

Kiln Waste Gas 中

粉 塵 量 測 定

韓一세멘트工業株式會社
丹陽工場 生産管理室

梁 珍 久
郭 龍 根

目 次

1. 序
2. 粉塵量 測定結果에 對하여
 - 2.1. 裝置準備
 - 2.2. 測定狀況
 - 2.2.1. 第 1 回測定
 - 2.2.2. 第 2 回測定
 - 2.2.3. 第 3 回測定
 - 2.3. pitot tube 에 對한補整
 - 2.4. orifice 에 對한 補整
 - 2.5. 粉塵濃度 및 發散率
 - 2.5.1. 第 1 回測定
 - 2.5.2. 第 2 回測定
 - 253... 第 3 回測定
 - 2.6. Lepol Kiln의 dust 發散率
3. 綜合

에 對하여 實施되었으며 測定裝置로는 磯野式 粉塵測定裝置를 採擇하였다.

2. 粉塵量 測定結果에 對하여

2.1 裝置準備

本測定에서 使用된 機具는 다음과 같다.

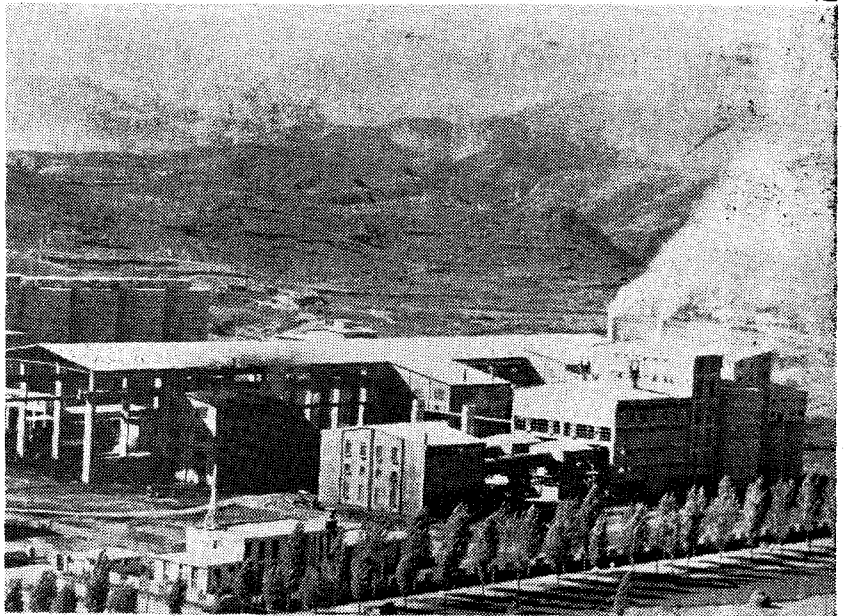
- a. N.P.L 改良型 pitot 管 : 1 set.
- b. Hodgson型 10φ Orifice : 1 set.
- c. Gas extraction tube(3/4φ) : 1 set.
- d. 濾過式 dust sampler : 1 set.
- e. 棒狀 溫度計 : 1 set.
- f. Gas 吸引 pump : No.2 Exhauste inlet의 負壓이 -200mmAq 程度이므로 Gum hose 로 連

1. 序

本工場 Kiln stack에 서 發散되는 dust 量을 實測하여 設置計劃中 에 있는 dedusting用 Multiclone 設計의 基礎資料를 얻고자 企圖 하였다.

捕集된 dust 에 對해 서는 그 組成分과 粒度 分布 試驗을 試圖하였 으나, 後者의 境遇 試驗裝置의 未備로 다음 機會로 미루기로 하였다.

