

# Rotary Kiln 의 熱收支計算例

雙龍洋灰工業株式會社

東海工場生産課

朴 炳 哲  
梁 在 均

「Rotary Kiln 의 熱收支의 計算과 工程管理面의 應用」<sup>(1)</sup>에 이어 本稿에서는 그 計算과 應用에 관한 예를 實務者의 요청으로 제시하고자 한다. 計算方法과 필요한 수치는 이미 記述된 바와 마찬가지로 설명을 피하고 熱收支의 解析方法에 좀더 지면을 할애하여 記述하고자 한다.

雙龍洋灰 東海工場은 1968년 8월 試運轉을 개시하여, 燒成工程에 대한 끊임 없는 研究開發을 통해 熱管理面은 완벽한 상태이고 지금은 品質向上을 위한 실험을 주로 하여 운전하고 있다.

現 燒成工程의 운전상태는 良好하여 kiln 1基當 3,300 ton/day의 生産能力을 갖추었고 熱消耗量은 740~750 kcal/kg—CI이다.

本計算 例는 본격적인 技術開發에 들어가기 전에 측정된 것으로서, 이로부터 많은 問題點을 究明해 내었다는데 보다 큰 意義가 있으며 따라서 熱管理를 위한 좋은 資料가 될 것으로 본다.

## 1. 設備概要

### 1-1 Rotary kiln

製造方法：乾式  
製作者：日本 三菱重工(株)  
建設年度：1968년 8월  
傾 斜：3%  
內 徑：5400/5600 mmφ  
全 長：95000 mm  
回 轉 數：max. 1.5 rpm.  
燃 料：B.C. oil

### 1-2 Preheater

型 式：Dopol  
製作者：日本 三菱重工(株)

### 1-3 Cooler.

型 式：air quenching grate cooler  
製作者：日本 日立(株)  
grate크기：Fuller # 1480(3단 7실)

### 1-4 송풍기

### 1-5 폐열이용

DRM에서 乾燥 및 粉碎에 利用

1. 測定日時. 測定者
2. 測定項目. 測定方法
3. 測定結果.

### 4-1 供給原料

(1) 供給原料量	190T/H
(2) 供給原料의 溫度	91.3°C
(3) 供給原料의 組成 附着水分	
(i) 附着水分	0.18% (wet base)
(ii) 組 成	
SiO <sub>2</sub>	14.80%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.90"
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.42"
CaO	43.72"
MgO	1.12"
Ig. loss	33.03"
<hr/>	
Total	98.99%

4-2 Clinker

- (1) 燒出量 116.5 T/H (註 1 참조)
- (2) Clinker 溫度 Cooler 入口 1225°C  
Cooler 出口 107.2°C  
(註 2 참조)

(3) Clinker 의 組成

SiO <sub>2</sub>	22.06%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.93%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.15%
CaO	63.44%
MgO	1.83%
SO <sub>3</sub>	0.94%
Ig. loss	1.19%
Total	98.54%

4-3 燃 料

- (1) 燃 料 B.C. oil 10.51 kl/hr
  - (2) 比 重 0.950
  - (3) 使用溫度 112°C
  - (4) 附着水分 0.15%
  - (5) 組成 (註 3 참조)
- |       |        |
|-------|--------|
| C     | 85.5%  |
| H     | 11.3   |
| S     | 3.2    |
| Total | 100.0% |

- (6) 發熱量. 低發熱量 9770 kcal/kg-oil  
(註 4 참조)

4-4 各 gas 및 air 의 流量 · 溫度 · 壓力 · 組成

(1) 流量 溫度 壓力

	流 量	溫 度	壓 力
	Nm <sup>3</sup> /kg-cl	°C	mm H <sub>2</sub> O
Primary air	0.145	59.5	1.300
H.P. cooling air	0.190	42.0	250
L.P. cooling air	3.310	42.0	30)
Cooler waste gas	2.546	205.0	170 mm Aq
Preheater waste gas	1.508	350.0	600 mm Aq

