

Pneumatic Conveying Basics

Dilute and Dense Phase Pneumatic Systems

이번 칼럼에서는 저밀도와 고밀도상 뉴메틱 이송장치들을 논의할 것이다.

저밀도상 장치는 일반적으로 " 분출유동장치 "라고도 불린다. - 고밀도상 장치도 여러 분출유동 장치중 하나가 될 수 있다. 각 장치가 어떻게 작동하는가에 대한 이해를 돕기 위해 이 칼럼은 각 장치를 설명.기술하고 여러 운전조건들 하에서 각 장치의 대표적인 성능을 비교하고 있는 표를 제공한다.

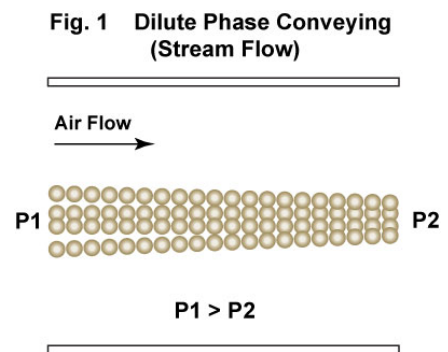
장치를 논하기 전에 수평과 수직의 공기흐름속에서 재료가 어떻게 작용하는 지를 묘사하는 " 셸레이션 속도 "와 " 초킹속도 " 이 2항목을 살펴보자.

수평공기 흐름속에 재료를 투입하는 것은 여러 가지 반응들을 일으킬 수 있다. 공기속도가 높고 재료공급율이 낮아 재료적재량(= 재료공급율을 관로단면적으로 나눈 값)이 낮다면 재료는 통상 관로중심의 약간 낮은 위치에서 관로를 따라 연속적으로 움직이며 부유상태를 이룬다. 공기속도가 매우 높고 재료적재량이 매우 낮다면 이송관로를 통해 유동하는 재료는 단지 희미하게 보이거나 보이지 않는다. 반면에 공기속도가 감소되거나 재료적재량이 증가 된다면 관로바닥에 재료가 쌓이기 시작한다. 처음에는 입자들이 관로바닥을 따라 튀어 오르는 듯 보이다가 결국에는 층상으로 가라앉는다. 해당재료의 특성과 공급율에 대해서 이러한 현상이 일어나는 시점의 공기속도를 " 셸레이션 속도(Saltation Velocity : 유동이탈속도) " 라 한다.

수직상승 유동하는 공기흐름속에 재료를 투입하는 것 또한 여러 가지 반응들을 일으킬 수 있다. 공기속도가 높고 재료적재량이 적다면 재료는 이송관로 단면에 균일하게 분포한다. 공기속도가 감소된다면 재료이송속도가 감소되고 공기중 재료농도가 점점 높아져서 유동한다. 수직이송관로 내에서 증가된 재료농도(" Inventory : 재료축척 "라고도 함)를 지탱하며 이송하는데는 보다 큰 압력강하를 필요로 한다. 공기속도가 더욱 더 감소된다면 재료가 이송관로내에서 결코 상승하지 못하고 유동화 상태로 붕괴되는 것을 뜻하는 재료의 자유추락 종속도에 다달르게 된다. 해당재료의 특성과 공급율에서 이것이 일어나는 공기속도를 " 초킹속도(Choking Velocity : 폐색속도 閉塞速度) " 라 한다.

저밀도상 이송

저밀도상(분출유동)이송은 셸레이션 속도와 초킹속도 이상으로 재료를 이동시킨다. 재료는 공기속도보다 약간 낮은 속도로 이동한다. - 공기유동과 재료의 개별 입자들과의 사이에서 발생하는 견인력이 가속되어 재료를 이송한다(그림 1). 어떠한 재료들도 저밀도상으로 이송될 수 있지만 재료가 마멸성이거나 이송관로를 마모시킬 수 있다면 혹은 재료가 쉽게 부서질 수 있고 저밀도상의 높은 속도에 의해 손상을 입거나 파괴될 수 있다면 낮은 이송속도 즉, 고밀도상 이송이 적합하다.



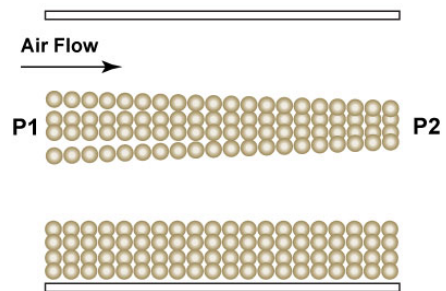
고밀도상 이송

간단하게 말해서, 고밀도상 이송은 저밀도상 이송보다 큰 재료적재량으로 이송하는 것이다. 이러한 정의에 의하면 셸레이션 속도 이하의 이송은 고밀도상 이송이 될 것이다. 하지만, 셸레이션 속도 이하로 이송되는 다른 종류의 재료들은 다른 방식으로 이송되기 때문에 고밀도상 이송을 2개 범주 즉, " 2相 유동 "과 " 피스톤 유동 "으로 구분하는 것이 유익하다.

