

## 噴霧乾燥 裝置의 基本 設計

南 宮 寔·金 斗 泳\*

서울大學校 工科大學 化學工學科

\*忠北大學校 科學教育科

(접수 1975. 11. 12)

## A Basic Process Design of Spray Dryer System

Shik Namkoong and Doo Young Kim\*

*Department of Chemical Engineering, College of Engineering  
 Seoul National University, Seoul 130-02, Korea*

and

*Department of Science Education, Chung Buk National  
 University, Cheong Ju 310, Korea*

(Received November 12, 1975)

### 要 約

近來에 와서 한국에서도 여러 化學工業 分野에서 噴霧乾燥法에 對한 要求가 增加하였으며 이미 多數의 噴霧乾燥裝置가 外國으로부터 輸入되어 稼動되고 있다. 앞으로 需要가 急激히 늘어날 噴霧乾燥裝置에 관한 研究와 裝置의 國產化가 이루어져 建設費의 減少가 要望된다. 이 報文에서는 新韓製粉 株式會社에서 企劃中인 一日 生産量 20ton 規模의 水飴 噴霧乾燥裝置의 基本設計에 관하여 紹介하고자 한다.

### Abstract

Recently the demand for spray drying increased tremendously in the industries of dairy products, detergent, coffee extracts and pharmaceuticals, etc. in this country and a large number of dryer packages have been imported. However, in order to reduce the plant cost, it has become necessary to locally fabricate most of the plant components except the atomizers. The present work covers a basic engineering design for a 20 tpd, corn syrup drying plant at Bu Pyung factory of Sin Han Flour Mill Co., Ltd.

## 1. 緒 論

噴霧乾燥法은 高溫 氣流中에서 液體를 微粒化하여 瞬間的으로 乾燥하는 方法으로 1865 年에 Lamont 에 依하여 처음으로 考案되었으며 그 後 微粒化 方法과 粉體 捕集 方法의 改良으로 最近에는 粉乳, 치즈, 커피 등의 食品工業, 藥劑, 合成樹脂, 化學藥品 및 肥料, 塗料, 비누 및 合成洗劑, 窯業 등의 化學工業에 廣範圍 하게 利用되고 있다<sup>1)</sup>.

이와 같은 噴霧乾燥裝置의 構成 要素는 다음과 같이 세가지 工程으로 大別할 수 있다.

(1) 前處理 工程: Slurry 의 調整, 脫氣, 輸送

(2) 乾燥 工程: 熱源, 噴霧機, 乾燥塔, 微粉의 回收

(3) 後處理 工程: 乾燥品의 輸送, 冷却, 節分, 包裝

또한 熱風中에서 液을 分散하고 乾燥하기 爲해서는 다음과 같은 條件에 檢討가 必要하다<sup>2)</sup>.

(1) 微粒化 方法, (2) 液滴과 熱風과의 混合速度, (3) 液滴의 乾燥 方法, (4) 取扱 物質 slurry 의 調整, (5) Slurry 의 水分과 乾燥品의 水分, (6) 熱風 溫度等이다.

最近 한국에서도 粉乳, 커피 등의 食品工業과 藥劑, 合成洗劑, 農藥 등의 製造 工場에서 噴霧乾燥法을 많이 使用하고 있으나 이러한 噴霧乾燥裝置들은 全部 外國으로 부터 輸入한 것들이다. 따라서 앞으로 需要가 急激히 늘어날 噴霧乾燥裝置에 관한 研究와 國產화가 時急히 要求되고 있다.

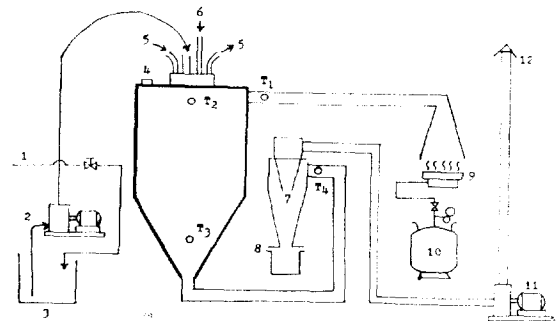
이러한 國產化 試圖의 하나로서 新韓製粉株式會社에서 企劃中인 一日 生産量 20ton 規模의 水飴 噴霧乾燥裝置의 基本 設計를 行하여, 噴霧機에 對한 詳細 設計의 一部와 裝置의 一部分을 外國에서 導入하면, 國內 技術에 依하여 噴霧乾燥裝置를 設置할 수 있도록 한 內容을 紹介한다.

또한 噴霧乾燥裝置에 必要한 各種 機器의 規格을 紹介하여 工場 建設時의 cost estimation에 參考가 되도록 하였다.

## 2. 基 礎 實 驗

水飴 噴霧乾燥裝置의 設計에 必要한 水飴의 微粒化 方法, 液滴과 熱風의 混合速度, 液滴과 乾燥速度, 滯留時間, 熱風의 溫度, 液飴의 水分과 乾燥品의 水分等 여러가지 條件을 알기 爲하여 實驗을 行하였다. 諸設計變數間의 關係는 既往의 여러가지 理論式<sup>2~6)</sup>에 代入하여 얻은 結果가 理論式마다 그 값이 大幅的으로 差異를 나타내, 誤差가 많아 實用性이 없음을 알 수 있다.

따라서 水飴의 噴霧乾燥에 對한 諸操作 條件을 알기 爲하여 韓國科學技術研究所에 設置되어 있는 Bowen laboratory spray dryer(Fig.1 參照)를 使用하여 몇가지 基礎 實驗을 行하였다.



