

新型空氣粉級裝置

Cyclone-Separator 의 Scale Up과 그 性能

雙龍洋灰工業株式會社

東海工場 生産課 成 秀 慶

目 次

1. 紹 介	發 過	介 程
2. 開 發	發 過	理 計
3. 原 設	發 過	討 論
4. 設 計	發 過	言
5. 性 能	檢 驗	
6. 結 論		

本稿는 現在 江原道 北坪에 建設中인 大單位雙龍洋灰 東海工場에 新規導入된 裝備中 Cyclone-Separator에 對한 內容으로서 新型空氣粉級機의 設計(Scale up) 및 그 性能을 간추려 紹介 하고져 한다.

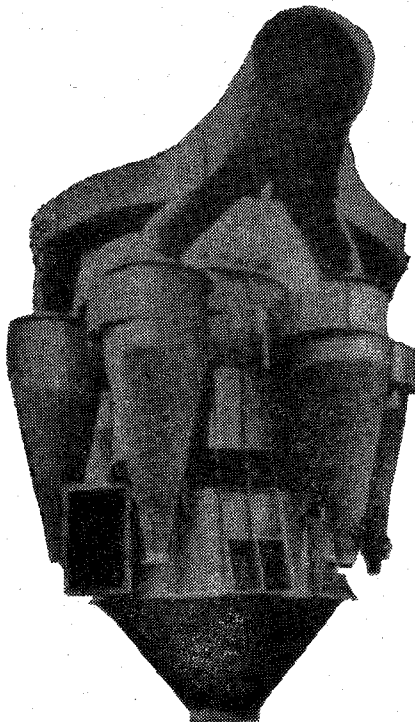
1. 紹 介

最近 雙龍洋灰에 導入되어 使用되고 있는 新裝備들 중 시멘트 粉級用 Cyclone-Separator는 各種粉體 空氣粉級裝置中 最新의 것이며 1967年 末 現在 獨逸과 日本을 합쳐 總 15基가 普及되어 있고 (韓國雙龍것除外) 國內는 雙龍이 最初로 保有 하여 實用케 되었다.

이것이 構想되기는 1950年代 後半期로 알려져 있는데 開發되어 實用段階에 들어선 이후 大量生産을 爲한 大量處理에 알맞도록 꾸준히 研究開發되어 왔으며 특히 過去의 「스타미 만트」型 및 「터보 세파레타」들에 比하여 機械構造의 簡單性 補修維持에 容易한 長點과 開發如何에 따라서 얻어질 수 있는 훌륭한 粉級效率 등이 認定을 받아 지금에 이르렀다 할 것이다.

現在 全世界에는 約 3萬種類의 各種學術雜誌가 出版되고 있으며 年間約 250萬編의 學術論文이 發表되고 있고 그중 科學部門의 것이 30% 가량이라고 한다.

아직 우리나라는 科學 技術 情報 活動의 未熟으로 이러한 各種 新裝備의 紹介 및 最新理論의 補給源이 되고 있는 各種關係文獻의 缺乏을 招來하여 結果的으로 發展狀態의 相當한 阻害를받



新型空氣粉級裝置 Cyclone-Separator

고 있음은 참유감스러운 일이라 아니할 수 없다
여기 紹介코저 하는 乾式廢回路 시멘트粉末粉級
用 cyclone-Separator에 對하여는 雙龍工場에서
M.H.I. 所屬 藤原技士와 함께 그 性能檢討에 參
與한 實績을 根據로 이를 간추려 紹介하고저 한
다.

2. 開 發

Cyclone-Separator가 最初로 文獻上에 나타난
것은 1950年代末 獨逸의 Zement-Kalk-Gips 紙上
에 WEDAG社에 依해 開發 紹介된 것으로 알
려져 있으나 試驗段階를 거쳐 積極的으로 文獻
上에 發表되기 始作한 것은 1962年 부터다(Nr.
11/1962, Zement-Kalk-Gips. p. 479參照)

처음 開發當時는 規模가 작았으며 繼續 研究
開發되어 감에 따라 規模 및 構造上의 어느정도
變化過程을 거치는 동안 大量處理가 可能한 機
械로 實用段階에 접어들게 된것이다.

