

kiln 燃料(粉炭)供給에 대한 解析

朴 魯 鉉

<大韓洋灰開慶工場工務擔當代理>

筆 者 註

◆.....clinker 燒成에 필수가 되는 燃料問題는 製造經費에 많은 影響을 주게 되며 政府施.....◆
 ◆.....策에 따라 bunker C 油보다 石炭을 더 높은 比率로 混合하여 (重量比 bunker C 油 :◆
 ◆.....石炭=26% : 74%) 사용함이 경제적이라고 立證(1971년 1월)되면서부터 粉炭供給問.....◆
 ◆.....題에 관심을 갖게 되었다. 本稿는 粉炭供給裝置의 機械運轉을 하면서 여러 問題點.....◆
 ◆.....을 力學的으로 설명하기 위해 *Hand book of mineral Dressing* (1966년 3월)과 森芳.....◆
 ◆.....郎 著「新化學工學講座(V-1)」를 공부하면서 整理한 것이다. 粉體의 力學的인 解.....◆
 ◆.....析은 實驗에 의해 만들어진 數式이기 때문에 計算上 便利를 기하기 위해 單位를.....◆
 ◆.....cgs와 fps를 統一하지 못한 점 양해를 바란다.....◆

I. 粉炭을 kiln 에 供給하는 system

1. 粉炭供給裝置 部品 記號說明

1) mill 施設의 主要部分

- ① $A_1(a)$: 原料 ; 石炭(無煙炭)用 貯藏槽
- ② $A_2(g)$: 原料 ; 石炭(有煙炭)用 貯藏槽
- ③ C_s, C_1 : cyclone
- ④ F_g : 補助爐
- ⑤ $G_1 \sim G_4$: 給炭量 測定用 screw
- ⑥ KT : 調整盤
- ⑦ $Ku(a), Ku(g)$: 粉炭槽
- ⑧ Lc_1, Ls : 通風門
- ⑨ M : tirax mill
- ⑩ O : kiln
- ⑪ S : 分離器
- ⑫ Sn : 粉炭用 screw conveyor
- ⑬ Sp_1, Sp_2 : 轉換口
- ⑭ V_1 : kiln 의 1 次空氣를 빼내기 위한 fan
- ⑮ Vs_1 : kiln 의 2 次空氣를 빼내기 위한 fan

2) 스톱 밸브 등

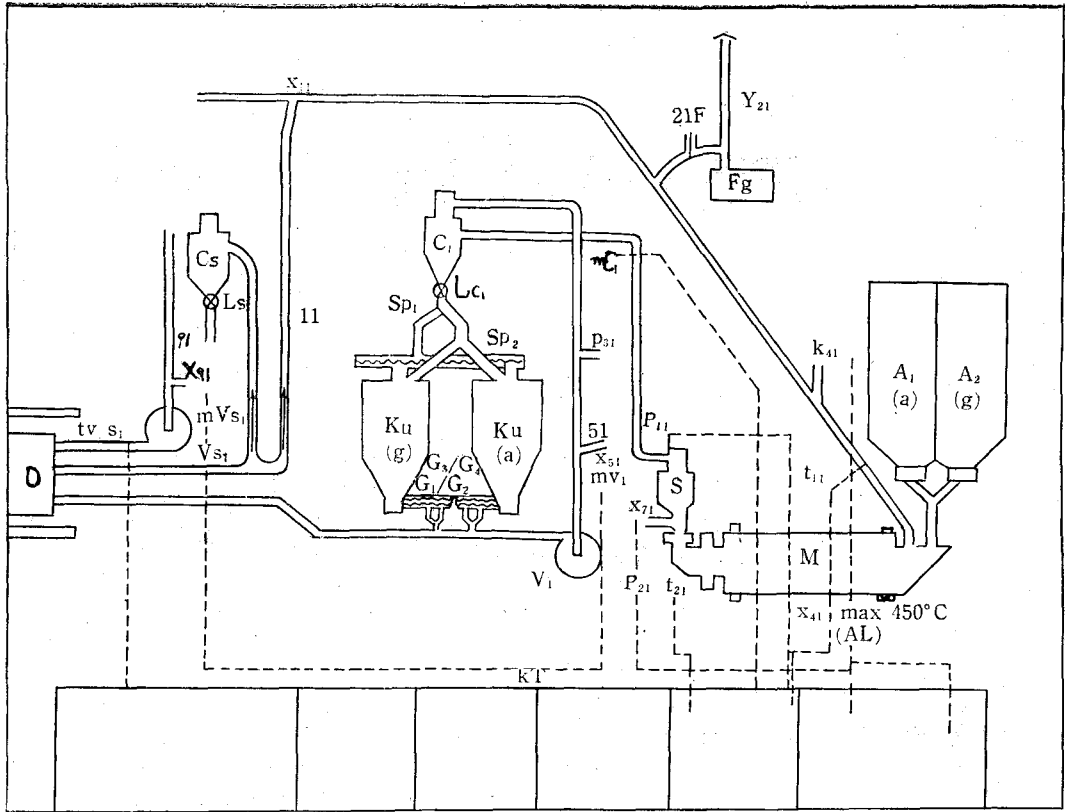
- ① I_1 : 키른으로부터의 熱氣用 스톱 밸브
- ② X_{11} : 外氣로부터의 冷氣用 스톱 밸브
- ③ $21F$: 補助爐로부터 石炭 mill 로 가는 열

기용 스톱 밸브

- ④ r_{21} : 補助爐에 달린 排氣用 스톱 밸브
- ⑤ X_{41} : 平衡 맞추는 밸브
- ⑥ K_{41} : 自動式 冷氣 밸브(自動式으로 열리나 손으로 닫아야 한다)
- ⑦ 51 : mill 로부터 kiln 으로 가는 排氣用 스톱 밸브
- ⑧ X_{51} : 外氣로부터 kiln 으로 가는 空氣用 스톱 밸브
- ⑨ X_{71} : 分離器(補助空氣)用 스톱 밸브
- ⑩ 91 : 2 次 blower 로부터의 열기용 스톱 밸브
- ⑪ X_{91} : 冷氣 添加用 스톱 밸브

3) 測定點과 計器

- ① mC_1 : cyclone C_1 을 通過하는 全空氣量의 壓力差
- ② mV_1 : fan V_1 을 通過하는 全空氣量의 壓力差
- ③ mVs_1 : fan V_2 를 通過하는 全空氣量의 壓力差
- ④ P_{11} : mill 前面의 眞空
- ⑤ P_{21} : mill 後面의 眞空
- ⑥ P_{31} : 分離器 後面의 眞空



<그림-1> 粉炭을 kiln에 供給하는 system diagram

- ⑦ t_{11} : mill 前面의 溫度
- ⑧ t_{21} : mill 後面의 溫度

2. 粉炭供給의 概要

crane store에서 石炭을 roll jaw crusher로 보내어 1次的으로 粉碎하며 긴 belt conveyor를 타고 貯藏 tank A_1, A_2 에 積下되고 coal mill(M)로 들어 간다. feeding size는 14%의 水分에 10~5 mm의 크기이다.

coal mill(tube type)은 hot air furnace에서 공기를 450°C로 만들어 air duct를 통하여 온 hot air를 받아서 1室 drying chamber에서 完全 건조시켜 2室, 3室 grinding chamber를 통하는 過程에 200 mesh 정도로 만들어져 cone separator of gravity type의 separator(S)를 거쳐서 微分體는 air conveyor를 타고 cyclone(C_1)으로 간다.

1次 fan(V_1)은 single-suction turbo fan으로 gas temp. 90°C, 700 mmAq 정도로 吸引되며 single cyclone type(C_1)에서 순수 air는

1次 fan을 통하여 kiln에 1次 공기로 보내지고, 粉體는 rotary valve Lc_1, Ls 를 통하여 coal dust bin $Ku(g)$ 와 $Ku(a)$ 에 적재되며 $G_1 \sim G_4$ 給炭量 測定用 screw를 통해서 1次 空氣와 함께 kiln으로 들어 간다. 이 過程에서 coal dust bin에서 발생한 air cavity(架橋現象), separator와 cyclone에서 發生한 粉體의 역류 問題, air conveyor의 air duck 設計 등 問題點을 粉體力學적으로 설명하려고 한다.