- |                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| ① Feed                        | ⑦ Cyclone           |
| ② Finger pump                 | ⑧ Product reservoir |
| ③ Raw material tank           | ⑨ Burner            |
| ④ Manhole                     | ⑩ L. P. G. tank     |
| ⑤ Cooling water inlet, outlet | ⑪ Turbo fan         |
| ⑥ Compressed air              | ⑫ Exhaust duct      |

$T_1, T_4$ : Thermogauge

$T_2, T_3$ : Thermometer

Fig. 1. The schematic flow diagram of Bowen Spray Dryer System.

여러가지 條件下에서 實驗을 行한 結果 最適 條件은 Table 1 과 같다.

Table 1. The operating conditions in basic experiment.

Condition of feed material:

- (1) Dextrose equivalent: 27.25%
- (2) Moisture: 40%
- (3) Ambient temperature: 24°C

Run No.	Type of atomizer	Time [min.]	Temperature (°C)				Air pressure (Kg/cm <sup>2</sup> )	Feed rate (cc/min)
			T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>		
1	Nozzle	0	150	110	108	100	5.0	57
		10	177	126	122	110	4.3	
		20	202	135	128	118	5.0	
		30	167	132	125	116	5.0	
		40	188	124	122	114	4.6	108
		50	182	130	122	113	4.6	
2	Rotating disk	0	182	132	131	116	4.2	18
		10	188	134	134	122	3.6	
		20	182	139	139	127	4.6	
		30	182	134	134	121	4.6	
		40	184	134	134	124	4.7	
3	Rotating disk	0	184	134	134	124	4.7	57
		10	194	130	130	121	4.8	
		20	199	131	131	121	5.0	
		30	199	131	131	121	4.6	
		40	196	131	131	121	5.0	
4	Rotating disk	0	196	131	131	121	5.0	108
		10	196	116	120	113	4.3	
		20	193	115	116	110	5.0	

 T<sub>1</sub>: temp. of input air

 T<sub>2</sub>: temp. at drying chamber upper

 T<sub>3</sub>: temp. at drying chamber bottom

 T<sub>4</sub>: temp. of output air

이 實驗에서 生成된 水鉛의 粉末과 日本 製品에 對한 節分法에 依한 分析 結果를 Table 2에 通過 分布에 依한 粒度 分布를 Fig. 2에 表示하였으며, 米子の 200倍 顯微鏡 寫眞은 Fig. 3과 같다.

基礎 實驗에서 얻은 資料를 分析 檢討하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

### 1) Dextrose equivalent

供給 水鉛의 Dextrose equivalent 를 20%-50% 範圍에서 實驗하였다. 그러나 本實驗은 D. E. 의

값이 27.25%인 原料를 사용하여 實驗하였다. Dextrose equivalent 가 50%이상의 경우에는 水鉛의 完全한 微粒化가 不可能하였으며, 너무 낮은 分유등에 혼합하는 경우 製品의 商品의 價値가 적은 까닭이다.

### 2) 微粒化 方法

噴霧乾燥에서 常用하는 工業的인 微粒化 方法<sup>7)</sup>은 加壓 노즐(pressure nozzles)型和 空氣 또는 不活性 氣體의 噴流에 依한 二流體 노즐(two fluid nozzles)型 및 回轉圓盤(rotating disk)型이

Table 2. Sieve analysis.

Vibration time: 20minutes

Mesh	Sieve opening [mm]	Average particle diameter [mm]	Nozzle(Run No. 1)		Rotating disk (No. 2, 3)		Rotating disk (No. 4)		Made in Japan	
			Retaining [g]	Retaining %	Retaining [g]	Retaining %	Retaining [g]	Retaining %	Retaining [g]	Retaining %
100	0.147	0.118	13	13.8	5	4.2	3	2.4	25	21.8
170	0.088		22	23.4	37	31.1	36	28.4	41	35.7
250	0.061	0.075	28	29.8	36	29.3	41	32.3	29	25.3
325	0.044	0.053	20	21.3	23	19.3	26	20.5	6	5.2
Passing		0.022	11	11.7	18	15.1	21	16.4	14	12.1
Total			94		119		127		115	

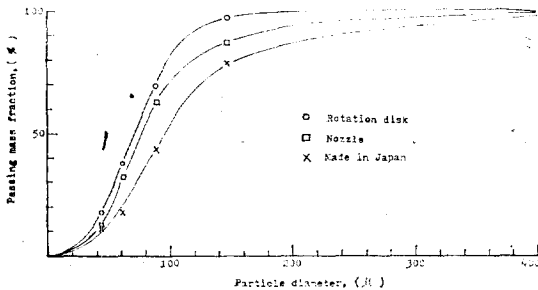


Fig. 2. The relation between passing mass fraction and particle diameter of corn syrup powder by sieve analysis.

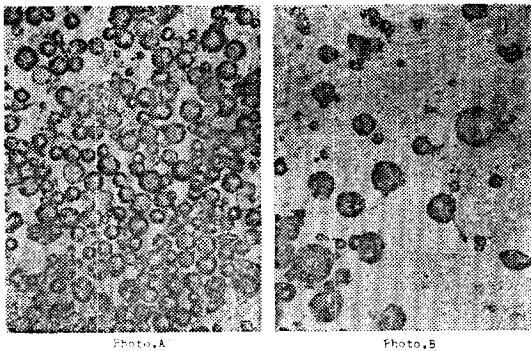


Fig. 3. Particles photograph (magnification 200)

Photo. A: Obtained by rotating disk

Photo. B: Made in Japan.