本測定은 1968年 1月 19日~29日에 2號 kiln



<韓一세멘트丹陽工場全景>

結하여 吸引 pump로 代身使用. (上記의 a~d)는 保溫)

2.2. 測定狀況

2.2.1. 第1回測定

- 1) 測定日時 : 1968. 1. 19 P.M. 2.40
- 2) 測定場所 : No2 Kiln waste gas stack 中間地點
- 3) 測定結果
 - a, pitot tube 差壓 : 12mmAq
 - b, Orifice 流量計 差壓 : 2.43mmAq (斜柱計에서 換算)
 - c, waste gas 溫度 : 96°C
 - d, Orifice 通過時 溫度 : 15°C
 - e, 捕集 dust 量 : 7,8959g
 - f, 測定時間 : 20min.
- 4) 測定時運轉 狀況
 - a. No.2 Exhauster 回轉 : 730 r.p.m
 - b, Damper : 80% open
 - c, pressure Hot chamber : -26mmAq, drying chamber : -45mmAq Suct. chamber No.2 : -185
 - d, Grate 速度 : 31r.p.h
※ Clinker output 30.69t/hr
 - e. 成球水 使用率 : 12~12.5%

2.2.2. 第2回測定

- 1) 測定日時 : 1968. 1. 23. P.M 4.30
- 2) 測定場所 : No.2 Kiln waste gas stack 中間地點
- 3) 測定結果
 - a. pitot tube 差壓 : 11mmAq
 - b. Orifice 流量計 差壓 : 2.14mmAq
 - c. waste gas 溫度 : 103°C
 - d. Orifice 通過時 溫度 : 18°C
 - e. 捕集 dust 量 : 8,5653g
 - f, 測定時間 : 20min.
- 4) 測定時 運轉狀況
 - a, 2# Exhauster 回轉 : 740r.p.m.
 - b. Damper : 80% open
 - c. pressure' hot chamber : -26mmAq drying chamber : -51mmAq suct' chamber 2# : -180mmAq

- d. Grate 速度 : 29r.p.h.
※ Clinker output : 28.71t/hr
- e. 成球水 使用 : 12.5%

5) Gas 分析

- O₂ : 11.8%
- Co₂ : 11.8%
- N₂ : 76.4%

2.2.3. 第3回測定

- 1) 測定日時 : 1968. 1. 29. P.M 4.40.
- 2) 測定場所 : 2# Kiln waste gas stack 中間地點
- 3) 測定結果
 - a. pitot tube 差壓 : 13mmAq
 - b. Orifice 流量計差壓 : 2.14mmAq
 - c. Waste gas 溫度 : 106°C
 - d. Orifice 通過時 溫度 : 20°C
 - e. 捕集 dust 量 : 3.1595g
 - f. 測定時間 : 15min.
- 4) 測定時 運轉狀態
 - a. No.2 Exhauster 回轉 : 700 r.p.m.
 - b. Damper : 80% Open
 - c. Pressure : hot chamber : -28mmAq drying chamber : -43mmAq Suct' chamber : 176mmAq
 - d. Grate 速度 : 32 r.p.m.
※ clinker output : 31.68 t/hr
 - e. 成球用水 : 12.5%
- 5) Gas 分析
 - O₂ : 11.4%
 - Co₂ : 11.2%
 - N₂ : 77.4%

2.3. Pitot tube 에 對한 補整

$$V = C \sqrt{2gh \rho_w / \rho_g} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

但 V : 流速 (m/sec)

C : pitot tube 가 똑바로 gas 流의 方向에 向하고 있을때 1.00이 된다.

h : pitot tube 의 差壓(mmAq 또는 kg/m²)

ρ_w : 封液密度(1kg/m³이 됨)

ρ_g : 流體密度, $1,310 \times \frac{273}{T} \text{ kg/m}^3$ (註1)

上記 數値를 代入 整理하면

$$V = \sqrt{2 \times 9.8 \times \frac{hT}{1,310 \times 273}} \approx 0.234 \sqrt{hT}$$

m/sec.....②

2.4. orifice 流量計에 對한 補整

$$Q = C_d \epsilon A \sqrt{2g \frac{P_2 - P_1}{\rho g}} \dots \dots \dots ③$$

但, Q: 通過 Gas volume. (nozzle 噴出 直前의 狀態): m³/sec

C_d: Orifice 의 流量係數 (≈0.96)

ε: Gas 의 膨脹에 依한 修正係數 (≈0.933 註2)

