

技術論叢

Lepol Kiln 의 heat balance

第一セメント工業株式会社

生産課副課長 李 南 龍

< 内 容 >

- 1. Symbol 과 nomenclature
- 2. heat balance
- 3. 比較檢討

Kiln의 熱管理上 neck를 発見하기 위한 한 方便으로 kiln 第1號의 heat balance를 計算하였다. 各種測定과 調査는 지난 8月8日~9日 兩日間に 實施하였다.

dust와 alkali 物質의 循環이 熱管理面에 미치는 影響은 重大하므로 heat balance 算出時에 dust cycle과 alkali cycle을 考慮하는 것이 近來의 傾向이나 本 report에서는 論外로 하였다.

heat balance 算出時의 基準溫度는 20°C로 定하였다.

1. Symbol 과 nomenclature

本 論稿에서 使用한 Symbol 과 Nomenclature 는 다음과 같다.

- Q_1 : Heat intake (單位 Kcal/kg clinker)
- Q_2 : Heat expenditure (" " ")
- Q_3 : 循環熱 (" " ")
- Q_a : Fuel 의 燃燒熱 (" " ")
- Q_{a1} : Coal dust 의 燃燒熱 (" " ")

- Qa2 : C-oil 의 燃燒熱 (單位 Kcal/kg clinker)
- Qb : Fuel 의 Sensible heat. (單位 Kcal/kg clinker)
- Qb1 : Coal dust 의 Sensible heat. (單位 Kcal/kg clinker)
- Qc : Raw meal 의 Sensible heat (" " ")
- Qc1 : Dry raw meal 의 Sensible heat (" " ")
- Qc2 : Raw meal 中 水分 의 Sensible heat (" " ")
- Qe : Clinker 燒成用 熱 (單位 Kcal/kg clinker)
- Qe1 : Dry raw meal 을 900° C 까지 加熱하는데
所要되는 熱 (單位 Kcal/kg clinker)
- Qe2 ; CaCO₃, MgCO₃ 및 Kaolin 의 分解에
必要한 熱 (" " ")
- Qe3 : 分解된 raw meal 을 900° C 에서 1,450° C 까지
加熱하는데 所要되는 熱 (" " ")
- Qe4 : Clinker 生成熱 (" " ")
- Qe5 : 900° C 에서 分解한 Co₂ 및 水蒸氣의
Sensible heat (" " ")
- Qe6 : 1,450° C 에서 Clinker 의 保有顯熱 (單位. Kcal/kg ")
- Qf : Cooler inlet 의 clinker 顯熱 (單位. Kcal/kg ")
- Qg : Clinker waste heat (" " ")
- Qh : Cooler 餘剩空氣에 依한 熱損失 (" " ")
- Qi : Raw meal 中 水分의 蒸發熱 (" " ")
- Qj : Grate waste gas 에 依한 熱損失 (" " ")
- Qj1 : 原料에서 發生한 水蒸氣의 Sensible heat
(" " ")

- Qj2 : 原料에서 發生한 CO₂의 Sensible heat
(單位 Kcal/kg clinker)
- Qj3 : 燃燒gas의 sensible heat (" " ")
- Qk : Dust 및 radiation 其他에 依한 heat loss
(" " ")
- Ql : Primary air에 依한 回收熱 (" " ")
- Qm : Secondary air에 依한 回收熱 (單位 Kcal/kg clinker)
- Wf1 : Clinker 1kg 當 Coal dust 使用量 (單位 Kcal/kg cl.)
- Wf2 : Clinker 1kg 當 C-oil 使用量 (單位 Kcal/kg clinker)
- Wm : Clinker 1kg 當 dry raw meal 使用量 (單位 Kcal/kg cl.)
- Wr : Clinker 1kg 當 原料中, 水分量 (單位 Kcal/kg clinker)
- Hl1 : Coal dust의 het Calorific value (單位 Kcal/kg coal)
- Hl2 : C-oil의 het Calorific value (單位 Kcal/kg oil)
- V_{CO2} : Clinker 1kg 當 原料에서 發生한 CO₂ 量
(單位 Nm³/kg cl.)
- Ao : Fuel 1kg 當 理論燃燒空氣量 (單位 Nm³/kg)
- Go : Fuel 1kg 當 理論燃燒gas量 (單位 Nm³/kg)
- A1 : Primary air 量 (單位 Nm³/kg cl.)
- A2 : Secondary air 量 (" " ")
- A3 : Cooler 餘剩空氣量 (" " ")
- Cf1 : Coal dust의 specific heat (單位 Kcal/kg °C)
- Cf2 : C-oil의 specific heat (" " ")
- Cm : Raw meal의 specific heat (" " ")
- Ck : Clinker의 Specific heat (" " ")