2相 유동

저밀도상 이송의 분출유동의 특징을 나타내는 고밀도 2상 유동은 공기유동과 이송되는 재료사이에서 발생하는 견인력과 공기속도의 역할이다. 하지만, 이런 형태의 이송에서의 픽업속도(Pick up Velocity : 재료공급점에서의 공기속도)는 상당히 낮고, 운전압력은 일반적으로 약간 높은 편이며 이송관로직경은 약간 작은 편이다. 셸레이션 속도가 초킹속도보다 일반적으로 높기 때문에 이송관로의 수직구역에서 2相 유동은 관로단면에 균일하게 분포되어 진다. 하지만, 수평구역에서 이송속도가 셸레이션 속도 이하로 감소되거나 재료적재량이 증가됨에 따라 재료는 관로바닥에 가라앉고 유동이탈층을 형성한다. 이 이탈층은 수평관로 단면적의 공간을 축소시키고 이 단면적 공간에서 공기속도가 셸레이션 속도 이상으로 증가될 때까지 유동이탈층 형성을 계속한다. 이 시점에 재료는 유동이탈층에서 분출유동으로 이송된다(그림 2).

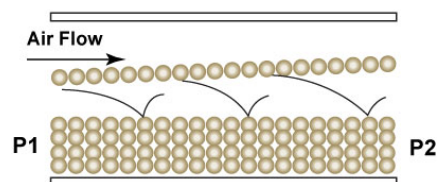
Fig. 2 Dense Phase Conveying (Two Phase Flow)



재료의 특성들에 따라 유동이탈층은 다음의 방식 중에서 어느 한가지로 작용한다.

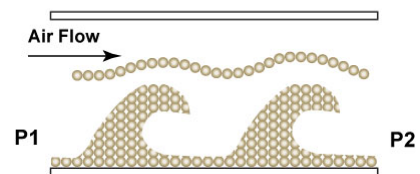
1. 재료의 유동화성이 매우 높고 그 유동화를 일정시간 동안 유지한다면 유동이탈층은 관로바닥에서 액체같이 작용 할 수 있다. 그 층은 공기유동에 의해 끌려가는 것 같이 그리고 층 위에 있는 재료가 분출유동에 의해 포격받는 것 같이 유동할 수 있다(그림 3).

Fig. 3 Two Phase Fluidizable Flow



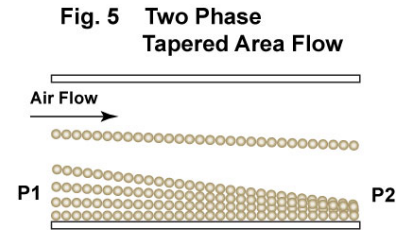
2. 재료에서 탈기(脫氣)되고 액체와 같은 특성을 잃어감에 따라 그 층은 제어되지 않은 파동 혹은 물결상으로 이동될 수 있다. 이러한 이동형태는 이송되는 재료의 특성, 이송관로의 직경 그리고 공기에 대한 재료의 비율(lb/min. 혹은 ft³/min. 단위의 공기유동율로 나눈 lb/min. 단위의 재료공급율)등에 따라 결정된다. 그 파동이 너무 크게되면 관로의 마개로 작용할 수 있는 고압의 물결상을 생성할 수 있다(그림 4).

Fig. 4 Two Phase De-aerated Flow



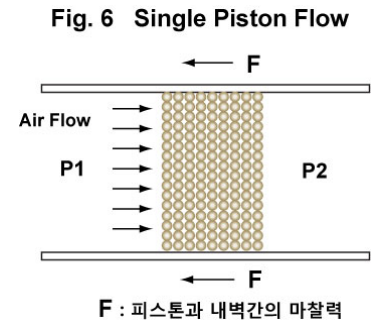
3. 재료가 완전하게 탈기되고 오래 동안 가라앉아 방치된다면 재료는 층상으로 경화될 수 있으며 관로시작부의 두꺼운 층이 관로 끝 쪽으로 점차 얇아지는 경사층을 생성 한다. 관로의 빈공간이

감소되는 층의 두꺼운 끝단에서 층위에서 분출유동이 촉진되고, 운전압력이 감소하고 층의 경사가 낮아지는 관로를 따라 공기유동이 확산진행됨에 따라 동일한 이송속도를 유지키 위해 관로단면적이 증가될 수 있다(그림 5).



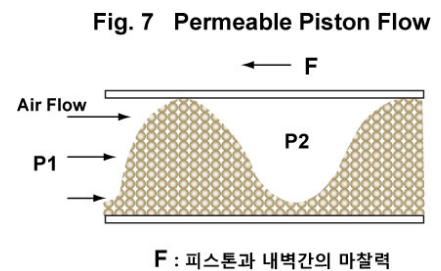
피스톤 유동

이송관로에 재료가 꽉 채워져서 공기가 유동할 수 없다면 재료는 피스톤을 형성한다. - 피스톤의 길이가 너무 길다면 관로의 마개로 작용한다. 재료 뒤쪽의 이송관로에 공기를 유입시키는 것은 피스톤 앞과 뒤에 압력차이가 있도록 피스톤 뒤에 압력을 만드는 것이다. 이 압력차(壓力差)의 증가는 피스톤에 가해지는 힘이 관로벽과 피스톤사이의 마찰력을 초과하여 피스톤을 이동시키는 점까지 도달할 수 있다(그림 6).