(2) Kiln waste gas 및 Preheater waste gas 의 組成 Orsat 分析으로부터

	kiln waste gas	preheater waste gas
CO <sub>2</sub>	27.5 %	30.6 %
H <sub>2</sub> O		
N <sub>2</sub>	70.0	65.2
O <sub>2</sub>	2.5	4.2
CO	—	—
Total	100.0	100.0 %

4-5 Preheater waste gas 中の dust contents

8.15g/Nm<sup>3</sup>-dry base

4-7 設備의 外壁溫度 (註 4 참조)

4-8 其 他

天 候	雲
氣 溫	33°C
氣 壓	760 mmHg
濕 度	73%
風 向	東風

5. 豫 備 計 算

5-1 Clinker 燒出量의 計算 (註 1)

「Rotary kiln 의 熱收支의 計算과 工程管理面의 應用」<sup>1</sup>에서 例를들어 說明했으므로 計算과 정은 略하기로 한다.

$$f = 1.63$$

$$\begin{aligned} \therefore G_{kl} &= \frac{G_R}{f} \\ &= \frac{190}{1.63} \\ &= 116.5 \text{ (T/H)} \end{aligned}$$

5-2 Preheater 排 gas 量

5-2-1 供給原料에서 發生하는 排 gas 量

(1) 炭酸 gas

$$\begin{aligned} V_{CO_2R} &= \frac{1}{100 \times 1.977} \\ &\quad (0.7848CaO_{kl} + 1.092MgO_{kl}) \\ &= \frac{1}{100 \times 1.977} \\ &\quad (0.7848 \times 63.44 + 1.092 \times 1.83) \\ &= 0.262 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl} \end{aligned}$$

(2) 水 分

(i) 附着水分

$$\begin{aligned} V_{CO_2R} &= \frac{1}{0.8038} \times \frac{d \cdot f'}{100} \\ &= \frac{1}{0.8038} \times \frac{0.18 \times 1.6}{100} \\ &= 0.004 \text{ N m}^3/\text{kg-Cl} \end{aligned}$$

(ii) 結合水分

$$V_{Hydr} = \frac{44.8}{102} \times \frac{Al_2O_{3kl}}{100}$$

$$=0.439 \times \frac{5.93}{100}$$

$$=0.026 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

5-2-2 重油의 燃燒에 依한 排gas量

(1) 重油의 原素分析(註 3)

比重으로부터 計算하면 다음과 같다.

$$H=26-15d$$

$$=26-15 \times 0.95$$

$$=11.3\%$$

$$S=3.2\%$$

$$C=100-(11.3+3.2)$$

$$=85.5\%$$

(2) 重油의 燃燒에 必要한 理論空氣量

$$O_{min}'=1.864 \times \frac{C}{100} + 5.533 \times \frac{H}{100}$$

$$+ 0.698 \times \frac{S}{100} - 0.700 \times \frac{O}{100}$$

$$=1.864 \times \frac{85.5}{100} + 5.533 \times \frac{11.3}{100}$$

$$+ 0.698 \times \frac{3.2}{100}$$

$$=2.26 \text{ Nm}^3/\text{kg-oil}$$

$$O_{min}=\frac{K}{100} \cdot O_{min}'$$

$$=\frac{8.02}{100} \times 2.26$$

$$=0.181 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

따라서 Clinker 1 kg 當 이론 연소공기량은

$$L_{min}=4.762 \times O_{min}$$

$$=4.762 \times 0.181$$

$$=0.862 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

이다.

