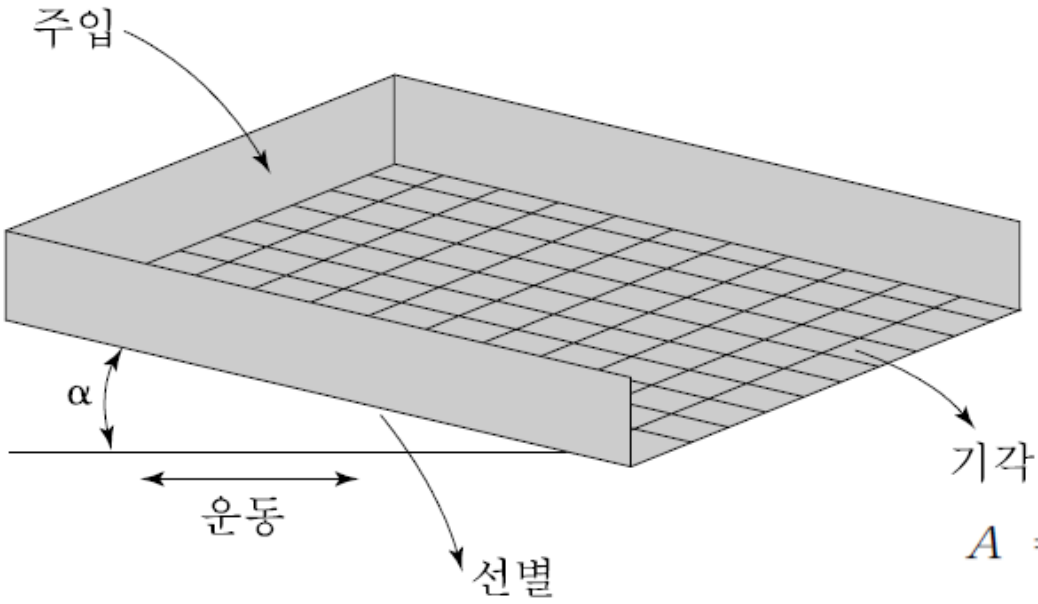
$$n_c = \sqrt{\frac{g}{4\pi^2 r}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{r}}$$

4. 스크린 선별

- 예) 직경이 2.7 m인 trommel screen의 임계속도 n_c를 구하라

4. 스크린 선별

- 진동스크린
  - 주로 골재 분리에 많이 이용



$$A = \frac{Q}{C_u} F$$

여기서, A : 스크린의 넓이(ft^2)

Q : 스크린의 부하(tons/h)

C_u : 단위용량(ton/h/ft^2)

F : 생산품 보정 계수(product correction factor)

4. 스크린 선별

- 디스크 스크린
  - 디스크가 연결된 평행 수평축들로 되어 있고 미소물은 디스크 사이의 틈으로 떨어져서 분리
  - 잔류물은 콘베이어와 같이 디스크의 윗부분을 타고 넘어가게 되고 미소물 크기 입자 조절은 디스크 사이의 공간을 조절하여 조절

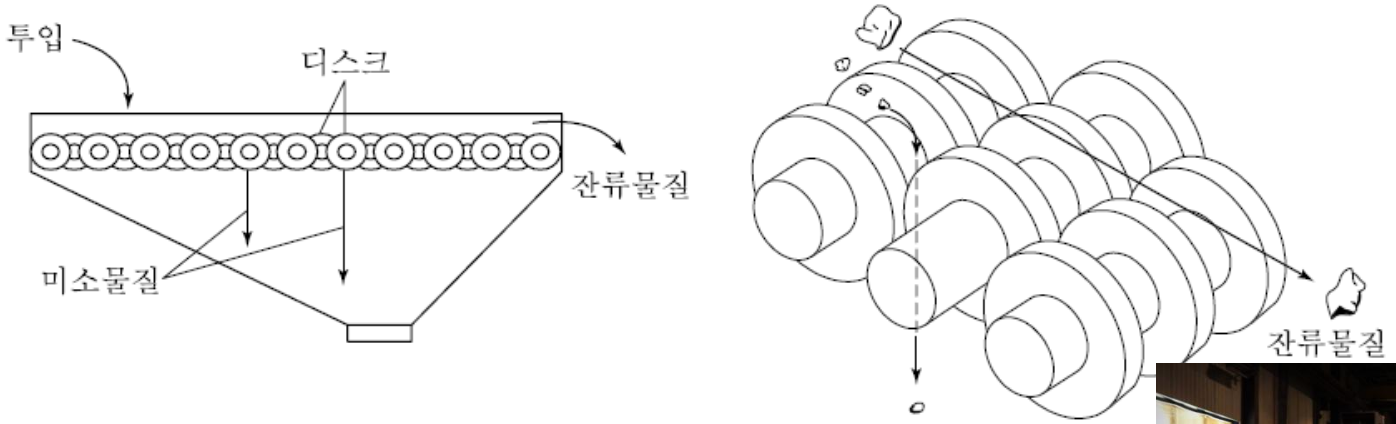
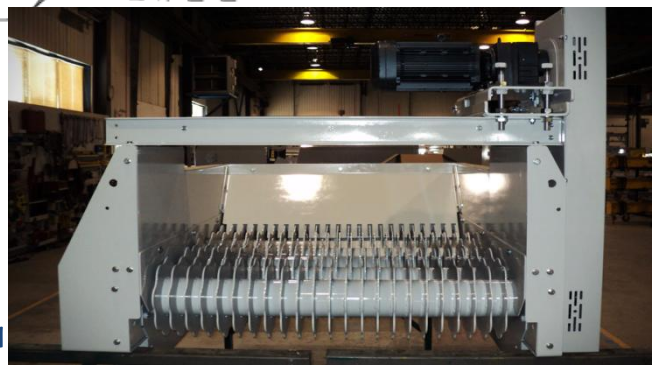