이를 獨逸로부터 模倣輸入한 日本은 蒸干의 修
正을 加하여 지금 雙龍에 導入된 形態의 것으로
開發시켰는데 從來부터 使用되고 있는 Air Sep.
에 비해 微粉의 循環이 적고 分離效率이 良好하
며 運轉操作이 簡單하다는 理由들로 各種시멘트
工業界에서는 스타테 반트型 Air Separator와 代
置되는 것으로 注目を 끌어난 것이다.

現在도 獨逸, 日本等の 「메이카」들이 계속
Cyclone-Separator를 開發시키고 있는 것으로 알
려지고 있다.

3. 原 理

fig. I에 Cyclone-Separator의 構造 그림을 表
示했다. fig에서 보는 바처럼 Fan은 Separator
本體外에 두고 이 Fan에 依한 氣流는 Separator
氣流취입 Duct ②에 依해 Separator 本體
Tangential에 취입된다.

이 氣流는 旋回上昇해서 링벨트 ⑧, 粉級室④
Cyclone入口⑥ Cyclone⑦ Cyclone 集合 Duct⑨
를 통해 다시 Fan에 이르게 된다.

供給粒子는 粒子供給口①에 依해 供給되어 回
轉되고 있는 分散板③에서 粉級室④로 粉散되어
진다. 供給粉體中에 比較的 가는 粒子는 氣流의
抗力에 依해 分離板⑤까지 到達했다가 組粒은떨

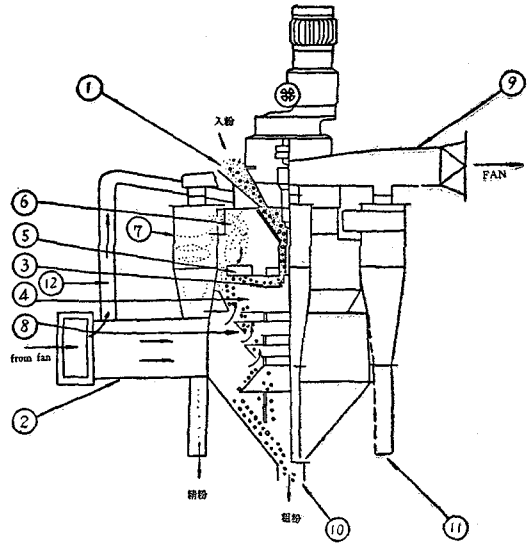


fig I Cyclone-Separator의 粉級原理 및 構造

어지고 微粒은 上昇, 分離板에서 遠心力 및 慣
性力의 作用을 받아 粉級作用이 이루어지게 된
다.

組粒은 링벨트⑧에서 再 飛散하기 때문에 落
下해서 分離排出口⑩에 依해 排出된다. 微粒은
分離板을 통해 Cyclone으로 들어가게 되며 여기
서 捕集 되어져서 精粉排出口 ⑪에 依해 排出된
다.

4. 設 計

① 設計基本資料

Cyclone-Separator의 粉級作用은 주로 粉級板
部分에 依해 行해지고 있다.

따라서 分離板部의 遠心力과 慣性力을 考慮해
서 設計基本資料로 삼을 것은 勿論, 粒子의 飛
散, 凝集等도 問題가 되는 것으로서 代表的
Scale의 粉級裝置를 基本으로 하여 粉級室內의
風速 分離板部의 遠心力 및 慣性力 等の 適當值
를 찾아 設計해 나가야 할 것이다.

Scale-up

Cyclone-Separator의 Model과 寸수는 fig II 과
같이 決定한다.