참고로 K의 計算은 다음과 같다.

$$d=0.950$$

112°C의 容積換算係數 0.9354

$$K=\frac{10.51 \times 0.950 \times 0.9354}{116.5} \times 100$$

$$=8.02\%$$

(3) 과잉 공기량의 計算

$$m=\frac{N_2}{N_2-3.762\left(O_2-\frac{CO}{2}\right)}$$

$$=\frac{65.2}{65.2-3.762(4.2-0)}$$

$$=1.31$$

과잉공기량,  $L_u$ 는

$$L_u=L_{min} \cdot (m-1)$$

$$=0.862 \cdot (1.31-1)$$

$$=0.267 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

공급공기량  $L_{Tat}$ 는

$$L_{Tat}=L_{min} \times m$$

$$=0.862 \times 1.31$$

$$=1.131 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

과잉 공기 중의 酸素는

$$V_{O_2}=0.21 \cdot L_u$$

$$=0.21 \times 0.267$$

$$=0.056 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

이다.

(4) 重油燃燒에 의한 排 gas 量

燃燒에 의한 이론적 最小排氣量을 計算하면 다음과 같다.

$$V_{CO_2}=1.855 \times \frac{C}{100} \times \frac{K}{100}$$

$$=1.855 \times \frac{85.5}{100} \times \frac{8.02}{100}$$

$$=0.130 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

$$V_{SO_2}=0.6841 \times \frac{S}{100} \times \frac{K}{100}$$

$$=0.6841 \times \frac{3.2}{100} \times \frac{8.02}{100}$$

$$=0.002 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

$$V_{H_2O}=11.21 \times \frac{H}{100} \times \frac{K}{100}$$

$$=11.21 \times \frac{11.3}{100} \times \frac{8.02}{100}$$

$$=0.102 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

$$V_{N_2,min}=0.79 \times L_{min}$$

$$=0.79 \times 0.862$$

$$=0.681 \text{ Nm}^3/\text{kg-C}$$

$$V_{min}=0.915 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

이는 重油의 附着水分을 무시할 경우의 理論排 gas 量이다.

따라서 CO의 발생이 없으므로 실제 生成하는 排 gas 量은

$$V_{Tat}=V_{min}+L_u$$

$$=0.915+0.267$$

$$=1.182 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$$

이다.

(5) 燃燈空氣中の 濕分

乾球溫度 33°C

相對濕度 73%

따라서 humidity chart로부터

$$H_m = 0.027 N_m^s / N_m^s - \text{air}$$

$$V_{H,OL} = H_m \cdot L_{Tat}$$

$$= 0.027 \times 1.13$$

$$= 0.031 N_m^s / \text{kg-CI}$$

이며, 重油의 燃燒排gas에 포함되어야 한다.

上記 計算結果를 정리하면 다음과 같다.

<表 1> Preheater 排 gas

gas 成分	gas量, N <sub>m</sub> <sup>s</sup> /kg-CI	組成 %	dry base
CO <sub>2</sub>	0.392	26.1	29.3
H <sub>2</sub> O	0.163	10.8	—
N <sub>2</sub>	0.895	59.3	66.5
O <sub>2</sub>	0.056	3.8	4.2
SO <sub>2</sub>	0.002	—	—
合計	1.508	100.0	100.0

dry base 로 表示된 것은 orsat 分析 결과와 비슷하게 일치함을 볼 수 있다.

