



광물 분체의 분급기술

정 문 영

세명대학교 자원환경공학과

광물분체 제조기술은 에너지 효율뿐만 아니라 제품의 성질을 직접 지배하는 입도분포의 조절이 특히 중요하다. 전 보(정문영, 2003)에서도 언급하였듯이 분체 제조 시 분쇄효율뿐만 아니라 분체 제품의 특성과 가치를 결정짓는 입도분포의 조절을 위해 분쇄회로에도 관심을 기울여야 한다. 분쇄회로는 열린 분쇄회로(open grinding circuit)와 닫힌 분쇄회로(closed grinding circuit)로 대별된다. 열린 분쇄회로란 조분쇄에 적합한 분쇄회로로 mill내에 투입된 피분쇄물이 일정한 시간동안 분쇄후 전량 분체 제품으로 회수되는 공정으로 공정 자체가 단순하여 설치비가 저렴하고, 공정상 분쇄산물의 순환이 없으므로 오염 유입이 적다는 장점이 있으나 소정 입도이하로 미립화된 입자의 배출이 없어 과분쇄(over grinding)와 미립자의 완충효과(cushion effect)로 인해 분쇄효율 저하의 원인이 되기도 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 다단계 분쇄 또는 닫힌 분쇄회로 방식을 채택하고 있다. 닫힌 분쇄회로는 분쇄기의 분쇄산물을 연속적으로 분급기(classifier)로 배출하여 분급기에서 일정한 입도로 분립, 하향흐름(under flow)의 조립자는 다시 분쇄기에 투입되어 계속해서 분쇄되고 상향흐름(over flow)의 미립자는 다음

단계의 분쇄기로 투입되거나 최종 분체제품으로 회수되는 방식이다. 이러한 분쇄회로방식은 과분쇄를 방지하여 제품의 입도분포를 좁은 범위로 조절이 가능할 뿐만 아니라 분쇄처리량을 증가시키는 것도 가능하다는 장점을 지니고 있다. 그러나 별도의 분급장치가 필요하여 설치비가 고가이고 분급공정과 조립자의 순환에 따른 피분쇄물의 오염이 우려되기도 한다. 이러한 단점을 보완하고자 분급기가 내장된 분쇄기를 개발하여 사용되고 있다. 이러한 분쇄기의 대표적인 예는 독일 'Loesche'사에서 개발하여 일명 'Loesche mill'이라고 불리우는 'Roller mill'이다. 즉 분급기(classifier)가 내장되어 있어 일정 입도이하의 분쇄산물은 즉시 외부로 배출시킴으로서 입도범위를 좁게 분쇄할 수 있어 일반 광석은 물론이고 석탄 및 시멘트 원료 분쇄에 비교적 널리 사용되고 있다.

한편 물체가 유체(fluid) 내에서 낙하(침강)할 때, 그의 낙하 속도는 입자의 크기(입도), 밀도 및 형상에 따라 다르므로 입자의 낙하속도차를 이용하여 분립 또는 물질분리를 할 수 있다. 따라서 분급(classification)은 동일 물질일 경우에는 분립(sizing)법, 그리고 혼합물일 경우에는 물질간의 분리인 선별(separation)법으로 이용된다. 즉, 분급은 광물의 분체제조공정에서

는 주로 분립을 목적으로, 폐기물처리과정에서는 주로 물질분리(선별)를 목적으로 이용되고 있다.

또한 분립법은 체분리(sieving)와 분급(classification)으로 대별된다. 체분리는 입도에만 영향을 받는 분립법이고, 분급은 입도뿐만 아니라 밀도에도 영향을 받는 분립법이다. 그러나 체분리 시, 체눈이 작을수록(mesh number가 클수록) 체눈의 막힘현상이 잘 일어나 체분리 효율은 급속히 감소하고 체(sieve)를 구성한 철사의 직경이 가늘어져 쉽게 망가지므로 산업용 체질의 한계 입도를 250 μm (60 mesh)로 보고 있다. 따라서 분체제조 산업현장에서는 일반적으로 조립자의 분립은 체분리, 미립자의 분립은 분급에 의해 수행되어지고 있다.

따라서 본고에서는 전보에 이어 광물 분체 제조시 사용하는 미립자 분리기술인 분급에 대해서 언급하고자 한다.

