

# 21. 분쇄

**분쇄(size reduction)** : 입자 크기의 축소현상으로, 고체입자를 더 작은 입자로 부수거나 잘라내는 모든 방법

## 분쇄 이점

- ① 균질의 혼합물을 만들기 쉽다(예 : 분약의 조합).
- ② 일정 질량당 총표면적이 증가되므로 용해속도나 반응속도 등이 커짐(예 : 미분탄의 연소).
- ③ 일정 질량당 이용률이 높아짐(예 : 안료의 미분화, 살포용 농약의 미분화).
- ④ 분체로 하면 유동성이 생겨 수송이나 저장 등이 편리함(예 : 분체의 공기수송, 유동 촉매층)
- ⑤ 그밖에 분체의 색상을 개선하거나 은폐력을 증가

## 21-1 쇄료의 성질

쇄료 : 분쇄되는 재료

### 21-1-1 쇄료의 경도

모스 경도(Mohs's scale) : 가장 부드러운 활석의 경도를 1로 하고(단위는 없음), 가장 단단한 다이아몬드를 10으로 하여 그 사이에 표준물질을 배열 => 모스 경도 4 이하의 쇄료를 연질쇄료, 5 이상의 쇄료를 경질쇄료

표 21-1 모스 경도

표준물질		일반 물질의 비교경도
명칭	경도	
활석	1	규조토(1~1.5), 흑연(1~2), 황(1.5~2)
석고	2	석탄(2~2.5), 빙정석(2.5), 암염(2~2.5)
방해석	3	대리석(3~4), 시멘트 클링커(3)
형석	4	주철(4), 인광석(연질, 4)
인회석	5	인광석(연질, 5), 유리(5), 적철광(5.5~6.5)
정장석	6	경석(6), 자철광(5.5~6.5)
석영	7	마노(7), 자기(7~8)
황옥석	8	녹주석(7~8)
강옥	9	카보런덤(9~10)
다이아몬드	10	

### 21-1-2 쇄료의 강도

분쇄조작 = f(압축·충격·마찰·전단·휨 등의 여러 가지 힘이 작용) => 압축력이 가장 크게 작용

표 21-2 압축강도에 의한 재료의 분류

압축강도 [Kg/cm <sup>2</sup> ]	강약	재 료
100 이하	약	석탄, 코크스, 석고, 점토, 황, 코르크, 곡류
100~500	중	시멘트 클링커, 사모트, 적철광, 장석, 형석
500 이상	강	금강사, 카보런덤, 현무암, 석영, 화강암, 사암, 대리석, 인회석

### 21-1-3 분쇄능

분쇄능(grindability) : 쇄료 분쇄의 난이 정도 => 하드그로브(hardgrove)

분쇄기 : 특정한 볼밀

분 쇄 : 16~30 메시로 체질한 것 50g

분쇄조건 : 60 회전

체 밀 : 200 메시로 체질한 것 [g]

분쇄능 : 체밀의 양을  $W$  [g]로 하면 분쇄능  $H$

$$H = 13 + 6.93W$$

표 21-3 쇄료의 분쇄능(하드그로브법)

운 모 7	규 사 24~55	흑 연 51	석 탄 30~110
초산섬유소 7	시멘트 클링커 30~50	염 류 54	황 석 67~130
합성수지 14	광 재 32	석회석 54~78	점 토 97
경질고무 9	보크사이트 39~76	아연화 96~103	황 104

### 21-2 분쇄기 및 분쇄조작

분쇄기 : 거친 분쇄기(조분쇄기), 중간 분쇄기, 고운 분쇄기(미분쇄기)

분쇄조작 : 회분식, 연속식

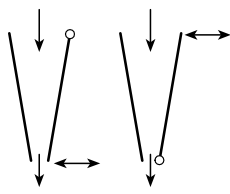
#### 21-2-1 분쇄기의 종류

##### 【1】 분쇄기구에 의한 분류

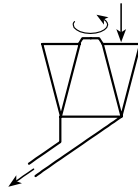
분쇄기구 : 압축(compression), 충격(impact), 마멸(attrition), 절단(cutting)

표 21-4 주요한 분쇄기의 분쇄기구

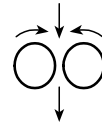
분쇄기	분쇄기구	압착	충격	마찰	전단	휨
① 조 크러셔(jaw crusher)		○				
② 자이러토리 크러셔 (gyratory crusher)		○				○
③ 롤러 크러셔(crushing roll)		○			○	
④ 에지 러너(edge runner)		○		○	○	
⑤ 해머 크러셔(hammer crusher)			○			
⑥ 볼 밀(ball mill)			○	○		
⑦ 제트 밀(jet mill)			○	○		
⑧ 디스크 크러셔(disc crusher)				○	○	