있다.

加壓 노즐型和 回轉圓盤型에 對하여 參考 文

화학공학 제14권 제3호 1976년 6월

獻과 實驗 結果를 比較 檢討하여 다음과 같은 理由로 回轉圓盤型으로 決定하였다.

(1) 乾燥塔을 室內에 設置한다. 加壓 노즐型에 比하여 乾燥塔의 直徑은 커지지만 높이는 줄어든다. 따라서 屋內에 設置할 경우는 回轉圓盤型이 有利하는.

(2) 供給液의 水分 및 粘度의 變化에 對한 適應力이 좋고 處理量을 回轉數에 依하여 廣範圍하게 調節할 수 있다.

(3) 供給液을 微粒化하는데 壓力이 必要치 않다.

### 3) 供給液의 濃度

基礎 實驗에서 얻은 結果와 같이 하였다. 卽 60%로 하였다(다 dextrose equivalent는 約 27%).

### 4) 噴霧된 水飴과 熱風의 接觸 方法

噴霧流에 對한 熱風의 流動 方向에 따라 並流型, 向流型, 混合型 등이 있다. 이들中 乾燥塔의 直徑을 작게 하고 乾燥된 粉末을 排風에 依하여 塔外로 容易하게 輸送하기 爲하여 並流型을 採擇하였다.

以上の 分析 結果를 利用하여 다음과 같은 噴霧乾燥裝置의 基本 設計를 行하였다.

### 3. 基本設計 概要

#### 1) 設計 基準

##### (1) 供給

供給 物質: 濃縮 水飴

供給 速度: 1,450kg/hr

濃度: 60% total sugar

(Dextrose equivalent=27%)

溫度: 60°C

##### (2) 生産 製品

生産量: 900kg/hr

水分 含量: 3 %

粒子徑: 5~500 $\mu$

80mesh ( $dp < 175\mu$ ) 以下 95%

##### (3) 條件

壓力: 760mm-Hg

外氣 溫度: 0~5°C(겨울)

30~35°C(여름)

相對 濕度: 35°C에서 最大 80%

使用 熱源: 飽和 水蒸氣 8 kg/cm<sup>2</sup>G (170°C)

乾燥塔 排出 空氣의 溫度: 80~90°C

製品 捕集 效率: 98%以上

#### 2) 物質 및 熱收支

外氣의 溫度는 15°C, 相對 濕度는 60%로 하였다. 乾燥室에서 나오는 製品 粉末의 溫度는 60°C, 排出 空氣의 溫度는 82.5°C, 供給液의 溫度는 60°C, 熱風의 濕度는 150°C로 하였다. 乾燥室壁을 통한 熱損失은 15%로 하였다.

以上을 總括한 것을 Fig. 4에 表示하였다.

이 Unit의 操作에 必要한 水蒸氣, 冷却水 및 電力의 量을 表示하면 各各 다음과 같다.

Steam (8 Kg/cm<sup>2</sup>G): 1,939kg/hr

Chilled water: 12,000kg/hr

Electric power: 94.4Kw

#### 3) 工程圖

基礎 實驗 結果와 設計 基準, 物質 및 熱收支 등의 檢討로 粉末 捕集器(cyclone)를 4個로 한

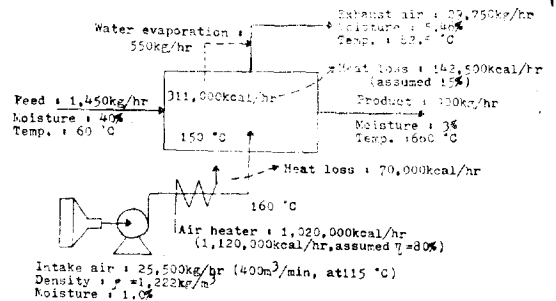
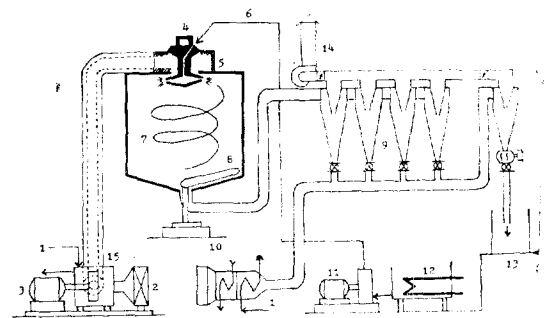


Fig. 4. Material and heat balance of the spray dryer system.

水飴 噴霧乾燥 裝置의 全體 工程圖를 Fig. 5에 表示하였다.

이 工程에 必要한 各種 機器의 基本設計는 다음 項에 論한다.



- ① Steam in, out
- ② Air filter
- ③ Air intake fan
- ④ Rotating disk atomizer
- ⑤ Air distributor
- ⑥ Feed pipe
- ⑦ Drying Chamber
- ⑧ Pneumatic power collection assembly
- ⑨ Main cyclones
- ⑩ Chilled water
- ⑪ Feed pump
- ⑫ Feed balance tank
- ⑬ Product bin
- ⑭ Exhaust duct
- ⑮ Air heater

Fig. 5. Flow diagram of spray dryer system.

Table 3. Particle trajectory obtained by using IBM 1130.