분급의 원리 및 메카니즘

입자가 유체 내에서 운동할 때 유체는 입자에 힘을 미치는데 이것을 저항력이라고 한다. 이밖에 입자에게는 중력과 원심력이 외력으로 작용한다. 이러한 중력이나 원심력 등은 입자의 질량, 즉 입자의 밀도가 동일 할 경우에는 입도의 3승에 비례하고 유체의 저항력은 입도의 2승과 입자 Reynolds 수에 따라 결정되는 저항계수의 곱에 비례한다. 그리고 이 저항계수는 유체의 층류역(Stokes 영역)에서부터 난류역(Newtons 영역)에 대해 입도의 -1~0승에 비례한다. 결국 유체의 저항력은 입자의 1~2승에 비례하게 된다. 즉 유체 내의 입자거동은 이들 두 종류의 힘의 합력으로서의 나타내게 되며, 이 합력은 입도에 따라 변화하게 된다. 따라

서 입도에 따라 입자거동이 달라지므로 입도에 의한 분리, 즉 분급이 가능하게 된다.

한편 분급은 사용하는 유체에 따라 건식분급과 습식분급으로 대별된다. 전자는 기체, 주로 공기를 이용하므로 풍력분급, 후자는 액체, 주로 물을 이용하므로 수력분급이라고 불리워지고 있다. 건식분급은 습식분급에 비해 입자의 침강속도가 크므로 시간당 처리량을 많게 하거나 수 μm 이하의 미립자도 분급이 가능하지만 건식분급효율을 높이기 위해서는 응집입자를 분산시키는 기술이 중요하다.

건식 분급

건식분급은 크게 4가지로 분류된다. 중력분급, 관성분급, 원심분급(자유소용돌이, 반자유소용돌이) 및 원심분급(강제소용돌이)이 여기에 해당한다. 이것은 분급을 하는데 있어서 어떤 힘을 이용하는가에 따라서 분류한 것으로 중력, 관성력 및 원심력과 공기저항력에 대항하는 2개의 힘의 균형으로 분급을 하고 있다. 표 1은 유형별 건식분급의 원리와 특징에 대해 정리한 것이다. 여기서는 상술한 분급원리 중 중력분급의 대표적인 예에 대하여 설명하고, 그때 입자에 작용하는 힘, 그 결과로서 중력분급의 분리한계입도에 대하여 생각해본다.

그림 1은 중력분급의 대표적 예인 수직유형 분급의 기본원리를 나타낸 것이다. 그림과 같이 유체의 흐름과 입자의 침강이 역방향인 경우로, 정지유체 중에서 중력에 의한 입자의 침강종말속도를 U_t , 분급부의 유체속도를 U_f 라 하면, 입자는 ($U_f - U_t$)의 속도에서 유체속도 방향 또는 중력방향으로 이동한다. 즉, $U_f < U_t$ 이면 중력방향으로, $U_f > U_t$ 이면 유체속도 방향으로 이동한다. 한편 $U_f = U_t$ 이면 입자는 이론상

정지하여 평형상태가 된다. 이 때의 입도를 분리한계입도(Dth)라 한다.

만약 유체의 층류역, 즉 Stokes 법칙을 적용할 수 있는 영역이라면 입자의 침강종말속도 U_t 는 다음과 같다.

$$U_t = \frac{g(\rho_p - \rho)}{18\mu} \cdot D$$

한편 분리한계입도에서는 $U_f = U_t$ 이므로 위 식의 U_t 를 U_f 로 치환하고, 입도 D 를 분리한계입도 D_{th} 로 변환하여 D_{th} 에 대하여 풀면 다음과 같이 된다. 여기서, g 는 중력가속도, μ 는 유체의 점성계수, ρ_p 와 ρ 는 각각 입자와 유체의 밀도를 나타낸 것이다.

$$\therefore D_{th} = \frac{18\mu}{g(\rho_p - \rho)} \cdot U_f$$

또한 수직유형 중력분급 외에도 수평유형 분급(그림 2)과 관로를 지그재그로한 지그재그형 분급도 있다. 이러한 중력분급방식은 구조가 간단하며 200~1,000 μ m 정도의 거친 분급범위를

갖는 분급성능은 분체의 분산성능이나 기류의 흐름에 크게 좌우되어 일반적으로는 정밀 분급은 바랄 수 없다. 그러나 정밀도를 필요로 하지 않는 분급에서는 처리량도 어느 정도 기대할 수 있다. 또 이 방법은 간단한 비중분리수단으로서의 가능성도 있다.