### 5-3 重油의 發熱量(註 4)

實驗室로부터

$$H_o = 10400 \text{ Kcal/kg-air}$$

$$H_h = \frac{100 - H_2O}{100} \cdot H_o$$

$$= \frac{100 - 0.15}{100} \times 10400$$

$$= 10380 \text{ Kcal/kg-air}$$

$$H_l = H_h - 6(9H + H_2O)$$

$$= 10380 - 6(9 \times 11.3 + 0.15)$$

$$= 9770 \text{ Kcal/kg-air}$$

## 6. 熱收支의 計算

### 6-1 燒成工程 전반의 熱收支

#### 6-1-1 入熱, Q<sub>1</sub>

(1) 燃料에서의 入熱 Q<sub>11</sub>

(i) 燃料의 燃燒熱, Q<sub>111</sub>

$$Q_{111} = H_l \times \frac{K}{100}$$

$$= 9770 \times \frac{8.02}{100}$$

$$= 783.8 \text{ Kcal/kg-CI}$$

(ii) 燃料의 顯熱 Q<sub>112</sub>

$$Q_{112} = C_{p,mf} \times (Q_{112} - 20) \times \frac{K}{100}$$

$$= 0.45 \times (112 - 20) \times \frac{8.02}{100}$$

$$= 3.3 \text{ Kcal/kg-CI}$$

따라서

$$Q_{11} = 783.8 + 3.3 = 787.1 \text{ Kcal/kg-CI}$$

이다.

(2) 原料에서 의 入熱 Q<sub>12</sub>

(i) 乾原料의 顯熱, Q<sub>121</sub>

$$Q_{121} = R \times C_{p,mR} \times (\theta_{121} - 20)$$

$$= 1.63 \times 0.20 \times (91.3 - 20)$$

$$= 23.3 \text{ kcal/kg-CI}$$

(ii) 原料 附着水分의 顯熱, Q<sub>122</sub>

$$Q_{122} = G_{H,OR} \times (\theta_{121} - 20)$$

$$= \frac{0.18}{100} \times 1.63 \times (91.3 - 20)$$

$$= 0.3 \text{ Kcal/kg-CI}$$

$$Q_{12} = 23.3 + 0.3 = 23.6 \text{ Kcal/kg-CI}$$

(3) 空氣에서의 入熱 Q<sub>13</sub>

(i) 一次空氣의 顯熱 Q<sub>131</sub>

$$Q_{131} = L_p \times C_{p,mP} \times (\theta_{131} - 20)$$

$$= 0.145 \times 0.311 \times (59.5 - 20)$$

$$= 1.8 \text{ Kcal/kg-CI}$$

(ii) H.P. Cooling air 의 顯熱, Q<sub>132</sub>

$$Q_{132} = L_{HP} \times C_{p,mHP} \times (\theta_{132} - 20)$$

$$= 0.190 \times 0.311 \times (42 - 20)$$

$$= 1.3 \text{ Kcal/kg-CI}$$

(iii) L.P. Cooling air 의 顯熱 Q<sub>133</sub>

$$Q_{133} = L_{LP} \times C_{p,mLP} \times (\theta_{133} - 20)$$

$$= 3.31 \times 0.311 \times (42 - 20)$$

$$= 22.6 \text{ Kcal/kg-CI}$$

따라서

$$Q_{13} = 1.8 + 1.3 + 22.6 = 25.7 \text{ Kcal/kg-CI}$$

또한 入熱 合計는

$$Q_1 = Q_{11} + Q_{12} + Q_{13}$$

$$= 787.1 + 23.6 + 25.7 = 836.4$$

Kcal/kg-CI

이다.

#### 6-1-2 出熱 Q<sub>2</sub>

(1) 燒成에 요하는 理論熱量 Q<sub>21</sub>

alkali 成分에 대한 분석을 시행하지 않았으므로 이를 무시하고 단지 粘土 광물의 구조로부터 計算하면 이 경우는 (i)의 式(1)에

해당한다.

$$Q_{21} = 4.11 A_T + 6.48 M_C + 7.646 C_C - 5.116 S - 0.59 F$$

$$= 4.11 \times 5.93 + 6.48 \times 1.83 + 7.646 \times 63.44 - 5.116 \times 22.06 - 0.59 \times 3.15$$

$$= 406.6 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

(2) 原料 附着水分의 蒸發熱  $Q_{22}$

$$Q_{22} = G_{H_2O} \times 586$$

$$= \frac{0.18}{100} \times 1.63 \times 586$$

$$= 1.8 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

(3) Preheater 排 gas 의 熱損失  $Q_{23}$   
gas 成分으로부터

$$C_{p,m,p} = 0.463 \times 0.261 + 0.371 \times 0.108 + 0.311 \times 0.593 + 0.327 \times 0.042$$