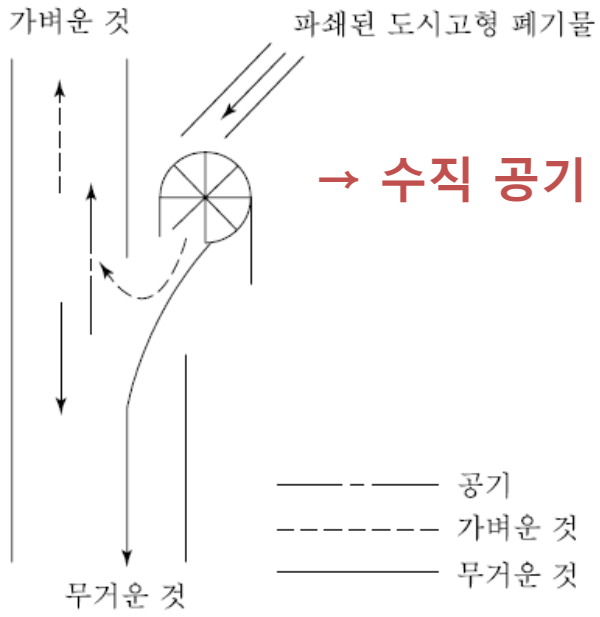
그림 4-10 디스크 스크린



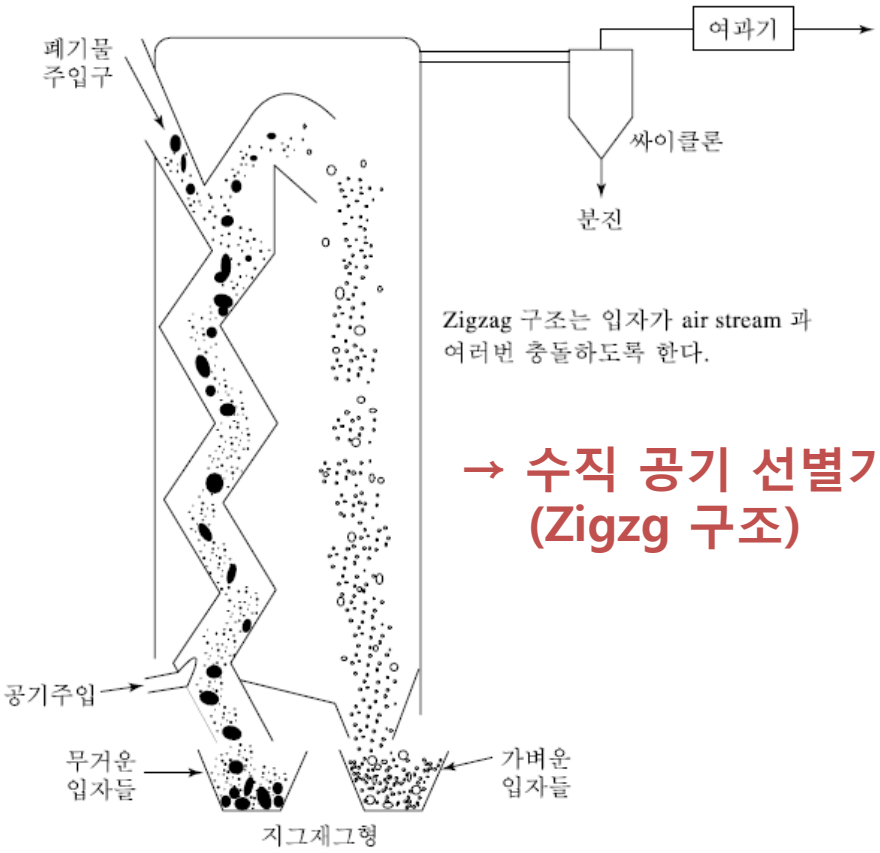
5. 공기 선별

- 공기선별
  - 폐기물내의 가벼운 물질인 종이나 플라스틱류를 기타 무거운 물질로 부터 선별
- 공기 선별장치의 종류
  - 수직 공기 선별기(vertical air classifier)
    - 슈트 아래에서 위로 공기를 주입시켜 가벼운 것은 위로 뜨고 무거운 것은 아래로 떨어뜨림
  - 경사 공기 선별기(inclined air classifier)
    - 중력에 의해 입구로 들어온 폐기물을 진동판(vibrater)에 의해 가벼운 것과 무거운 것으로 분리. 무거운 것은 아래로 떨어지고 가벼운 것은 공기주입에 의해 위로 날아가도록 설계

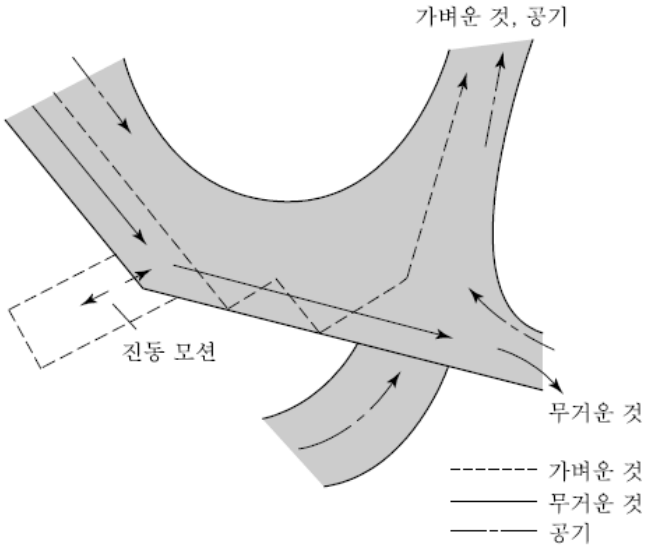
5. 공기 선별



→ 수직 공기 선별기



→ 수직 공기 선별기
(Zigzg 구조)



