

# 관로수송 특성과 쓰레기 수거시 현장 적용 사례

물체를 관로수송하기 위한 특성과 쓰레기 수거시 특성을 비교하고자 한다.

정영훈

(주)엔백 센트랄석 (yhjung@envac.co.kr)

구소연

(주)엔백 센트랄석

## 기본원리

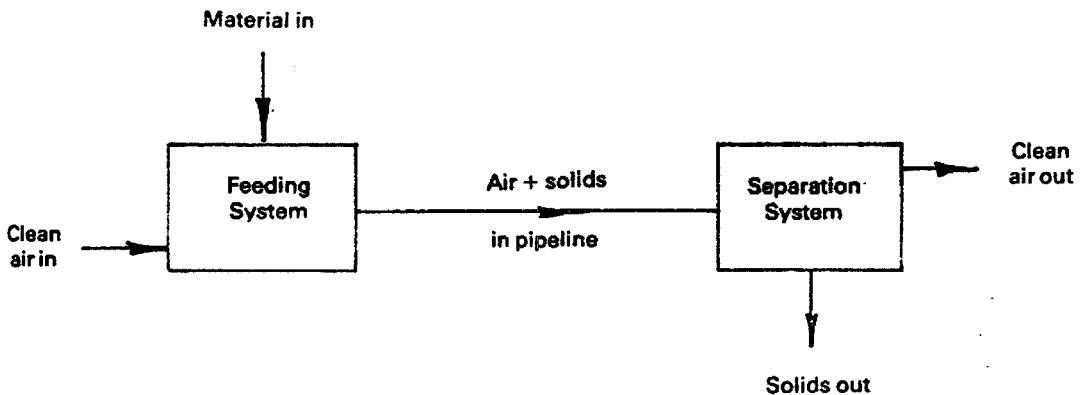
쓰레기 이송설비는 기본적으로 여러 투입장소에서 투입하여 멀리 떨어진 지정된 장소로 수거함을 목적으로 하고 있다. 따라서 이때 시스템 구성은 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데 공기와 쓰레기가 투입되는 투입시스템(feeding system)과 수거된 장소에서 다시 쓰레기와 공기를 분리하는 분리시스템(separation system)으로 나눌 수 있다. 쓰레기를 수거하는 과정은 압축성이 있는 공기를 사용하며 공기 속도를 부여하여 쓰레기를 수송하게 된다.

여러 지점에서 투입된 쓰레기를 지정된 장소로 수

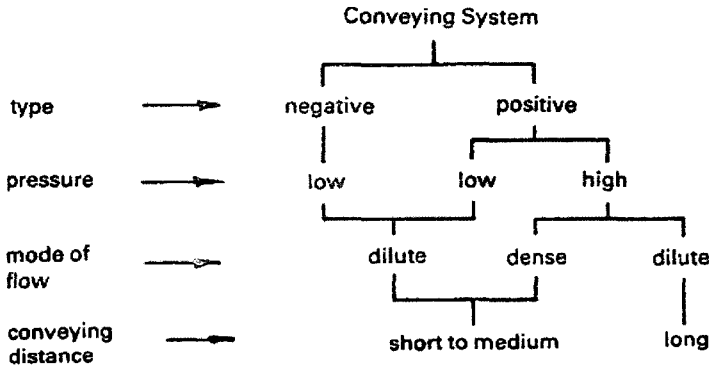
거하기 위해서는 쓰레기 이송설비의 구성은 폐회로 시스템(close system)으로 구성되며 투입시스템과 분리시스템 사이에는 쓰레기와 공기가 수거되는 파이프라인으로 구성되어 있다. 공기 이송시스템의 기본요소는 그림 1과 같다

## 파이프라인 수거형태

공기압과 파이프를 이용하여 물체(material)를 수거하기 위해서는 여러 가지 형태를 그림 2와 같이 나눌 수 있다. 배관 내부의 압력을 기준으로 하여 대기압 이상인 양압 시스템(positive system)과 대기압



[그림 1] Basic elements of pneumatic conveying system



[그림 2] The influence of pressure drop on the inter-relationship between mode of flow and conveying distance

이하인 음압(negative system)으로 나눌 수 있다. 쓰레기 이송설비의 경우는 여러 점에서 한곳으로 수거를 하기 때문에 음압 시스템이 이용되고 있으며 음압시스템의 특성상 양압에 비하여 사용 압력이 낮고 수거시 배관 내에 물체가 적은 Dilute 수거 형상을 나타내며 비교적 수거 거리가 짧게 됨을 알 수 있다. 쓰레기 이송설비의 경우 수거대상 물체에 따라 수거 거리가 결정되나 통상 3.0 km을 최대 수거거리로 적용하고 있다.