II. 粉體理論의 基礎原理

1. 空氣整粒(air sizing)과 集塵에 대한 基本原理

空氣整粒과 集塵은 空氣와 粉體의 混合된 成分 사이에서 일어나는 關係運動으로서 아주 적은 微粒子面의 差異로 생각되며 마치 물 속에 잠긴 固體와 液體 사이의 運動과 비슷하고 固體를 여과시키는 것과 같은 것이다. 기본 원리는 流體 매개물 등의 粘性과 容積差異로부터 理論이 展開된다.

2. 空氣整粒(air sizing)의 定義

여기서 記述하려고 하는 것은 空氣 속에 混合된 微粒子 物質이 分離되는 것을 말하려고 한다. air sizing(空氣整粒)은 空氣의 흐름에 의해서 流體 사이의 粉體를 效果的으로 分離시키는 作用을 말하며 이들 分離作用은 流體 흐름의 任意部分에서 비교적 큰 무게의 粒子에서부터 作用이 시작되어 微粒子의 粉塵運動이 적어지는 순간에 靜止狀態에서 남겨진 粉塵을 천천히 가라 앉게 한다.

3. 粉體運動에 관한 法則

1) 서로 다른 成分의 微粒子 사이 運動에 필요한 要素

① 集塵

粒子의 크기, 形態, 比重, 습도 含有量 그리고 粉體의 비산에 따라 決定된다.

② 速度

流體의 흐름 方向, 壓力, 密度, 粘性 그리고 습도에 따라 決定된다.

③ 形態

크기와 表面의 성질에 따라 決定된다.

2) Martin's 相似法則

Martin 은 空氣와 微細粒子가 混合되어 있는 流體 사이에 相似法則을 實際使用하였다. 이 때 流體의 粒子들이 離脫 없이 pipe 를 통하여 同質의 流體가 흐르면 等比點으로 증류 되는데 이때가 效果的임을 알았다.

一定한 速度로 粉體를 輸送할 때 粉體의 表面은 일정한 比率(등비 증류)로 粉體를 運搬하게 된다.

分離空氣량은 $\frac{\text{단위 表面}}{\text{單位時間의 粒子의 무게}}$ 으로 항상 運搬되고 그 무게는 流體 흐름의 速度에 따라 증가되어 운반된다. 等比速度는 一定한 壓力에서 얻어지고 증발 온도에서 流體 상승은 임계 速度로 나타낸다.

4. 粉體의 沈降速度

粉體內에서 충돌 없이 일정한 沈降은 Allen 方程式에 의해서 空氣速度와 粉體의 크기 範圍內에서 결정된다.

R : 粒子運動에서 流體의 抵抗力

k : 일정한 常數(粒子와 流體 사이의 관계 速

度에 대한 것과 粉體의 상태 差異의 값)

a : 粒子의 半径

p : 空氣의 밀도

n : V에 따라 결정되는 값

u : 動粘性 係數=b/p(여기서 b : 절대 점성)

V : 粒子와 流體와의 관계 속도라면

$$R=k \cdot a^n \cdot p \cdot u^{2-n} \cdot V^n \dots\dots\dots ①$$

이라는 式을 얻게 되고 V가 대단히 작게 되면 流體運動의 發生 n=1 로서

$$u^{2-n}=u^{2-1}=b/p$$

를 ①式에 代入하면

$$R=k \cdot a \cdot b \cdot V \text{ (Stoke's 法則)} \dots\dots\dots ②$$

를 얻게 된다.

V가 크게 되면 空氣는 粉體의 任意部分에서 turbulent가 발생하게 되고 n=2로 ①式은 Newton에 의해서 다음 式이 된다.

$$R=k \cdot a^2 \cdot p \cdot V^2 \dots\dots\dots ③$$

同一條件 아래서 이들 관계식은 횡단점 근처에서 이 方程式이 얻어지고 이들 방정식은 매개물 부근에서 비례하여 Allen 式에 의해서 n=3/2으로

$$R=k \cdot u^{\frac{1}{2}} \cdot a^{\frac{3}{2}} \cdot p \cdot V^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots ④$$

一定速度(限界速度)에 到達하게 되면 급격히 流體에서부터 粉體가 떨어지게 된다. 物質에 作用한 重力은 空氣에 의해 생기는 抵抗과 同一하게 되어 이들 관계식으로부터 (G=粒子의 무게=重力=R)

$$G=V(S-p)g \dots\dots\dots ⑤$$

여기서 V=粒子의 부피

S=粒子의 比重

g=重力의 加速度

따라서 亂流 때의 速度(V)

$$V_i=k\{(S-p) \cdot a/p\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots ⑥$$

증류 때의 速度(V_s)

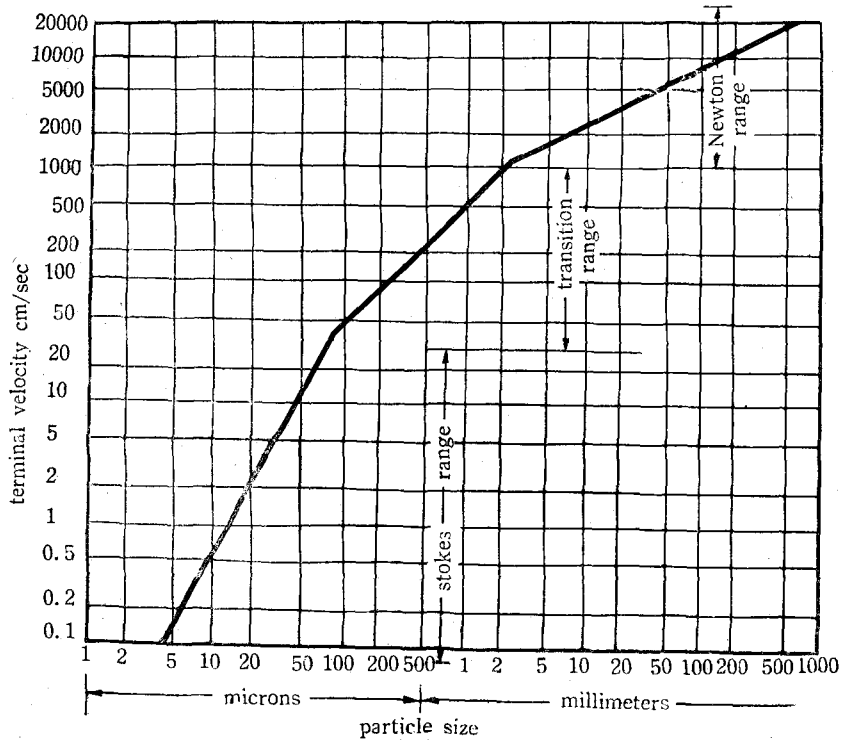
$$V_s=k \cdot (S-p) a^2/up \dots\dots\dots ⑦$$

變化층(V_i)

$$V_i=k(S-p)^{\frac{2}{3}} \cdot a/u^{\frac{1}{3}} \cdot p^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots ⑧$$

<常數 k의 값>

k의 값은 粒子의 不規則的인 亂舞에 대하여 充分한 實驗에서 얻어지며 Martin에 의해서



<그림-2> Settling velocity of quartz in air (after Martin)

<그림-2>에서와 같이 근사치의 實驗値를 얻었다. 이를 만족할 만한 方程式 ⑥, ⑦, ⑧에서

$$V_t = 71\sqrt{a(S-p)/p} \dots\dots\dots ⑨$$

$$V_s = 143a^2(S-p)/b \dots\dots\dots ⑩$$

$$V_i = 200\bar{a}\left(\frac{S-p}{p}\right) \cdot \left(\frac{a}{u} - 10.5\right) \dots\dots ⑪$$

여기서

$$\bar{a} = \sqrt[3]{\frac{9b^2}{2gp(S-p)}}$$

보통 粒子의 半徑이 클 경우에는 Stoke's Law 에 의해 $\bar{a}=50\mu$ 로 둔다.

5. Stoke's 法則의 最低限界

紛體粒子(큰 粒子)들이 自由通路 가까이에 到達하게 되는 상태를 말하며 정상적인 충돌수 以內가 좋다.

Gibb's는 0.1 μ 보다 더 작은 粒子들이어서 Cunningham Correction 을 적용하여

$$V_s = \text{集塵速度} \quad K_1 = 0.86$$

λ = 空氣分子의 自由通路 길이

靜止된 空氣 중에서 紛體의 沈降速度는 <表-1>과 같다.