Diameter $d_p$	Initial velocity $V_{h,0}$	Time $t$	Horizontal velocity $V_h$	Vertical velocity $V_v$	Mean velocity $V$	Horizontal distance $S_h$	Vertical distance $S_v$
500 $\mu$	5.0m/sec	0.2sec	1.84	1.27	2.24	0.59m	0.14m
		0.3	1.20	1.62	2.02	0.74	0.28
		0.5	0.52	2.02	2.08	0.88	0.64
		1.0	0.06	2.23	2.23	0.98	1.69
		1.3	0.016	2.24	2.24	1.00	2.35
		1.5	0.006	2.24	2.24	1.00	2.87
	10.0	0.2	2.95	1.18	3.18	1.10	0.13
		0.3	1.84	1.52	2.39	1.26	0.27
		0.5	0.78	1.96	2.10	1.46	0.62
		1.0	0.09	2.22	2.23	1.61	1.65
		1.3	0.02	2.24	2.24	1.63	2.29
		1.5	0.01	2.24	2.24	1.63	2.73
	20.0	0.2	4.48	1.08	4.61	1.94	0.13
		0.3	2.64	1.40	2.99	2.29	0.25
		0.5	1.08	1.87	2.16	2.63	0.58
		1.0	0.12	2.22	2.23	2.85	1.63
		1.2	0.05	2.23	2.24	2.88	2.08
		1.5	0.01	2.24	2.24	2.88	2.76

#### 4) 各種 裝置의 基本 設計

##### A. 乾燥室

##### (1) 設計 條件

型式: 回轉 圓盤型 噴霧機

粒子徑: 最大 500 $\mu$

供給液의 密度:  $1.16 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

熱風 溫度:  $150 \sim 82.5^\circ \text{C}$  ( $T_{\text{air}}, \ln = 116^\circ \text{C}$ )

噴霧機를 떠나는 粒子의 水平 方向의 처음 速度 ( $V_{h,0}$ ): 20.0m/sec.

##### (2) 粒子의 軌跡

噴霧機를 떠난 液滴의 運動은 3 次元的이지만 回轉座標軸系를 택하여 2 次元的으로 解析하여도 좋다.

粒子에 作用하는 抵抗力의 係數  $C_D$  는 Reynolds 數  $N_{Re}$  의 函數로  $C_D$  와  $N_{Re}$  의 關係를 나타내는 graph 는 있으나 電子計算을 하기 爲하여 다음 두 式을 利用하였다. (graph 로 부터 얻은 關係式)<sup>2)</sup>

$$N_{Re} \leq 10 \quad \log C_D = -0.842 \times \log N_{Re} + 1.456$$

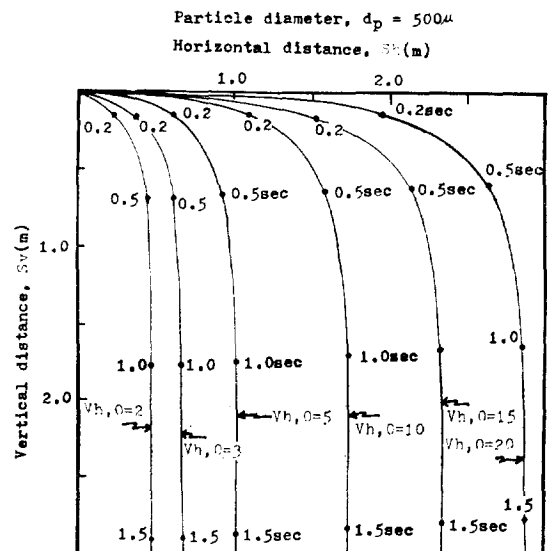


Fig. 6. The relation between vertical distance and horizontal distance for various initial horizontal velocity ( $V_{h,0} = 2 \sim 20$ ) of the particle leaving the rotating disk atomizer.

$$N_{Re} > 10 \quad \log C_D = -0.619 \times \log N_{Re} + 1.233$$

$$\text{여기서 } N_{Re} = d_p \rho_a \sqrt{V_h^2 + V_v^2} / \mu$$

電算 結果 Reynolds 數가 적을 때는  $C_D$ 의 값은 文獻値와 잘 一致하였으나 Reynolds 數가 클 때 ( $N_{Re} > 100$ )는 若干의 誤差가 있었다.

그러나 實際적으로 液滴이 噴霧機를 떠나는 瞬間抵抗을 받아 速度가 急激히 減少하여 Reynolds 數가 적어지므로 上記 두 式을 利用하여도 無妨함을 알 수 있었다.

粒子徑을  $d_p$ , 粒子의 水平分速을  $V_h$ , 垂直分速을  $V_v$ , 空氣의 密度를  $\rho_a$ , 液滴의 密度를  $\rho_L$ 로 하면 液滴의 軌跡은 다음 두 式으로 求할 수 있다<sup>8)</sup>.

$$\frac{dV_h}{dt} = - \left( \frac{3\rho_a}{4\rho_L d_p} \right) C_D(N_{Re}) V V_h$$

$$\frac{dV_v}{dt} = g \left( \frac{\rho_L - \rho_a}{\rho_L} \right) - \left( \frac{3\rho_a}{4\rho_L d_p} \right) C_D(N_{Re}) V V_v$$

上記 二元聯立 方程式을 Runge-Kutta 法<sup>9, 11)</sup>을 利用하여 IBM-1130 電子計算機로 計算하였다.

時間 間隔  $\Delta t$ 는 0.002sec.로 하여 計算하였다.

計算 結果의 一部를 Table 3에 表示하였다.