- C_{pA} : Air의 Specific heat (定圧) (單位 Kcal/kg °C)
 C_{pH_2O} : 水蒸氣의 Specific heat (定圧) (單位 Kcal/Nm³ °C)
 C_{pCO_2} : CO₂의 Specific heat (定圧) (" " ")
 C_{pg} : 燃燒gas의 Specific heat (定圧) (" " ")
 t : 基準溫度 (20°C)
 t_{f1} : Injection Coal의 溫度 (°C)
 t_{f2} : C-oil의 溫度 (°C)
 t_m : Grate 入口의 原料溫度 (°C)
 t_{k1} : Cooler 入口의 Clinker 溫度 (°C)
 t_{k2} : Cooler 出口의 Clinker 溫度 (°C)
 t_{g3} : Cooler 過剩空氣의 排出溫度 (°C)
 t_g : Grate waste gas 溫度 (°C)
 t_{A1} : Primary air 溫度 (°C)
 t_{A2} : Secondary air 溫度 (°C)

2. Heat balance

1) Heat intake. Q_1

1.1 fuel의 燃燒熱 : Q_a

a) Coal dust의 燃燒熱 : Q_{a1}

$$Q_{a1} = W_{f1} \times H_{l1} = 0.105 \times 5,799 = \underline{609} \text{ (Kcal/kg cl.)} \quad \text{註1)}$$

b) C-oil의 燃燒熱 : Q_{a2}

$$Q_{a2} = W_{f2} \times H_{l2} = 0.0298 \times 9,450 = \underline{282} \text{ (Kcal/kg cl.)} \quad \text{註2)}$$

$$Q_a = Q_{a1} + Q_{a2} = 891 \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

1.2 fuel의 Sensible heat : Q_b

a) Coal dust의 Sensible heat : Qb1

$$Q_{b1} = W_{f1} \times C_{f1} \times (t_{f1} - t)$$

$$= 0.105 \times 0.25 \times (30 - 20) = \underline{0.262} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

b) C-oil의 Sensible heat : Qb2

$$Q_{b2} = W_{f2} \times C_{f2} \times (t_{f2} - t)$$

$$= 0.0298 \times 0.45 \times (120 - 20) = \underline{1.341} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

$$Q_b = Q_{b1} + Q_{b2} \approx 2 \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

1.3 raw meal의 Sensible heat : Qc

a) dry raw meal의 Sensible heat : Qc1

$$Q_{c1} = W_m \times C_m \times (t_m - t) = 1.55 \times 0.2 \text{ (註3)} (30 - 20) \approx \underline{3.1}$$

$$\text{(Kcal/kg cl.)}$$

b) raw meal中 水分의 Sensible heat : Qc2

$$Q_{c2} = W_r \times (t_m - t) = 1.55 \times 0.125 (30 - 20) = \underline{1.9}$$

$$\text{(Kcal/kg cl.)}$$

$$Q_c = Q_{c1} + Q_{c2} = \underline{5} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

$$Q_1 = Q_a + Q_b + Q_c = \underline{\underline{898}} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