6. 粉體輸送을 위한 空氣速度

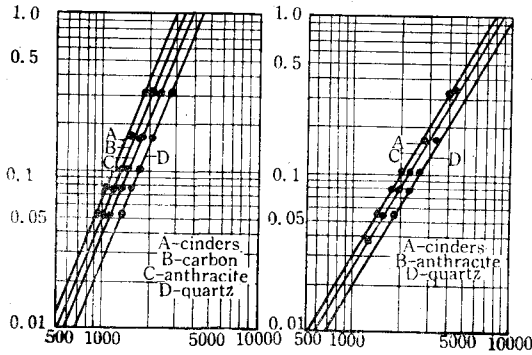
粉體輸送에 대한 空氣速度는 Dallavalle 에 의하

<表-1> 靜止된 空氣 中에서의 沈降速度

粉體의 크기	沈降率 (f. p. m)		
	粒子의 球 sp·gr=1.0 온도 70°F a	不規則한 粒 子 sp·gr=2.5 b	粒子의 球 sp·gr=3.0
5,000	1,750	3,140	—
1,000	790	—	—
500	555	470	—
100	59.2	—	180
74	—	—	96
50	14.8	24	33
25	—	—	10
10	0.592	—	1.8
5	0.148	0.24	—
1	5c	—	0.01b
0.5	1.4c	0.0032	—
0.1	0.05c	—	—
0.05	—	0.00011	—

여기서 a : after Alden
b : after Miller
c : inches per hour

여 설명되고 그의 실험에 의해서 수평과 수직관에 대하여는 <그림-3>에서 보여 준다.



<그림-3> air velocity, f.p.m horizontal vertical

<그림-3>은 粉體輸送에 대한 空氣의 速度를 나타내고 있는데 이 data에 充實하고도 만족할 만한 方程式은 다음 式으로 說明된다.

$$V_H = 6000 \cdot S \cdot D^{0.398} / (S+1) \quad \text{⑫}$$

$$V_V = 13,000 \cdot S \cdot D^{0.570} / (S+1) \quad \text{⑬}$$

여기서

V_H : 수평관에 대한 速度(ft/min)

V_V : 수직관에 대한 速度(ft/min)

D : 粒子의 直徑(in)

1~10 μ 의 날리는 粉體는 수평관에서는 밑바닥에 달라 붙게 되는 경향이 있고 여기서 速度가 最小보다 많게 되면 管을 깨끗하게 유지시켜 준다.

<air conveyor의 energy 損失>

Dallavalle는 공기 콘베이어에서 에너지 손실이 유압식 콘베이어에서의 損失과 비슷하다는 것을 立證하였는데 만약 粉體輸送에 농도가 없다고 하면 100 g/ft³의 粒子들이라고 말할 수 있다.

높은 농도는 壓縮 때문에 粉體 흐름의 저항이 증가되고 粉體表面도 거칠게 된다. 곡관인 경우의 분체 수송은 通常의인 粉體 흐름으로 결정할 수 없고 단독 공기에 대해서 抵抗을 두배만 큰 것으로 決定함이 可하다.

7. 粉體의 混合速度

Davis는 實驗에 의해서 수평관의 粉體 흐름의 混合狀態, 速度 V_0 (f.p.s)는

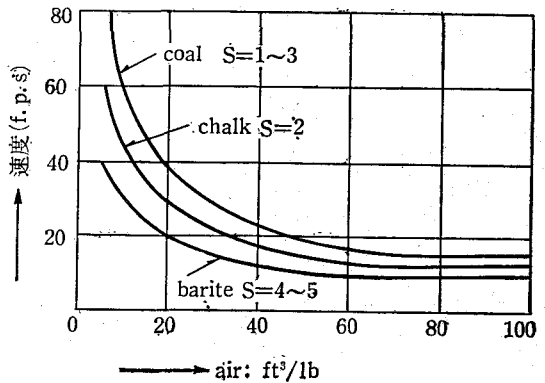
$$V_0 = 54 \sqrt{D \cdot S} \text{ (f.p.s)} \quad \text{⑭}$$

式을 만들었고

D : 粒子의 直徑(in)

S : 粒子의 比重

<그림-4>는 수평관에서 lb當 空氣의 부피와 粉體 흐름 속도(V_m) 사이의 관계를 說明한 것이다. Davis는 침전에 대비해서 安全하고 보증할 수 있는 要素의 設計는 不均一한 速度, 粉體 흐름의 방향 전환 및 粒子의 크기와 形狀, 흐름의 量이 변화되기 때문에 <그림-4>에서와 같은 V_m 값을 적용해야 된다고 경고했다. 그는 이 chart 값에서 적어도 1.5를 적용하여 곱하는 수로 提案했다.



<그림-4>

III. 粉炭供給裝置의 力學的 解析

1. 貯藏 tank의 問題와 解結

coal dust bin : $Ku(g)$, $Ku(a)$

coal hopper : $A_1(a)$ $A_2(g)$

1) coal dust bin hopper 內의 壓力

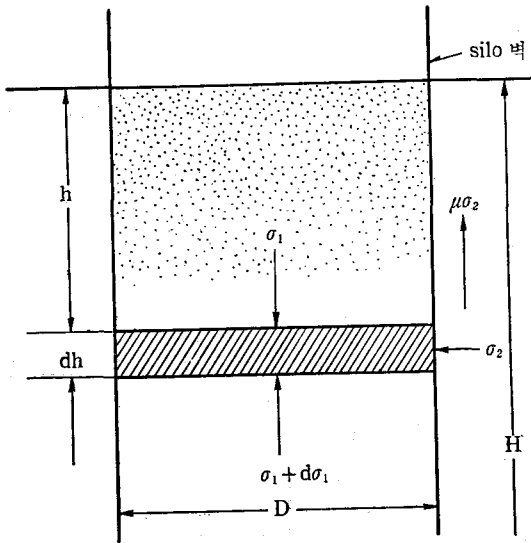
지금 어떤 silo와 같이 直徑 D 에 비례하여 깊이 H 가 큰 貯藏 tank의 壓力을 생각하면 간단한 가정에서 풀이가 된다. <그림-5>에서 貯藏 탱크에 연직 방향의 垂直斷面에 작용하는 stress σ_1 과 그 단면상에 壁面으로부터 直角으로 작용하는 應力 σ_2 는 內部摩擦角을 ϕ 로 할 때 Mohre's circle에서

$$\sigma_1 = \sigma(1 + \sin \phi)$$

$$\sigma_2 = \sigma(1 - \sin \phi) \text{에서}$$

$$\sigma_2 = \sigma(1 - \sin \phi) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \cdot \sigma_1$$

$$= \kappa \cdot \sigma_1$$



<그림-5>

$$\therefore \sigma_2 = k \cdot \sigma_1 \dots \dots \dots (15)$$

로說明된다.

또壁面과粉體間의 마찰 계수를 μ 로 하면壁面에서는 $\mu\sigma_2$ 의 frictional stress가 상向으로作用하고粉體의重量을 유지하는 것이라고 생각된다.

이와 같은假定下에서粉體의嵩密度를 ρ 라고 하고 두께 dh 의粉體層이 연직 방향의應力에平衡을 이룬다고 하면

$$\begin{aligned} \rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot dh \\ = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{d\sigma_1}{dx} \cdot dh + \mu \cdot \sigma_2 \cdot \pi \cdot D \cdot dh \end{aligned}$$

또는

$$\rho = \frac{d\sigma_1}{dh} + \frac{4}{D} \cdot \mu \cdot k \cdot \sigma_1 \dots \dots \dots (16)$$

$x=0$ 에 있어서 $\sigma_1=0$ 로 하면

$$\sigma_1 = \frac{D \cdot \rho}{4\mu k} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{4\mu k}{D} \cdot h\right) \right\} \dots \dots \dots (17)$$

로 된다.

깊이 h 가 크면 1에 비하여 \exp 項이 무시되어

$$\sigma_1 \approx \frac{D \cdot \rho}{4\mu k} \dots \dots \dots \text{const} \dots \dots \dots (18)$$

로 되고葛岡氏에 의하면鋼版과 모래의 마찰 계수(μ)는 0.58이고 모래 k 의 값은 약 0.40이므로 이때

$$\sigma_1 \approx 1.1 \times D \cdot \rho \dots \dots \dots (19)$$

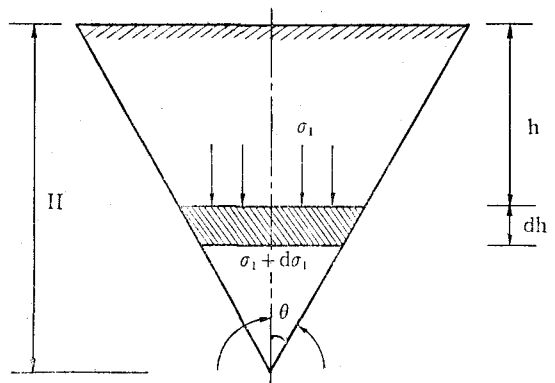
로 된다.