이를 基本 Model로 할때

粉級機의 相似則은

A) 寸수 比, K

$$K = \frac{D}{Db} \dots \dots \dots (1)$$

(단 Db는 基本이되는 粉級機값)

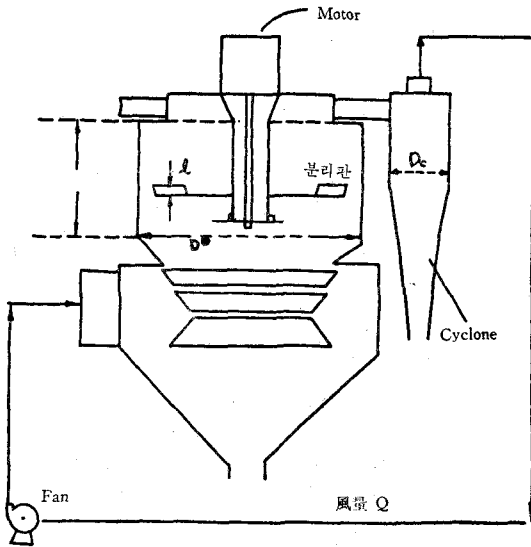


fig II

B) 風量(粉級室內 風速을 捕捉했을 境遇)

粉級室內 風速 $V = V_b$ 라한다면,

$Q \propto DHV$ 로서

$$\frac{Q}{HD} = \frac{Q_b}{H_b \cdot D_b} \dots \dots \dots (2)$$

$\frac{H}{D} = \frac{H_b}{D_b}$ 가 되도록 scale up 하면

$$Q = \left(\frac{D}{D_b}\right)^2 Q_b = K^2 \cdot Q_b \dots \dots \dots (3)$$

※ 循環風量은 다음式에 따른다.

$$Q = \Phi \cdot \frac{bf}{60} \left(\frac{2df}{2}\right)^2 nf$$

Q = 순환 풍량

bf = 쉘의 폭

df = 쉘의 회전수

Φ = 係數

단 Φ는 循環經路 抵抗에 依해서 決定된다.

C) 遠心力에 依한 粉級

分離部에서 慣性力에 依한 粉級을 無視하고 遠心力만을 생각하면 fine particle 측에 들어가는 最大粒子徑 dp max는 다음과 같은 式이된다.

$$dp_{max} = \sqrt{\frac{18\mu}{P_p - \rho} \cdot \frac{Q}{So} \cdot \frac{r_s - r_c}{h\omega^2 r m}} \dots \dots \dots (4)$$

여기서

dp_{max} : fine particle 측에 들어가는 最大粒子徑(m)

Q: 風量 (m³/s)

μ: 氣體의 粘性係數 (kg/m.s)

P_p : 粒子의 密度 (kg/m³)

ω: 角速度 (rad/s)

So: A, A'間的 環狀 斷面積 (m²)

h, r_s, r_c 다음 그림 參照

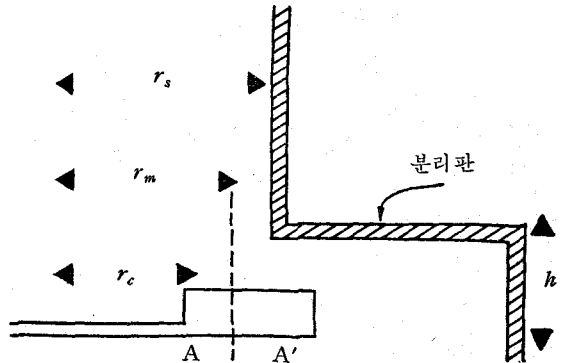


fig III

(4) 式에서 $\rho_p = \rho_{p0}, \rho = \rho_0, \mu = \mu_0,$

$S = \pi(Y_s^2 - Y_o^2)$ 로서 Separator의 回轉數를 n이라고 하면

$$\frac{dp^2_{max}}{dp^2_{max}} = \frac{Q}{Q_b} \cdot \frac{Y_{sb} + Y_{ob}}{Y_s + Y_o} \cdot \frac{Y_{mb}}{Y_m} \cdot \frac{hb}{h} \cdot \frac{nb^2}{n^2} \dots \dots \dots (5)$$