$$= 0.359 \text{ Kcal/(N}_m^3)(^\circ\text{C)}$$

$$Q_{23} = V_p \cdot C_{p,m,p} (\theta_{23} - 20)$$

$$= 1.508 \times 0.359 \times (350 - 20)$$

$$= 178.6 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

(4) Preheater 排 gas 中の dust 에 의한 熱損失  $Q_{24}$

$$\frac{S}{100} = \frac{81.5}{1000} \times 1.508 \times \frac{100 - 10.8}{100}$$

$$= 0.1096 \text{ kg/kg-Cl}$$

$$Q_{24} = 0.1096 \times 0.20 \times (350 - 20)$$

$$= 7.2 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

(5) Cooler 出口 Clinker 에 의한 熱損失  $Q_{25}$

$$Q_{25} = C_{p,mil} \cdot (\theta_{25} - 20)$$

$$= 0.187 + (107.2 - 20)$$

$$= 16.3 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

(6) Cooler 排 gas 에 의한 熱損失  $Q_{26}$

$$Q_{26} = L_{AL} \cdot C_{p,mAL} \cdot (\theta_{26} - 20)$$

$$= 2.546 \times 0.313 \times (205 - 20)$$

$$= 147.4 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

(7) 外壁의 輻射 對流 損失  $Q_{27}$  kiln 의 경우를 예로서 들면 아래와 같다.

$$Q_{27} = Q_r + Q_c$$

$$Q_r = \frac{1}{G_{KI}} \times 0.1713 \epsilon_w A$$

$$\left\{ \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T}{100} \right)^4 \right\} \times 0.252$$

$$Q_c = \frac{1}{G_{KI}} \cdot h_c \cdot A (T_w - T) \times 0.252$$

$$G_{KI} = 116. \times 10^3 \text{ kg/hr}$$

$$\epsilon_w = 0.97 \text{ (for steel plate, rough)}$$

$$A = \pi D_o L \left( 1 - \frac{\phi}{360} \right)$$

$$= 3.14 \times 18 \times 10 \times \left( 1 - \frac{7.75}{360} \right)$$

(for 10ft length)

$$= 565 \times 0.9785$$

$$= 552 \text{ ft}^2$$

즉 대류의 경우  $A = 565 \text{ ft}^2$

복사의 경우  $A = 552 \text{ ft}^2$

이다.

$$T_w = 240^\circ\text{C} = 924^\circ\text{R}$$

$$T = 33^\circ\text{C} = 584^\circ\text{R}$$

$$h_c = 0.27 (At/D_o)^{\frac{1}{4}} \quad (\because 10^6 < X)$$

$$= 0.27 (340/18)^{\frac{1}{4}}$$

$$0.563 \text{ Btu/(ft}^2)(\text{hr})(^\circ\text{F)}$$

따라서

$$Q_r = \frac{1}{116.5 \times 10^3} \times 0.1713 \times 0.97$$

$$\times 552 \left\{ \left( \frac{924}{100} \right)^4 - \left( \frac{584}{100} \right)^4 \right\} \times 0.252$$

$$= 1.22 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

$$Q_c = \frac{1}{116.5 \times 10^3} \times 0.563 \times 565$$

$$\times (924 - 584) \times 0.252$$

$$= 0.234 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

따라서

$$Q_{27} = 1.22 + 0.234 = 1.454 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

위와 같은 計算을 통해 <表 2>와 같이 外壁의 熱損失을 구할 수 있다.

$$Q_{27} = 77.3 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

<表 2> 外壁의 熱損失

測定場所	表面溫度	$Q_c$	$Q_r$	$Q_{27}'$
kiln	200~310°C			52.3
Preheater	70~400°C			18.4
Cooler	50~120°C			2.3
Kiln hood	120~180°C			2.2
Cyclotrell	40~200°C			2.2
合計				Kcal/kg-Cl 177.4

各部分의 溫度 및 形態가 相異하므로 測定場所는 細分하여 計算하고 表로 정리하면 더욱 좋다.