이것은粉體의 연직 방향의 압력은 저장 탱크 직경의 1.1배 길이의 밑도 ρ 에液體壓力까지는 서서히增加하지만 그 이상은 증가하지 않음을意味한다.

但, 이壓力에 달하는 실제 길이는(17式에서 $\exp\left(-\frac{4 \cdot \mu \cdot k}{D} \cdot h\right) = 0.05$ 로 놓고最高壓力 95%에 달하는 깊이를 구하여 보면 $h=3.2D$, 즉 직경의 약 3배로 된다. 똑같이 하여 <그림-6>에서처럼頂角 2θ 인圓錐形의 hopper 內 연직 방향의壓力 σ_1 을 구하면

$$\begin{aligned} \sigma_1 = \frac{\rho(H-h)}{1-2 \cdot k \cdot \cot \theta (\mu \cos \theta + \sin \theta)} \times \\ \left\{ \left(\frac{H-h}{H} \right)^{2k \cot \theta (\mu \cos \theta + \sin \theta) - 1} - 1 \right\} \dots \dots \dots (20) \end{aligned}$$

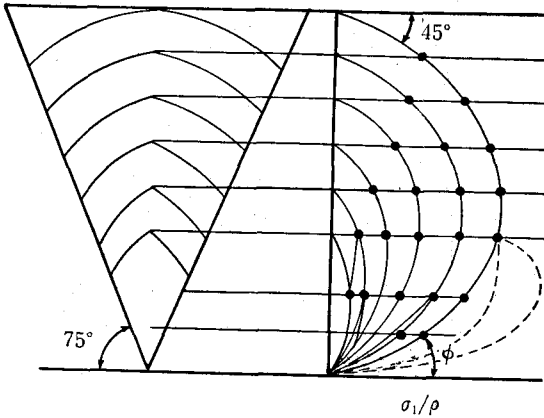
으로 표시된다.



<그림-6>

(20式에서 $h=H$ 라고 하면 $\sigma_1=0$ 이 된다. 또 $\left(\frac{d\sigma_1}{dh}\right)_{h=0} = \rho$ 가 되기 때문에壓力은粉體表面附近에서液體壓力과 똑같이 $\sigma_1 = \rho \cdot h$ 의 관계로 증가하여 일정한 깊이에서最大值에 달하며 그이외는 점차減少하여頂點에서 다시 zero가 됨을 알 수 있다. 이것은實驗的으로 <그림-7>에서確認할 수 있다.

<그림-7>은 충전 높이를 여러가지로 변화시킬 때의 깊이 h 와 $\frac{\sigma_1}{\rho}$ 의 관계를表示하였기 때문에 실험치를圓錐線으로連結한 것이지만 $h=0$ 에 있어서曲線의傾斜는 약 45° 로 되고, 또圓錐의頂點에 있어서 그경사각 ϕ 는 충전



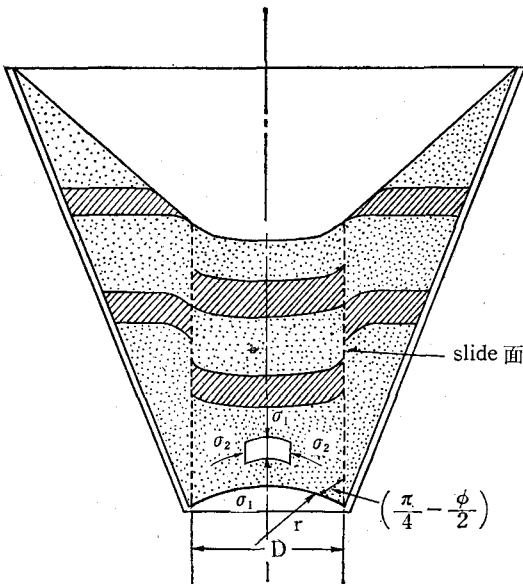
<그림-7> 충진 높이 h 와 $\frac{\delta_1}{\rho}$ 의 관계도

높이가 높을수록 작게 된다.

2) coal dust bin hopper 내에 발생하는 架橋現狀이란?

粉體를貯藏 탱크에서 流出시킬 때 出口部分에 가끔 arch가 생겨 閉鎖되는 일이 있다. 이것을 말하며 力學的 條件에 있어서 여러가지로 고찰이 있지만 다음과 같이 생각된다.

<그림-8>에서 表示한 것처럼 色을 들인 粉體를 層狀으로 充填하여 圓錐形의 hopper로부터 流出시킬 때 그 출구 바로 위에 대개 출구와 똑같은 직경에 圓筒狀의 充진 부분이 생기며 그



<그림-8>

것이 外則의 流動部分에 대하여 내려 가는 것을 관찰할 수 있다.

따라서 應力狀況에 있어서는 그 圓筒面이 粉體力學的 이른바 미끄럼 面으로 되고 그 面上에 있어서 하나의 主應力 σ_2 의 方向은 수직 方向에 대하여 내부 마찰각을 ϕ 로 하여 $(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2})$ 의 角을 이룬다고 생각된다. arch가 생길 때는 主應力의 方向이 arch의 미끄럼 面部分에 曲面의 切線 方向에 一到하고 arch 面은 主應力面에 하나로 된다.

지금 <그림-8>에서 表示한 것처럼 이 arch 面에 平行한 두個의 曲面과 이들의 垂直으로 서로 直交하는 4個의 平面으로 둘러져 있는 arch 形 微小片을 생각하면 그 4個의 平面에 作用하는 主應力 δ_2 의 span에 수직한 上向性分에 의한 合力이 微小片 自重의 同方向性分보다 크게 되면 arch가 安定하게 된다. 이 架橋成立條件은 粉體의 嵩密度를 ρ , arch의 曲率半徑을 r 이라고 하면 近似的으로

$$\rho \cdot r \leq 2\sigma_2 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

이 된다. 그렇지만 이 σ_2 와 重力方向의 主應力 σ_1 과의 사이에 粉體의 粘性力 c 가 있을 때는

$$\sigma_2 = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \sigma_1 + \frac{2 \cos \phi}{1 - \sin \phi} \cdot c \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

의 관계식이 있으며 σ_1 은 약식으로 ①式과 같다고 하면 ②의 條件은 粉體의 充填 길이를 $h=H$ 라고 할 때

$$\rho \cdot r \leq 2 \left[\frac{\rho \cdot r}{4\mu} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{4\mu k H}{D}\right) \right\} \left(\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right)^2 + \frac{2 \cos \phi}{1 - \sin \phi} \cdot c \right]$$

가 성립된다. 여기서 μ 는 粉體相互間的의 마찰 계수 ($\mu = \tan \phi$)이므로 上記式을 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$I_0 \left(1 + A \cdot \frac{c}{D \cdot \rho} - B \cdot \frac{r}{D} \right) + E \cdot \frac{H}{D} \geq 0 \dots \dots \textcircled{3}$$

단 $A = \frac{8 \sin \phi (1 - \sin \phi)}{(1 + \sin \phi)^2}$

$$B = \frac{2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2}{(1 + \sin \phi)^2}$$

$$E = \frac{4 \tan \phi (1 - \sin \phi)}{1 + \sin \phi}$$

이 式에서 A, B, E 는 어느 것이나 내부 마찰

각 ϕ 만의 함수로 粉體의 종류에 의하여 정해지는 값이며 $\frac{r}{D}$ 은 arch의 曲率半徑과 span의 비로서 이것도 上述한 arch의 相似 관계로부터 대략 일정하다고 볼 수 있다. 따라서 이 式의 成立條件을 檢討함으로써 左邊의 角因子가 架橋를 일으킴을 알 수 있다. 卽 $\frac{c}{D \cdot \rho}$ 및 $\frac{H}{D}$ 가 클수록 架橋가 일어나기 쉽게 되고 이것으로부터 粘着力 c 가 클수록, 出口徑 D 가 작을수록, 고밀도 ρ 가 작을수록, 충전 길이 H 가 클수록, 架橋가 일어나기 쉽다고 解析된다. 내부 마찰각 ϕ 는 A, B, E 중 특히 E 의 영향으로서 ϕ 가 38° 이하라면 ϕ 가 작을수록 架橋가 일어나기 쉽다고 생각되지만 이러한 것은 경험적 상식적으로 쉽게 判斷할 수 있는 일이다.