지금

$$\frac{Y_{sb} + Y_{ob}}{Y_s + Y_o} = \frac{Y_{mb}}{Y_m} = \frac{h_b}{h} = \frac{D_b}{D} = \frac{1}{k}$$

라고 한다면

$$dp^2_{max} = \frac{1}{K^3} \cdot \frac{Q}{Q_o} \cdot \left(\frac{nb}{n}\right)^2 \cdot dp^2_{max} \dots \dots \dots (6)$$

(6) 式에서 $dp_{max} = dp_{b,max}$ 인 경우

$$n = nb \sqrt{\frac{1}{K^3} \cdot \frac{Q}{Q_b}} \dots \dots \dots (7)$$

(3) 式으로 부터

$$n = nb \cdot \frac{1}{\sqrt{K}} \dots \dots \dots (8)$$

(4) 慣性力에 依한 粉級

粉級部에서는 粒子와 粉級部와의 衝突을 考慮하여 다음과 같이 解釋한다.

粒子慣性 바로메타 P는

$$P = \frac{\rho_p \cdot \sigma^2 \cdot u}{18 \cdot \mu \cdot r^*} \dots \dots \dots (9)$$

여기서

ρ_p = 粒子的 眞密度 (kg/m³)

δ = 粒子徑 (m)

u = 氣體가 위로 흐를때의 속도 (m/s)

μ = 氣體의 粘性係數 (kg/m.s)

Υ^* = 대포켓수

分離鋸入口部는 fig IV (Radial방향)와 같이 記號를 定하고 表示해 나간다.

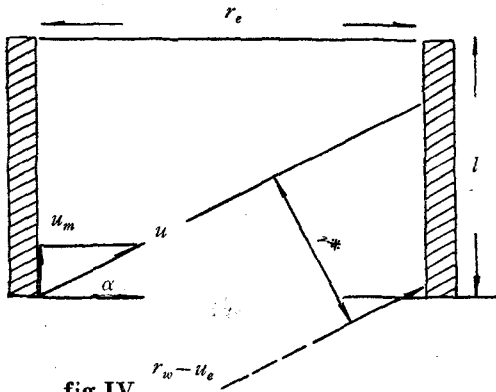


fig. IV

註, u_m : 分離鋸入口部近의 氣流垂直速度 (m/s)

$u\theta$: 分離鋸入口部近의 氣流圓周速度 (m/s)

Υ : 分離鋸平均半徑 (m)

따라서

$$\Upsilon^* = \Upsilon \theta \sin \alpha = \Upsilon \theta \frac{u_m}{u} \dots \dots \dots (10)$$

粒子分離鋸 衝突効率의 모델은 다음 그림과 같다.

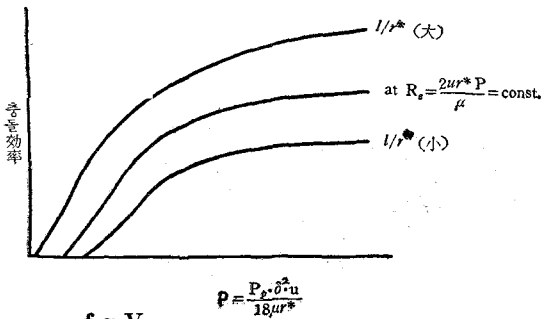


fig. V

또, $Re = \frac{2ur^*\rho}{\mu} \gg 10$ 의 境遇 衝突効率은 粒子

慣性바로메타 P와 l/Υ^* 에 關係된다.

Cyclone-Separator에는 $Re = \frac{2ur^*\rho}{\mu} \gg 10$ 이브

로 scale up할때는 粒子慣性 바로메타 P와 l/Υ^* 關係를 따져 주어야 할 것이다.