→ 경사 공기 선별기

5. 공기 선별

- 공기 선별기의 성능

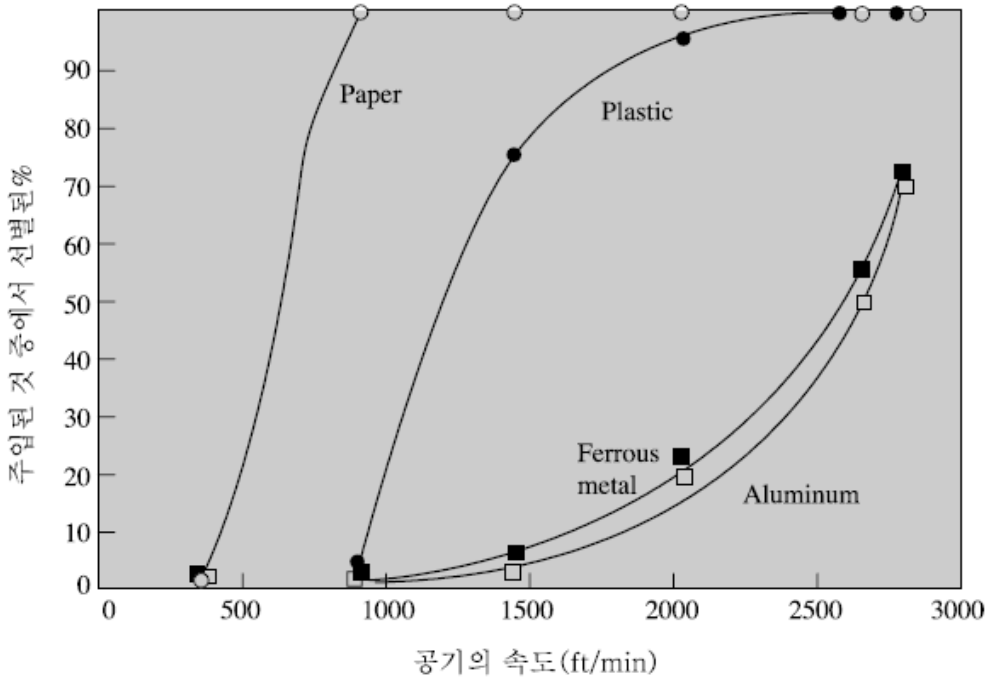


그림 4-13 폐기물 각 성분별 공기속도 및 회수율

- 주입률과 목부분에서의 평균 체류시간 사이

$$t = \left(\frac{V}{Q}\right)^n$$

여기서, t : 입자의 평균 체류시간

V : 목부분 내부의 부피

Q : 주입율(feed flow rate)

n : 목부분 내부에서 막힘(congestion)을 설명하는 인자 $n > 1.0$ -앙드레 말로-

6. 공기 선별의 이론

- 유체중에서 부유하는 입자들의 움직임에 미치는 3가지 힘
  - F_E : 중력이나 원심력 같은 외부적인 힘
  - F_B : 부력
  - F_D : 항력(drag force)

$$\frac{dv}{dt} = (F_E - F_D)\frac{1}{\rho_s} V$$

여기서, V : 입자의 부피(m^3)

ρ_s : 입자의 밀도(kg/m^3)

$\frac{dv}{dt}$: 입자의 가속도(m/s^2)

$$F_B = F_D + F_E$$

$$F_E = \rho_s \cdot V \cdot a$$

$$F_B = \rho \cdot V \cdot a$$

$$F_D = \frac{C_D v^2 \rho A}{2}$$

여기서, ρ_s : 고형물입자의 밀도(kg/m^3)

V : 입자의 부피(m^3)

a : 외부적 힘에 의한 가속도(m/s^2)

ρ : 유체의 밀도(kg/m^3)

C_D : 항력계수

v : 입자와 유체사이의 속도차(m/s)

A : 입자의 투영면적(m^2)

$$v = \left\{\frac{4(\rho_s - \rho)gd}{3C_D\rho}\right\}^{1/2}$$

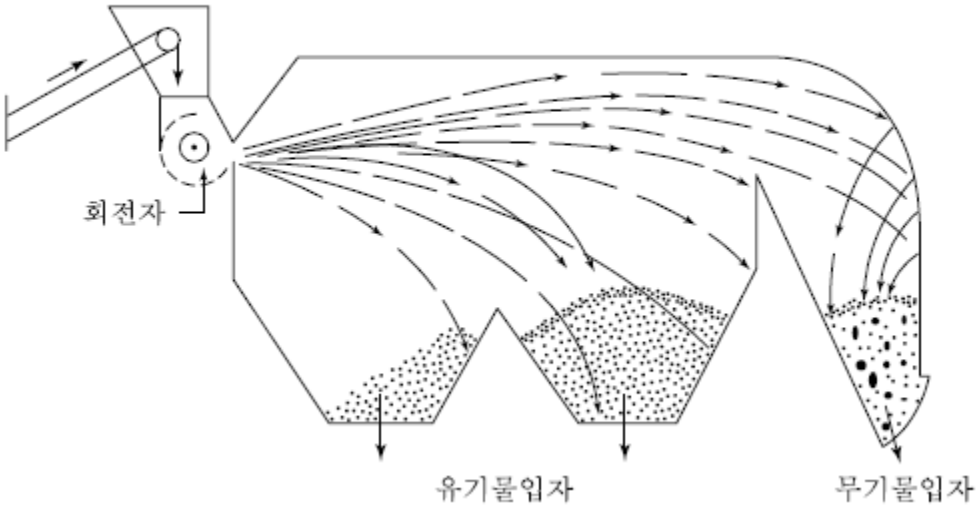
6. 공기 선별의 이론

- 예) 항력 계수가 2.5라 가정하고 직경 2 cm인 알루미늄 입자를 부유시키는 데 필요한 속도를 구하시오. 단, ρ_s=2.70, ρ=0.0012이다.

