

Lepol Plant 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量測定

忠北시멘트工業株式會社
堤川工場 生産課

課長 權 五 相

<目 次>

- 1. 序
- 2. 測定裝置 및 測定器具
- 3. Kiln Exhaust Gas 中 Dust 飛散量 측정
 - 3-1. Kiln 1 號의 측정 결과
 - 3-1-1. Stack 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量
 - i) Gas 中의 含塵濃度
 - ii) Gas 流量
 - iii) Dust 飛散量 및 飛散率
 - iv) 측정시 運轉狀況
 - 3-1-2. Cooler 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量
 - 3-2. Kiln 2 號의 측정 결과
 - 3-2-1. Stack 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量
 - 3-2-2. Cooler 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量
 - 3-3. Dust Loss 와 Clinker 生産량 계산방법
 - 3-4. 측정에 대한 所見

- 4. Mill Exhaust Air 中 Dust 飛散量과 Bag filter 集塵效率 측정.
 - 4-1. Raw Mill 1 號의 측정 결과
 - 4-1-1. Bag filter Suction Air 中의 含塵量
 - 4-1-2. I. D. F. Exhaust Air 中의 含塵量
 - 4-1-3. Suction Air 量과 Exhaust Air 量 測定.
 - 4-1-4. Bag filter 集塵效率
 - 4-1-5. I, D. F. 의 Dust 飛散量
 - 4-1-6. Specipication 과 측정시 運轉狀況
 - 4-2. Raw Mill 2 號의 측정 결과
 - 4-3. Cement Mill 1 號의 측정 결과
 - 4-4. Cement Mill 2 號의 측정 결과
 - 4-5. 측정에 대한 所見
- 5. 結 論

1. 序

당공장의 全工程中 Exhaust Gas 와 함께 大氣로 飛散되는 Dust 의 양을 측정하여 제품에 대한 在庫管理의 合理化 와 精確한 原單位 産출의 기초를 확인함과 차후 거론될 우려가 있는 公害에 대한 기초 자료확보의 목적하에 측정하였다.

한편 Mill 의 集塵裝置中 가장 중요한 Bag filter 의 集塵效率를 측정함으로써 설비의 개선점을 발견코져 本試驗을 실시하였다.

本測定은 '70 年 12 月 5 일부터 '71 年 1 月 22 일까지 Kiln, Raw mill, Cement mill 에 대하여 실시하였으며, 측정방법은 JIS Z 8808(煙道排 Gas 中의 含塵量 測定方法)에 準하여 Sampling 및 計算을 하였다.

2. 測定裝置 및 測定器具

2-1. 測定裝置 및 준비

- i) Sampling hole.

JIS Z 8808 P. 1~P. 3 에 의하여 측정코져 하

는 위치에 설치한다.

ii) Dust Sampling 장치.

JIS Z 8808 12 P 에 의함.

2-2. 測定器具

i) Y Type Pitot tube 1 set(補正 factor : 0.876)

ii) 傾斜型 manometer 1 set.

iii) Vacuum Pump (排氣量 18~20 l/min) 1 set.

iv) Dust Sampler (32φ×4xφmm) 1 set.

v) Gas meter (1 回轉 5 liter) 1 set.

vi) Thermometer 1 set.

i)~iv)는 일본 石橋科學 Co.에서 제작한 器具임.

3. Kiln Exhaust Gas 中 Dust 飛散量 측정

3-1. Kiln 1 號의 측정결과

3-1-1. Stack 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量

i) Gas 中の 含塵濃度

a) Dust Sampler 에 의한 Sampling 量

1 회 0.43 gr.

2 회 0.59 gr.

3 회 0.34 gr.

Average 0.453 gr.

b) Sampling Gas 流量

1 회 142.5 liter.

2 회 193.1 liter.

3 회 104.3 liter.

Average 146.6 liter.

Gas 양은 Normal state (0°C 760 mmHg)로 환산한 양임.

C) 含塵濃度

$$W = \frac{w}{q}$$

여기서 W; 排 Gas 中の 含塵量 (gr/Nm³)

w; 捕集된 Dust 量 (gr)

q; Normal state 때의 Sampling 된 Gas 量 (Nm³)

$$\therefore W = \frac{0.453 \text{ gr}}{146.6 \text{ l}} \times 1,000 = 3.09 \text{ gr/Nm}^3$$

ii) Exhaust Air 量 측정

a) 測定值

① h (動壓) : 28 mm H₂O.