(9) 式으로 부터

$$\frac{\rho_p \cdot \delta^2 \cdot u}{18 \mu \Upsilon^*} = \frac{\rho_{pb} \cdot \delta b^2 \cdot u_b}{18 \mu_b \Upsilon_b^*} \dots \dots \dots (11)$$

(11)式에서 $\rho_p = \rho_{pb}$ $\delta = \delta_b$ $\mu = \mu_b$ 라할때

$$\frac{u}{\Upsilon^*} = \frac{u_b}{\Upsilon_b^*} \dots \dots \dots (12)$$

(10), (12)式에서

$$\frac{\Upsilon \theta}{\Upsilon_b \theta_b} = \frac{u_m b}{u_m} \cdot \left(\frac{u}{u_b} \right)^2 \dots \dots \dots (13)$$

(13)式에서

(1)式으로 부터 $\frac{\Upsilon}{\Upsilon_b} = K$

또, $\theta = \theta_b$ $u_m = u_{mb}$ $u\theta = u\theta_b$ 라고하면

$$K = \frac{u^2}{u_b^2} = \frac{(\Upsilon \omega - u\theta)^2 + u_m^2}{(\Upsilon_b \omega_b - u\theta_b)^2 + u_{mb}^2} \dots \dots \dots (14)$$

여기서 分離鋸 角速度 ω 는

$$\omega = \frac{1}{K r_b} \{ u\theta_b + \sqrt{K(\Upsilon_b \omega_b - u\theta_b)^2 + (K-1)u_{mb}^2} \}$$

다음 l/Υ^* 은 $l/\Upsilon^* = l_b \Upsilon_b^*$ 로 할때

(12), (13)式으로부터 $l = l_b \sqrt{K} \dots \dots \dots (16)$

以上과 같이하여 테스트기로부터 Scale up 한다.

5. 性能檢討

Cyclone-Separator의 性能을 綿密히 檢討하려면 相當히 오랜 時間과 所定の 裝置를 必要로 한다.

fig 5에 表示한바 처럼 Mill에 連結設置된 후의 그 綜合的인 性能을 調査하려는 目的은 設計資料 및 改善資料를 얻고 보다 効率的인 運轉條

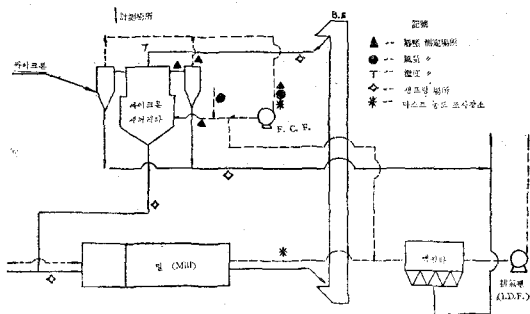


fig. VI

件을 찾아내는데 있으므로 充分한 時間을 必要로 하는 것이다.

調査에 着手하기前 粉碎系流가 正常狀態인가를 살펴야 한다.

밀에서 粉碎되어 나오는 粉末은 「바케에레베타」에 依하여 Cyclone-Separator로 輸送되며 이곳에서 輸送되어진 粉末이 所定の 크기인 精粉. 粗粉으로 各各粉級되어 精粉은 싸이로로 보내지고 粗粉은 再粉碎를 爲하여 다시 밀로 보내지게되는 過程을 連續的으로 밟게되므로 設置된 粉級裝置의 性能을 檢討하려면 自然히 「밀」과 聯關하여 Closed-Circuit系 全體를 살펴야 된다.

fig 6에 調査해야할 地點 및 그 種目を 表示하였다.

系流의 狀況判斷은 「밀」 運轉室 Pannel board上에 나타난 各機械의 電流 및 壓力狀態를 보고 運轉日誌를 檢討하여 系流가 正常的인 狀態下에 運轉되고 있는지를 確認判定해야 한다.