참고로 파이프 내에 흐름 형태는 상 밀도(phase density)로 구분하며 10 이하는 Dilute, 40 이상은 Dense로 구분하고 있다.

Phase Density  $\phi$  = mass flow rate of the solids conveyed / mass flow rate of the air used for conveyed

### 파이프라인 수거특성

공기압을 이용하여 물체(material)를 수거시 적용할 수 있는 특성을 정리한 것이다. 비교적 작은 양을 소구경으로 근거리를 수거하는 경우 상 밀도(phase density)는 Dense Phase가 되며 많은 양을 투입하더라도 원거리, 대형 관으로 수거할 경우 Dilute Phase가 되게 된다. 여기서 쓰레기의 특성은 국내에서 쓰레기 배출시 종량제 봉투를 사용하게 되고 100리터 봉투의 경우 최대 46 cm의 직경을 갖게 된다.

따라서 쓰레기를 수거하기 위해서는 투입량은 작

은 경우에 해당되며(통상 하루 2 ~ 3회 가동) 배관 경이 크고(500 ~ 600 mm), 비교적 원거리에 해당되어 Dilute Phase가 됨을 알 수 있다. 쓰레기를 수거하기 위해서는 설계단계에서부터 Dense Phase를 피하고 Dilute Phase로 설계하는 것이 필요하게 됨을 알 수 있다.

그림 3은 시스템 능력과 설계순서를 나타낸 것이다.

### 공기압 시스템 설계시 기본요소

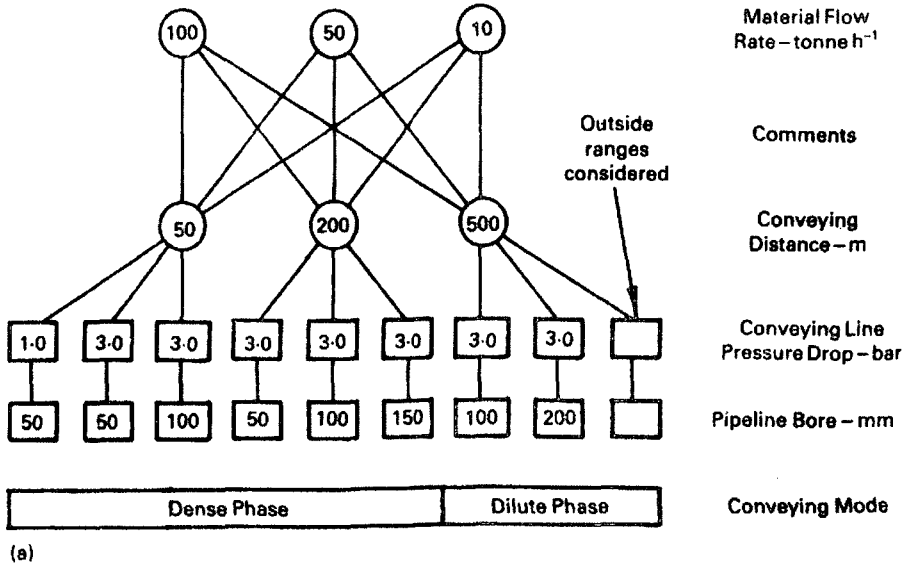
쓰레기를 일정량 수거하기 위한 설계시 기본적인 요소는 다음과 같다.

1. 배관 직경(diameter)
2. 수거 거리(distance)
3. 파이프라인에 압력 저하(pressure drop)

상기 요소 중 배관 직경은 선택적인 요소가 제한되어 있다. 아래 표와 같이 국내에서 사용 중에 있는 쓰레기 종량제 봉투 크기와 직경은 표 1과 같다.