A: Orifice 孔의 面積 ($\frac{\pi d^2}{4}$ m²)

P₂: Orifice 直前의 壓力: mmAq

P₁: Orifice 直後의 壓力: mmAq

ρg: Orifice 直前의 Gas: 密度 kg/m³

上記 數値를 代入 整理하면

$$Q = 0.96 \times 0.933 \times \frac{\pi}{4} \times 0.01^2 \sqrt{2 \times 9.8 \frac{(P_2 - P_1)T}{1,310 \times 273}}$$

$$= 1.645 \times 10^{-5} \sqrt{(P_2 - P_1)T} \text{ m}^3/\text{sec} \dots \dots \dots ④$$

2.5. 粉塵濃度 및 發散率

2.5.1. 第1回測定

a. Waste gas 量 (Q₁)

$$V = 0.234 \sqrt{12(273+96)} \approx 15.5 \text{ m/sec}$$

96°C의 空氣粘度 μ = 0.000216 poise

$$= 0.000216 \times 0.1 \text{ kg/m} \cdot \text{sec.}$$

D = 1.78mφ (Stack 徑)

$$\rho = 1.310 \times \frac{273}{273+96} \approx 0.97 \text{ kg/m}^3 \text{ 이므로}$$

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{1.78 \times 15.5 \times 0.97}{0.000216 \times 0.1} \approx 1,240,000$$

Reynolds Number가 4000 以上임으로

stack에서의 Gas 流는 亂流이며

따라서 平均流速 (V̄)은

$$\bar{V} = 15.5 \times 0.81 \approx 12.6 \text{ m/sec } (\alpha = 0.81 \text{ 註3})$$

$$Q_1 = S \cdot \bar{V} = \frac{\pi \cdot 1.78^2}{4} \times 12.6 \approx 31.4 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= 1,885 \text{ m}^3/\text{min at } 96^\circ\text{C}$$

b. Orifice 通過 Gas 量 (Q₂)

$$Q_2 = 1.645 \times 10^{-5} \sqrt{2.43(273+15)} \approx 4.36$$

$$\times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec at } 15^\circ\text{C} = 5.58 \times 10^{-4}$$

m³/sec at 96°C

c. 粉塵濃度 (δ)

$$\delta = \frac{7.8959 \text{ g}}{5.58 \times 10^{-4} \times 60 \times 20 \text{ m}^3} = 11.75 \text{ g/m}^3$$

d. Dust 發散量 (W)

$$W = \delta \cdot Q_1 = 11.75 \times 1,885$$

$$= 22,200 \text{ g/min} = 1,332 \text{ kg/hr}$$

e. Dust 發散率 (原料基準)

原料使用原單位: 1,563 kg/kg of clinker
(1月19日)

原料使用(時間當): 30,690 × 1,563

$$\approx 47,968 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Dust: 發散率} = \frac{1,332}{47,968} \approx 0.0278 = 2.78\%$$

2.5.2. 第2回測定

a. waste gas 量 (Q₁)

$$\bar{v} = 0.234 \sqrt{11 \times (273+103)} = 15.2 \text{ m/sec}$$

Reynolds number 4000 以上이므로 亂流 따라서 平均流速은

$$v = 15.2 \times 0.81 = 12.2 \text{ m/sec}$$

$$Q_1 = 2,488 \times 12.2 = 30.1 \text{ m}^3/\text{sec} =$$

$$1,806 \text{ m}^3/\text{min at } 103^\circ\text{C}$$

b. Orifice 通過 Gas 量 (Q₂)

$$Q_2 = 1.645 \times 10^{-5} \sqrt{2.14(273+18)}$$

$$= 4.12 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec at } 18^\circ\text{C}$$

$$= 5.32 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec at } 103^\circ\text{C}$$

c. 粉塵濃度 (δ)

$$\delta = \frac{8.5653}{5.32 \times 10^{-4} \times 60 \times 20} = 13.41 \text{ g/m}^3$$

d. Dust 發散量 (W)

$$W = \delta \cdot Q_1 = 13.41 \times 1,806 = 24,200 \text{ g/min}$$

$$= 1,452 \text{ kg/hr}$$

e. dust 發散率 (原料基準)