② P_s (靜壓) : 0.96 mm Hg (13 mm H₂O)

③ θ_s (Gas temp) : 170°C

④ P_a (大氣壓) : 760 mmHg

⑤ γ_o (Normal state 의 Gas 밀도) :

1.31 kg/Nm³

γ_o의 계산은 註 1. 참조

b) Air Velocity

$$V = \sqrt{\frac{2gh}{\gamma}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서

V : Air Velocity (m/s)

g : 重力 加速度 (9.8 m/sec²)

h : 動壓 (mmH₂O).....Pitot tube 로 측정

γ : 통과되는 Gas 의 밀도 (kg/m³)

$$\gamma = \gamma_o \times \frac{273}{273 + \theta_s} \times \frac{P_a + P_s}{760} \dots\dots\dots (2)$$

여기서

γ_o : Normal state 의 Gas 밀도 (kg/Nm³)

θ_s : Gas 의 temperature

P_a : 大氣壓 (mmHg)

P_s : Gas 의 靜壓 (mmHg)

먼저 γ를 구하려면 2)식을 이용하면 a)項의 測定值를 대입한다.

$$\therefore \gamma = 1.31 \times \frac{273}{273 \times 170} \times \frac{760 + 0.96}{760} = 0.81$$

다음에 1)식에 γ=0.81을 대입하여 V를 구한다.

$$V = \sqrt{\frac{2 \times 9.8 \times 28 \times 0.876}{0.81}} = 24.4 \text{ m/sec}$$

(0.876은 Pitot tube 의 補正 factor 임)

c) Exhaust Gas 량

$$Q = 21.6 A \frac{P_a + P_s}{283 + \theta_s} \times V \dots\dots\dots (3)$$

여기서

Q : Exhaust Gas 의 流量 (Nm³/min)

A : 煙道 斷面積 (m²)

$$Q = 21.6 \times 1.866 \times \frac{760 + 0.96}{273 + 170} \times 24.4 = 1689.3 \text{ Nm}^3/\text{min}$$

iii) Dust 飛散量

a) 시간당 飛散量

$$3.09 \text{ gr/Nm}^3 \times 1689.3 \text{ Nm}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/hr}$$

=313 kg/hr ∴ 313 kg/hr

b) 1 일간 飛散量

313.0 kg/hr × 24 hrs/day = 7512 kg/day

∴ 7.51 Ton/day

c) Dust 飛散率

$$\text{비산율} = \frac{\text{시간당비산량}}{\text{시간당생산량}} \times 100$$

$$= \frac{313}{28,200} \times 100 = 1.11\%$$

iv) 측정시 Kiln 運轉狀況

a) 생산량 : 28.2 Tons/hr

b) Preheater 1 실압력 : -2 mmH₂O

2 실압력 : -24 mmH₂O

3 실압력 : -38 mmH₂O

c) Preheater 1次 fan 前壓力 : -110 mmH₂O

d) Preheater 2次 fan 前壓力 : -120 mmH₂O

e) Damper Open : 100%

3-1-2. Cooler 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量

i) Gas 中の 含塵濃度

a) Dust Sampler 에 의한 Sampling 量

1 회 0.27 gr

2 회 0.29 gr

Average 0.28 gr

b) Sampling Gas 流量

1 회 211.3 liter

2 회 222.9 liter

Average 217.1 liter

※ 流量은 Normal State 때의 量임.

c) 含塵濃度

$$W = \frac{0.28 \text{ gr}}{217.1 \text{ l}} \times 1,000 = 1.29$$

∴ 1.29 gr/Nm³

ii) Exhaust Air 량 측정

a) 측정치

① h : 6.8 mmH₂O

② P_s : -2.58 mmH₂O (-35 mmH₂O)

③ θ_s : 180°C

④ P_a : 760 mmHg

⑤ γ_o : 1.293 kg/Nm³

※ γ_o는 大氣와 같으므로 空氣의 밀도 1,293 kg/Nm³ 적용.

b) Air Velocity

(1) 式과 (2) 式을 이용하여 V를 求한다.

$$\gamma = 0.777 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 12.3 \text{ m/s.}$$

c) Exhaust Gas 량

(3) 式에 b) 항의 V를 대입하여 Q를 구한다-

$$Q = 1017.2 \text{ Nm}^3/\text{min}$$

[但 A : (0.85 m)²π]

iii) Dust 飛散量 및 飛散率

a) 시간당 飛散量

$$1.29 \text{ gr/Nm}^3 \times 1017.2 \text{ Nm}^3/\text{min} \times 60$$

$$= 79.0 \text{ kg/hr.}$$

b) 1 일간 Dust 飛散量

$$79 \text{ kg/hr} \times 24 \text{ Hrs} = 1.9 \text{ Tons/day}$$

c) Dust 飛散率

$$\text{飛散率} = \frac{79.0}{28,200} \times 100 = 0.28\%$$

iv) 측정시 運轉狀況

a) Clinker 생산량 28.2 Toans/hr.