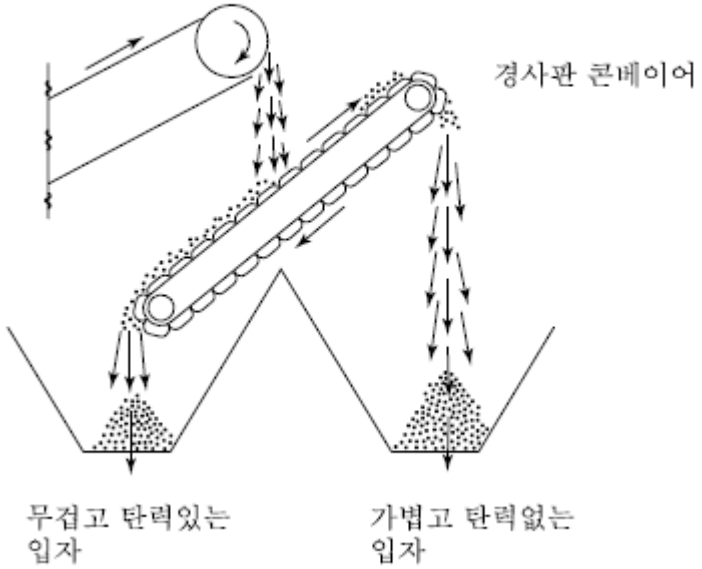
7. 기타 선별 방법

- 관성 선별(Inertial separation)
  - 유럽에서 광범위하게 사용되는 방식으로 분쇄된 폐기물을 가벼운 것(유기물)과 무거운 것(무기물)으로 분리하기 위하여 중력이나 탄도학을 이용

(a) 탄도식 분리기

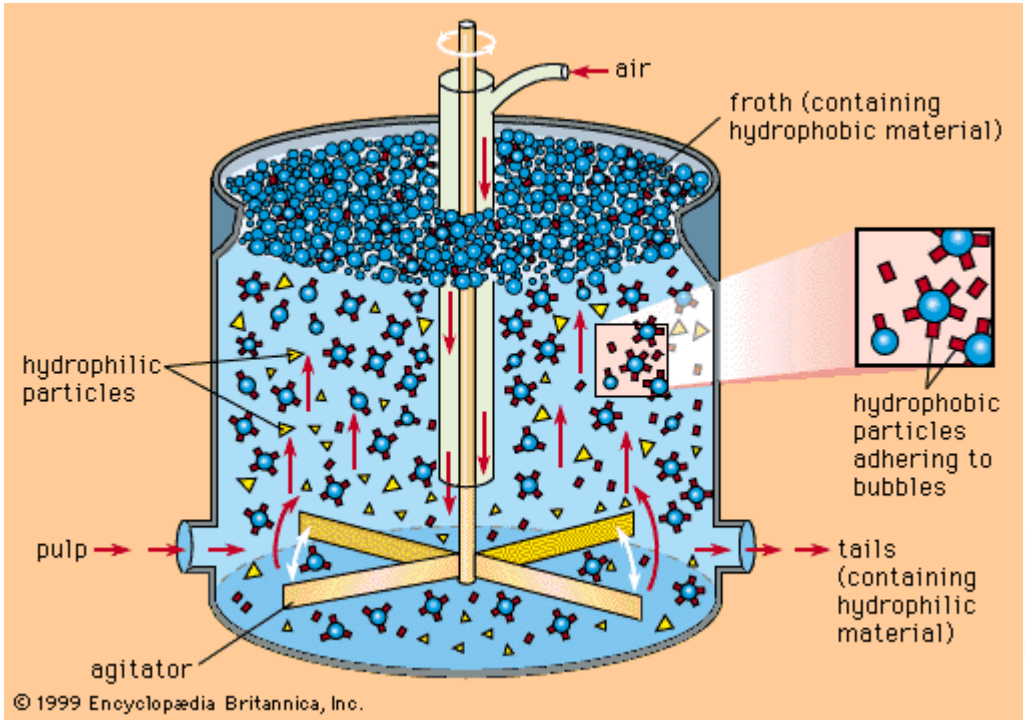


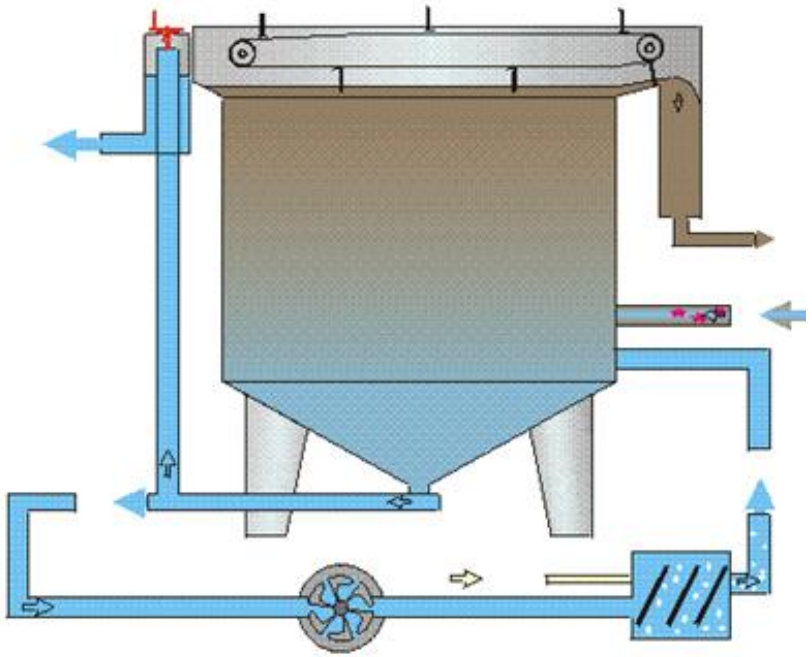
(b) 경사 콘베이어 분리기



7. 기타 선별 방법

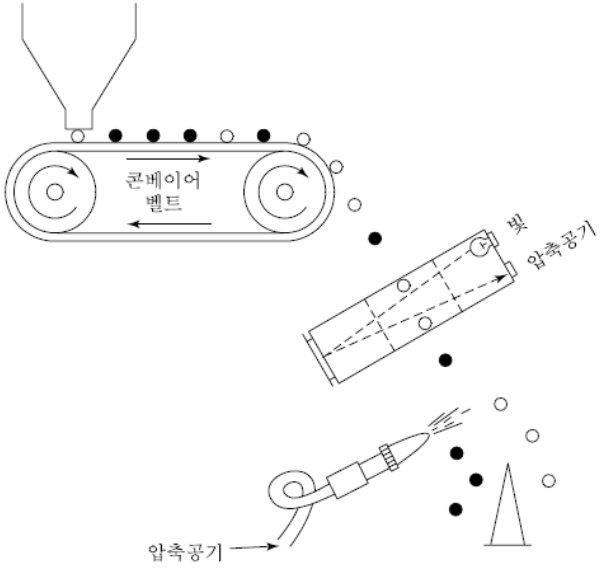
- 부상(flotation)
  - 대상 폐기물을 물에 넣어 밀도차에 의해 뜨는 것을 선별하는 방법
  - 유리조각, 뼈 등은 바닥에 가라앉고 가벼운 유기물은 표면에 부상