통상적으로 주민들이 많이 사용하는 10, 20리터의 경우 직경은 20 ~ 25 cm 정도이나 50리터 이상의 대형 종량제 봉투를 고려할 경우 최소 400 mm 관 이상을 사용해야 함을 알 수 있다.

수거거리에 대해서는 통상 프로젝트 기본계획 단계에서 정해지고 있으며 별도로 결정하기는 어려운 상황에 있으며, 설계 단계에서 적용할 수 있는 요소는 압력저하 관계이다.



Materials Having Very Good Air Retention Properties (Material Type A)

[그림 3] System capabilities and design procedure

<표 1> 종량제 봉투 규격

규격	5 L	10 L	20 L	50 L	100 L
최대지름 (cm)	-	21	26.8	35.6	45.2
길이(cm)	46.5	56.5	69.5	91.5	113.5

### 압력 저하 관계

직관에서 형성되는 압력저하는 다음과 같다.

$$\Delta p = 4fL\rho C^2 / 2d \quad (1)$$

- $\Delta p$  = 압력저하(Pressure drop)    Nm<sup>2</sup>
- $f$  = friction coefficient            Dimensionless
- $L$  = Pipe length                      m
- $\rho$  = Density                          kgm<sup>-3</sup>
- $C$  = Velocity                          ms<sup>-1</sup>
- $d$  = pipe bore                        m

#### 1. 공기량과의 관계(The influence of air flow rate)

식 (1)과 같이 공기량과 압력저하의 관계는 속도의 제곱에 비례한다. 따라서 공기량은 쓰레기 이송시 파이프 압력저하에 큰 영향을 미치게 된다.

#### 2. 수거거리와의 관계(The influence of pipeline length)

식 (1)과 같이 수거거리와 압력저하는 비례하여 증가한다. 수거거리(L)가 길어질수록 압력저하는 비례적으로 증가한다.

#### 3. 파이프 직경과의 관계(The influence of pipeline bore)

파이프 직경과 압력저하는 반비례한다. 그림 4와 같이 직경이 커질수록 압력저하는 감소됨을 알 수 있다. 파이프 직경과 압력저하 두 가지 요소로만 비



교를 한다면 작은 파이프 직경으로는 원거리 수거에 어려움이 있음을 알 수 있고 결국 원거리 수송의 경우 파이프 직경이 큰 것이 상대적으로 유리함을 알 수 있다.

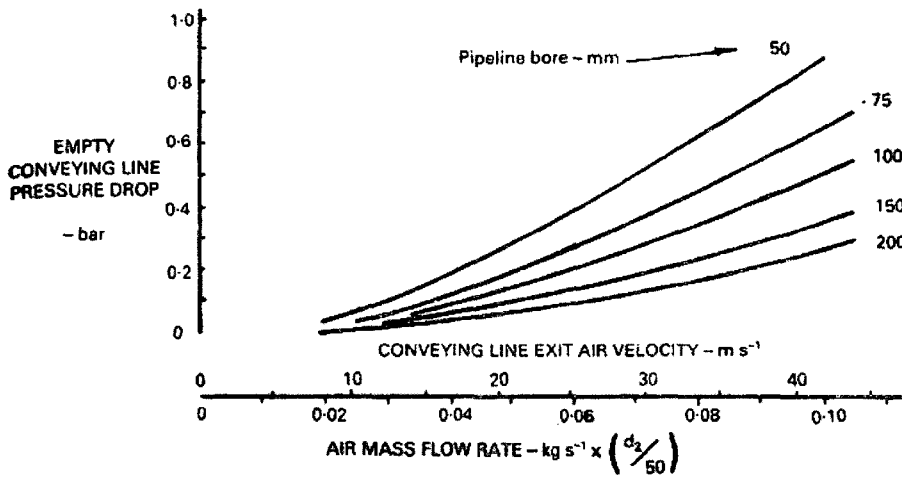
쓰레기 수거를 위한 파이프 직경은 통상 400 ~ 600 mm을 사용하고 있으므로 비교적 직경이 큰 파이프를 사용하여 원거리 수거에 임하고 있다.