b) Cooler 出口 온도 210°C

c) Damper Open 36%

d) Cooling fan Damper Open 58%

3-2. Kiln 2號의 측정 결과

3-2-1. Stack 의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量

i) Gas 中の 含塵濃度

a) Dust Sampler 에 의한 Sampling 량.

1 회 0.45 gr.

2 회 0.53 gr.

3 회 0.44 gr.

Average 0.473 gr

b) Sampling Gas 유량

1 회 150.36 liter

2 회 158.31 liter

3 회 156.63 liter

Average 155.1 liter

c) 含塵濃度

$$W = \frac{0.473 \text{ gr}}{155.1 \text{ l}} \times 1,000 = 3.05 \text{ gr/Nm}^3$$

ii) Exhatust Air 량 측정

a) 測定值

① h : 26.5 mmH₂O

② P_s : 0.81 mmHg (11 mmH₂O)

③ θ_s : 165°C

④ $\gamma_0 : 1.31 \text{ Kg/Nm}^3$

⑤ $P_0 : 760 \text{ mmHg}$

b) Air Velocity

(1)식을 이용하여 γ 를 구한 후 (2)식에 γ 의 값을 대입하여 V 를 구한다.

$$\gamma = 0.817 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 23.6 \text{ m/s}$$

c) Exhaust Gas 量

(3)식에 V 를 대입하여 Q 를 구한다.

$$Q = 1652.2 \text{ Nm}^3/\text{min}$$

$$(A : 1.866 \text{ m}^2)$$

iii) Dust 飛散量

a) 시간당 飛散量

$$3.05 \text{ gr/Nm}^3 \times 1652.2 \text{ Nm}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/hr} \\ = 302.4 \text{ kg/hr}$$

b) 1 일간 Dust 飛散量

$$302.4 \text{ kg/hr} \times 24 \text{ hrs/day} = 7.26 \text{ Tons/day}$$

c) Dust 飛散率

$$\text{飛散率} = \frac{\text{시간당비산량}}{\text{시간당생산량}} \times 100 \\ = \frac{302.4}{28.800} \times 100 = 1.05\%$$

iv) Kiln 운전상황

a) Clinker 생산량 28.8 Tons/Hr.

b) Preheater 1 실압력 -1 mmH₂O
2 실압력 -22 mmH₂O
3 실압력 -41 mmH₂O

c) Preheater 1次 fan 前壓力 -105 mmH₂O

d) Prehaeter 2次 fan 前壓力 -130 mmH₂O

e) Damper Open 100%

3-2-2. Cooler의 Exhaust Gas 中 Dust 飛散量

i) Gas 中の 含塵濃度

a) Dust Sampler 에 依한 Sampling 量

1 회 0.21 gr

2 회 0.23 gr

$$\text{Average } 0.22 \text{ gr}$$

b) Sampling Gas 流量

1 회 203.2 l

2 회 208.4 l

$$\text{Average } 205.8 l$$

c) 含塵濃度

$$W = \frac{0.22}{205.8} \times 1,000 = 1.07 \text{ gr/Nm}^3$$

ii) Gas 의 流量

a) 測定值

$$\textcircled{1} h : 6.7 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\textcircled{2} P_s : -3.1 \text{ mmHg} (-32.2 \text{ mmH}_2\text{O})$$

$$\textcircled{3} \theta_s : 185^\circ\text{C}$$

$$\textcircled{4} \gamma_0 : 1.293 \text{ kg/Nm}^3$$

$$\textcircled{5} P_0 : 760 \text{ mmHg}$$

b) Air Velocity

(1)식을 이용하여 γ 를 구한 후 (2)식에 γ 를 대입하여 V 를 구한다.

$$\gamma = 0.767 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 12.2 \text{ m/s}$$

c) Exhaust Gas 量

(3)식에 V 를 대입하여 Q 를 구한다.