2) Heat expenditure : Q2

2.1 Clinker 燒成用熱 : Qe

2.1.1 dry raw meal을 900°C 까지 加熱하는데 所要되는

熱 : Qe1

$$Q_{e1} = W_m \times C_m \times (900 - t) = 1.55 \times 0.264 (900 - 20) = \underline{360}$$

$$\text{(kcal/kg cl.)}$$

2.1.2 CaCO3, MgCO3 및 Kaolin의 分解에 必要한 熱 : Qe2

$$Q_{e2} = 714 \times (\text{CaO}) + 588 \times (\text{MgO}) + 564 \times (\text{Al}_2\text{O}_3)$$

$$= 714 \times 0.6435 + 588 \times 0.0216 + 564 \times 0.0558 = \underline{504}$$

(Kcal/kg cl.)

2.1.3 分解된 raw meal 을 900°C 에서 1,450°C 까지 加熱하는데 所要되는 熱 : Q_{e3}

900°C ~ 1,450°C 에서는 Clinker 比熱과 同一하다고 보고 또한 分解原料量은 Clinker 量과 같다고 본다.

$$Q_{e3} = 0.265 \times 1,450 \times 1 - 0.234 \times 900 \times 1 = \underline{173} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

2.1.4 Clinker 生成熱 : Q_{e4}

$$Q_{e4} = 100 \text{ Kcal/kg cl.}$$

이 數値는 Nacken 의 文獻에 依함.

2.1.5 900°C 에서 分解된 CO₂ 및 水蒸氣의 顯熱 : Q_{e5}

$$Q_{e5} = 187 \times (\text{CaO}) + 262 \times (\text{MgO}) + 159 \times (\text{Al}_2\text{O}_3)$$

$$= 187 \times 0.6435 + 262 \times 0.0216 + 159 \times 0.0558 = \underline{135}$$

(Kcal/kg cl.)

2.1.6 1,450°C 에서 Clinker 保有顯熱 : Q_{e6}

$$Q_{e6} = 0.265 \times 1,450 \times 1 = \underline{384} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

따라서 Clinker 燒成用熱은

$$Q_e = Q_{e1} + Q_{e2} + Q_{e3} - Q_{e4} - Q_{e5} - Q_{e6} = \underline{418} \text{ Kcal/kg cl.}$$

2.2 Cooler inlet 에서의 Clinker 顯熱 : Q_f

$$Q_f = C_k \times (t_{k1} - t) = 0.253 \times (1,320 - 20) = \underline{329} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

2.3 Clinker waste heat Q_g

$$Q_g = C_k \times (t_{k2} - t) = 0.197 \times (140 - 20) = \underline{24} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

2.4 Cooler 餘剩空氣에 依한 heat loss : Q_h

註)

$$Q_h = A_3 \times C_A \times (t_3 - t) = 1.654 \times 0.311 \times (320 - 20) = \frac{154}{(Kcal/kg \text{ cl.})}$$

2.5 raw meal 中 水分의 蒸發熱: Q_1

$$Q_1 = W_r \times r = 1.55 \times 0.125 \times 585 = 113 \text{ Kcal/kg cl.}$$

但. γ : 常溫에서 물의 蒸發熱 (Kcal/kg H₂O)

$$\gamma = 596 - 0.55 t$$

2.6 Waste gas에 依한 heat loss: Q_j

2.6.1 dry raw meal에서 發生한 水蒸氣의 顯熱: Q_{j1}

$$Q_{j1} = \frac{22.4}{18} \times (W_r + W_{H_2O}) \times C_{H_2O} \times (t_g - t)$$

$$= \frac{22.4}{18} (1.55 \times 0.125 + 0.02) \times 0.360 \times (110 - 20) = 9 \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

但. W_{H_2O} : Kaolin에서 發生한 水蒸氣量 (kg)

$$W_{H_2O} = 0.353 \times \frac{(Al_2O_3)}{100} = 0.353 \times \frac{5.58}{100} = 0.02$$