3) 架橋를 避하는 方法

架橋를 피하고 貯藏 탱크로부터 粉體의 유출을 원활히 하기 위해서는 다음과 같은 여러가지 方法으로 分析할 수 있다.

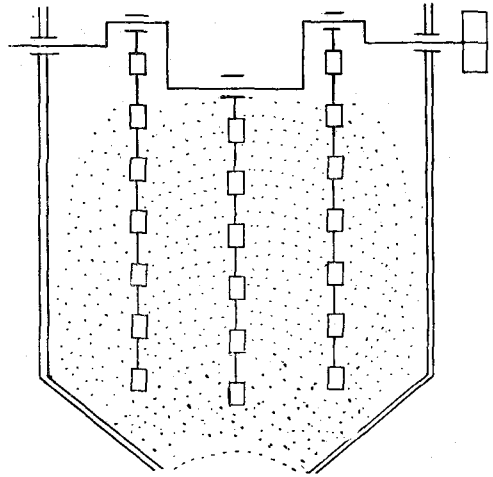
① 貯藏 탱크의 構造上의 개조

$\rho \cdot r \leq 2\sigma_2$ 로부터 알 수 있는 것과 같이 架橋는 粉體內部에 壓力이 最大로 되는 部分에서 일어나기 쉽기 때문에 이 部分의 壓力을 작게 하도록 하는 勞力은 어느 정도 有效하다고 생각된다. 예를 들면 貯藏 탱크내에 작은 水平 막대기를 設置하면 그 바로 아래 部分은 壓力을 받지 않고 下方의 壓力은 줄어들게 된다. 이것은 $Ig\left(1+A \cdot \frac{c}{D \cdot \rho} - B \cdot \frac{r}{D}\right) + E \cdot \frac{H}{D} \geq 0$ 에 있어서 충전 길이 H 를 작게 하는 效果에 一致한다. 또 圓筒部分을 垂直方向으로 몇개로 나누면 $\sigma_1 = 1.1D\rho$ 式에 記述한 것처럼 有效直徑의 약 3개 길이까지 밖에 壓力이 흐르지 않기 때문에 架橋는 쉽게 피할 수 있다. 이것은 出口直徑 D 를 상대적으로 크게 하는 것으로 본다.

② 攪拌(agitate)에 의한 方法

arch를 일으키기 쉬운 部分의 예를 들면 <그림-9>와 같이 crank로 上下 줄을 내려뜨려 機械적으로 agitate하며 連續적으로 arch를 파괴하는 方法이 있는데 이것은 式 $Ig\left(1+A \cdot \frac{c}{D\rho} - B \cdot \frac{r}{D}\right) + E \cdot \frac{H}{D} \geq 0$ 에서 점착력 c 를 작게 하

는 效果에 상당한다고 생각된다. 단, 이 agitate 方法은 動力消費나 마모가 크기 때문에 設計時 充分한 注意를 必要로 한다.



<그림-9>

③ 振動에 의한 方法

粉體에 振動을 주면 周期와 振動에 의한 差는 있지만 內部 마찰각 ϕ 가 작게 되고 일반적으로 流動性이 증가한다. 安息角 $\phi = 41^\circ$ 의 모래에 의한 試驗結果는 <表-2>와 같다.

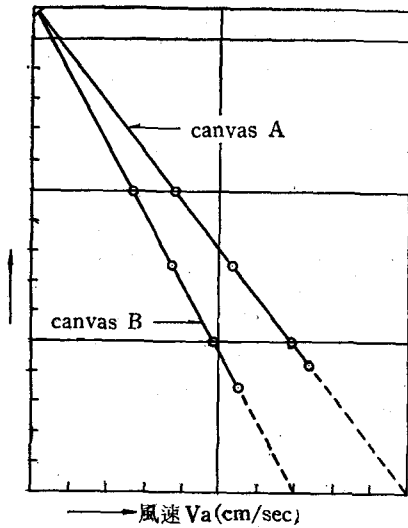
<表-2> 振動에 의한 모래의 安息角 變化

振動數 (-/min)	0	50	100	100
振幅 (cm)	0	0.75~1.25	0.2	0.5
진동에 必要한시간 (sec)	0	5	5	20
安息角 (ϕ°)	41	15	21	7

④ 通氣에 의한 方法

aeration(通氣) 즉 粉體에 空氣를 넣어 줌으로써 粉體의 內部 마찰각을 작게 하고 流動性을 증가시킬 수 있다. <그림-10>은 65mesh 정도의 標準砂를 帆布를 사용하여 空氣를 불어 넣고 安息角 ϕ° 와 공기 速度 V_c cm/sec의 關係를 測定한 結果이다.

대략 같지만 <그림-10>에 表示한 것처럼 이 角度가 空氣를 많이 불어 넣음에 따라 減少하고 소위 流動化 開始速度에 相當하는 風速에 到達하면 이 數值가 zero로 되며 그 이상의 風速에서는 粉體의 성질은 損失되고 液體가 된다. 이



<그림-10> 安息角과 空氣速度 關係

와 같이 하여 液狀化한 粉體의 表面은 水面으로 유지되고 아주 작은 傾斜가 있어도 쉽게 流動한다. 이 原理를 이용하여 hopper 나 silo의 出口部分에 aeration unit 를 設置, 通氣시킴으로써 架橋現狀을 破할 수도 있다. 이것은 式 ②에서 ϕ 를 작게 할 때와 일치한다.

⑤ 粉體의 流出速度

貯藏 탱크의 低部出口로부터 粉體가 流出할 때 그 速度가 광범위하게 걸쳐 층의 깊이에 無關係한 것은 옛날부터 알고 있다.

그때의 流出量과 出口徑 기타와의 關係에 있어서 많은 연구가 있다. 貯藏 탱크 低部壓力 σ_1 은 $\sigma_1 = \frac{D \cdot \rho}{4\mu k} = \text{const.}$ 에 表示하였기 때문에 지금 粉體는 이 壓力에 의해 流體의 orifice로부터의 流出時와 아주 똑같은 關係로 出口로부터 流出하는 것으로 하면 平均流速 V 는 粉體의 嵩密度를 ρ 로 하여

$$V = c \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot \sigma_1}{\rho}} = c \cdot \sqrt{\frac{g \cdot D}{2\mu \cdot k}} \dots\dots\dots ④$$

로 表示되고 流出量 W 를

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot U \cdot \rho = \frac{\pi}{4} \cdot c \cdot \rho \cdot \sqrt{gD^5 / 2\mu k} \dots\dots\dots ⑤$$

로 쓴다. 白井氏는 <그림-5>에서 壁面 側壓을 $\sigma_2 = \sigma_1$ 으로 보고 유도한 式 ④와 ⑤에서 $k=1$ 일 때 30~150 mesh의 모래 및 石英을 사용하여 實驗을 했는데 그 結果에 의하면 流出係數는

$$c' = c / \sqrt{k} = 0.5 \sim 0.7$$

의 範圍로 되고 粒徑, 出口徑의 影響은 아주 적어 일정하다고 보았다. 똑같은 orifice 유출 계수에 있어서 植松氏는 粒徑 $dp=0.15 \sim 1$ mm의 모래를 使用, 實驗을 하여 다음과 같은 關係식을 얻었다.

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot c \cdot (D - dp)^2 \cdot \rho \cdot \sqrt{g(D/3) \tan \phi} \dots\dots\dots ⑥$$

여기서 $c=1.4$ (大粒子)~ 1.8 (小粒子)이다.

杉浦氏는 實驗에 의하여

$$W = c \cdot D^n \dots\dots\dots ⑦$$

式을 얻었으며 이 式에서는 $c=7 \sim 20$, $n=2.8 \sim 2.7$ 정도이다.

또 Franklin 과 Gohanson 은 粒徑 0.76~5.1 mm의 유리球, 납散彈, 교환수지, cracking 촉매, 石炭粒 등을 사용하여 똑같이 實驗한 결과

$$W = \rho \cdot D^{2.83} / \{ (6.288U_s + 23.16) \cdot (dp + 1.889) - 44.90 \} \dots\dots\dots ⑧$$

式을 얻었다. 여기서 $W=lb/min$, $\rho=lb/ft^3$, $D=in$, $dp=in$ 의 關係식이 成立한다.

