

기압수송공정에서 마찰계수의 영향

홍영호*

*혜전대학 의료재료과

e-mail : yhhong@hj.ac.kr

A Effect on Friction factor in Pneumatic Conveying Process

Young-Ho Hong*

*Dept of Bio-Materials, Hyejeon College

요 약

본 연구에서는 기압수송공정에서 고체와 기체에 의한 마찰이 기압수송에 미치는 영향을 규명하기 위하여 기압수송공정에서의 마찰계수에 대한 연구를 진행하였다. 높이 108cm, 내경이 4.6cm인 원통형관을 주수송관으로 사용하였으며, 주수송관의 하단으로부터 일정간격으로 pressure tab을 설치하여 이송에 따른 압력차를 측정하여 수송조건이 마찰계수에 미치는 영향에 대한 분석을 실시하였다. 기체의 레이놀즈 번호(N_{Re})가 9000부터 20000 까지 범위에서 레이놀즈 번호의 변화에 따른 기체의 마찰계수 변화를 측정된 결과에 의하면 레이놀즈 번호가 증가함에 따라 수송관에서 기체와 의 마찰계수는 증가하는 경향을 보이고 있다

1. 서론

기압수송(pneumatic conveying)은 기체 흐름에 의해 고체를 이송시키는 공정으로 고체 입자는 기체에 분산된 형태로 이동하여, 기체흐름의 압력에 의해 고체 입자의 이동 형태가 결정된다고 할 수 있다. 이러한 기압수송 장치는 이송과정에서 고체입자의 손상을 막을 수 있고 유해물질의 누출을 억제할 수 있다는 장점 때문에 분진의 배출공정등과 같은 여러 가지 공정에 활용될 수 있다.

고체입자가 함유된 기체-고체의 이송공정에서 발생하는 마찰은 고체에 의한 마찰과 기체에 의한 마찰로 구별된다. 기체에 의한 마찰은 $\Delta P_{f,g} = \frac{2 f_g \rho_g U_g^2 L}{D}$ 로부터 $f_g = \frac{\Delta P_{f,g} D}{2 \rho_g U_g^2 L}$ 가 된다. 또한 고체에 의한 마찰계수는 $\Delta P_{f,p} = \frac{2 f_p \rho_p (1-\epsilon) U_p^2 L}{D}$

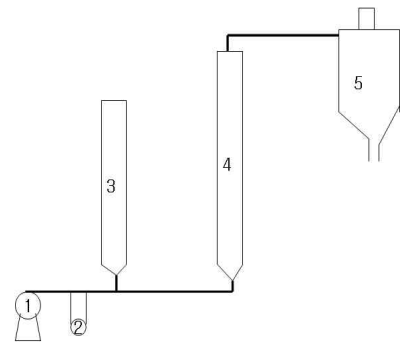
로부터 $f_g(1-\epsilon) = \frac{\Delta P_{f,p} D}{2 \rho_p U_p^2 L}$ 가 된다.

본 연구는 수직 기압수송공정을 이용한 분진의 배

출공정에서 기체의 흐름과 고체의 흐름에 따라 발생하는 마찰에 의한 영향을 규명하기 위하여 실시되었다.

2. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치는 그림 1에서 보는바와 같이 높이 108cm, 내경이 4.6cm인 원통형관을



1: Air Compressor, 2: Orifice Meter, 3: Hopper
4: Main Transport Line, 5: Cyclone

그림 1. 실험 장치

주수송관으로 사용하였으며, 주수송관의 하단으로부터 일정간격으로 pressure tab을 설치하여 이송에 따른 압력차를 측정하였다. 주수송관에서 마찰계수에 대한 측정을 위하여 본 연구에서는 주수송관을 스크린으로 충전하여 마찰계수의 변화에 대한 측정을 실시하였다. 본 실험에서 사용된 기체는 공기를 이용하였으며, 고체로는 일정한 크기를 가진 규사를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 기압수송공정에서 고체입자의 크기와 공급기체의 유속변화에 따른 최소운송속도(minimum carrying velocity)를 측정하여 최소운송속도 범위 이상에서 기압수송에 따른 압력강하를 측정하여 마찰계수에 대한 고찰을 하였다.