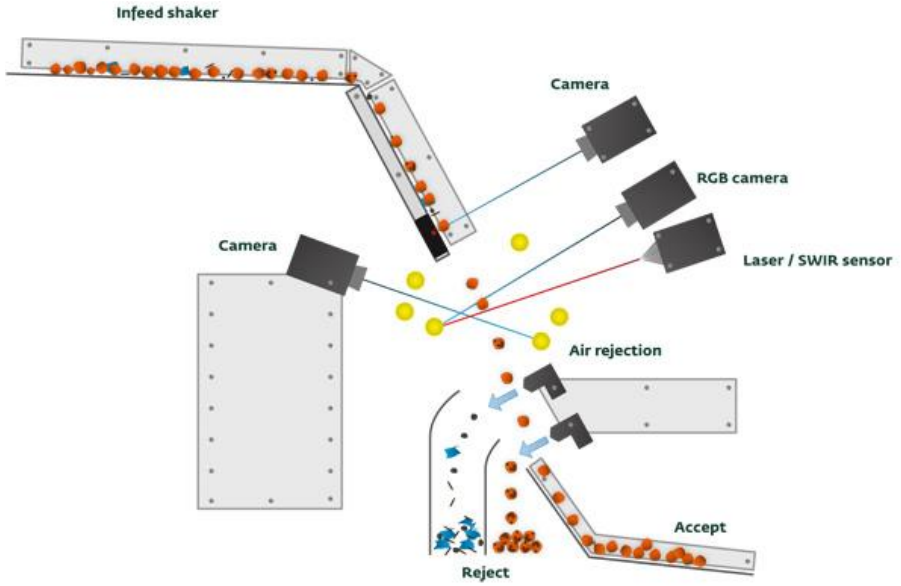




7. 기타 선별 방법

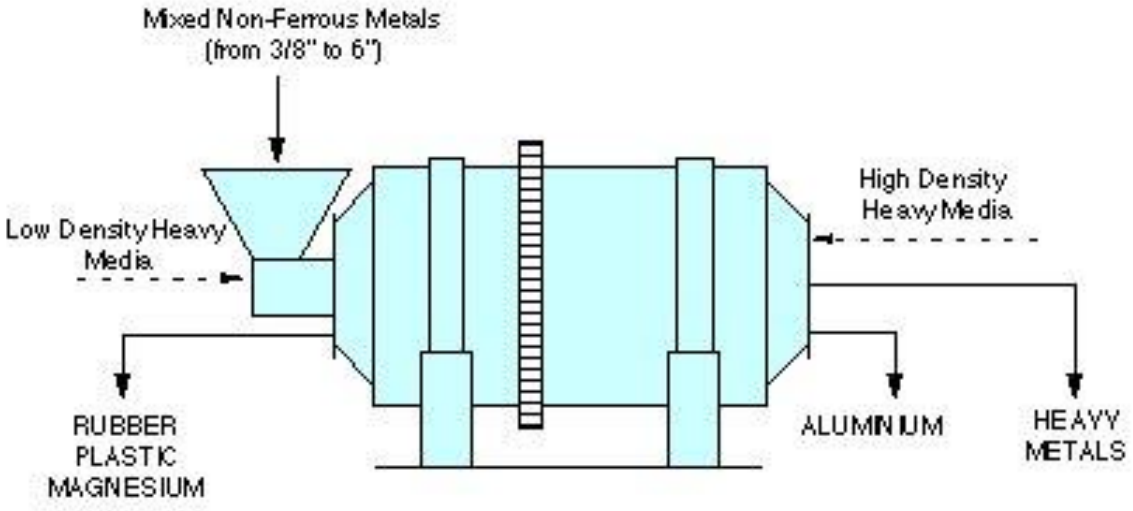
- 광학 선별(optical sorting)
  - 돌, 코르크 등의 불투명한 것과 유리같은 투명한 것의 분리에 이용
  - 분리 과정
    - ① 입자는 기계적으로 투입되고
    - ② 광학적으로 조사되며
    - ③ 조사결과는 전기전자적으로 평가되고
    - ④ 선별대상입자는 압축공기분사에 의해 정밀하게 제거된다.





7. 기타 선별 방법

- **Heavy media separation**
  - 철성분과 유리가 제거된 후에 공기선별된 폐기물처럼 알루미늄 성분이 많은 폐기물은 높은 비중을 가진 유체 속에 투입하여 알루미늄 성분을 분리할 때 사용하는 방법



There are basically two types of Heavy Media separators, they are:

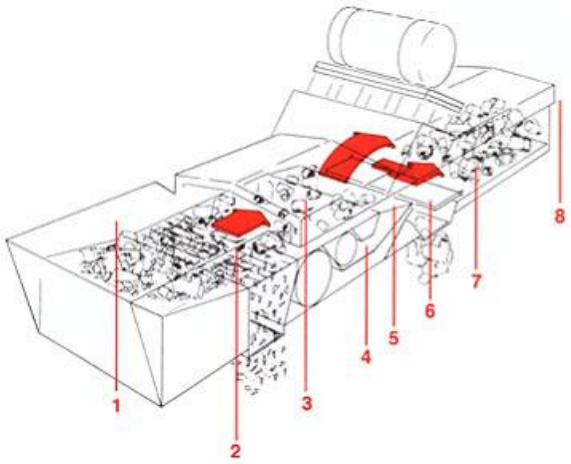
1. ***Heavy Media Cone Separator***
2. ***Heavy Media Drum Separator***

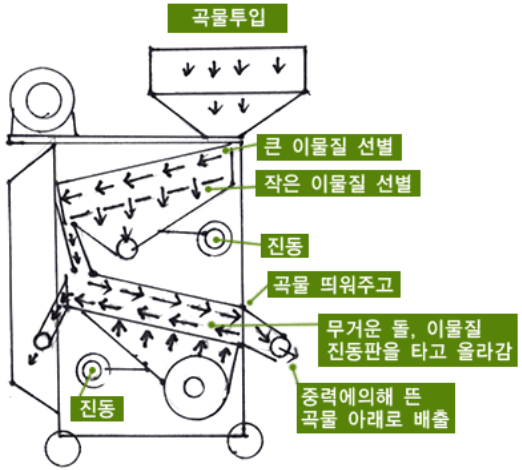
Some others are:

1. ***Heavy media Column Separator.***
2. ***Heavy or Dense Media cyclone separator.***
3. ***Heavy or Dense Media Hydro cyclone Separator.***

7. 기타 선별 방법

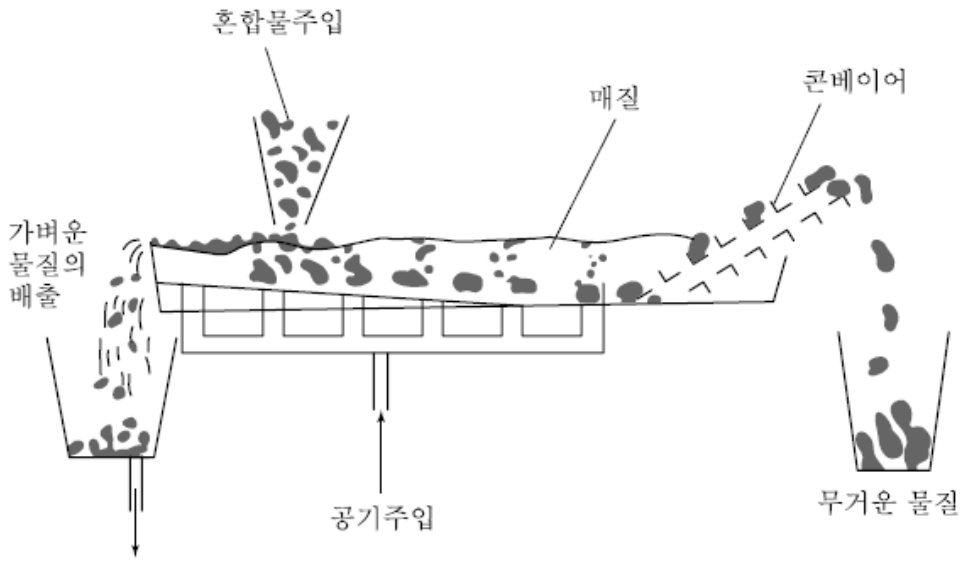
- **Stoners**
  - Stoner는 Pneumatic Table이라고도 부르는데, 수용액 중에서 무거운 것을 고르는 Jig의 원리와 유사
  - 약간 경사진 판(Table)에 진동을 줄 때 무거운 것이 빨리 판의 경사면 위로 올라가는 원리를 이용한 것
  - 예) 쌀에서 돌을 고르는 기계
  - 아직 실제 처리장에서 적용된 예는 적고 공기로 진동을 주며, 알루미늄을 회수하거나 또는 퇴비로부터 유리조각을 고르는 데 사용





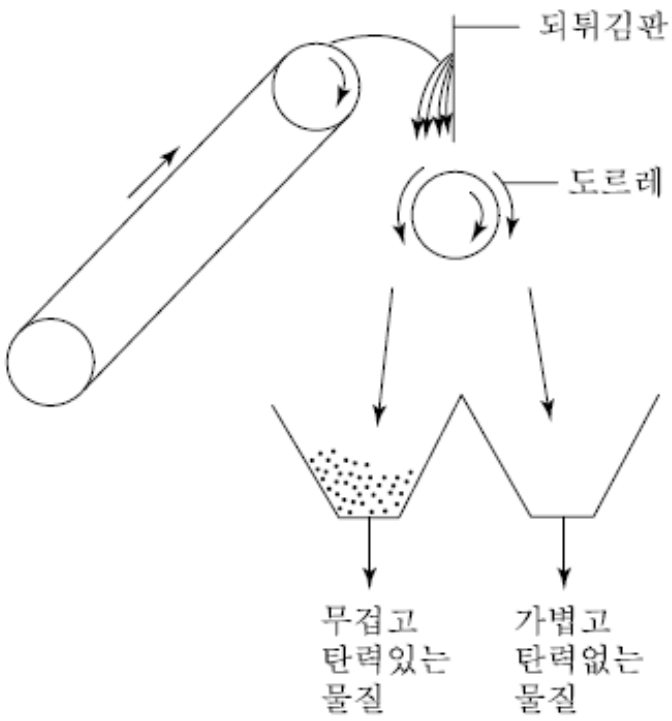
7. 기타 선별 방법

- **Fluidized Bed Separators**
  - 분쇄시킨 전기줄로부터 금속류를 회수하거나 분쇄시킨 자동차나 또는 연소기의 재료부터 알루미늄이나 구리를 회수하는 데 사용
  - Ferrosilicon이라는 매질이나 쇳가루(Iron Powder)속에 폐기물을 넣고 공기를 불어 넣으면 가벼운 것은 위로 올라가고 무거운 것은 아래로 내려가는 원리를 이용
  - 대체로 회수하려는 물질의 크기가 0.2~10 cm 정도여야 하며, 최소한 비중 차이가 0.2 이상