$$Q = 986.4 \text{ Nm}^3/\text{min}$$

$$[A = (0.85 \text{ m})^2 \cdot \pi]$$

iii) Dust 飛散量 및 飛散率

a) 시간당 飛散量

$$1.07 \text{ gr/Nm}^3 \times 986.4 \text{ Nm}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/hr} \\ = 63.36 \text{ kg/hr.}$$

b) 1 일간 Dust 飛散量

$$63.36 \text{ kg/hr} \times 24 \text{ hr/day} = 1.52 \text{ Tons/day.}$$

c) Dust 飛散率

$$\text{飛散率} = \frac{63.36}{28,800} \times 100 = 0.22\%$$

iv) Kiln 運轉狀況

a) Clinker 생산량 28.8 Tons/hr.

b) Cooler 出口溫度 235°C

c) Damper Open 45%

d) Cooling fan Damper Open 55%

3-3. Dust loss와 Clinker 생산량 계산방법

i) Main stack 의 Dust loss를 Clinker 량으로 환산하면

a) Kiln 1 호

$$\textcircled{1} 313.0 \text{ kg/hr} \times 0.831 = 260.1 \text{ kgcl/hr}$$

$$\textcircled{2} 1.11\% \times 0.831 = 0.922\%$$

b) Kiln 2 호

$$\textcircled{1} 302.4 \text{ kg/hr} \times 0.831 = 251.3 \text{ kgcl/hr}$$

$$\textcircled{2} 1.05\% \times 0.831 = 0.873\%$$

※ Dust 의 Ignition loss 는 16.9%

∴ 各號別 Dust 飛散量 및 飛散率(Clinker Base).

測定結果表

구분	측정항목	단 위	Main Stack			A.Q.B.C I.D.F.			Total (1호, 2호합)	비 고
			K-1	K-2	Aver.	K-1	K-2	Aver.		
측정결과	측정일시	月/日 時	1/22 13:00	1/22 09:00		1/22 15:00	1/22 11:00			
	含塵濃度	gr/Nm ³	3.09	3.05	3.07	1.29	1.07	1.18	8.50	()은
	Dust飛散量	kg/hr	313 (260.1)	302.4 (251.3)	307.7 (255.7)	79.0	63.4	71.2	757.8 (653.8)	Clinker Base로 환산
	Dust飛散量	Tons/day	7.51 (6.24)	7.26 (6.03)	7.39 (6.14)	1.90	1.52	1.71	18.19 (15.8)	"
운전사항	Dust飛散率	(%)	1.11 (0.922)	1.05 (0.87)	1.08 (0.9)	0.28	0.22	0.25	2.66 (2.33)	"
	Clinker 생산량	t/hr.	28.2	28.8		28.2	28.8			
	Damper open	(%)	100	100						
	pre' 1室 press	-mmHg	2	1						
향	2室 press	-mmHg	24	22						
	3室 press	-mmHg	38	41						
	A.Q.C 1室 press	+mmHg				95	100			
	2室 press	+mmHg				60	60			
연료	3室 press	+mmHg				35	25			
	B.Coil 소모량	kg/hr	2,825	3,001						
온도	Gas 온도	°C	170	165		180	185			
Gas 분석치 (Wet Base)	CO ₂	%	11.1 (12.3)	10.9 (12.0)						()은
	O ₂	%	10.5 (11.6)	10.7 (11.8)						Day Base
	CO	%	0	0						수치임
	N ₂	%	68.7 (76.2)	69.3 (76.0)						
	H ₂ O	%	9.7	9.3						
	공기비(m)		2.23	2.28						

Kiln 1號 339.1 kgcl/hr 1.20%
 Kiln 2號 314.7 kgcl/hr 1.10%
 (main stack 및 A.Q.C Induced fan의 loss를 합한 수치임).

ii) Clinker 생산량 계산방법

a) Dust loss를 감안하지 않은 方法

$$P = w \cdot l \cdot h(1-m) \cdot d \cdot (1-I_g) \times R_e$$

여기서

p : Clinker 생산량(Ton)

w : Preheater의 폭(3.94 m)

l : Preheater의 Driving wheel이 1회轉했을 때의 轉進거리(3.6 m)

m : Pellets 中の 水分含量

d : Pellets liter weight(gr/l)

I_g : Raw mix의 Ignition loss.