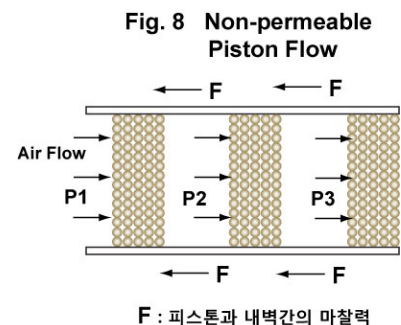


공기가 공급되는 것보다 피스톤이 빨리 이동한다면 피스톤 뒤의 압력은 감소하고 피스톤의 속도가 느려지거나 멈추게 된다. 피스톤이 이동하는 것보다 공기공급이 더 빨라진다면 압력이 증가하고 피스톤의 속도도 증가한다. 설명한 바와 같이 이런 종류의 이송에서 공기속도가 결정적인 것이 아니기 때문에 공기가 재료에 대해 견인력으로 작용하는 것은 아니다. 대신에, 재료피스톤 앞뒤의 압력차가 재료를 이송한다. 공기속도는 관로를 통과하는 피스톤의 이송속도를 결정한다.

피스톤은 공기투과성 혹은 공기 비투과성이 될 수 있다. 투과성 피스톤은 미세입자들이 없는 거칠고 굵은 재료들에 의해 만들어진 것이다. 이러한 재료(예 : 플라스틱 펠릿)는 일부 공기가 피스톤을 통해 지나갈 수 있게 하며 피스톤의 압축이 적게 일어나서 관로내벽에 대한 피스톤의 마찰이 적게 일어난다. 이것이 이송관로를 통해 파동과 같이 이동하는 일련의 자체형성 피스톤을 만든다. 이 피스톤들은 통상 자체적으로 길이를 제한하며 이송하는데 매우 용이하다(그림 7).



비투과성 피스톤은 다량의 미세입자들을 함유하는 재료(예 : 이산화 티타늄)에 의해 만들어진 것이다. 공기는 피스톤을 통해 통과할 수 없으며 대신에 피스톤을 압축한다. 피스톤의 길이가 증가함에 따라 피스톤을 이동하는데 필요한 압력차는 증가하여 유효압력차가 피스톤을 이동시킬 수 없는 즉, 관로마개를 만드는 점까지 결국에는 도달케 된다(그림 8).



비투과성 피스톤을 만들 수 있는 즉, 다량의 미세입자들을 함유한 재료를 취급하는 이송설비를 설계하기 위해서는 각 피스톤의 길이가 제한되어야만 한다. 다른 뉴메틱 이송설비의 공급자들은 다른 방식들로 이것을 수행한다. 반면에, 재료가 먼저 비투과성 피스톤을 만들고 나서 투과성 피스톤을 만든다면 이를 취급하는 장치를 설계한다는 것이 어렵게 될 수 있다. 예를 들면, 크기가 여러 종류인 입자들을 함유하는 재료(예 : 석회석 자갈)가 공급조로부터 이송장치에 배출될 때 먼저 비투과성 피스톤을 만드는

미세입자들이 이송관로에 들어가고 나서 투과성 피스톤을 만드는 굵은 재료가 관로에 들어간다. 이런 문제를 최소화 하기 위해서는 일반적으로 이러한 재료특성들을 취급할 수 있는 일련의 2相 유동을 이루기 위해 공기속도가 증가되어야 만 한다.

여러 운전조건하의 저밀도상과 고밀도상 이송장치의 대표적 성능을 나타낸 [표1]을 참고하라.

운전조건		이송장치		
		저밀도상	고밀도상	
			2상 유동	피스톤 유동
속도범위(m/sec.)		17 ~45	5 ~ 20	-
재료유동율/공기의 질량유동율		0.2 ~ 8	8 ~ 130	80 ~ 1,600
운전 진공도(mmHg)		0 ~ 450	진공상태에서는 이송곤란	
운전압력(kg/cm ²)		0 ~ 0.8	0 ~ 3	0.7 ~ 5
공기 공급형태		팬 또는 블로어	블로어 또는 압축공기	압축공기
이송유동형태		균일유동	파동유동	간헐유동
관로의 마모경향		높음	중간	낮음
재료의 열화경향		높음	중간	낮음
다양한 특성의 재료들을 취급할 수 있는 능력	균일입자, 3,150 μ m	탁월	불가	우수
	분쇄입자, 147 μ m	불량	우수	다소 불량
	20 μ m입자의 유동화성	불량	탁월	우수
	20 μ m이하의 미세입자	불량	다소 불량	탁월
	섬유상 분체	탁월	불가	다소 불량
	다양한 박판상 분체	탁월	불가	불가