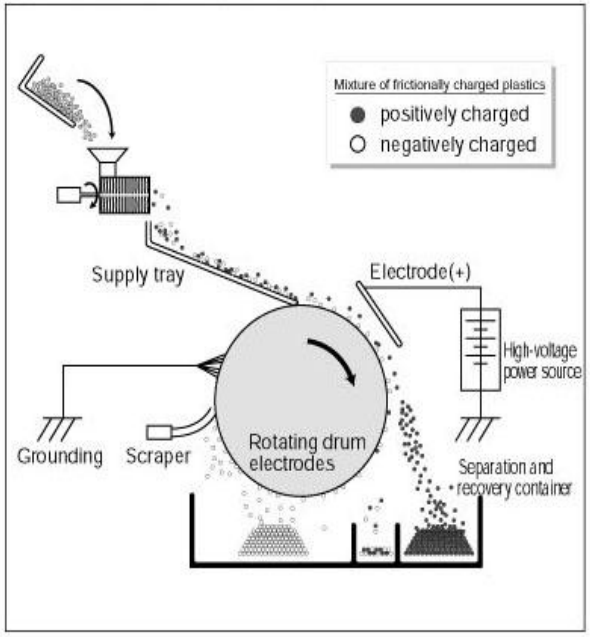
7. 기타 선별 방법

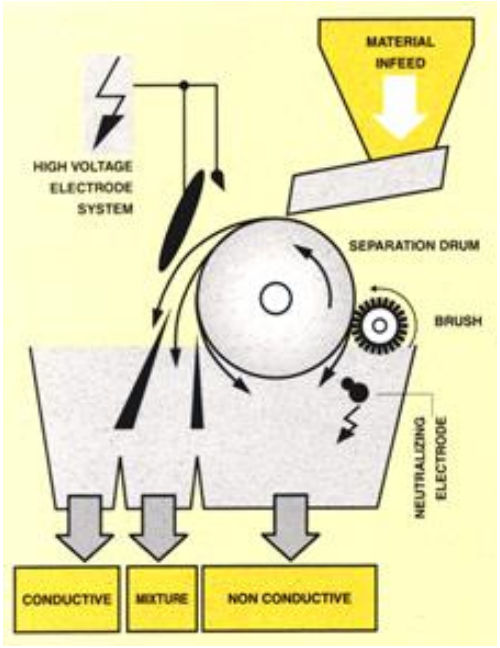
- **Secators**
  - 물렁거리는 가벼운 물질로부터 딱딱한 물질을 선별하는 데 사용하며 경사진 콘베이어를 통해 폐기물을 주입시켜 천천히 회전하는 드럼 위에 떨어뜨려서 분류
  - 퇴비 중의 유리나 돌을 고르는데 효과적

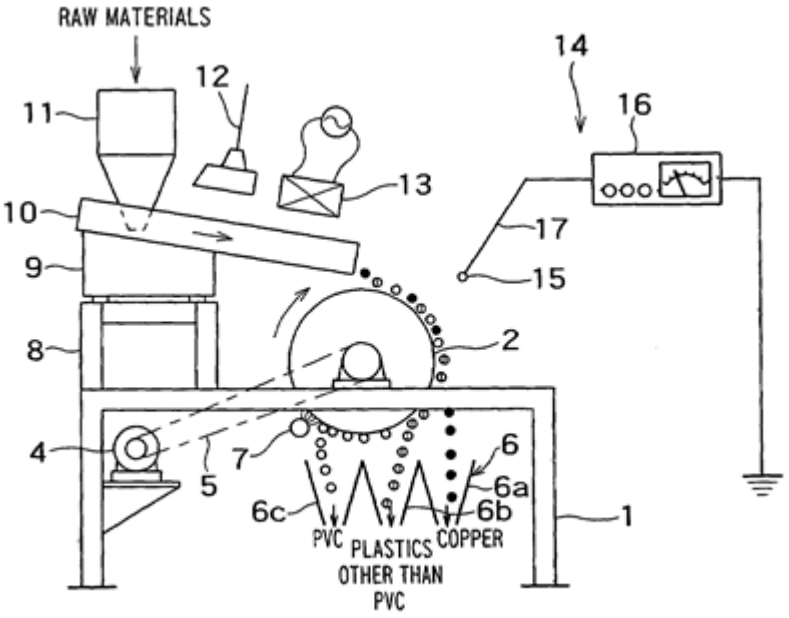


7. 기타 선별 방법

- **Electrostatic Separator**
  - 고전압(10 ~ 220 kV)을 폐기물에 부하시키면 도체와 부도체가 분류
  - 폐기물에 수분을 공급하면 이 장치에 의하여 종이와 플라스틱이 분류되며 (종이는 수분이 있으면 전기를 통한다), 유리내의 알루미늄을 분류