2.6.2 原料에서 發生한 CO₂의 顯熱: Q_{j2}

$$Q_{j2} = V_{CO_2} \times C_{CO_2} \times (t_g - t)$$

$$= 0.269 \times 0.409 \times (110 - 20) = 10 \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

但 V_{CO_2} : Clinker 1kg當 原料에서 發生한 CO₂量
(Nm³/kg cl.)

$$V_{CO_2} = 0.40 \times \frac{(CaO)}{100} + 0.56 \times \frac{(MgO)}{100}$$

2.6.3 燃燒 gas의 Sensible heat: Q_{j3}

a) from coal dust

$$G_o = \frac{1.17 H\ell}{1,000} + 0.05 = \frac{1.17 \times 5,799}{1,000} + 0.05 = 6,836 \text{ (Nm}^3/\text{kg coal)}$$

$$A_0 = \frac{1.01 \text{ Hl}}{1,000} + 0.5 = \frac{1.01 \times 5,799}{1,000} + 0.5 = 6,358 \text{ (Nm}^3\text{/kg coal)}$$

$$\begin{aligned} Q_{j3} &= [G_0 \times C_G + A_0 (m-1) \times C_A] \times W_f \times (t_g - t) \\ &= [6,836 \times 0.331 + 6,358 (1,586-1) \times 0.311] \\ &\quad \times 0.105 \times (110-20) \\ &= \underline{32} \text{ (Kcal/kg cl.)} \end{aligned}$$

b) from C-oil

$$G_0 = \frac{1.11 \text{ Hl}}{1,000} + 0.04 = \frac{1.11 \times 9,450}{1,000} + 0.04 = 10.540 \text{ (Nm}^3\text{/kg oil)}$$

$$A_0 = \frac{0.85 \text{ Hl}}{1,000} + 2.0 = \frac{0.85 \times 9,450}{1,000} + 2.0 = 10.042 \text{ (Nm}^3\text{/kg oil)}$$

$$\begin{aligned} Q_{j3}'' &= [10.54 \times 0.329 + 10.042 (1,586-1) \times 0.311] \\ &\quad \times 0.0298 \times (110-20) = 14 \text{ (Kcal/kg cl.)} \end{aligned}$$

따라서 $Q_{j3} = Q_{j3} + Q_{j3}'' = \underline{46} \text{ (Kcal/kg cl.)}$

$$Q_j = Q_{j1} + Q_{j2} + Q_{j3} = \underline{65} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

2.7 dust 및 radiation 其他에 의한 heat loss : Q_k

$$\begin{aligned} Q_k &= Q_1 - (Q_e + Q_g + Q_h + Q_i + Q_j) \\ &= 898 - (418 + 24 + 154 + 113 + 65) = \underline{124} \text{ (Kcal/kg cl.)} \end{aligned}$$

$$Q_2 = Q_e + Q_g + Q_h + Q_i + Q_j + Q_k = \underline{898} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

3) 循環熱 : Q_3

3.1 Primary air 에 의한 回收熱 : Q_l

$$Q_l = A_1 \times C_A \times (t_{A1} - t) = 0.132 \times \overset{\text{註5)}}{0.311} \times (95-20) = \underline{3} \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

3.2 Secondary air에 의한 回收熱 : Q_m

$$Q_m = A_2 \times CA \times (t_{A2} - t) = 0.916 \times 0.331 \times (850 - 20) \quad \text{註6)}$$

$$= 252 \text{ (Kcal/kg cl.)}$$

4) Heat efficiency (η)

4-1 燒成效率 (η_p)

$$\eta_p = \frac{Q_e - Q_c}{Q_a} \times 100 = \frac{418 - 5}{891} \times 100 = 46.5\%$$

4.2 Kiln 效率 (η_k)

$$\eta_k = \frac{Q_e + Q_i - Q_c}{Q_a} \times 100 = \frac{418 + 113 - 5}{891} \times 100 = 59\%$$

以上에서 算出된 各項目의 數値를 綜合하면 Table 1.에 表示한 바와 같다.