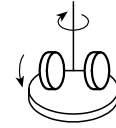
① 조 크러셔



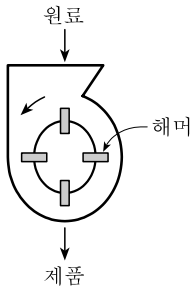
② 자이러토리 크러셔



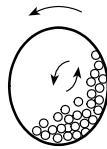
③ 롤러 크러셔



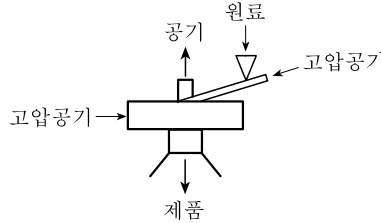
④ 에지러너



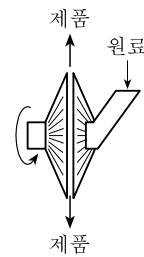
⑤ 해머 크러셔



⑥ 볼 밀



⑦ 제트 밀



⑧ 디스크 크러셔

그림 21-1 주요한 분쇄기

**[2] 사용범위에 의한 분류**

조쇄기 및 중쇄기 => 크러셔(crusher),

미분쇄기 => 밀(mill)

표 21-5 분쇄기의 사용범위에 의한 분류

	쇄료의 크기	쇄제품의 크기	분쇄비	능력 [t/h]	예
조분쇄	> 100 mm	< 40 mm	3~4	5~100	①②
중분쇄	50~6 mm	10~3 mm	5~10	5~60	③④⑤⑥
미분분쇄	10~3 mm	< 150 μm	20~50	1~30	⑦⑧

## 21-2-2 분쇄조작의 종류

**【1】 폐쇄분쇄(회분분쇄) :** 쇠료의 전부를 분쇄기 내에 넣고 매회 운전이 끝날 때까지 쇠제물을 장치 바깥으로 내놓지 않는 방식

쿠션(완충)작용 : 소요의 크기까지 분쇄된 것도 계속 분쇄력을 받아 과분쇄된 미립자들이 의해 힘의 분산 현상 => 분쇄동력의 손실을 증대시키는 등의 결점

**【2】 자유분쇄 => 연속식**

(1) 개회로분쇄 => 무선별 연속분쇄

o 에너지의 낭비가 적으므로 대규모의 분쇄에 적합하지만 쇠제물의 선별을 하지 않으므로 굵게 분쇄하는 데만 적당

(2) 폐회로분쇄 => 선별되풀이 분쇄

분쇄기와 분급기를 합친 분쇄방식

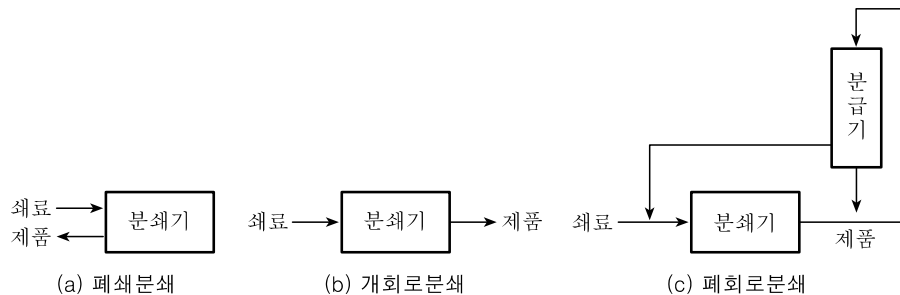


그림 21-2 분쇄조작의 방법

**【3】 습식분쇄**

분쇄가 진행되면 쇠제물이 미분이 되어 비산하거나 쿠션이 되어 분쇄효율을 저하시키거나 또 발열에 의한 손실을 초래하는 경우 쇠료를 진흙모양으로 해서 분쇄

**【4】 저온분쇄**

저온분쇄 : 분쇄할 때는 마찰, 충격 등에 의해 발열 => 고온에서 점성이 커지는 쇠료나 화학적으로 불안정한 쇠료의 경우 냉각기구를 갖는 분쇄기

냉동분쇄 : 수분이 있는 쇠료나 점탄성이 있는 재료의 경우는 저온에서 현저히 취약하게 되어 분쇄하기 쉬우므로 냉동상태에서 분쇄(예 : 식료품, 약품, 수지).