桑井氏의 實驗에 의하면 密閉 저장 탱크內에 低空氣壓을 作用시켜 低部로부터 流出시킬 때의 流出量은

$$W = \frac{\pi}{4} \cdot c \cdot D^2 \sqrt{2g \cdot \rho (p + p_0) \cdot (D/L)} \dots\dots\dots ⑨$$

$c = (D/dp)^{0.25}$, $\exp[-5.0(D/DT)]$ 로 表示된다.

여기서 P 는 空氣壓力, P_0 =假想壓力, L =粉體層의 깊이, DT =圓錐狀 容器의 直徑, 기타는 前과 같다.

2. 集塵裝置 (cyclone=C₁, C_s)

集塵裝置는 gas(粉體와 空氣가 混合)로부터 먼지를 離脫시키는 장치를 말하며 그 使用目的은 ① 作業條件을 改善하기 위해서 ② 大地 周邊의 먼지 移動을 防止하기 위해서 ③ 機械나 工程 과정에 吸引되는 大氣 속의 먼지를 防止하기 위해서 ④ 깨끗한 空氣를 순환시키기 위해서 ⑤ 貴重한 物質을 얻기 위해서 ⑥ 工場裝備의 마모를 감소하고 建物整備를 위해서 集塵裝置를 使用한다. 그 種類로는 gravitational separation, interial separation (Battle type, Centrifugal type), Thermix collector, scroll-type, Roto-clon type, gas filter (Tubular type, Frame type),

spray washer, electrical dust precipitation 등이 있으나 여기서는 centrifugal collector 에 대해서 說明하려고 한다.

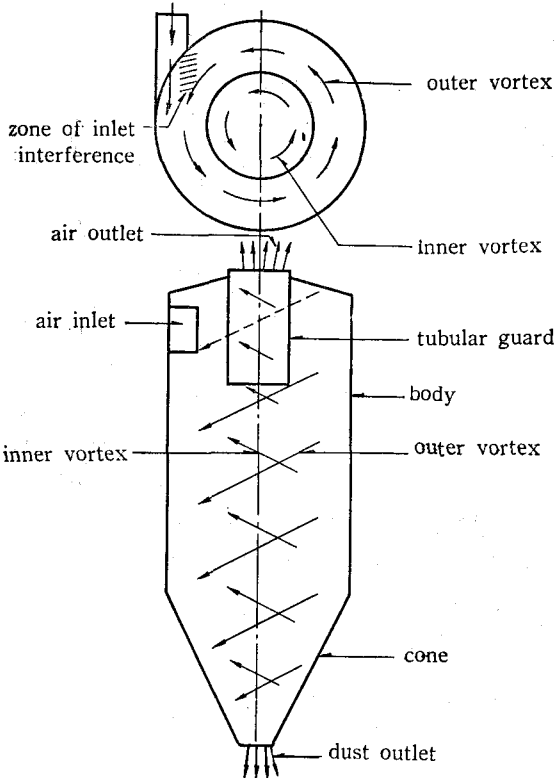
1) 圓心集塵器(centrifugal collector)의 개요

圓心集塵器는 一名 cyclone 이라고 한다. 圓心力의 作用과 減速의 混合된 힘을 이용하여 粉塵을 移動시키게 되며 內部裝置, 外部裝置 등 광범위하게 利用된다.

高回轉의 現代設計는 높은 圓心力과 抵抗으로 壓力을 떨어지게 하여 여러 cyclone 을 거치는 과정에서 分離作業을 증가시키게 하였다.

cyclone 의 設計는 旋風(vortex)의 原理를 利用한 것이며 粉體 gas 는 cyclone 꼭대기 가까운 곳에 接線方向으로 들어 가고 粉體는 외각 trap 에서 減少되지 않는 旋風力에서 힘을 줄인다.

粉體는 주위의 空間에서 침전시키게 되고 cone 의 頂點에서 分離의 效果가 증가된다. 純 air 는 中心에서 旋回하여 上部의 排出 pipe 를 통해 나간다. 粉體는 回轉을 하면서 cone 의 頂點 속으



<그림-11> cyclone 集塵에서 空氣의 흐름 상태

로 떨어져 작은 수집 chamber 속 case 로 들어가 밑바닥으로 흘러 간다. 粉體의 排出部分에는 rotary valve 나 air lock 가 부착되지 않으면 안되며 空氣의 흐름에 대해서는 <그림-11>에서 說明한다.

cyclone 은 높은 效率과 낮은 效率로 區分되고 형태는 튜브의 直徑이 4" 에서 24" 까지 있다. 낮은 效率의 cyclone 은 100 m 以內에서 集塵率 70 % 이상의 좋은 결과를 보여 줄 때도 있으며 비교적 큰 粉體에 利用함이 좋다. 낮은 效率의 cyclone 은 때때로 全效率, 動力消費, 가격 등이 중요시되고, 單一 通過集塵에는 별로 사용되지 않는다.

2) 낮은 效率 cyclone 의 利點

① 標準設計는 特許品에 의해 設計되지 않아도 되며 ② 값이 싼 構造로 될 수 있고 ③ 低速이기 때문에 粉體 마모는 항시 적으며 light-gage metal 로 粉體 상태를 알 수 있다. 또 ④ 粉體로부터 壓力이 떨어지면 1~5" 水壓範圍內의 微小 관계가 되고 ⑤ 動力消費가 high efficiency cyclone 보다 적으며 ⑥ 機械는 특히 높은 比重과 200 m 以內의 많은 粉體에 대해서 사용할 수 있고 産業用으로 가장 많이 사용하므로 이 形式에 의해서만 손쉽게 滿足할 수 있는 큰 利點이 있다. 反面에 ① 珪石病에 걸리게 될 수 있고 ② 粉體를 充分히 輸送하지 못하는 短點도 있다.

3) 分離係數(centrifugal coefficient)

圓心集塵器에서 分離係數는 $C_c = \frac{G}{F}$ 로 表示하고 여기서

$$F = G \cdot \frac{VP^2}{g \cdot r} \text{ (粉體에 作用하는 圓心力)}$$

G : 粉體의 무게

g : 重力의 加速度 (fps²)

VP : 接線方向의 速度 (fps)

r : 回轉半徑 (ft)

F : lb

그러면

$$C_c = \frac{G}{F} = \frac{G}{\frac{G \cdot VP^2}{g \cdot r}} = \frac{g \cdot r}{VP^2}$$

$$\therefore C_c = \frac{(VP)^2}{g \cdot r} \dots \dots \dots \textcircled{30}$$

gravity chamber에서의 分離比는 1.0이며 圓心力의 초기와 流路直徑에서의 振動과 流路速度는 <表-3>과 같다.

<表-3> centrifugal coefficient rotary gas system

diameter of gas path (ft)	centrifugal coefficient (gravity=1)	
	peripheral velocity (40 fps)	peripheral velocity (80fps)
20	5	20
5	20	80
1	100	400
1/2	200	800
1/4	400	1,600

4) 分離抵抗力

分離抵抗力은 cyclone 壁에 到達하기 前의 粉體運動의 放射 길이에 대한 作用을 말한다. 이 期間 동안에 圓心力의 作用이 粉體에 있게 되고 重力의 加速度 때문에 밑으로 떨어지게 된다.

큰 粒子는 비교적 작은 粒子보다 cyclone 壁에 到達하기 前의 回轉運動이 적게 된다. 이 들 關係에 대한 粉體의 速度와 cyclone의 크기 및 運動은 <表-4>와 같다.

<表-4>

particle size (microns)	diameter of collector (ft)					
	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	12.0
	relative minimum velocity (fps)					
100			0.8	1.6	2.4	4.8
50	0.8	1.7	3.2	6	10	20
20	5	10	20	40	60	120
10	20	40	80	160	240	480
5	80	160	320	640	960	2,000

높은 効率의 cyclone은 직경이 작고 길이가 긴 것이 粉體에 대하여 効率의 이고 能率의 이다. 이와 같은 것은 空氣 세척이 좋기는 하지만 容量과 高壓이 떨어지게 되는 要因이 된다. 通常의 으로 병렬로 容量을 맞추어 간다. 大型 cyclone은 그 直徑이 吸引 pipe 直徑의 3~6 倍이고 큰 輸送能力을 가진다. 또한 接線方向의 吸引型은 吸引된 空氣의 旋回 影響을 받게 되고, 이 設計는 back pressure에 超過되지 않게 한다.