Table 1. Kiln No.1의 heat balance (20°C 基準)

項 目	記 號	熱 量	
		Kcal/kg cl.	%
1. heat intake	Q_1		
1.1 fuel의 燃燒熱	Q_a	891	99.2
1.2 fuel의 Sensible heat	Q_b	2	0.2
1.3 raw meal의 sensible heat	Q_c	5	0.6
total		898	100.0
2. heat expenditure	Q_2		
2.1 Clinker 燒成用熱	Q_e	418	46.5
2.2 Cooler inlet의 clinker 顯熱	Q_f	(329)	-
2.3 Clinker waste heat	Q_g	24	2.7
2.4 Cooler 餘剩空氣의 heat loss	Q_h	154	17.2
2.5 raw meal中 水分蒸發熱	Q_i	113	12.6

項 目	記號	熱 量	
		Kcal/kg cl.	%
2.6 waste gas heat loss	Q_j	65	7.1
2.7 dust 및 radiation 其他	Q_k	124	13.9
total		898	100.0
3. 循環熱	Q_3		
3.1 Primary air 回收熱	Q_l	3	-
3.2 Secondary air 回收熱	Q_m	252	-
total		255	
4. Efficiency			
4.1 燒成 効率	η_p	-	46.5
4.2 Kiln 効率	η_k	-	59.0

Fig 1. 은 이에 對한 heat balance diagram 이다.

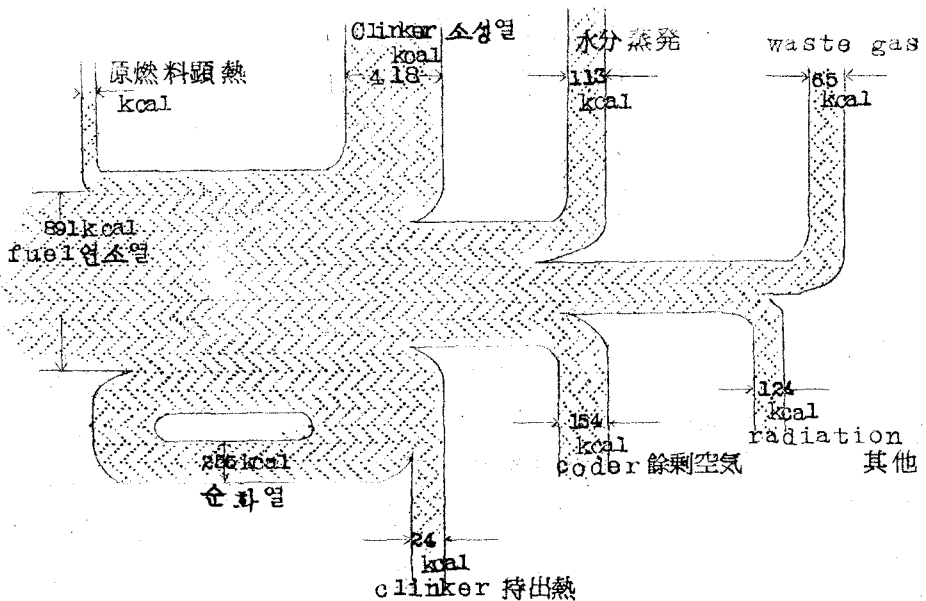


Fig 1. Heat balance diagram

Table 2. Lepol kiln의 heat balance 比較 (20° C 基準)