## 21-3 분쇄에 관한 이론

o 회전축의 회전속도가 증가 => 분쇄된 입자의 크기는 작아짐 => 소요 동력

o 수분량이 증가하면 어느 정도 소요동력이 감소하다가 그 이상 수분의 함량이 증가되면 소요

## 동력도 증가

### 21-3-1 분쇄에 필요한 에너지

동력비 : 분쇄 전후의 입자비나 입자 비표면적에 비례

$$d\left(\frac{P}{\dot{m}}\right) = -K \frac{d(\overline{D}_s)}{(\overline{D}_s)^n} \quad (21.1)$$

여기서  $P$  : 소요동력 [kW·h]

$\dot{m}$  : 체료 공급유량 [kg/h]

$\overline{D}_s$  : 입자평균지름 [m]

$K$  : 비례상수

파쇄법칙(crushing law) : 동력비가 (21.1) 식을  $n$ 의 값에 따라 적분하여 나타남.

#### 【1】 키크의 법칙(Kick's law)

윗식을  $n=1$ 로 두고 분쇄 전  $D_{s0}$ 에서 분쇄 후  $D_{s\infty}$ 까지 적분하면

$$\frac{P}{\dot{m}} = -K_k \ln \frac{(\overline{D}_{s\infty})}{(\overline{D}_{s0})} \quad (21.2)$$

동력비 : 분쇄비에 의해 결정

#### 【2】 리팅거의 법칙(Rittinger's law)

$n=2$ 로 두고 분쇄 전  $D_{s0}$ 에서 분쇄 후  $D_{s\infty}$ 까지 적분하면

$$\frac{P}{\dot{m}} = -K_r \left( \frac{1}{D_{s0}} - \frac{1}{D_{s\infty}} \right) \quad (21.3)$$

동력비 : 분쇄의 비표면적에 의해 결정

#### 【3】 본드(Bond)의 법칙

$n=1.5$ 일 때가 되며, 아주 큰 급송물로부터 분쇄 후  $D_p$ 를 만드는 데 소요되는 일량은 다음과 같고  $K_b$ 는 파쇄되는 물질과 파쇄장치에 의존되는 상수

$$\frac{P}{\dot{m}} = \frac{K_b}{\sqrt{D_p}} \quad (21.4)$$

### 21-3-2 분쇄 효율

#### 【1】 분쇄유효도

효율계수 : 단위 일량에 대한 표면적의 증가량비 [ $\text{cm}^2/\text{Kg}\cdot\text{m}$ ]를 리딩거수(R-No.) => 분쇄효율을 나타내는 하나의 기준

분쇄저항 : 효율계수의 역수 => 단위량의 표면적을 증가시키는데 필요한 일량

분쇄유효도 : 임의의 분쇄기에 의한 R-No.와 중추낙하시험기(특정의 시험용 분쇄기)에 의한 R-No.의 비에 의해서 분쇄효율을 나타낸 데이터

**【2】 비 일 량**

$$W = kQ \quad \text{또는} \quad k = W/Q$$

$w$  [kW] : 분쇄에 소비한 전동력,  $Q$  [t/h] : 분쇄할 능력

$k$  : 매시 1ton당 일량을 나타내므로 이것을 비일량 => 유사한 재료를 유사한 분쇄기로 분쇄하는 경우 비교의 기준

$$W_t = W_a + W_b$$

$w_a$  : 분쇄기의 공운전에 필요한 동력,  $w_b$  : 실제로 재료를 넣고 분쇄할 때의 동력의 증가량을 (단위는 kW), =>  $W_a/W_b$ ,  $W_b/W_b$ ,  $W_a/Q$  등의 값도 효율을 추산하는 데이터가 됨.

**21-4 분쇄기의 선정**

분쇄물의 특징, 분쇄기의 성능과 주위 여건 등에 따라 분쇄기를 선정

- ① 파쇄될 물질의 성질과 분쇄된 후 물질의 특성
- ② 성분에 따라 분쇄된 물질의 크기 요구량
- ③ 분쇄계의 주입방법, 가교현상을 피하기 위하여 적당한 분쇄기의 후드 용량 및 주입, 적환 컨베이어, 분쇄기 사이의 청결 요구량
- ④ 운전형태(연속 또는 간헐적)
- ⑤ 운전특성(에너지 요구량, 노선 및 특수유지 요구량, 운전의 단순성, 보장된 성능과 신뢰성, 소음과 대기 및 수질방지 요구량 등)
- ⑥ 장소 고려사항(공간 및 높이, 접근성, 소음, 환경기준)
- ⑦ 크기감량 후 및 다음 기능활동에서 기대된 물질저장

표 21-6 분쇄기 선정을 위한 요소

작 안 점	비 고
재료 및 재제품의 입자지름 재료의 성질 조작의 종류 운전·보수의 난이 다른 조작과의 관련 처리량의 대소 소요 경비	조쇄, 중쇄, 미분쇄 물리적 성질 및 화학적 성질 회분식, 연속식, 반연속식  분쇄 이외의 조작 (예, 혼합)를 겸하는 여부 동일 기종에서도 능률이 다르다. 설비비, 운전비, 유지비 등