습식 분급

습식분급은 중력분급과 원심분급으로 대별한다. 액체 내의 입자는 적당한 분산제를 첨가함으로써 거의 완전한 분산상태를 만들어 낼 수가 있으므로 비교적 간단한 장치로 정밀도가 높은 분급이 가능하다. 그러나 건조상태의 제품이 필요한 경우에는 부가적인 농축, 탈수, 건조공정이 필요해진다. 표 2는 습식분급의 유형별 분급 원리와 특징에 대해 정리한 것이다.

여기서는 상술한 습식분급법 중 미립자 분급에 주로 사용되는 원심력 분급에 대하여 생각해 보고자 한다. 원심력 분급은 자유소용돌이 형식

표 1. 건식분급의 유형별 특징.

분 류	분급 원리	일반적인 특징
중력분급	입자의 낙하속도, 낙하위치의 차에 의해 분급 (중력 : 공기저항력)	<ul style="list-style-type: none"> • 구조가 간단 • 조립자(200~1,000μm) 분급에 적합 • 고농도 분체 및 정밀분급에 부적합
관성분급	입자의 관성력을 이용해서 분급 (관성력 : 공기저항력)	<ul style="list-style-type: none"> • 구조가 간단 • 중립자(10~250μm) 분급에 적합 • 고농도 및 비교적 대용량 분급이 가능 • 정밀분급에 부적합
원심분급 (자유소용돌이, 반자유소용돌이)	자유소용돌이, 반자유소용돌이에 의한 원심력과 공기저항력의 균형으로 분급 (원심력 : 공기저항력)	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 구조가 간단 • 비교적 미립자(1~20μm) 분급에 적합 • 고농도 분체 및 정밀분급에 부적합
원심분급 (강제소용돌이)	강제소용돌이에 의한 원심력과 공기 저항력의 균형으로 분급 (원심력 : 공기저항력)	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 구조가 복잡, 소요동력도 높음 • 분급범위가 넓고 미분영역까지 분급 가능 • 고농도 분체 및 정밀분급 가능

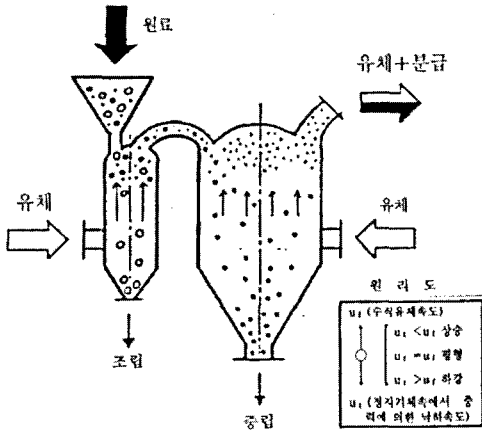


그림 1. 수직유형 중력분급의 예.

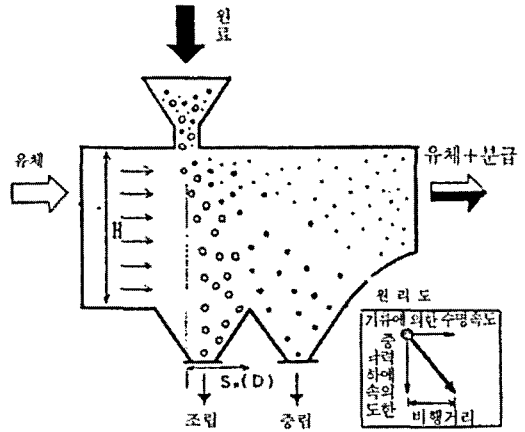


그림 2. 수평유형 중력분급의 예.

과 강제소용돌이 형식으로 세분된다. 자유소용돌이 형식에서는 수력분급기인 Hydrocyclone이 대표적이다.

액체의 밀도는 기체에 비해 현저하게 크므로 동일한 분급입도를 얻고자 하면, 하이드로사이클론은 직경이 작아진다. 액체사이클론의 분급가능범위는 5~150 μ m이나, 미립의 분급입도를 얻고자 할 때에는 사이클론의 직경이 매우 작아

져 10mm정도가 되고 처리량이 작아지므로 멀티방식이 사용된다. 액체 내에서는 입자의 분산성이 좋으므로 건식용 사이클론보다 다소 좋은 분급성능이 기대된다.

또 습식에서는 미분축도 조분축도 슬러리상태로 회수된다. 한편, 강제소용돌이방식은 분리판형 원심분급기(테라벌형)와 원심원통형분급기(스크류데칸터형)가 있다. 분리판형은 원심력

표 2. 습식분급의 유형별 특징.