Fig. 6에는 粒徑이  $500\mu$ 인 粒子가 飛行한 水平距離와 垂直距離를 여러가지 水平分速에 對하여 表示하였고, Fig. 7에는 水平分速과 垂直距離의 關係를 여러가지 粒子徑에 對하여, Fig. 8에는 粒子徑과 水平距離의 關係를 여러가지 水平分速에 對하여 表示하였다.

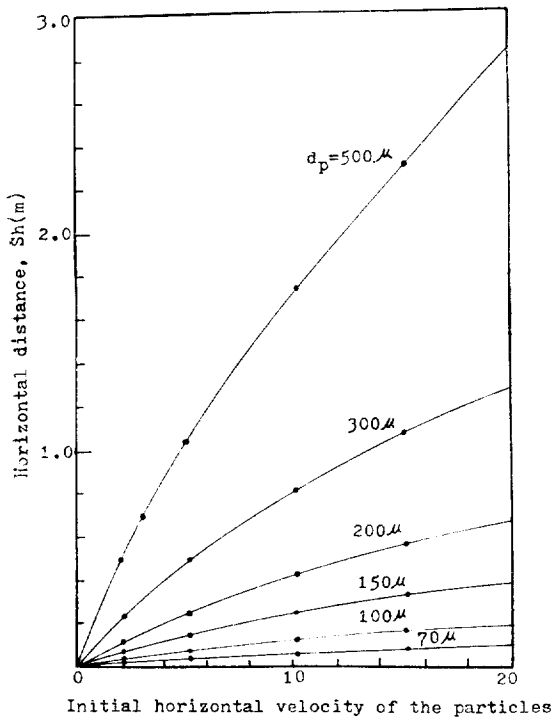


Fig. 7. The relation between horizontal distance and initial horizontal velocity of particles for various particle size.

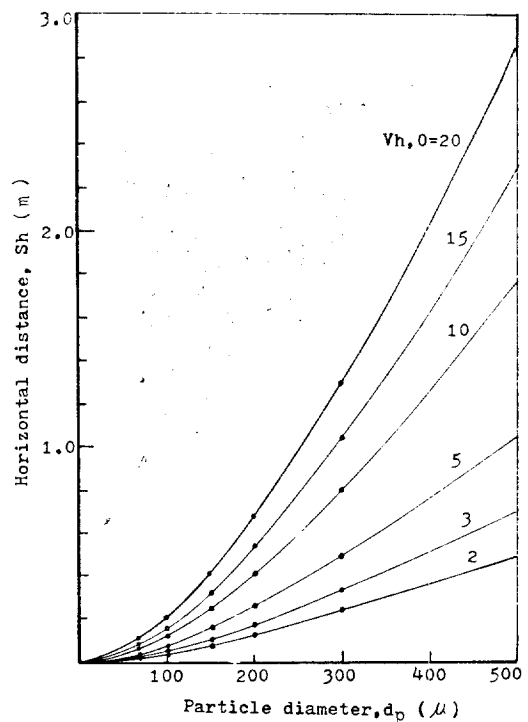


Fig. 8. The relation between horizontal distance and particle diameter for various initial horizontal velocity of particles.

## (3) 考 察

Table 3 에서 알 수 있는 바와 같이 ( $V_{h,0}=20\text{m/sec}$  의 경우) 粒徑이  $500\mu$  인 粒子가 飛行한 最大의 水平距離는  $2.88\text{m}$ , 이에 到達하기에 必要한 最少垂直距離는  $2.76\text{m}$  이고 粒子의 終末速度는  $2.24\text{m/sec}$  이다.

回轉 圓盤 噴霧機의 直徑을  $0.24\text{m}$  로 하면 乾燥室의 直徑  $D_D$  는 다음과 같이 求해진다.

$$D_D = 2 \times 2.88 + 0.24 = 6.00[\text{m}]$$

並流한 熱風에 依하여 粒子에 附加된 垂直距離  $S_{c, tr}$  은 熱風의 供給 速度를  $W$  로 表示하면

$$S_{c, tr} = \frac{W}{\frac{\pi}{4} D_D^2} = \left( \frac{29,280}{0.91} \right) / \left( \frac{\pi \times 36}{4} \right) = 0.317 \quad [\text{m/sec}]$$

乾燥室의 높이  $H_D$  는 다음과 같이 求해진다.

$$H_D = (2.76 + 0.317) \times 1.5 = 4.616[\text{m}] < 6.00[\text{m}]$$

따라서 乾燥室의 크기를  $6\text{m} \phi \times 6\text{m}$  로 하였다.

## B. 空氣 加熱器

## (1) 設計 條件

型式 : 間接 水蒸氣 加熱式

性能 : 分當  $400\text{Nm}^3$  또는  $425\text{kg}$  의 空氣를  $15^\circ\text{C}$  에서  $160^\circ\text{C}$  로 加熱 ( $T_{lm}=60^\circ\text{C}$ )

熱源 : 飽和 水蒸氣 使用  $8\text{Kg/cm}^2\text{G}$  ( $170^\circ\text{C}$ )

## (2) 傳熱 面積

空氣의 供給 速度 :  $25,500\text{kg/hr} = 880\text{kg-mole}$

空氣의 比熱은  $7.0\text{kcal/kg-mole-deg}$ . 이므로  $15^\circ\text{C}$  에서  $160^\circ\text{C}$  로 加熱하는데 必要한 熱量  $Q$  를 求하면

$$Q = 880 \times 7.0 \times (160 - 15) = 8.95 \times 10^5 [\text{kcal/hr}]$$

熱 損失을 20%로 하면 實際로 必要한 熱量  $Q_{act}$  를 求하면

$$Q_{act} = \frac{8.95 \times 10^5}{0.8} = 1.12 \times 10^6 [\text{kcal/hr}]$$

水蒸氣와 空氣의 溫度 差 ( $\Delta T$ ) $_{lm}$  은 아래와 같다.