5) 正常的인 cyclone의 粉體 흐름

圓心力을 받는 粉體들은 cyclone의 中心軸에

旋回運動을 하는 동안 放射速度로 粒子들이 分離된다. 混合 gas가 통과하는 동안 粉體의 抵抗 운동은 層流條件下에서 Stoke's 法則에 의해 $6\pi \cdot b \cdot a \cdot V_s$ 로 된다. 이때 粉體의 抵抗은 圓心力과 同一하다. 따라서

$$6\pi \cdot b \cdot a \cdot VS = \frac{4}{3} \cdot \pi a^3 (S-P) \cdot VP^2 / g \cdot r$$

이 되고 여기서 a: 粉體의 半徑

U: 粉體運動速度 = b/p

V: 粉體와 gas 와의 關係 速度

R: 粉體의 抵抗

P: 混合 gas의 밀도

b: 절대 速度

$$R = K \cdot a^n \cdot P \cdot U^{2-n} V^n$$

$$\therefore R = K \cdot a \cdot b \cdot V$$

따라서

$$VS = \frac{2}{9} \cdot a^2 (S-P) \cdot VP^2 / b \cdot g \cdot r \dots\dots\dots ③$$

6) cyclone에서 集塵에 대한 公式

① 空氣의 通風量

Lissman의 實驗式에 의해서 cyclone의 길이에 대해 吸引空氣의 바닥 밑의 直徑 d에 대한 比率 l/d²을 1/4 또는 3/4 사이에 놓고 A/d²에 는 1/8~1/2에 놓는다.

$$Q/d^2 = k \cdot e/d \times A/d^2 \cdot \sqrt{H \cdot T/P \cdot Pa} \dots\dots\dots ③$$

여기서 Q: 공기 통풍량

H: 集塵에서 通風損失

P: 吸引口의 공기 壓力

Pa: 공기와 關係되는 gas 比重

d: cyclone의 直徑

e: 공기 排出口의 直徑

A: gas 吸引口의 斷面積

k: 상수

cyclone 에서는

$$Q = k_1 \cdot \sqrt{HT/P \cdot D}$$

여기서의 k₁은 一定常數이지만 ③式의 k와는 다르다. k₁은 k, e, d, A를 포함한 상수이다.

② 分離速度

Anderson과 Shepherd Lapple은 實驗에 의해서 ③式에서 난무중의 공기 밀도 P를 수정하여 다음과 같은 式을 만들었다.

$$VS = D^2 \cdot A^2 \cdot S \cdot r / k \cdot b \dots\dots\dots 33$$

여기서

- θ: 공기 흐름의 각속도
- D: 粉體의 직경
- r: 공기 흐름의 曲率半徑
- S: 粉體의 밀도
- b: 粉體의 점성 係數
- k: 상수

③ 粉體의 運動 거리

Anderson의 實驗에 의해서 回轉空氣에 의한 점성 운반 거리는

$$S = D^2 \cdot l \cdot Vp \cdot S / k \cdot b \dots\dots\dots 34$$

여기서

- S: 粉體의 放射運動 거리
- l: 粉體運動의 모의 길이 (이것은 Stoke's 法則에서 찾아 낸다)

④ 粉體의 最少 크기

Anderson, Rosin, Rammler에 의해서 다음과 같은 式을 만들었다.

$$D_{min} = \sqrt{k \cdot W \cdot b / l \cdot S \cdot VP} \dots\dots\dots 35$$

여기서 W: 공기 흐름의 幅

3. 粉體의 空氣輸送

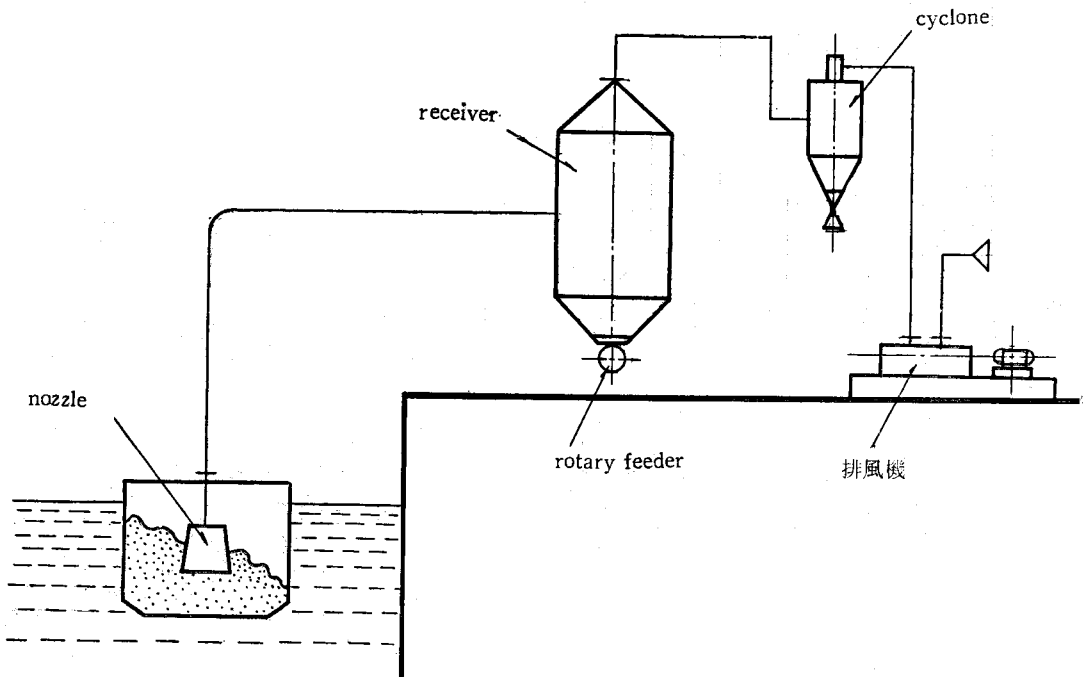
1) 空氣輸送에 관한 問題

空氣輸送이라 함은 여기서의 넓은 의미로 공기를 사용하여 粉體를 輸送하는 操作을 말하며 通常 高速氣流에 의한 air conveyor와 低氣流에 의한 流動層의 原理를 應用, 垂直方向으로 輸送하는 流動層을 利用하여 橫方向으로 물과 같이 흘러 보내는 air slide 등을 包含하는 것으로 한다.

空氣輸送은 粉體輸送의 다른 방법에 비하여 주요 부분에는 기계적인 摺動部分이 없어야 하고 裝置가 간단해야 하며, 粉體는 密閉管을 통하여 輸送되므로 비산, 오손의 염려가 없어야 한다.

空氣輸送裝置는 設備費가 적은 것 등에 長點이 있지만 動力消費가 적지 않고 輸送材料의 粒徑에 制限이 있으며 分離裝置가 필요하고 硬質粉體는 磨耗가 특히 현저하며 이 밖에도 粘着性粉體는 취급이 곤란하고 帶電性粉體는 爆發危險이 있는 등 결점이 있기 때문에 裝置의 選擇에 있어서는 이러한 長短點을 充分히 檢討할 필요가 있다.

空氣輸送의 問題點이 되는 것은 材料供給의 難易와 混合比의 관계이다. 均一한 供給이 가능하



<그림-12> 吸引式 air conveyor diagram

여 안전한 輸送이 確實視되는 限 混合比가 클수록 效率이 높고 有利하지만 一定限度 이상의 混合比에서는 閉鎖, 逆流, 供給不能, 供給裝置의 故障와 같은 事態가 생기게 된다. 이와 같이 해서 上限이 넘는 混合比에서의 效率과 여러가지 長短點에 관한 綜合判定이 다른 輸送裝置보다도 有利할 때 選定되는 것이다.

2) air conveyor

air conveyor는 cement, Al₂O₃, 穀物과 같은 粉粒體를 高速 氣流로 浮遊시켜 輸送하는 裝置이지만 사용 空氣의 壓力에 따라 壓送式과 吸引式으로 나뉘어진다. 壓送式은 大氣壓 이상의 壓力空氣를 輸送하는 方式으로서 Fluxo pump, Kinyon pump 등이 있다. 여기서는 吸引式에 대해서 설명하고자 한다.

<그림-12>에 表示한 것처럼 排風機를 輸送管 system의 出口쪽에 設置하고 管中에 大氣壓 이하의 氣流를 만들어 粉體를 nozzle로부터 大氣와 함께 吸引시켜 輸送하는 方法으로서 累積된 粉體를 陸上으로 吸引하여 올릴 때 아주 적합하고 분무가 쉬운 材料나 有毒材料의 取扱에서 壓送式보다 좋다는 것은 明確하다. 吸引式은 -0.05 kg/cm² 未滿 정도의 低真空式과 -0.3~0.5 kg/cm² 정도의 高真空式으로 分類되며 前者는 混合比 3~5, 수송 거리 30 m 以內, 輸送能力 3~10 ton/hr의 近離距 小輸送에 適當하고 後者는 混合比 20, 수송 거리 400~500 m, 수송 능력 200 ton/hr 정도까지 集中荷役作業이 용이하다.