3.1. 최소 운송속도

기체-고체의 이송공정에서 발생하는 최소운송속도는 입자들이 거의 침강될 정도로 속도를 낮춘 다음 속도를 조금씩 높여서 입자들의 흐름 현상을 육안으로 관찰하여 입자들이 정체됨 없이 흘러가는 상태가 될 때의 속도를 측정하여 그 결과를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 이송에 사용되는 고체입자의 평균직경이 증가함에 따라 최소운송속도 값이 증가하는데, 이는 수직 기압수송에서 공급되는 고체입자와 수송관 사이에 마찰이 발생하며, 입자의 순환에 의해 입자의 종말속도가 증가하기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다.

3.2. 기체에 의한 마찰계수

기압수송공정에서 사용되는 기체의 레이놀즈 번호(N_{Re})가 9000부터 20000까지 범위에서 레이놀즈 번호의 변화에 따른 기체의 마찰계수 변화에 대한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 레이놀즈 번호가 증가함에 따라 수송관에서 기체와의 마찰계수는 증가하는 경향을 보이고 있다.

본 연구 조건에서 마찰계수는 레이놀즈 번호가 15000 정도의 범위에서 가장 큰 값을 보이고 있다. 이러한 현상은 기압수송공정에서 기체의 유속이 작은 경우 수송관내에서 고체입자의 holdup이 증가하여 정압압력강하 값이 증가하며, 기체의 유속이 증가

하게 되면 마찰에 의한 압력강하 현상이 발생하기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다.

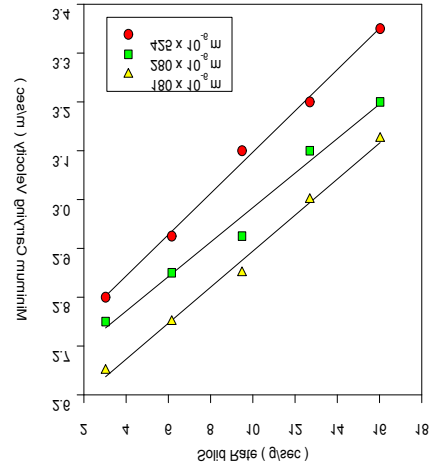


그림 2. 입자 직경 및 입자 운송속도에 따른 최소 운송속도

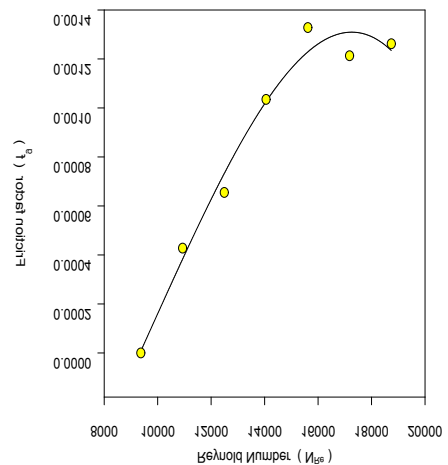


그림 3. 레이놀즈수 변화에 따른 마찰계수

충전관내부를 직경 0.5cm, 길이 1cm의 크기를 지닌 스크린으로 충전한 후 기압수송공정에서 사용되는 기체의 레이놀즈 번호(N_{Re})변화에 따른 기체의 마찰계수 변화에 대한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 앞서 살펴본 내부가 비어있는 수송관에서의 결과와는 달리 레이놀즈 번호가 증가함에 따라 수송관에서 기체와의 마찰계수는 감소하거나 큰 변화가 없는 결과를 보여주고 있다. 특히 망목 사이즈가 30mesh인 스크린을 사용하여 충전한

경우에는 레이놀즈 번호가 증가함에 따라 마찰계수가 감소하는 결과를 보여주고 있다.