$$(\Delta T)_{lm} = 170 - T_{lm} = 110[^\circ\text{C}]$$

傳熱係數  $U$  를  $15[\text{kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}]$  (強制對流에 서는  $10 \sim 30$ )로 하면 必要한 傳熱 面積  $A$  는 다음 式에 依하여 求할 수 있다.

$$Q = UA(\Delta T)_{lm}$$

$$\therefore A = \frac{Q}{U(\Delta T)_{lm}} = \frac{1.12 \times 10^6}{15 \times 110} = 6.8 \times 10^2 [\text{m}^2]$$

## C. Main cyclones

## (1) 設計 條件

型式 : Lapple & Ikemori 式<sup>10)</sup>

處理 容量 :  $15\text{kg/min}$  의 粉末을 包含한 空氣  $500\text{m}^3/\text{min}$ .

粒子徑 :  $0 \sim 500\mu$

$80\text{mesh}$  ( $d_p = 175\mu$ ) 以下  $95\text{cut}\%$

分離限界 粒徑 :  $5.0\mu$

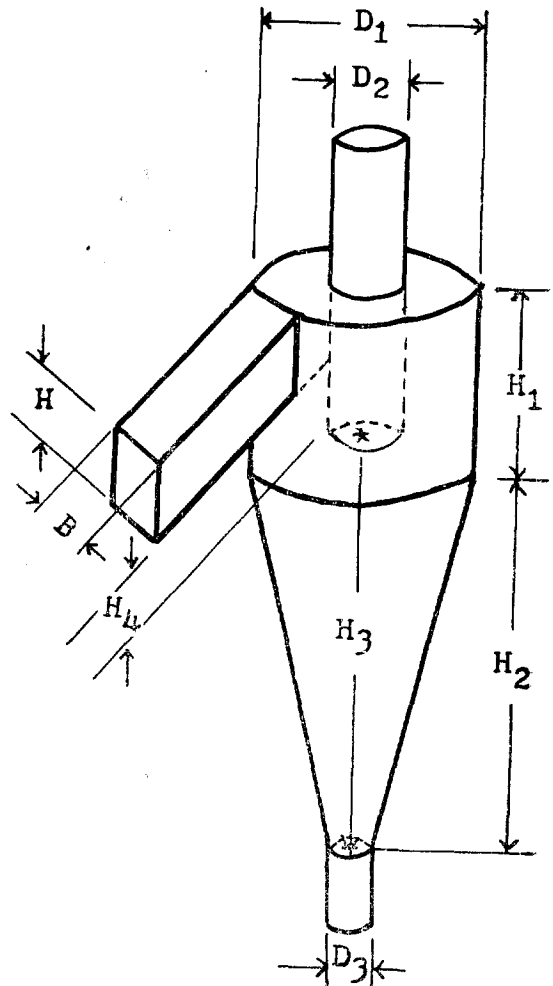


Fig. 9. Dimension of cyclone.



Cyclone 數(並列) : 4

粒子的 密度 :  $1.05 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

集塵效率 : 98% 以上

入口에서의 流速 :  $10 \sim 20 \text{ m/sec}$ .

(2) 基礎 關係式<sup>10)</sup>

Cyclone 設計의 順序는 먼저 所要效率와 對象 dust 의 粒度分布로 부터 分離限界 粒徑  $d_c$  를求하고, 風量과 入口速度(假定)  $v_i$  로부터 入口의 크기를 求한 다음 全體의 크기를 標準 寸수比에 依하여 決定한다.

다음에 이들 條件으로 必要한  $d_c$  가 얻어지는가 여부를 檢討하고 얻어지지 않으면 流速을 變更시켜 다시 試算한다.

Cyclone 의 概略圖는 Fig. 9 과 같다.

Cyclone 의 設計值를 다음과 같이 하였다.

粒子的 密度  $\rho_p = 1.05 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

入口 速度  $v_i = 18 \text{ m/sec}$ .

分離限界 粒徑  $d_c = 5.0 \times 10^{-6} \text{ m} \sim 6.66 \times 10^{-6} \text{ m}$

空氣의 粘度  $\mu = 2.08 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$ . ( $82.5^\circ \text{C}$ )

分離限界 粒徑  $d_c$  는 다음 式<sup>10)</sup>으로 주어진다.

$$d_c = \sqrt{\frac{3.5\mu D_2^2}{\pi \rho_p H_3 v_i}}$$

試行錯誤法에 依하여 求한 結果

$$d_c = 6.6 \times 10^{-6} \text{ m}.$$

$$H_3 \geq 7D_2$$

$$H_4 = (0.3 \sim 0.5)D_2$$

標準 寸수比에 依함

(3) Cyclone 의 設計

Cyclone 을 4 基로 하였으므로 基當處理風量  $F$  는 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{4}(500) = 125 [\text{m}^3/\text{min}] = 2.08 [\text{m}^3/\text{sec}.]$$

따라서 入口의 높이  $H$  와 幅  $B$  는

$$B = H = 0.30 [\text{m}]$$

標準 寸수比에 依하여 各規格은 다음과 같다.

$D_1$	$D_2$	$D_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$
0.80	0.30	0.18	1.20	1.80	2.50	0.12

#### D. Cooling cyclone

(1) 設計 條件

Cooling cyclone 入口에서의 流速 :  $18 \text{ m/sec}$ .