原料使用 原單位:

$$1,556 \text{ kg/kg clinker (1月23日)}$$

時間當 原料使用:

$$28.71 \times 1,556 \approx 44,672 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Dust 發散率} = \frac{1,452}{44,672} \approx 0.0325 = 3.25\%$$

2.5.3. 第3回測定

a. Waste gas 量 (Q₁)

$$v = 0.234 \sqrt{13(273+106)} = 16.4 \text{ m/sec}$$

$$Re = \frac{1.78 \times 16.4 \times 0.945}{0.000222 \times 0.1} = 1,243,000$$

亂流

$$\bar{v} = 16.4 \times 0.81 = 13.4 \text{ m/sec}$$

$$Q_1 = 2.488 \times 13.4 = 33.3 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$= 1,995 \text{ m}^3/\text{min at } 106^\circ\text{C}$$

b. Orifice 通過 gas 量 (Q_2)

$$Q_2 = 1,645 \times 10^{-5} \sqrt{2.14(273+20)}$$

$$= 4.12 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec at } 20^\circ\text{C}$$

$$= 5.31 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec at } 106^\circ\text{C}$$

c. 粉塵濃度 (δ)

$$\delta = \frac{3.1595}{5.31 \times 10^{-4} \times 60 \times 15} = 6.61 \text{ g/m}^3$$

d. Dust 發散量 (W)

$$W = \delta \cdot Q_1 = 6.61 \times 1,995 = 13,220 \text{ g/min}$$

$$= 793 \text{ kg/hr}$$

e. Dust 發散率

原料使用 原單位 : 1,561 kg/kg-clinker.
(1月29日)

時間當 原料使用 : $31.68 \times 1,561$
 $= 49,452 \text{ kg/hr}$

$$\text{Dust發散率} : \frac{793}{49,452} = 0.0162 = 1.62\%$$

2.6. Lepol Kiln 의 dust 發散率

Table 1은 kiln dust 測定結果와 同測定 時刻에 있어서의 kiln 運轉狀態를 表示한 것이다.

表에 나타난 바와같이 Waste gas 中 含塵率

測定回數		單位	No, 1	No, 2	No, 3	平均	
粉塵測定結果	測定日	月/日	1/19	1/23	1/29	—	
	場所	—	2#Kiln Stack	〃	〃	—	
	粉塵濃度 (δ)	g/m ³	11.75	13.41	6.61	10.6	
	粉塵發散率	%	2.78	3.25	1.62	2.55	
	粉塵發散量 (W)	kg/hr	1,332	1,452	793	1,190	
運轉狀態	Clinker 生産	t/hr	30.7	28.7	31.7	t/hr	
	2#Exhauster 速度	r.p.m	730	740	700	r.p.m	
	〃 〃 damper	%	80	80	80	%open	
	壓力	Suct, Chamb, 2#	-mmAq	185	180	176	-mmAq
		drying chamb,	〃	45	51	43	〃
		hot chamb,	〃	26	26	28	〃
		hot. chamb原料層抵抗	〃	159	154	148	〃
	溫度	drying chamb.	°C	275	290	280	°C
		hot. chamb	〃	—	820	660	〃
	燃料	coal 使用	kg/hr	1,665	2,330	1,833	kg/hr
C-oil 使用		〃	2,605	2,890	2,650	〃	
石炭 使用比		%	39.0	44.7	40.8	%	
gas 分析	O ₂	%	—	11.8	11.4	%	
	CO ₂	%	—	11.8	11.2	%	
	N ₂	%	—	76.4	77.4	%	
	空氣比 (m)	—	—	2.39	2.24	—	

(粉塵濃度)은 kiln condition 에 따라 7~13g/m³ range 에서 變動하였다. 今般 測定에서 粉塵濃度는 coal 使用比(또는 時間當 coal 消費量)과 密接한 關係가 있다는 것을 알 수 있다. 即 Coal 使用比가 增加 될수록 粉塵濃度は 높아진다.