분 류	분급 원리	일반적인 특징
중력분급	슬러리 내 입자의 침강속도차를 이용 (중력 : 액체저항력)	<ul style="list-style-type: none"> 구조가 간단 대형기종 조립자용(40~200μm) 분급 정밀분급에 부적합(선광용)
원심력 분급	자유소용돌이 혹은 강제소용돌이에 의한 원심력과 액체에 의한 저항력의 균형으로 분급 (원심력 : 액체저항력)	<p>[자유소용돌이]</p> <ul style="list-style-type: none"> 구조가 간단하고 보수점검이 용이함 정확한 분급입도의 선정이 어렵다. 분급범위(5~150μm)가 비교적 넓음 <p>[강제소용돌이]</p> <ul style="list-style-type: none"> 구조가 복잡 분급범위(1~800μm)가 넓음 주로 고액분리기로 사용

표 3. 100~200 μ m 입도영역에서 있어서의 체분리와 분급의 비교.

항 목	일반적인 평가	
	체분리	분 급
분급 입도의 정의	기하학적입자경	유체역학적 입자경(기하학적 입자경과 밀도의 관수)
분급점의 조절	체눈의 변경	rotor 회전수, vane 각도 등
분급효과	일반적으로 우수(단, 체위에 미분이 잔존하는 경우가 있음)	일반적으로 양호
대형화·대량처리	대부분은 10t/h 이하	500t/h 이하
보수	필요(체눈 막힘, 체의 교환 등)	거의 불필요
소요동력	소(小)	체분리와 같거나 대(大)
설비비	소(小)	대(大)
대상 분체	부착성이 높은 분체는 곤란	부착성이 높은 분체도 가능

표 4. 건식분급과 습식분급의 비교 예.

항 목	일반적인 평가	
	건식분급	습식분급
분체의 표면물성	표면물성이 현저히 높고, 산화를 싫어하는 분체는 불활성 기체로 분급을 행할 필요가 있음.	- 액체와 반응하는 입자에는 부적합 - 친액성인 분체에 적합
미분체의 분산성	미분역에서는 강력한 분산기구가 필요함	- 액체 중에서는 비교적 분산 용이
분체의 비중	공기보다 큰 비중이면 원리적으로 분급가능함	- 액체보다 큰 비중인 것이 필요
분급시간	빠름(단한분쇄회로 및 대용량화 분쇄에 적합함).	- Hydrocyclone을 제외하고는 일반적으로 느림
분급정도	기종에도 좌우되나 비교적 양호	- 폐수 중에 미분이 혼입 - 정밀분급이 가능
전후 공정과의 관계 • 건분의 분급 • 슬러리의 분급	• 적합함 • 일반적으로 부적합함	• 여과, 원심분리, 건조 등의 조작이 필요함. 또한 건조되면 고결해있으므로 해쇄가 필요 • 적합
분체의 취급성 및 트러블의 발생	분체에 따라서는 취급이 곤란한 경우도 있음. 이 경우 취급상의 트러블도 발생하기 쉬움.	수송, 배출 등이 용이하며, 취급상의 트러블도 적음.
배기 또는 폐수	집진기로 대응.	폐수처리가 필요

을 조정해서 1~800 μ m까지의 넓은 영역에서 분급가능하나 일반적으로는 고액분리장치로서의 이용이 많다.

분급방식의 선택법

분급방식의 선택시 고려할 기본원리를 살펴보면 다음과 같다.

체분리와 분급

분립(sizing)은 분체를 좁은 입도별로 분리하는 공정으로 체분리와 분급으로 대별된다. 체분리는 입자의 크기(입도)에만 영향을 받는 분립법이고, 분급은 입도뿐만 아니라 밀도에도 영향을 받는 분립법이다. 체눈이 작을수록(mesh 번호가 클수록) 체눈의 막힘현상이 잘 일어나 체질효율은 급속히 감소하고, 체(sieve)를 구성한 철사의 직경이 가늘어져 쉽게 망가지므로 산업용 체질의 한계입도는 60mesh로 보고 있다. 일반적으로 분급은 공업적으로 체분리를 적용할 수 없는 입도범위의 분체에 적용되는 일이 많고, 입도 측면에서 보면 건식분급의 경우 300 μm 이하로 전해지고 있다.