最大 粒徑  $d_{p, \text{max}} = 500 \mu$

粒子的 流速을 求하면 다음과 같다.

$$V(d_{p, \text{max}}) = \sqrt{\frac{4g d_{p, \text{max}}(\rho_p - \rho_a)}{3\rho_a \cdot C_D(N_{Re})}} \quad (15^\circ \text{C})$$

$$= 2.25 [\text{m/sec}] \ll 18 [\text{m/sec}]$$

(2) Dehumidifier 와 cooling cyclone 사이의 導管의 크기

Cooling cyclone 入口 流速 =  $18 \text{ m/sec}$

Cooling cyclone 入口徑  $D_{c, c} = 0.2 \text{ m}$

로 假定하면

Dehumidifier 의 處理 容量  $F_{c, a}$  는

$$F_{c, a} = (18) \times (0.0314) \times (60) = 34.0 [\text{m}^3/\text{min}]$$

$$= 2,040 [\text{m}^3/\text{hr}] \quad (15^\circ \text{C} \text{ 에서})$$

(3) Cooling cyclone 의 크기

設計值를 다음과 같이 하였다.

$$\rho_p = 1.05 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$V_i = 18 \text{ m/sec}.$$

$$\mu = 1.809 \times 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}. \quad (\text{空氣 溫度 } 15^\circ \text{C})$$

分離限界 粒徑  $d_c$  는 다음 式<sup>10)</sup>으로 求해 진다.

$$d_c = \sqrt{\frac{3.5\mu D_2^2}{\pi \rho_p H_3 V_i}} \quad (15^\circ \text{C})$$

試行錯誤法으로 求한 結果

$$d_c = 5.16 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$F_{c, a} = 0.567 \text{ m}^3/\text{sec} = 34.0 \text{ m}^3/\text{min}.$$

以上の 結果와 標準 寸수比에 依하여 求한 規格은 다음과 같다.

$D_1$	$D_2$	$D_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$
0.53	0.20	0.12	0.80	1.20	1.60	0.08

#### E. 排氣 扇風機

型式 : Centrifugal turbo fan

容量 :  $520 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $70^\circ \text{C}$ )

材質 : Mild steel, High tension steel

#### F. 空氣 吸入 扇風機

容量 :  $400 \text{ m}^3/\text{min}$  ( $15^\circ \text{C}$ )

Cost estimation 을 爲한 主要機器의 規格을 다음 節에 紹介한다.

#### 4. List of Main Equipment and Machine with Specification<sup>12, 13)</sup>

##### 1) Air intake filter for dryer 1 set

Type: 20 units

Air flow rate: 400m<sup>3</sup>/min. at 15°C

Pressure loss: 12mmH<sub>2</sub>O

Dimension: One unit 500×500×50m/m

Material of element: Vinyl sponge

##### 2) Air intake fan 1 set

Capacity: 400m<sup>3</sup>/min. at 15°C

Static Pressure: 200mmH<sub>2</sub>O

Motor: 25Kw

Attached with air damper and canvas duct

##### 3) Air heater 1 set

Type: Steam indirect heating with air finned tubes

Air temperature: Inlet 15°C

Outlet 160°C

Steam required: 1.930kg/hr. 8Kg/cm<sup>2</sup>G

Main material: Air contacting part: SUS-430

Insulation: Glass wool(50mm thickness)

##### 4) Disk atomizer 1 set

Type: Centrifugal Disk.

Sanitary type

Feed Rate: 1,450kg/hr

Motor: 22Kw. 2P

Main material: liquid contacting part: SUS-430

##### 5) Feed pump 1 set

Type: Volumetric Snake Pump

Feed rate: 1.450 kg/hr

Feed pressure: 2.5Kg/cm<sup>2</sup>G

Motor: 2.2Kw. 4P

Main material: Liquid contacting part: SUS-430

rubber

##### 6) Air distributor 1 set

Type: Centrifugal type hot air intake

Main material: Air contacting part: SUS-304

##### 7) Drying chamber 1 set

Type: Conical bottom type

Size: 6.00φm×6.00m

Main material: Gas and power contacting part: SUS-304

Others: Mild steel

Insulation: Glass wool(75mm thickness)

Outside of chamber: 0.7mm thickness SUS-430

##### 8) Power discharge assembly 1 set

Type: Pneumatic power collection with gear box

Material: Gas and power contacting part: SUS-304

Motor: 1.5Kw. 4P

##### 9) Main cyclones 4 set

Type: Standard type

Size: 0.80φm×3.00m

Main material: Gas and power contacting part: SUS-304

Accessories: Rotary valve

Motor: 0.4Kw. 4P(Reduction Motor)

##### 10) Air intake filter for cooling cyclone

Type: Rigid frame with filter media

Air Flow Rate: 34m<sup>3</sup>/min. at 15°C

Pressure Loss: 12mmH<sub>2</sub>O

Filtration efficiency: 85% (AFI Weight method)

Material: Air contacting part: SUS-304

Filter media: Fiber glass

##### 11) Dehumidifier 1 set

Type: Chilled water indirect cooling and steam indirect heating with finned tubes

Air flow rate:  $34\text{m}^3/\text{min.}$  at  $35^\circ\text{C}$

Air relative humidity and temperature(Summer)

Colling Section: From 80% at  $35^\circ\text{C}$  to saturated at  $7^\circ\text{C}$

Heating section: From saturated at  $7^\circ\text{C}$  to 50% at  $17^\circ\text{C}$