Item	Lepol kiln Kn1 1)	Lepol kiln Wmr 2)	Lepol kiln Ont 3)	re- marks
1. heat intake				
1.1 fuel의 燃燒熱	891	829	987.1	
1.2 fuel의 Sensible heat	2	<1	3.6	
1.3 raw meal의 Sensible heat	5	28	17.6	
total	898	857	1008.3	
2. heat expenditure				
2.1 Clinker 燒成用熱	418	385	427.9	
2.2 Cooler inlet의 clinker 頭熱	(329)	-	(324.0)	
2.3 Clinker waste heat	24	16	16.9	
2.4 Cooler 餘剩空氣의 heat loss	154	79	89.8	
2.5 raw meal中 水分蒸發熱	113	122	139.0	
2.6 waste gas heat loss	65	78	113.9	
2.7 dust 및 radiation 其他	124	177	220.8	
total	898	857	1008.3	
3. 循環熱				
3.1 Primary air 回收熱	3	-	8.9	
3.2 Secondary air 回收熱	252	-	210.0	
total	255		218.9	
4. Efficiency				
4.1 燒成效率 (η _p)	46.5		41.6	
4.2 Kiln 效率 (η _k)	59.0		55.6	

註 1. Lepol kiln Kn1 : 韓一세멘트丹陽工場 No.1 kiln

2. Lepol kiln Wmr : 西獨 kiln ()

3. Lepol kiln Ont : 日本小野田세멘트田原工場 kiln

3. 比較檢討

Table 2는 本工場 kiln No.1 (Knl)과 Lepol kiln Wmr (西獨) 및 Lepol kiln Ont (日本 小野田세멘트. 田原工場) 三者의 heat balance를 比較한 것이다.

本工場 kiln의 全体熱消費量은 Wmr kiln에 比하여 41Kcal/kg cl. (約 4.5%)가 높은 便이다. 項目別 熱消費面을 檢討하면 Clinker waste heat가 Wmr kiln의 16 Kcal/kg cl에 對하여 24Kcal/kg cl. (Wmr의 約 1.5倍)이며 特히 Cooler 餘剩空氣에 依한 heat loss에 依어서는 Wmr kiln의 79Kcal/kg cl에 對하여 154 Kcal/kg cl. (Wmr의 約 2倍)나 된다. 따라서 Cooler에서 排出되는 waste air를 利用하는 길이 模索되므로써 熱管理面에 寄與하는 바가 크리라코 思料된다. Cooler stack에서 排出되는 air는 約 300° C 以上이므로 Coal mill에서 raw coal 乾燥用으로 使用하거나 또는 boiler room에서 使用하는 길을 생각할 수 있다.

한편 計算에 依하면 現在 Primary air中 Cooler stack에서 然由되는 것은 全体 Primary air 量의 約 25%에 不過하다. Primary air를 約 200° C까지 豫熱할 수 있게 된다면 Cooler 回收熱은 더 增加될 것이다. Cooler stack의 exhaust air 量은 約 9m³/sec (300° C) (但 cooler flap door 등에 依한 漏泄量을 10%로 規定함)이며 coal mill의 hot air 所要量은 約 5.3m³/sec (250° C)로 利用可能性이 充分하다.

註1. Coal dust의 low calorific value 計算 (H_{h1})

i) high calorific value H_{h1} = 5,900 Kcal/kg coal

ii) Injection coal의 工業分析

水分 (M) : 1.5%

ash (A) : 21%

V.M : 3.5%

F.C. : 73.2%

S. : 0.8%

iii) Diederichs 法에 依하여 成分值計算

$$\text{Combustibles} = \text{V.M.} + \text{F.C.} = 3.5 + 73.2 = \underline{76.7\%}$$

$$V_c = \frac{\text{V.M.}}{\text{V.M.} + \text{F.C.}} \times 100 = \frac{3.5}{76.2} \times 100 = \underline{4.6\%}$$

$$F_c = \frac{\text{F.C.}}{\text{V.M.} + \text{F.C.}} \times 100 = \frac{73.2}{76.7} = \underline{95.4\%}$$