勿論 이때 各機械의 動力 및 壓力變化 狀態는 모두 一定한 範圍가 있으므로 크게 範圍를 벗어나고 있지 않는 한 異狀이 없다고 보아도 無妨할 것이다.

① Cyclone-Separator 各部分의 壓力, 氣體流速, 風量 Dust 濃度 調査場所: F.C. Fan出口

「마노메타」를 使用하여 測定된 F.C. Fan 出口 Duct內의 壓力差는 三點法에 依據 9場所

$$\sum \sqrt{\Delta P} = 66.76$$

이였고 靜壓은 -36mmAq 이었다.

이 Duct內의 gas密度(kg/cm^3)는 다음과 같았다

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.29 \cdot \frac{273}{273+t} \cdot \frac{760+\frac{P}{13.6}}{760} \\ &= 0.464 \cdot \frac{760+\frac{P}{13.6}}{273+t} \end{aligned}$$

여기서

P : 靜壓(mm Aq)

t : gas溫度

따라서 gas 密度 γ 는

$$\gamma = 0.464 \cdot \frac{760 - \frac{36}{13.6}}{273 + 83} = 0.982 \text{ kg/cm}^3$$

또한 이 Duct內의 氣流速도 V 는 다음과 같이 된다.

$$V = K \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta P}{Y}}$$

여기서 K : Pitot 튜브 補正系數(0.885)

g : 9.8m/sec^2

ΔP : 壓力차(mm Aq)

Y : gas 密度(Duct內)

그러므로

$$\begin{aligned} V &= 0.885 \cdot \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 7.4}{0.982}} \\ &= 28.3(\text{m/s}) \text{이 된다.} \end{aligned}$$

따라서 風量(Duct內의)은 다음과 같다.

$$Q = A \cdot V \cdot 60$$

여기서 A : Duct의 斷面積

V : Duct內의 Gas Velocity

그러하여

$$Q = 0.840 \times 28.3 \times 60 = 1425 \text{ Bm}^3/\text{min}$$

즉 이 F.C. Fan Duct 內로 分當 $1425 \text{ Bm}^3/\text{min}$ 의 風량이 흐르게 된다.

다음 Dust Collector裝置를 利用하여 이 F.C. Fan出口 管內 空氣 m^3 當 쉬여있는 Dust의 量은 6.38g 이였고 時間當通過하는 總量은

$$6.38 \times 1425 \times 60 \times 10^{-6} = 0.545 \text{ T/h}$$

程度가 되었다. (具體的인 計算方法은 省略함)

여기서 Cyclone의 Dust 捕集效率을 얻을 수가 있는데 이는 밀 出口에서 Separator로 供給되는 粉末量이 時間當 40噸 이였고 밀 出口 空氣管을 通해 Bag-filter로 들어간 量이 時間當 1.33噸 이라던

$$\begin{aligned} \text{Cyclone 效率} &= \frac{(40 - 1.33)}{(40 - 1.33) + 0.545} \times 100 \\ &= 98.5\% \end{aligned}$$

즉 Cyclone의 效率은 98.5% 가 된다.

以上에 各 種目에 對한 計算을 F.C. Fan 出口 管內에서 測定한 것을 提示해 보았는데 이와 같이 해서 各場所를 測定測定한 것을 整理해 보면 다음과 같이 된다.

各 測定 值

계측종목	온도	靜 壓	風速	風 量	Dust 濃도
계측장소					
밀 출 구	95°C	$-110 \sim -150$ mmAq	23.0 m/s	164 m^3/min	135 g/m^3
순환팬(F.C.F.) 출구		$-36 \sim -40$ mmAq	28.3 m/s	$1,425$ m^3/min	6.38 g/m^3

세파레타와 백펠타사이관		17.8 m/s	301 m ³ /min
세파레타냉풍관		10.5 m/s	177 m ³ /min
싸이크론포집효율	98.5%		
크린카+석고 공급량	39T/H		
제품細度	88 μ 잔사1.3~1.9%, Blain 3280 cm ² /g		

※ 測定當時 「판엘보드」上의 各條件記述省略함.
위의 값은 設計値를 어느程度 滿足시킨다.