한편, 습식분급의 경우는 처리가 용이하다는 등 타 원인의 비중이 높아져서, 입도만으로 적용범위를 정하는 일은 곤란하다. 산업현장에서는 일반적으로 조립자의 분립은 체질, 미립자의 분립은 분급에 의해 수행되어진다. 그러나 분립할 광물의 형상과 양에 따라 분립방법이 결정되기도 한다. 실제적으로 100~200 μm 전후의 입자들의 분립을 행하고자 할 때, 분급과 체분리의 선택에 곤란을 겪을 경우가 있다. 이 경우 분급원리에서 본 대충적인 판단기준의 예를 표 3에 나타내었다.

건식 분급과 습식 분급

분급을 행할 경우, 건식으로 할 것인지 습식으로 할 것인지를 선택은 단순히 분급성능 면뿐만 아니라, 전후공정과의 관계나 분체의 물리화학적 성질 등도 고려해야 한다. 그 일 예를 표 4에 나타내었다.

이외에도 분급처리용량면에서, 에너지 절약면에서, 분체 제품의 입도분포면에서, 그리고

설비비와 필요 용적면에서 보는 선정방법과 같은 사항들을 고려하여 분급기를 선정하여야만 할 것이다.

분급기의 성능 평가 방법

분급기의 분급정도를 평가하는 데는 크게 2종류의 표시방법이 있다. 즉 분급결과에 대하여 그 내역까지 상세하게 기술할 것을 목적으로 한 부분분급효율과 내역에는 관여하지 않고, 총괄적으로 표시할 것을 목적으로 하는 종합분급효율이 있다. 산업현장에서는 부분분급효율곡선을 사용해서 간단한 지수로 분급성능을 파악할 때가 많다.

부분분급효율은 일명 Tromp 곡선이라고도 불리는 부분분급효율곡선(그림 3)으로부터 구할 수 있다. 분급기에 투입(Feed)된 각 입도별에 대해서 하향분급 산물(underflow product)에 함유된 그 입도산물의 중량백분율을 평균입도(기하평균경 또는 산술평균경)에 대해 도식한 곡선이다. 그림에서 점선은 이상분급(ideal classification)을, 실선은 실제분급을 나타낸 것이다. 그리고 분급정도가 나뉠수록 기울기가 작아지는 곡선이 된다.

그러나 부분분급효율곡선에서는 정량적인 값으로 파악하기 어렵기 때문에, 이 곡선에 대하여 다음과 같은 각종의 지수가 제안되고 있다. 여기에서 'd50'은 분급기 내에서 'underflow'될 확률과 'overflow'될 확률이 동일한 입자로서 분리입도(separation size) 또는 분급점(cut point)이라고 칭한다.

① 분급정도지수(sharpness index, k)

독일 크라우슈터르대학의 'Leschonski'에 의해 제안된 지수로 d_{25} 와 d_{75} 의 비로 표시된다.

즉, $k = \frac{d_{75}}{d_{25}}$ 이다.

이상분급에서는 $k=1$ 이 되고, k 값이 1에 근접할수록 분급정도가 좋다고 할 수 있다.

② 테라지수(Terra index, E_p)

프랑스 선탄기술자 Andre Terra가 제안한 지수로 부분분급효율곡선의 기울기로 표시한다.

즉, $k = \frac{d_{75} - d_{25}}{2}$ 이다.

이상분급에서는 $E_p=0$ 이 되고, 이 값이 적을수록 분급정도가 좋다고 말할 수 있다. 그러므로 d_{50} 에서 곡선의 기울기가 수직에 가까울수록 분급효율이 좋음을 알 수 있다. 그러나 분리입도 d_{50} 가 큰 부분에서는 E_p 는 커지고 작은 부분에서는 E_p 는 작아지므로 분리입도 d_{50} 를 표시하지 않으면 판단이 잘못될 수도 있다.

③ 불완전도(Imperfection, I)

프랑스의 'Belugou'에 의해 제안된 것으로 테라지수 E_p 의 결점인 분리입도 d_{50} 의 의존성을 없애도록 지수화한 것이다.

즉, $I = \frac{E_p}{d_{50}}$ 이다.

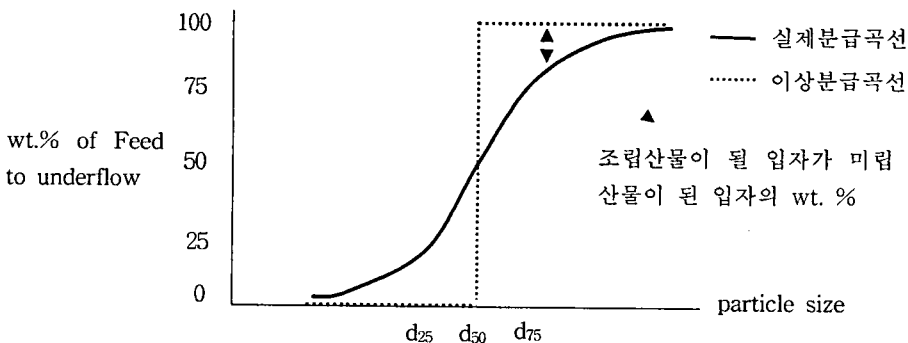


그림 3. 부분분급효율 곡선.