#### 4. 곡관과의 관계(The influence of bends)

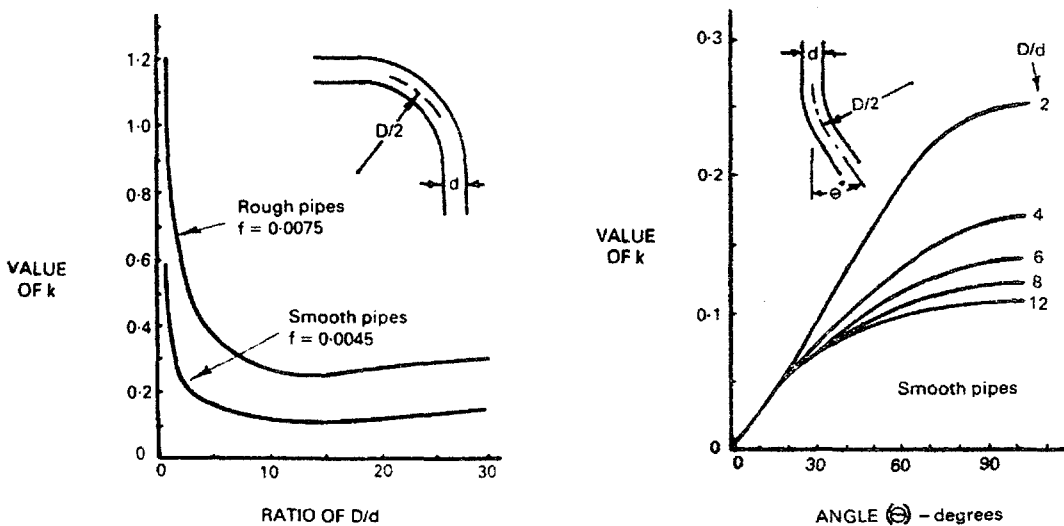
곡관에서의 압력 저하 공식은 다음과 같다.

$$\Delta p = k(\rho C^2 / 2) \quad (2)$$

그림 5와 같이 k 값은 곡관 곡률반경(D)을 파이프 직경(d)으로 나누어 D/d 값이 클수록 k값이 커지고



[그림 4] Influence of pipeline bore and air flow rate on the empty conveying line pressure drop



[그림 5] Head loss for 90 degree bends

있다. 반대로  $D/d$  값이 작아질수록  $k$  값도 작아지나 일정한 비율이 도달하면  $k$  값이 균등하게 유지됨을 알 수 있다.

또한 배관의 이음에 있어서도 곡관과 동일하게  $D/d$  값이 큰 것이  $k$  값이 작아짐을 알 수 있고 따라서 쓰레기 수거시 곡관의 선정에 있어서 곡관의 곡률반경의 적절한 선택의 파이프 배관망 설계시 매우 중요한 요소임을 알 수 있다.

### 5. 파이라인 형상과의 관계(The influence of other pipeline features)

일반적인 유체역학에서 다루는 것과 마찬가지로 배관에서 형상이 변할 때는 압력 저하(Pressure drop)가 이루어진다. 가장 일반적인 것은 단면의 증가이다. 그림 6과 같이 단면 증가 각이 클수록 압력 손실은 증가하게 된다.

또한 유체의 입구와 출구 형상에 따라서  $k$  값은 영향을 받게 되는데 입구와 출구형상 모두 단면이 90도에 가까운 것이 부드럽게 유입되는 것보다  $k$  값이 최소 5배 이상 커짐을 알 수 있다.

### 곡관에서의 물체 흐름

물체의 흐름은 슬라이드 형식의 흐름 보다는 곡관

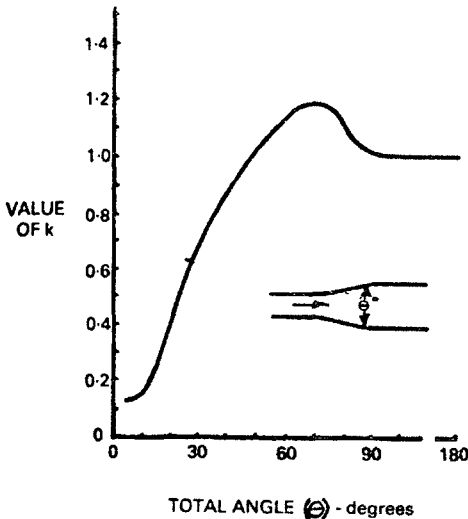
의 벽면을 맞고 튀어 나오는 형상으로 이루어지게 된다. 그림 7의 경우 곡관에서 물체의 흐름을 보여 주고 있는데 물체가 벽면을 부딪치면서 흐름을 형성함을 알 수 있다.