② 粉級効率檢討

끝으로 Cyclone Separator의 粉級効率が 가장 重要한 問題가 되는 것인데 一般으로 88「마이크론」殘粉 2% 以下와 比表面積 3200cm²/g 以上을 滿足시키는 範圍內에서 粉級効率의 優秀性을 期待한다는 것은 매우 까다로운 일이다.

循環率이 增加하면 할수록 粉級裝置의 効率は 減少하게 마련이다.

循環率 및 Cyclone-Separator의 粉級効率は 다음과 같이 計算하였다.

$$C.L = \frac{B-F}{F} \times 100$$

여기서 C.L : 循環率

B : 時間當 바켈에베타 輸送量

F : 밀에 크린카 휘덩량

따라서 循環率は

$$C.L = \frac{171-40}{40} \times 100 = 327$$

이때의 Cyclone-Separator의 粉級効率は

$$Sep. eff = \frac{F \cdot DE}{B \cdot DO} \times 100$$

여기서 B : 時間當 바켈에베타 수송량

F : 밀에 크린카 휘덩량

DE : 製品의 88 μ 通過量(%)

DO : 밀出口粉의 88 μ 通過量(%)

따라서

$$Seq. eff = \frac{40 \times 98.2}{171 \times 66.4} \times 100 = 34.6(\%)$$

即 Cyclone-Separator의 粉級効率は 循環率 327% 때의 34.6% 이다.

그러나 여기서 얻어본 効率は 어디까지나 近

似值에 不過하다.

空氣粉級裝置에선 88마이크론 殘分 2% 以下 및 브레인치 3200 이상을 滿足시키려는境遇 그 効率が 40~50% 以上을 期待하기가 매우 힘든 일인 것이다.

따라서 보다 確實한 Cyclone-Separator의 粉級効率は 一定條件下에서 밀出口粉과 Separator 精粉, 組粉 등을 採取하여 全粒度를 分析한후 Tromp「커브」를 그려 보므로써 確實한 効率을 判定할 수 있게 되는 것이다.

6. 結 言

一般的으로 分散타입 空氣粉級機는 事實上 現在 實績들보다 더 改善시키게 될 可能性은 別로 밝다고 할 수 없게 되었으나 (시멘트 플랜트용 粉級裝置의 境遇) Fan에 依한 循環空氣를 갖이고 움직이는 新型 Cyclone-Separator는 構想된 以來 比較的 꾸준히 開發되어 온 셈이다.

Cyclone 內의 良好한 粒度의 Dust가 어느정도 滿足하게 捕集된 結果를 가지고 普通의 空氣粉級機와 比較檢討 해 볼 때 앞으로 繼續 發展 改良될 수 있는 可能性을 보여주고 있는 것이다.

現段階로서는 시멘트 粉末 以外에는 粉級裝置로서 使用된 實績이 없지만 開發程度에 따라서 原料粉末은 勿論, 其他 粉級可能한 모든 粉體 粒度粉級에 充分히 利用될 수 있을 것이다.

Cement Raw meal 用으로 特別히 設計하는 境遇는 150t/h 以上 까지도 處理可能한 大容量의 것을 만들 수 있을 것으로 보여지며 따라서 大量生産을 위한 大量處理에 充分히 一致시킬 수 있을 것으로 보여진다.

參考文獻

△The cyclone-Type Separator operating with Circulating airH. Jager Zement-Kalk-Gips 1962. 11(479p)

△研究報告 空氣粉級機性能.....藤原, 向井 Zement-Kalk-Gips 1962.11 (p 298)

.....W. Kayser (1968. 5. 5接受)