第2回와 3回測定時를 比較하면 第2回時 石炭使用比 44.7% 粉塵濃度 13.41 g/m³ 인데 對하여 第3回에서는 石炭使用量 40.8% 粉塵濃度 6.61 g/m³이다.

한편 hot chamber 에서의 原料層 抵抗과 waste

waste gas 中 含塵率間에도 一連의 相關關係가 있는것 같다.

Table 1에 나타난 바와 같이 第3回 測定時에는 第1,2회에 比하여 hot chamber 原料層 抵抗이 顯著하게 적으며 또한 waste gas의 粉塵濃度도 約 56%로 減少되었다. 이 事實은 Grate에서 豫熱過程中 成球破損이 적을수록 Kiln dust가 적어진다는 것을 示唆한다.

Table 2. Kiln dust와 Coal ash 組成

組 成 分	Dust	Coal ash
SiO ₂	20.74%	54.08%
Al ₂ O ₃	3.86	33.42
Fe ₂ O ₃	4.04	4.28
CaO	41.22	2.80
MgO	1.62	0.58
SO ₃	2.24	0.56
Ig. loss	17.19	0.75
Others	9.09	3.53

Table 2는 Kiln dust와 Coal ash 組成을 比較한 것이다.

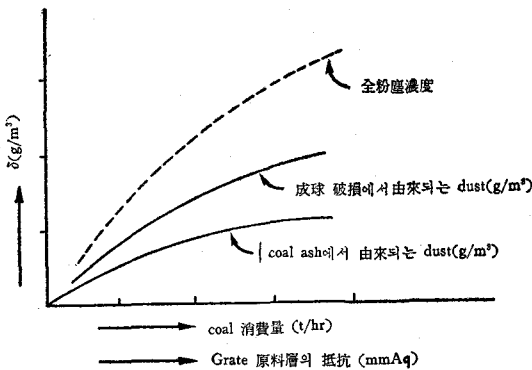


Fig 1 Coal ash와 Grate 原料層 抵抗이 粉塵濃度에 미치는 影響.

Fig 1은 Coal ash와 成球破損率이 Kiln waste gas 中 粉塵濃度에 미치는 影響을 推斷한 圖表이다. Grate 原料層 抵抗이 가장 작을때 Waste gas 中 dust는 大體로 Coal ash 組成과 類似할것이다. 한편 Oil 專燒時에는 ash에서 由來되는 dust는 없을 것이므로 成球破損에 基因되는 dust에 不過하게 될 것이다.

한 例로서 Intermediate cyclone이 있는 경우, Suction chamber 1#에서의 exit gas 中 dust 含塵率은 約 2.41%(註3)로 이 가운데 2.02%가 cyclone에서 잡히고 나머지 0.39%가 drying chamber로 넘어가 그 一部分이 吸收되고 反面 drying chamber 內部에서 發生되는 dust와 같이 Kiln stack에서 逃散된다.

Lepol Kiln의 경우 waste gas 中 粉塵濃度는 normal condition에서 大體의으로 10g/m³程度인 것으로 알려지고 있다. 本工場 No. 2 Kiln waste gas의 粉塵濃度는 平均 10.68g/m³ 最高 13.4g/m³이므로 경우에 따라서 約 34%가 높은 便이다. 그러나 이 數値는 Fig 1에서와 같이 Oil 專燒로 多少改善될 餘地도 있는 것이다.

3. 綜 合

Kiln 2#의 Stack에서 逃散하는 粉塵量을 測定한 結果 waste gas 粉塵濃度는 平均 10.6g/m³, 最高 13.41g/m³였으며 時間當 發散量은 平均 1.19t/hr, 最高 1.45t/hr 이었다.

粉塵濃度는 Coal 使用量의 增加될수록 Grate 原料層 抵抗이 높을수록 增大되는 傾向을 나타내었다. 따라서 Oil 量을 增加 시키거나 또는 專燒하는 경우에는 Kiln dust가 多少 減少될 可能性이 있다. Lepol Kiln의 경우 waste gas 中 dust 含有率은 大體의으로 10g/m³인 것으로 알려져 있으므로 이와 比較하면 本工場의 경우 若干 높은 便이다. 이번 測定에서 最高 含塵率은 13.4g/m³이므로 이때는 約 34%가 높은 便이다. 그러나 이 數値는 問題視될 範圍는 아니다.