Re : Preheater Driving wheel의 회전수

위와 같은 式으로 현재까지 Clinker의 生産量을 계산했으므로 정확한 原單位の 산출이 곤란했으며 Clinker의 在庫管理에도 난점이 많았다. 앞으로 Dust의 loss를 제한 실제 生産量을 파악키 위하여 다음 式을 적용한다.

b) Dust loss를 제한 Clinker 生産量 계산.

$$P = \frac{w \cdot l \cdot h(1-m)d}{F} \times R_e$$

여기서 F: Clinker에 대한 Raw mixture의 原單位.

c) F의 계산

$$1 = (1 - I_g) F - 0.0115$$

$$F = \frac{1 + 0.0115}{1 - I_g}$$

(0.0115는 Dust 飛散率)

※ 計算實例

Raw mixture의 Ignition loss가 0.35일 경우

$$F = \frac{1 + 0.0115}{1 - 0.35} = \frac{1.0115}{0.65} = 1.556$$

3-4. 측정에 대한 所見

Kiln Stack와 A.Q.C排氣 Fan에서 大氣로 비산되는 Dust의 양은 15.87 Ton cl'/day로 총생산량의 1.2%에 해당된다. Kiln 1, 2號를 비교할 때 2號의 비산율이 0.1% 적다. 이는 1970년 10월에 Pug Mill을 설치하여 Pelletizer에서 發生되는 Dust의 감소와 粒度의 均一性, 機械的 強度의 상승으로 Preheater 하부로 떨어지는 Dust량이 적은 원인으로 생각된다.

本試驗의 결과로 보아 他工場의 예에 비해 대단히 적은 양이라 볼 수 있다. 그러나 1日 飛散量 15.87 Toncl'/day는 결코 무시할 수 없는 양이므로 차후 Kiln Stack의 Dust 飛散을 최대한 줄이기 위해

i) multiclone을 수시로 점검하여 Dust collecting Efficiency를 높여야 하며,

ii) multiclone 및 Preheater 하부로 낙하되어 약순환되는 Dust의 양을 감소시켜야 한다.

註 1.

$$\gamma_0 = \frac{1}{22.4 \times 100} (M_1 X_1 + M_2 X_2 + \dots + M_n X_n)$$

여기서

M_n : Gas 成分의 分子量

X_n : Gas 成分의 容量(%)

i) Orsat Gas Analysis에 의한 成分容量(%)

成分	Orsat Gas Analysis 결과				
	CO ₂	O ₂	CO	N ₂	空氣比(n)
Kiln 1號	12.3	11.6	0	76.2	2.23
Kiln 2號	12.0	11.8	0	76.0	2.28

(dry base)

ii) 理論計算에 의한 H₂O의 함량(%)

a) Raw mixture에서 發生하는 水分量

(Nm³/min)

$$V'_{H_2O} = \frac{22.4}{18} (W_r + W_{H_2O})$$

여기서

V'_{H_2O} : Raw mix에서 發生하는 水分量(Nm³/min)

W_r : Raw mix 중의 자유수분(kg/min)

W_{H_2O} : Kaoline에서 發生하는 수분량(kg/min)

b) B.C. oil의 연소에 의한 수분량

$$V''_{H_2O} = \frac{22.4}{2} (W_o) + \frac{22.4}{18} (W_w)$$

여기서

V''_{H_2O} : B.C. oil에 의해 發生되는 수분량(Nm³/min)

W_o : B.C. oil 중의 H₂ 함량(kg/min)

W_w : B.C. oil 중의 水分含量(kg/min)

$$\therefore V_{H_2O} = V'_{H_2O} + V''_{H_2O}$$

(V_{H_2O} : Exhaust Gas 중의 水分量)

위 식에서 V_{H_2O} 를 구하면

$$164.7 \text{ Nm}^3/\text{min}$$

※ 계산근거

① Raw mix 소모량 40,350 kg/hr

② Pellets의 수분량 12.1%

③ B.C. oil 소모량 2,825 kg/hr.

④ B.C. oil 중 H₂ 함량 11.8%

⑤ B.C. oil 중 水分含量 4.32%

(④, ⑤는 국립과학연구소에 Sample 의뢰한 것임).

$$\therefore \text{水分含量} (\%)$$

$$\text{수분함량} (\%) = \frac{164.7}{1689.3} \times 100 = 9.7\%$$

iii) wet base로 환산한 Orsat Gas 분석치.

成分	H ₂ O	CO ₂	O ₂	N ₂
Kiln 1號	9.7	11.7	10.5	68.7
Kiln 2號	9.3	10.9	10.7	69.3

(Wet base)

Kiln 2호의 H₂O% 계산은 생략했음.

$$\text{iv) } \gamma_0 = \frac{1}{22.4 \times 100} (44 \times 11.1 + 32 \times 10.5 + 28 \times 68.7 + 18 + 9.7)$$

$$\approx 1.31$$