대표적인 산업용 분급기

분급기의 종류는 매우 다양하나 크기는 분급 시 사용한 유체의 종류에 따라 건식(풍력)분급기와 습식(수력)분급기로 대별된다. 또한 분리입도(separation size 또는 cut point)에 따라 조분용(100 μ m이상) 분급기, 중세분용(10~100 μ m) 분급기, 미분용(10 μ m이하) 분급기로 분류하기도 한다. 그러나 대부분의 분급기는 위 이 사항들이 복합적으로 적용되고 있다. 본 보에서는 현재 산업용으로 주로 사용되고 있는 대표적인 분급기를 중심으로 소개하고자 한다.

(1) O-SEPA

O-SEPA(그림 4)는 오노다 시멘트(주)가 대용량·고효율형으로 개발한 대표적인 조분용 건식분급기이다. 분급원료는 고속회전하는 분산판을 경유해서 분산상태로 분급용 공기중으로 투입된다. 분급용 공기는 분급기 측면 2개소로부터 유입해서 고정 가이드베인을 경유해서 1차 소용돌이 기류가 형성된 다음 회전하는 소용돌이 기류 조정날개와 정류판에 의해 정밀한 2차소용돌이 기류(수평소용돌이 기류)가 형성된다. 분급은 처음 1차 소용돌이 기류로 실시되고 이어서 2차 소용돌이 기류에 의해 정밀 분급이 실시된다. 분급된 미립자는 중심부의 미립자

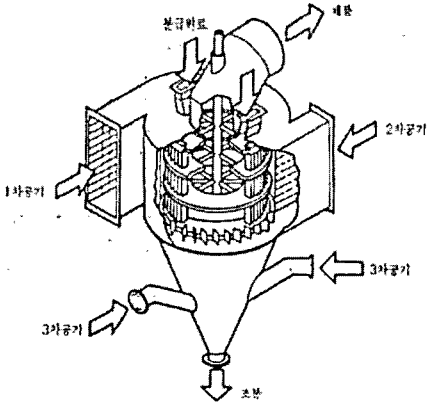


그림 4. O-SEPA 풍력분급기.

포집 Duct를 경유해서 외부에서 제품으로 포집된다. 한편 조립자는 분급기 하부에서 유입되는 3차 공기에 의해 재차 분급된 다음, 외부에서 제품으로 포집된다. 이처럼 분급원료가 정밀하게 분급 받을 기회를 여러 번 갖게함으로써 대용량 처리시에도 좁은 입도분포의 분급특성을 얻을 수 있다.

(2) 'Cyclone Air Separator'

'Cyclone Air Separator'는 종래의 팬 내장

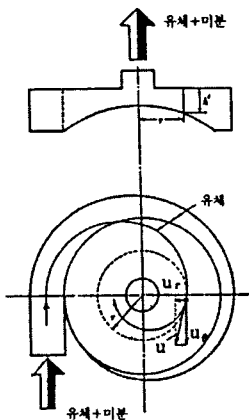


그림 6. 원심력을 이용한 분급.

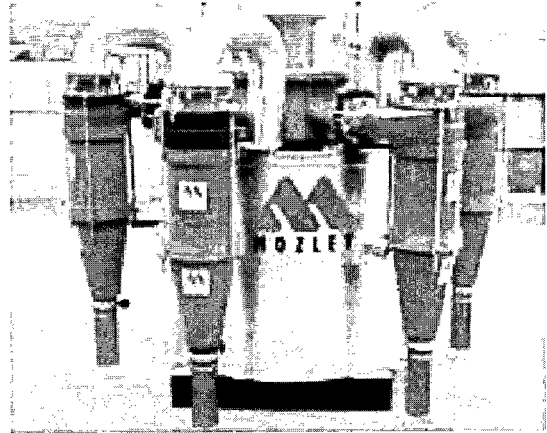


그림 5. Mozley 수력분급기.