舊式 Lepol Kiln에서는 70~90g/m³가 되는 例도 있다.

그러므로 Multiclone 設計에서 粉塵濃度를 maximum 15g/m³으로 規定하는것이 타당할 것이다.

註1) Waste gas의 ρ_g 計算

1) Waste gas 中 水分 (m³/min)

$$V_w = \frac{22.4}{18} (W_r + W_{H_2O})$$

但, W_r: raw meal 中 水分 (kg/min)

W_{H₂O}: Kaolin에서 發生하는 水蒸氣 (kg/min)

$$V_w = \frac{22.4}{18} \left(\frac{31,000 \times 1.55}{60} \times 0.125 + \frac{31,000 \times 1.55}{60} \times 0.035 \times 0.353 \right) = 137 \text{ Nm}^3/\text{min}$$

= 189 m³/min at 103°C

2) Waste gas 中の 水分率 (Volume %)

$$H_2O(\%) = \frac{189}{2,300} = 0.082 = 8.2\%$$

3) Waste gas 의 ρ_g

① Gas 分析值 (wet base) volume (%)

H₂O : 8.2%

CO₂ : (100-8.2) × 0.118 = 10.84%

O₂ : (100-8.2) × 0.118 = 10.84%

N₂ : (100-8.2) × 0.764 = 70.12%

② ρ_0 (標準狀態) 計算

Volume

$$H_2O = 8.2\% \quad 0.082 \times \frac{18}{22.4} = 0.066 \text{ g/l}$$

$$CO_2 = 10.84 \quad 0.1084 \times \frac{44}{22.4} = 0.213 \text{ g/l}$$

$$O_2 = 10.84 \quad 0.1084 \times \frac{32}{22.4} = 0.155 \text{ g/l}$$

$$N_2 = 70.12 \quad 0.7012 \times \frac{28}{22.4} = 0.876 \text{ g/l}$$

Total = 100% 1.310g/l = 1.310kg/m³

③ ρ_g 值에 對한 計算

$$\rho_g = \rho_0 \frac{273}{273+t} = 1.310 \times \frac{273}{T} \text{ kg/m}^3$$

註2) ϵ 에 對한 計算

$$\epsilon = 1 - \alpha \frac{p_2 - p_1}{p_2} = 1 - 0.285 \frac{2}{1.033 - 180} = 0.933$$

但, α 는 다음 數值表에 依하여 주어짐.

d/D : 0.05, 0.30, 0.50, 0.70

α 0.21, 0.25, 0.285, 0.34

※ d : Orifice 徑 $d/D = \frac{0.01}{0.0216} = 0.463$

D : 管의 徑 ∴ $\alpha = 0.285$ 를 採擇

註3) $\alpha = \frac{C_{\max}}{C_{\text{average}}} = 0.81$; Fan & Blower

(上田富三郎著)

101page 5-20圖 參照

註4) Heat transfer in rotary Kiln by Dr.

Paul Weber 1963. p. 29 參照

(1968. 2. 26受接)

祝 發 展

全國經濟人聯合會

- | | | |
|-------|-------|---------|
| 會 長 | 洪 在 善 | (雙龍洋灰) |
| 副 會 長 | 崔 泰 涉 | (韓國유리) |
| 〃 | 趙 洪 濟 | (曉星物産) |
| 〃 | 申 德 均 | (東邦興業) |
| 〃 | 鄭 周 永 | (現代建設) |
| 〃 | 金 尙 榮 | (常 任) |
| 常任理事 | 金 立 三 | |
| 監 事 | 金 智 泰 | (朝鮮絹織) |
| | 金 仁 得 | (韓國스레트) |
| | 金 容 順 | (漢城實業) |
| | 姜 信 浩 | (東亞製藥) |