Chilled water required:  $12.000\text{kg/hr}$  at  $1.5^\circ\text{C}$

Steam required:  $9\text{kg/hr}$  at  $8\text{kg/cm}^2\text{G}$

Material: Air contacting part: SUS-430

Insulation: Glass wool(50mm thickness)

### 12) Cooling cyclone 1 set

Type: Standard type

Size:  $0.53\text{m} \times 2.00\text{m}$

Material: Gas and power contacting part: SUS-304

Accessories: Whirl Trap, Rotary Valve

Motors: 1.5Kw 4P. 0.4Kw. 4P(Reduction Motor)

### 13) Exhaust Fan 1 set

Type: Centrifugal turbo-fan

Gas flow rate:  $520\text{m}^3/\text{min.}$  at  $70^\circ\text{C}$

Pressure:  $200\text{mmH}_2\text{O}$

Material: Mild steel. High tension steel

Motor: 35Kw. 4P

Accessories: Damper

### 14) Ducts 1 set

Material: Fresh air gas and power contacting part: SUS-304

Outer part: SUS-430

Exhaust gas part: Mild steel

Comprising: Between air filter. air heater and air distributor Between power discharge assembly and main cyclone Between air filter. defumidifier and cooling cyclone Between exhaust fan and atomosphere

### 15) Instruments and pannel 1 set

1 Set-6 point temperature recorder

1 Set-4 point pressure indicator

1 Set-Material of wiring and tubes between panel and each equipment

### 16) Piping materials 1 set

Comprising: Sanitary piping between feed balance tank. feed pump and disk Atomizer.

Steam and chilled water piping around each equipment (within  $10\text{m W} \times 10\text{m L}$ )

### 17) Additional cost estimation needed:

- (1) Building and erection of foundations for equipment and machines.
- (2) All erection charges and commissioning charges for super rising the erection and start-up of the plant.
- (3) All equipments. machines and parts not described in the above items.
- (4) Spare parts
- (5) Refrigerator.

## 5. 結 言

20 ton/day 規模의 水飴 噴霧乾燥裝置의 process 의 大略과 構成要素裝置의 基本 設計의 方法과 結果를 簡單히 紹介하였다.

微粒化의 機構, 乾燥機構等에 關한 基礎的 研究 結果를 利用하여 微粒化 方法, 乾燥裝置의 型式 選定이나 乾燥條件을 決定할 수 없는 實情이며 또한 本文中에서 記述한 基礎 實驗의 結果 역시 不充分한 點이 적지 않음을 付言하는 바이다.

다만 여러가지 경우에 噴霧乾燥裝置의 國產化의 經濟性을 檢討하는 데 必要한 資料, 그리고 이를 얻는 工學的 手法을 詳述한 것이다.

## 感謝

이 報文을 作成하는데 있어서 도움을 주신 新韓製粉 株式會社 金 龍成 社長과 實務的인 問題에 對하여 助言과 協助를 아끼지 않으신 富平工場 工務部の 鄭 海澈, 姜 鍾敏 兩氏에게 衷心으로 感謝의 뜻을 表하는 바 입니다.

## Nomenclature

$A$	area [ $\text{m}^2$ ]
$B$	width of cyclone inlet [ $\text{m}$ ]
$C_D$	drag coefficient $[-]$
$d$	diameter [ $\mu$ ]
$F$	volumetric flow rate [ $\text{m}^3/\text{sec}$ ]
$Q$	heat [ $\text{kcal}$ ]
$S$	distance [ $\text{m}$ ]
$T$	temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$t$	time [ $\text{sec}$ ]
$U$	over-all heta transfer coefficient [ $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ]
$V$	velocity [ $\text{m}/\text{sec}$ ]
$W$	hot air feed rate [ $\text{kg}/\text{hr}$ ]
$\rho$	density [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$\mu$	viscosity [ $\text{kg}/\text{m} \cdot \text{sec}$ ]

## Subscripts

$a$	air
$act$	actual
$c$	cutting
$h$	horizontal
$i$	inlet
$L$	liquid
$p$	particle

$v$	vertical
$tr$	transfer
$lm$	log. mean

## References

1. Anhydro Spray Drying Plants Bulletin No. 1591, Anhydro A/S 2nd ed., Copenhagen, Denmark, 1973.
2. 豊田貞男, 噴霧乾燥(新化學工學講座11)p. 36 日刊工業新聞社, 東京(1962).
3. R.W. Powell, *Trans. Inst. Chem. Engrs.* **18** (1940), 36.
4. W.E. Ranz and W.R. Marshall. *Chem. Eng. Progr.* **48** (1952), 247.
5. J.A. Duffie and W.R. Marshall. *Chem. Eng. Progrs.* **49** (1953), 417. 480
6. K. Masters, . *Ind. Eng. Chem.* **60** (1968) 53.
7. R.H. Perry and C.H. Chilton, "Chemical Engineers' Handbook", 5th ed., McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 1973, P. 18-62.
8. 南宮寔, 化學機械設計原論, 文運堂(1970).
9. L. Lapidus, "Digital Computation for Chemical Engineers." McGraw-Hill, New York, 1962.
10. 池森, 日本機械學會誌 p. 55 (1962).
11. S.S. Kuo, "Numerical Methods and Computers," Addison Wesley, 1965.
12. C.H. Chilton. "Cost Engineering in the Process Industries." McGraw-Hill, New York, 1960.
13. M.S. Peters and K.D. Timmerhaus, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers," McGraw-Hill, New York, 1968.