곡관에서 물체의 흐름 중 튀어 나오는 과정에서 충격(impact)이 발생되게 되며 충격이 반복적으로 작용하게 되는 경우 피로현상에 의해서 곡관 손상이 발생될 수 있다. 이를 막기 위한 방법으로는 설계단계부터 비대칭형 곡관을 계획하고 적용함으로써 이러한 현상을 막을 수 있다.

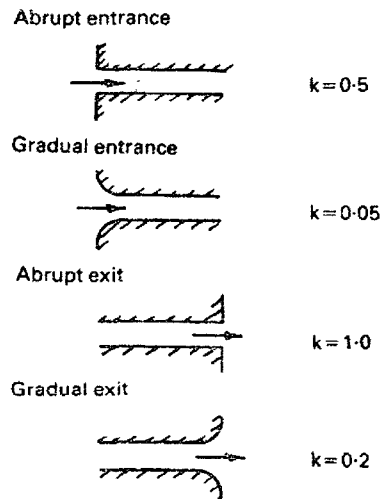
통상적으로 마모에 대한 측정 결과를 보면 곡관이 직관보다 10배 정도 빠르게 진행되는 것으로 조사되고 있다. 이만큼 배관망을 고려할 때 설계단계에서부터 효율적인 배관망 설계를 위해서 노력 할 필요가 있다.

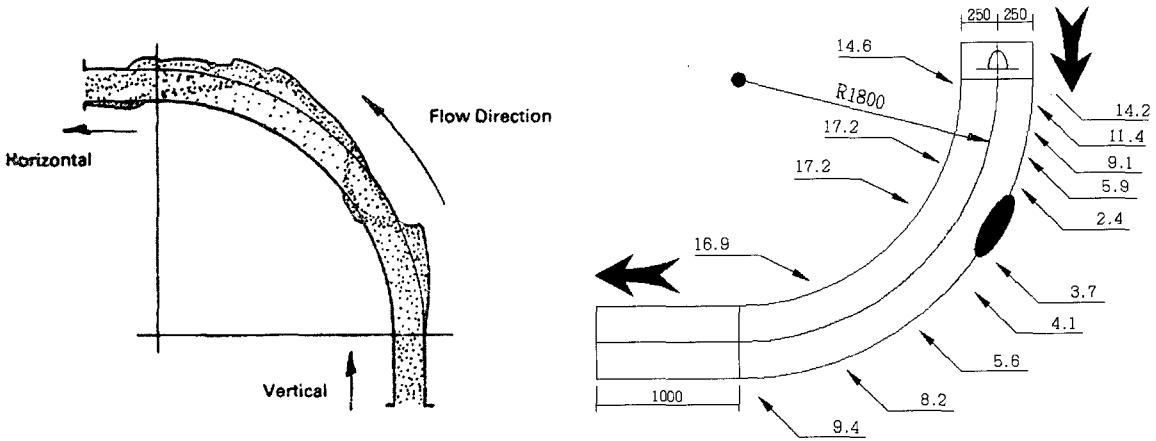
### 곡률반경과 마모

곡관에서 물체 흐름이 곡관에 접선을 이루어 충격이 일어나게 되며 접선의 각도에 따라 마모량은 크게 영향을 받게 된다. 그림 8과 같이 파이프 배관의 직경을  $d$ 라 하고 곡관의 곡률반경을  $D$ 라고 했을 경우  $D/d$ 의 일정한 비율에 따라 마모계수가 급격히 증가함을 알 수 있다.