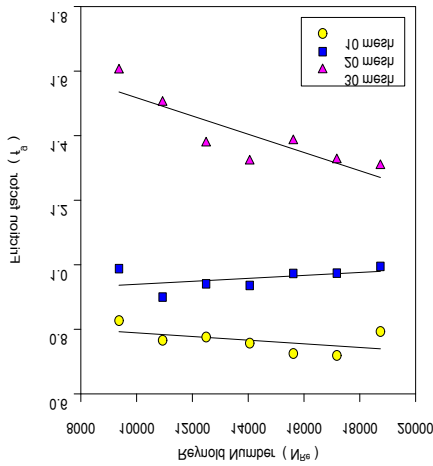


그림 4 . 충전관에서 레이놀즈수 에 따른 마찰계수의 변화

충전관내부를 직경 0.5cm, 길이 1cm의 크기를 지닌 스크린으로 충전한 후 기압수송공정에서 사용되는 기체의 레이놀즈 번호(N_{Re})변화에 따른 기체의 마찰계수 변화에 대한 결과를 그림 4 에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 앞서 살펴본 내부가 비어있는 수송관에서의 결과와는 달리 레이놀즈 번호가 증가함에 따라 수송관에서 기체와 의 마찰계수는 감소하거나 큰 변화가 없는 결과를 보여주고 있다. 특히 망목 사이즈가 30mesh인 스크린을 사용하여 충전한 경우에는 레이놀즈 번호가 증가함에 따라 마찰계수가 감소하는 결과를 보여주고 있다.

3.3. 고체에 의한 압력강하

기압수송공정에서 고체입자가 마찰계수에 미치는 영향에 대한 분석결과를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 공급되는 고체의 양이 증가할수록 압력강하 값이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 공급되는 고체의 질량이 증가할수록 수송관내에서 고체의 holdup의 증가로 인하여 주수송관내의 고체의 holdup이 증가 하게 되면 정압에 의한 압력강하가 증가하기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다. 고체의 공급량이 증가하면 고체입자와 주수송관내부와의 마찰에 의한 압력강하가 존재하게 되어

압력강하는 더욱 크게 변화하는 경향을 보인다고 할 수 있다.

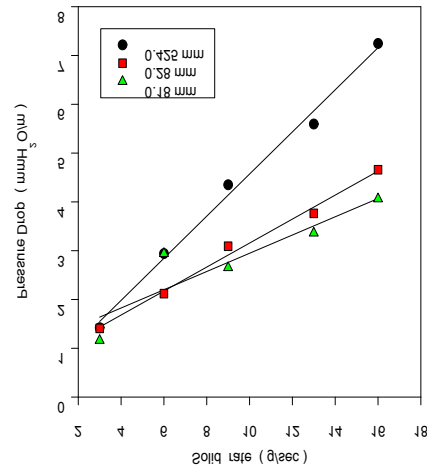


그림 5 충전관에서 고체 공급속도에 따른 압력 강하

참고문헌

[1] M. Bahrami, M.M Yovanovich, J.R. Culham, "Pressure Drop of Fully Developed Laminar Flow in Rough Microtubes" *Journal of Fluid Engineering* 128, 632-637, 2006.

[2] M.M. Moore, E. Harrington and W.P. Rock, "Factors affecting friction in the pre-adjusted appliance," *European Journal of Orthodontics*, 26, 579-583, 2004.

[3] S.C. Plasting, R.R. Kerswell, "A friction factor bound for transitional pipe flow" *Physics of Fluids*, 17, 1-4, 2005.

[4] A. Kosar, C. Mishra, Y. Peles, "Laminar Flow Across a Bank of Low Aspect Ratio Micro Pin Fins" *Journal of Fluid Engineering* 127, 419-430, 2005.