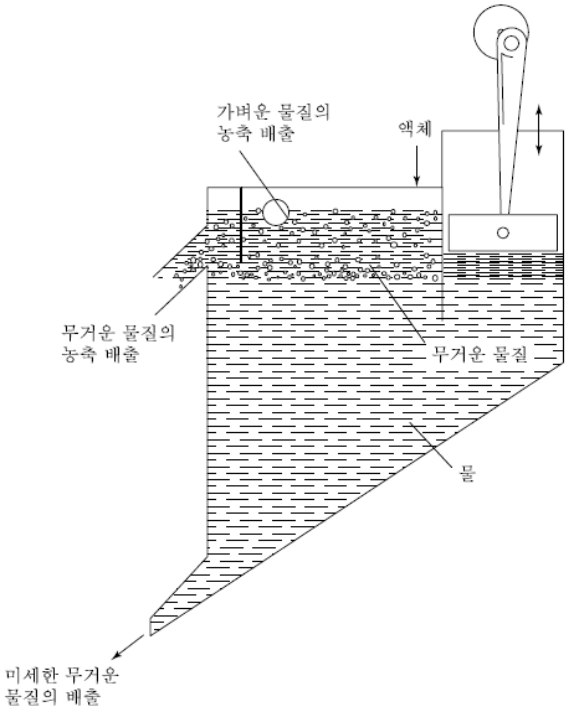


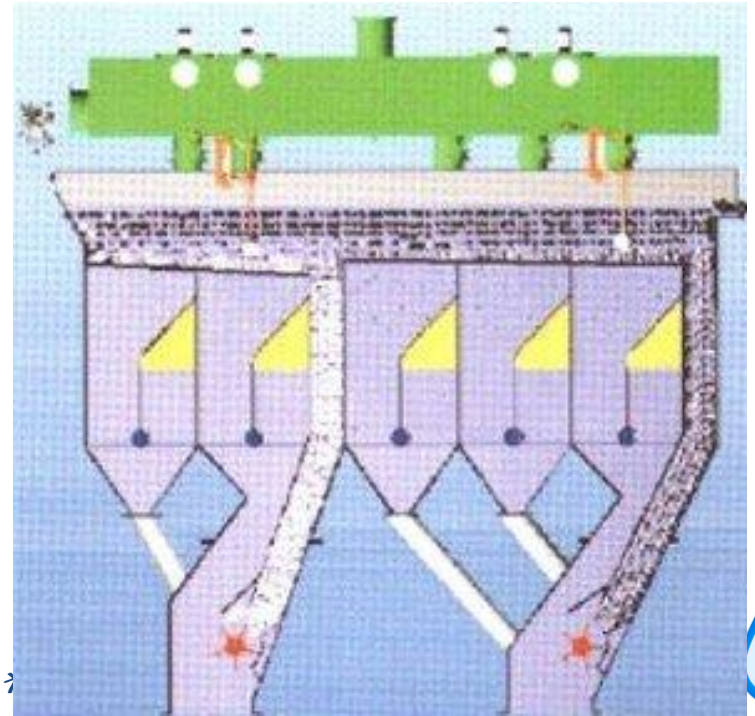




7. 기타 선별 방법

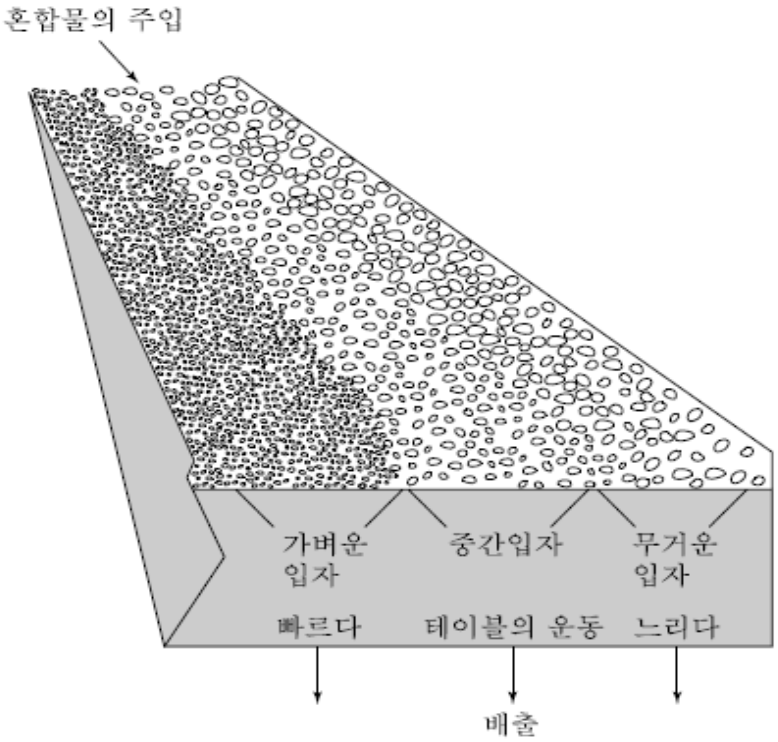
- **Jigs(수중 체)**
  - 사금을 선별하기 위하여 오래 전부터 사용되던 방법
  - 물에 잠겨진 스크린 위에 분류하려는 폐기물을 넣고 수위를 1초당 2.5회 가량 0.5~5 cm의 폭으로 변화시키면 무거운 물질과 가벼운 물질이 분류
  - 진동식 Table이나 공기중에서 운전되는 Jig과 Stoner로 대체





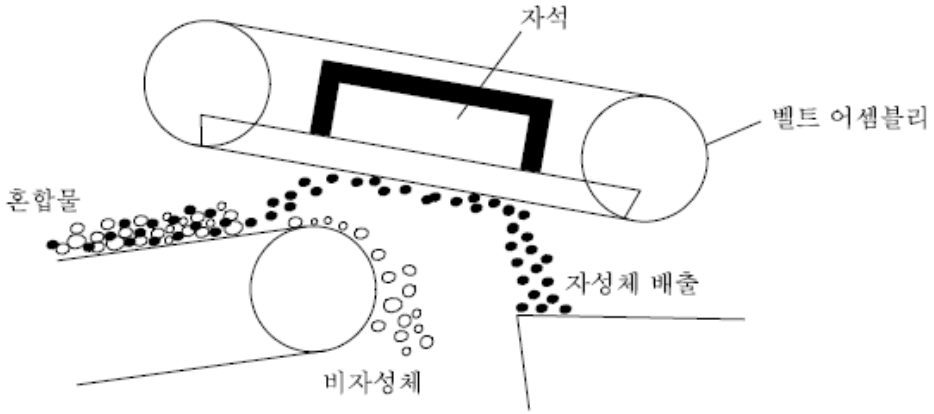
7. 기타 선별 방법

- **Table**
  - 각 물질의 비중 차이를 이용
  - 약간 경사진 판에 물체를 흐르게 한 뒤에 화살표 방향으로 각각 빠른 진동과 느린 진동을 주면 가벼운 것은 왼쪽으로, 무거운 것은 오른쪽으로 분류

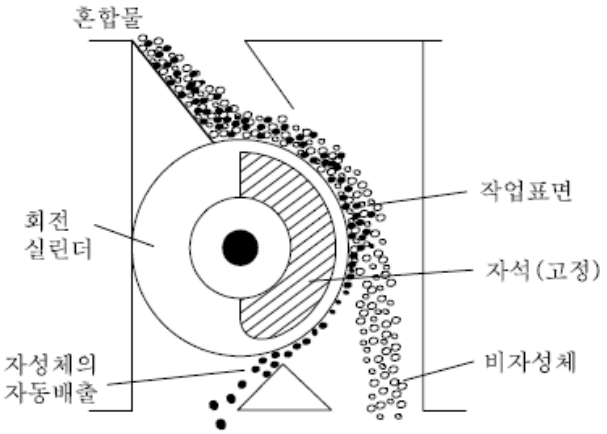


7. 기타 선별 방법

- 자석 선별
  - 광산에서 많이 이용했던 선별방식
  - 원료로부터 철성분의 제거 또는 회수
  - 자석 선별의 배치
    - ① 파쇄 → 자석 선별 → 공기 선별
    - ② 파쇄 → 공기 선별 → 자석 선별
    - ③ 자석 선별 → 파쇄
    - ④ 스크린 선별 → 자석 선별 → 공기 선별



(a) 상부 벨트형 자석(Overhead Belt Magnet)



(b) 드럼형 자석(Drum Magnet)