3) air conveyor 設計法

air conveyor에 대해서 상당히 많은 理論과 實驗研究가 있지만 각각 다른 結果를 나타내기도 하고 計算이 복잡하기 때문에 여기서는 經驗에 의한 簡단한 設計法으로 記述하고자한다.

① 設計條件과 主要項目

air conveyor를 設計할 때는 우선 수송 材料의 종류와 輸送量 그리고 또 수송 거리가 주어져야 한다. 그리고 수송 재료의 성질로서 粒徑, 比重, 磨耗性, 응집성, 附着性 등에 따라서 風速과 供給方式, band의 曲率半徑 등이 결정되고 수송량과 輸送 거리로부터 風속과 管徑, 壓力 등이 求해져야 한다.

② 風速(Vm/sec)

風速은 보통 管內의 平均 風속 15~20 m/sec를 선택하지만 응집성과 附着性이 있을 때나 粒徑이 클 때는 큰 수치를 취한다. 粒徑이 수 mm 이상이 되면 風속은 自然히 沈降速度 이상으로 취하지 않으면 안되므로 15~20 m/sec 이상으로 한다.

壓力損失은 風속의 자승에 비례하기 때문에 風속은 될 수 있는 한 적게 함이 좋지만 아주 적게 하면 폐쇄를 일으키는 수가 있다. 많은 實驗 結果에 의하면 微粉일 때의 風速(Vm/sec)은 材料의 積밀도 ρ_st/m³로 하고

$$V=c \cdot \sqrt{\rho_s} \dots\dots\dots ③⑥$$

으로 하면 좋다. 여기서 C는 輸送管의 상태와 종류에 따라 결정되는 것이며 <表-5>와 같은 數値가 된다.

<表-5> 風速의 係數 C

	微粉材料	穀 類	마찰의 크기와 불균일한 材料
수평 직 관	24	29	36
곡관과 수직 부분관	30	36	45

③ 風速(Qm³/min)

풍량은 材料의 比重 輸送量(G kg/min)의 混合比 m = $\frac{\text{材料의 輸送量}}{\text{輸送에 필요한 空氣의 重量}}$ 에 의하여 결정되고 상온, 상압일 때의 空氣의 밀도를 ρ_a≃1.2kg/m³로 하면

$$Q=G/m \cdot \rho_a \dots\dots\dots ③⑦$$

로 표시된다.

여기에서 m은 移動성이 좋은 材料일 때는 40 정도가 되도록 하지만 通常 10 이상에서는 여러 가지 곤란한 점이 생기기 쉽고 安全한 수송 상태가 얻어지지 않는다. 經驗적으로는 風속(θm³/min)은 다음 式에 의하여 구한다.

$$\theta=2 \cdot O \cdot \rho_s \cdot T \dots\dots\dots ③⑧$$

여기서 ρ_s: 材料의 集密度(t/m³)

T: 輸送量(t/hr)

④ 管徑(D)

수송 관경은 風속(Vm/sec), 풍량(Q m³/sec)이 결정되면

$$D=0.146 \sqrt{Q/V} \dots\dots\dots ③⑨$$

⑤ 壓力損失

粉體를 포함한 氣流의 壓力損失에 있어서는 여러가지 연구가 있지만 실형 장치의 設計에 있어서는 아래 式을 사용하는 것이 간편하다.

㉠ 空氣만을 유출시키기 위한 壓力損失

㉡ 開口端에 있어서의 加壓損失

$$\frac{ra}{2g} \cdot V^2 = 2.36 \times 10^{-5} V^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

㉢ 吸引 hose 에 있어서의 압력 손실

$$3.15 \times 10^{-5} \cdot V_1^2 \cdot P \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

여기서

V_1 : hose 中에서의 流速(약 $\frac{V}{0.6}$ m/sec)

$$P: \frac{0.20}{D} \left(1 + \frac{9.14}{D}\right)$$

D : 管徑(cm)

㉣ 輸送本管 中의 壓力損失

$$3.53 \times 10^{-5} \cdot V^2 (L+H) \cdot P$$

단, 여기서 P 는 ㉡의 예와 같다.

㉤ 分離損失

$$0.018 \text{ (kg/cm}^2\text{) / separator}$$

㉥ 本管 이외의 配管에서의 응력 손실

$$0.013 \text{ kg/cm}^2$$

㉦ 공기 유출에 있어서의 合計壓損失

$$P_A = \text{㉡} + \text{㉢} + \text{㉣} + \text{㉤} + \text{㉥} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

㉧ 粉體에서의 壓力損失

$$\frac{ra \cdot m}{2g} \cdot V^2 = 1.2 \times 10^{-4} \cdot T \cdot V^2 \text{ (ps)}$$

㉨ hose 中의 壓力損失

$$\frac{5.7}{2} = 6.0 \times 10^{-5} \cdot T \cdot V^2 \text{ (ps)}$$

㉩ 輸送本管 中의 壓力損失

$$3.66 \times 10^{-3} \left(H + \frac{L}{5}\right) \cdot T \text{ (ps)}$$

㉪ 90° 曲管 1 個所에서 壓力損失

$$6.03 \times 10^{-5} \cdot T \cdot V^2 \text{ (ps)}$$

粉體에서 輸送에 필요한 動力

$$W_2 = \text{㉦} + \text{㉧} + \text{㉩} + \text{㉪}$$

여기서 相當하는 壓力損失

$$P_B = 0.45 W_2 / Q \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

여기서 L : 水平 수송 거리(m)

H : 수직 수송 거리(m)

따라서 全壓力損失

$$P = P_A + P_B$$

$$W = 2.22 \cdot P \cdot Q \text{ (ps)}$$

近 着 外 國 圖 書

●セメント コンクリート, 1972년 2월

月刊誌「セメント・コンクリート」300號の發刊にあたって……………武安千春
本誌300號發刊記念によせて……………中安閑一
座談會：昔のセメント・コンクリート誌の思い出
まだ固まらないコンクリートの水セメント比の測定
方法……………神田 衛
深い水中に施工するプレバッドコンクリートに關
する新しい施工方法

……………水中グラウト施工技術研究会
壓縮部をらせん鐵筋で補強したはりの曲げ試験
—らせん鐵筋による破壊性狀の改善—

……………松本嘉司, 福澤公夫
セメント・コンクリート關連團體の紹介 2
コンクリートボル・パイル協會……………

●セメント コンクリート, 1972년 3월

コンクリートおよびモルタルの乾燥收縮におよぼす
ペースト量, 空げき量, 水セメント比の影響……………向
井 毅山砂使用コンクリートに發生するきれつ原因
と對策……………重倉裕光, 戶田靖彦
金屬纖維の混入によるモルタルの引張り強度の向上
についての—實驗……………仕入豊和, 梅宮 勇
碎石コンクリートの配合設計に關する實驗的考察

……………原 忠勝, 大塚孝義
ヨーロッパのセメント工業見聞記……………原田 賢
セメント・コンクリート關連團體の紹介 3

厚型スレト關係の團體……………

●セメント コンクリート, 1972년 4월

コンクリートポンプの施工に關する研究(その1)
……………毛見虎雄

火害をうけた鐵筋コンクリート建物の受熱溫度の推
定……………岸谷孝一, 森 實

コンクリートの強度促進試験(自然養生法)
……………十代田知三, 藤澤好一

ドイツセメント主催による
セメント製造に關する1971年度國際會議に出席し
て……………小出義治, 坪井龍明

セメント・コンクリート關連團體の紹介 4
全國土木コンクリートブロック協會……………
●セメント コンクリート, 1972년 5월

東京港海底トンネル沈埋函のコンクリート
……………江尻隆雄
遠心力締固めコンクリートのクリプ試験

……………杉木六郎, 飲野潤一
各種混和材入りモルタルの性狀 渡邊敬三, 矢野瑞穂
膨脹性混和材を用いたコンクリートセメントに關
する研究……………桑原 力, 山田一字, 出頭圭三

コンクリートポンプの施工に關する研究(その2・完)
……………毛見虎雄
セメント・コンクリート關連團體の紹介 5
ALC協會……………