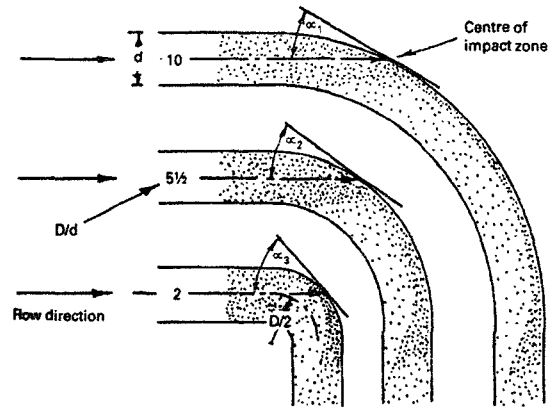
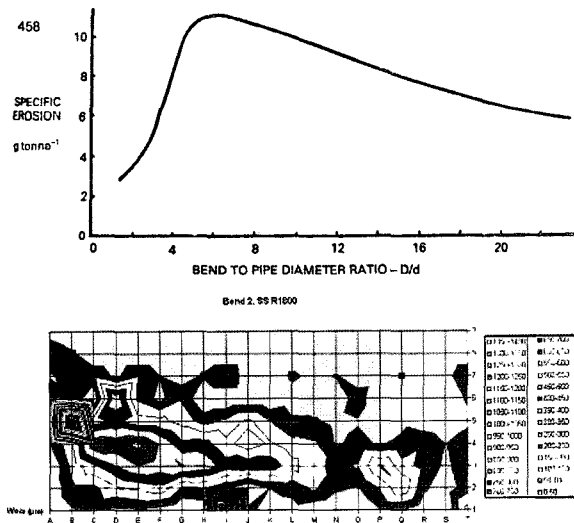


[그림 6] Head loss for enlarge sections and entrance / exit





[그림 7] Wear and flow pattern for an eroded bend



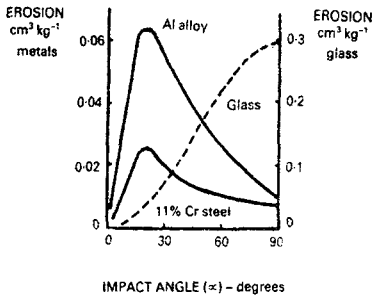
[그림 8] Influence of bend geometry on particle impact angle

쓰레기 수거를 위하여 형성하는 배관에 있어서도 일정부분 곡관의 마모를 고려하여 배관망 형성이 필요하다.

### 곡관에서의 마모

집하시설에서 배관을 부설하기 위한 공사비는 경유

에 따라 차이는 있겠지만 전체 50% 정도를 차지한다. 그리고 배관의 경우 한번 부설하면 변경이나 수정이 매우 어려운 특성이 있다. 또한 배관을 교체 시 일정시간동안 쓰레기 수거가 중단되는 현상이 발생될 수 있어 곡관의 마모에 대해서는 각별한 주의가 필요하다. 그림 9는 곡관 재료에 따른 충돌각에 따른 마모 현상과 면이 마모된 사진과 입자의 사진을 보여 주고 있다.



[그림 9] Influence of Impact angle on Erosion, Photograph of an Erode Surface and a Particle

### 현장 적용

앞에서 언급한 물체를 관로수송하기 위한 이론적인 배경은 쓰레기 관로수송에 대해서는 대부분 유효하다고 판단된다. 그리고 일부에 대해서는 이론적인 배경을 바탕으로 실질적인 시스템 개발이나 기계장비 개발이 이루어지고 있다.

그러나 위와 같은 이론적인 배경에도 불구하고 쓰레기 이송설비의 경우 앞에서 언급한 이론적인 배경을 근본적으로 대치되는 문제가 있다. 그것은 수거를 해야 되는 쓰레기는 석탄과 같은 비교적 균질한

물질이 아니고 형상, 비중량, 크기, 수분함유량 등이 너무나 다양하다는데 있다. 이러한 다양한 모든 특성을 감안한 이론적인 적용은 매우 지남할 것으로 보인다.

이렇게 운반특성이 완전히 상이한 물질을 수거하고 이론적으로 접근하기 위해서는 주로 현장에서 경험으로 얻어지는 반복적인 현상을 정리하여 학문으로 정리할 필요가 있음을 감안할 때 학계, 업계모두 이론적인 배경과 실제 운영상에 현장을 위한 노력할 필요가 있다. (중)