$$H_c = V_c \left(\frac{7.35}{V_c + 10} - 0.013 \right) = 4.6 \left(\frac{7.35}{4.6 + 10} - 0.013 \right) = \underline{2.25\%}$$

$$C_c = F_c + 0.02V_c^2 = 95.4 + 0.02 \times 4.6^2 = \underline{95.8\%}$$

$$N_c = 0.07V_c = 0.07 \times 4.6 = \underline{0.322\%}$$

但 V_c : dry, ash-free V.M. %

F_c : dry, ash-free F.C. %

H_c : dry, ash-free H₂ %

C_c : dry, ash-free total carbon %

N_c : dry, ash-free N₂ %

따라서

$$H = H_c \times 0.767 = 2.25 \times 0.767 = \underline{1.7\%}$$

$$C = C_c \times 0.767 = 95.8 \times 0.767 = \underline{73.5\%}$$

$$N = N_c \times 0.767 = 0.322 \times 0.767 = \underline{0.2\%}$$

$$O = 100 - (M + A + S + C + H + N) = \underline{1.3\%}$$

$$\text{iv) } Hl_1 = H_h - 6(9H + M) = 5,900 - 6(9 \times 1.7 + 1.5) = \underline{5,799} \\ \text{Kcal/kg coal.}$$

註2. C-oil의 low Calorific value 計算 (Hl_2)

C-oil의 元素分析을 하지 않았을 境遇에는 JIS RO 303-1965 規定에 依하여

C = 86%, H = 12% 로 함.

i) C-oil의 high calorific value

$$H_{h2} = 10,100 \text{ Kcal/kg oil}$$

ii) C-oil의 low calorific value.

$$Hl_2 = H_h - 6(9H + M) = 10,100 - 6(9 \times 12) = 9,452 \\ \approx \underline{9450} \text{ Kcal/kg oil}$$

註3. Clinker 1kg 당 所要되는 dry raw meal 量 (W_m) 計算

Clinker 1kg 당 dry raw meal 에서 發生하는 exhaust gas 量에서 求한다.

i) Clinker 中の Al_2O_3 가 $KaO \cdot n$ (ka) 에서 然由된다고 假定하면 여기에서 發生하는 水蒸氣量 (W_{H_2O}) 은

$$W_{H_2O} = 0.353 \times \frac{(Al_2O_3)}{100} = 0.353 \times \frac{5.58}{100} = 0.01969 \\ \approx \underline{0.02} \text{ kg/kg cl.}$$

ii) Clinker 中の CaO , MgO 가 $CaCO_3$ (kg), $MgCO_3$ (kg) 에서

然由한다고 假定하던 여기에서 發生하는 CO₂量 (W_{CO₂}) 은

$$W_{CO_2} = 0.786 \times \frac{(CaO)}{100} + 1.10 \times \frac{(MgO)}{100} = 0.786 \times \frac{64.35}{100} + 1.10 \times \frac{2.16}{100} = 0.53 \text{ kg/kg cl.}$$

ii) $W_m = 1 + W_{H_2O} + W_{CO_2} = 1 + 0.02 + 0.53 = 1.55 \text{ kg/kg cl.}$

註 4 . Cooler 餘剩空氣量計算 (A₃)

i) Cooler에 供給되는 Cooling air 量測定 (V₂)

㉑ main fan의 air 量測定

動圧: $h = 40 \text{ mm WG}$

$$\text{Section area: } S = \frac{\pi \times 0.88^2}{4} = 0.61 \text{ m}^2$$

$$V_1 = C \sqrt{2gh} \left(\frac{e_w}{e_f} \right)$$

$$= 0.98 \sqrt{2 \times 980 \times 4} \left(\frac{1}{0.00129} \right) = 2,412 \text{ cm/sec}$$

$$\approx 24.1 \text{ m/sec}$$

$$V_1 = C \cdot v_1 \cdot S = 0.98 \times 24.1 \times 0.61 = 14.4 \text{ m}^3/\text{sec at } 25^\circ\text{C}$$