형 'Air Separator'를 가와사키중공업(주)이 도입하여 기술 개량한 전식분급기이다. 이 분급기는 팬을 외부에 설치해서 이 팬에 의해 발생하는 기류가 'Separator' 본체의 주변에 배치된 정분 포집용 'cyclone'으로 흐르고 순환 duct를 거쳐 다시 팬으로 돌아오는 구조로 되어 있어 종래의 팬 내장형 'Separator'에 비해 2배 가까운 처리용량과 우수한 분급효율을 가지고 있다. 특히 운전 중에 용이하게 분리입도의 조절이 가능할 뿐만 아니라 분말도의 조절

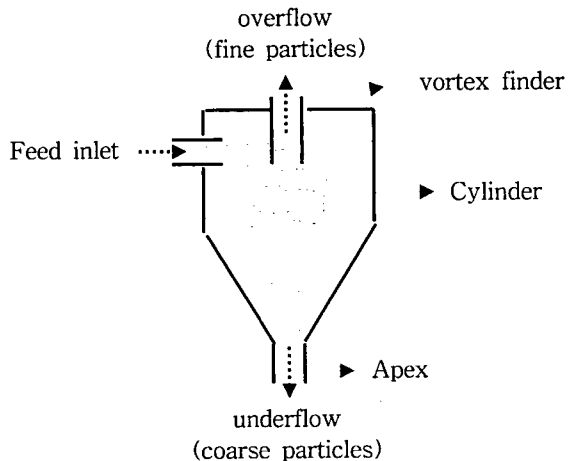


그림 7. 수력분급기 구조.

표 5. 'Hydrocyclone'의 분리입도에 영향을 미치는 요소.

	요 소	비 고
Hydrocyclone의 장치조건	Cylinder diameter	분리입도에 비례
	Feed Inlet diameter	"
	Vortex finder diameter	"
	Apex diameter	분리입도에 반비례
	Cylinder height	"
Hydrocyclone의 운전조건	Pulp density of feed	분리입도에 비례
	Pressure drop	분리입도에 반비례
	volumetric flow rate of Feed	"

표 6. 'Hydrocyclone'의 운전조건 및 장치조건.

	조립 분급	미립 분급	비 고
Feed의 pulp density	고농도	저농도	운전조건
Pressure drop	저압	고압	"
Cylinder	직경이 큰 실린더	직경이 작은 실린더	장치조건
Vortex finder	큰 직경	작은 직경	"
Apex valve	작은 직경	큰 직경	"

범위가 매우 넓어 시멘트 분급의 경우 'brain' 값 2,500cm²/g에서 7,000cm²/g까지 조절이 가능한 것으로 알려져 있다. 따라서 이 Cyclone Air Separator는 주로 시멘트 제조공정의 닫힌 분쇄회로에서 분급기로 사용되고 있지만 소석회 분급, 석탄회 분급 등 여러 대용량 분체처리 분야에서도 사용되고 있다.

(3) 'Hydrocyclone'

그림 5는 영국의 'Mozley' 사가 광물 분체의 습식분급기로 개발한 Hydrocyclone으로 처리 용량에 비해 설치면적이 작고 동력이 적게드는 특징이 있다. 'Hydrocyclone'의 실린더 내부에 슬러리를 접선방향으로 고속으로 유입하면 소용돌이에 의해 발생하는 원심력 때문에 입자의 침강속도를 가속화시킴으로서 입도가 큰 조립자는 'cyclone' 내벽 방향으로 침강하여 'apex'를 통해 'under flow' 산물로 배출되고 상대적으로

입도가 작은 미립자는 'cyclone' 중심부로부터 'vortex finder'를 통해 'over flow' 산물로 배출된다(그림 6과 7 참조). 'Hydrocyclone'의 분리입도(d₅₀)에 영향을 미치는 인자들은 표 5와 같다. 따라서, 조업중에 분리입도를 조절하는 방법으로는 장치조건을 변경시키기보다는 운전조건을 변경시키는 것이 편리하다. 또한 조립분급과 미립분급에 대한 'Hydrocyclone'의 운전조건과 장치조건은 표 6과 같다.

한편 'Hydrocyclone'은 고액분리기, 오일정제기, 슬라임제거기 등으로도 사용하고 있다.