$$= 13.2 \text{ Nm}^3/\text{sec}$$

㉒ Pulsating fan의 air 量測定

動圧: $h = 70 \text{ mm WG}$

$$\text{Section area: } S = 0.41 \times 0.25 = 0.1 \text{ m}^2$$

$$V_2 = 0.98 \sqrt{2 \times 980 \times 7} \left(\frac{1}{0.00129} \right) = 3185 \text{ cm/sec}$$

$$\approx 31.8 \text{ m/sec}$$

$$V_2 = 0.98 \times 0.1 \times 31.8 = 3.1 \text{ m}^3/\text{sec at } 25^\circ\text{C}$$

$$= 2.8 \text{ Nm}^3/\text{sec}$$

따라서

$$V_a = V_1 + 2V_2 = 18.8 \text{ Nm}^3/\text{sec} = 2.603 \text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

ii) Primary air 量測定 (V_b)

動圧: h = 120mm WS

$$\text{Section area: } S = \frac{\pi \times 0.205^2}{4} = 0.0315\text{m}^2$$

$$V_s = 0.98 \sqrt{2 \times 980 \times 12 \times (1/0.00129)} = 4179\text{cm/sec} \\ = 41.8\text{ m/sec}$$

$$V_b = 0.98 \times 41.8 \times 0.0315 = 1.29\text{ m}^3/\text{sec} \text{ (at } 95^\circ\text{C)} \\ = 0.954\text{ Nm}^3/\text{sec} \\ = 0.132\text{ Nm}^3/\text{kg cl}$$

㉓ Primary air 中 cooler stack에서 然由한것 (V_{b1})

$$V_{b1} = 0.954 \times 0.25 = 0.238\text{ Nm}^3/\text{sec} \\ = 0.033\text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

㉔ Primary air 中 外氣 (V_{b2})

$$V_{b2} = V_b - V_{b1} = 0.716\text{ Nm}^3/\text{sec} \\ = 0.099\text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

iii) 燃燒用實際空氣量計算 (V_c)

㉕ Coal dust 燃燒用理論空氣量

$$A_o = \frac{1.01 \times 5,799}{1,000} + 0.5 = 6,358\text{ Nm}^3/\text{kg coal}$$

$$6,358\text{ Nm}^3 \times 0.105\text{kg/kg cl.} = 0.667\text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

㉖ Oil 燃燒用理論空氣量

$$A_o = \frac{0.85 \times 9,450}{1,000} + 2.0 = 10.042\text{ Nm}^3/\text{kg oil}$$

$$10.042\text{ Nm}^3 \times 0.0298\text{kg/kg cl.} = 0.299\text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

따라서 總理論空氣所要量은

$$0.667 + 0.299 = 0.966\text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

㉔ 實際燃燒空氣所要量

$$V_c = 0.966 \times 1.085 = \underline{1.048} \text{ Nm}^3/\text{kg cl.} \quad (\text{但 } m = 1.085)$$

iv) Secondary air 量 (V_a)

$$V_d = V_c - V_b = 1.048 - 0.132 = \underline{0.916} \text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

v) Cooler 餘剩空氣量 (A_3)

$$A_3 = V_a - V_d - V_{b1} = 2.603 - 0.916 - 0.033 = \underline{1.654} \text{ Nm}^3/\text{kg cl.}$$

註5. 註4)의 ii)項 參照

註6. 註4)의 iv)項 參照

《 参 考 文 獻 》

日本工業規格協會：JIS R0 303-1965.

Zement - kalk - Gips : Sonderausgabe Nr. 7

"Rechnungsgang für die Untersuchung Von

Dreh- und Schachtofen in der Zementindustrie"

大韓熱管理研究会編：熱管理 해답북

Otto Labahn : Cement Engineers' Handbook.

Alois X. Schmidt : Material and Energy balances.

Paul Weber : Heat Transfer in Rotary kiln.