참고문헌

- 김송호, 1987, 시멘트 산업에서의 분쇄?분급 기술, 요업재료의 과학과 기술, Vol. 2, No. 2, pp.133~144

서태수, 변운섭, 2003, 분체기술의 새로운 전개, 제 28회 자원활용소재 워크샵 pp.85~94
 서태수, 1996, 분급, 제8회 분체공학기술교육세미나, pp.43~75
 이영진, 1996, 분체분급기술매뉴얼, 도서출판 대신기술, p.239
 정문영, 2003, 광물 분체제조기술의 발전 동향, 광물과 산업, 제16권 제2호, pp.24~35
 McCabe, W. L., et al, 1995, Unit Operations of Chemical Engineering, McGraw-Hill
 Penny Crossley, 2004, Degrees of separa-

tion, Industrial Minerals, February 2004, pp.62~65
 Savage, S.B., Pfeffer, R., and Zhao, Z.M., 1996, Solids transport, separation and classification, Powder technology, Vol 88, pp.323~333
 Wills, B. A., 1997, Classification, Mineral Processing Technology(6th), chapter 9, pp.192~213, Butterworth-Heinemann, Oxford
 Yokoyama Toyokazu, 1999, 粉碎?分級操作によつて高機能粉體を製造する, 粉體と工業, Vol.31, No. 5, pp.59~68

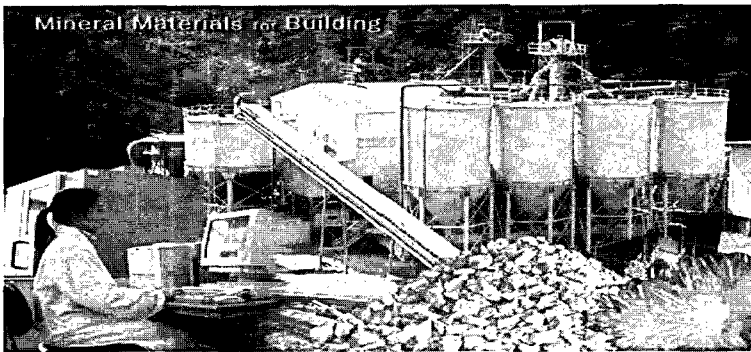
산업광물은행 2004년도 홈페이지 <http://imb.kangwon.ac.kr>



산업광물은행
Industrial Mineral Bank

한국과학재단 지정 강원대학교 부설
 산업광물은행은 광물소재에 관한 산·학·연 연구개발을 도모하기 위해 한국과학재단의 지원으로 설립되었습니다.

산업광물이란 소재은행소개 소재분양/감정 자료실 연구개발광장 「광물과산업」지 후원기관 관련정보망 방명록



- IMB NEWS
- ☑ 노진환 교수, [김수전학술상] ... 04/06/04
 - ☑ 장석 단결정 외 소재수집 04/05/24
 - ☑ [IMB, 보유소재] 추가 04/05/11
 - ☑ [IMB, 보유소재] 추가 04/05/07
 - ☑ [장석과 그 응용] 논문 요약집 ... 04/05/06
 - ☑ 제5회 산업광물 심포지움 통정 04/04/28
 - ☑ 제5회 심포지움 성황리에 종료 04/04/20

- Meetings & Upcoming Events
- ☑ 호주 산업광물산지 방문예정 04/07/15
 - ☑ IMB, 한국광물학회 참석 04/05/17
 - ☑ IMB, 2004년 2차 지질조사 04/05/17
 - ☑ [IMB] 제 2차 지질조사 후기 04/03/03

국내외 학술행사 안내

MEMBERSHIP
회원가입

한국의광물
MINERAL OF KOREA

한국광물학회
THE MINERALOGICAL SOCIETY OF KOREA

「광물과산업」지
 한국광물학회와 산업광물은행이 공동으로 발행하는 연구개발 관련 학술정보지

- IMB Symposium
- 제5회 장석과 그 응용
 - 제4회 알라이트-운모와 ...
 - 제3회 석회석과 그 응용
 - 제2회 천연 제올라이트...
 - 제1회 벤토나이트와 그 ...

자료 검색
SEARCH DATABASE

검색	
자료	156093
논문	76
특허	1

우편택지 쿼리자

Industrial Mineral Repository | Mineral Resources & Tutorial

이 코너는 산업광물은행에서 보유하고 있는 소재, 자료 및 광물품 소개하고, 소재신청에 대한 사항을 안내해 드리는 곳입니다. 산업광물에 대한 분석 및 광물 자료와 신청 절차를 확인 하실 수 있으며, 광물 분석 및 광물에 대한 도움도 드리고 있습니다.

- ☑ 산업광물해설
- ☑ 광물갤러리
- ☑ 묻고, 답하기