(8) 기타의 熱損失  $Q_{28}$

차로써 計算하면

$$Q_{28} = 1.1 \text{ Kcal/kg-CI}$$

이다.

上記 計算의 결과를 요약하면 <表 3>과 같다.

<表 3> Heat balance of Rotary Kiln system

項 目	kcal/kg-CI	%
<b>1. 入熱 <math>Q_1</math></b>		
重油로부터의 入熱 $Q_{11}$	787.1	94.2
原料 " $Q_{12}$	23.6	2.8
空氣 " $Q_{13}$	25.7	3.0
<b>入熱合計</b>	<b>836.4</b>	<b>100.0</b>
<b>2. 出熱 <math>Q_2</math></b>		
燒成에 要하는 理論熱 $Q_{21}$	406.6	48.7
原料附着水分의 蒸發熱 $Q_{22}$	1.8	0.2
Preheater 排 gas의 損失 $Q_{23}$	178.6	21.4
Preheater dust의 損失 $Q_{24}$	7.2	0.9
Clinker에 의한 熱損失 $Q_{25}$	16.3	1.9
Cooler 排 gas의 熱損失 $Q_{26}$	147.4	17.6
外壁의 輻射 對流損失 $Q_{27}$	77.4	9.2
기타의 熱損失 $Q_{28}$	1.1	0.1
<b>出熱合計</b>	<b>836.4</b>	<b>100.0</b>

6-2 Cooler의 熱收支

Cooler의 열수지는 치수열과 관련되어 무엇보다 중요하다.

6-2-1 Cooler air balance

測定結果로부터 정리하면 <表 4>와 같이 Cooler air balance를 얻는다.

Cooler의 air balance

<表 4> (단위  $\text{Nm}^3/\text{kg-CI}$ )

項 目	input	output
<b>1. input</b>		
H.P. air	0.190	
L.P. air	3.310	
kiln hood leakage	—	
<b>2. Output</b>		
Cooler 排 gas		2.546
secondary air		0.954
<b>合 計</b>	<b>3.500</b>	<b>3.500</b>

上記 air balance中 kiln hood air leakage는

測定 곤란하므로 생략했으나 대체로 secondary air의 0~5% 정도이다.

6-2-2 Cooler의 熱收支

(1) 入熱  $Q_{C1}$

(i) Cooler 入口 clinker의 顯熱  $Q_{C11}$

$$\begin{aligned} Q_{C11} &= C_{pm} \times (\theta_{C11} - 20) \\ &= 0.248 \times (1225 - 20) \\ &= 299.0 \text{ Kcal/kg-CI} \end{aligned}$$

(ii) H.P. air의 顯熱  $Q_{C12}$

$$\begin{aligned} Q_{C12} &= Q_{132} \\ &= 1.3 \text{ Kcal/kg-CI} \end{aligned}$$

(iii) L.P. air의 顯熱  $Q_{C13}$

$$\begin{aligned} Q_{C13} &= Q_{133} \\ &= 22.6 \text{ Kcal/kg-CI} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{入熱合計 } Q_{C1} &= Q_{C11} + Q_{C12} + Q_{C13} \\ &= 299.0 + 1.3 + 22.6 \\ &= 322.9 \text{ Kcal/kg-CI} \end{aligned}$$

(2) 出熱,  $Q_{C2}$

(i) 出口 Clinker의 顯熱,  $Q_{C21}$

$$\begin{aligned} Q_{C21} &= Q_{25} \\ &= 16.3 \text{ Kcal/kg-CI} \end{aligned}$$

(ii) Cooler 排 gas의 顯熱  $Q_{C22}$

$$\begin{aligned} Q_{C22} &= Q_{26} \\ &= 147.4 \text{ Kcal/kg-CI} \end{aligned}$$

(iii) Cooler 外壁의 熱損失  $Q_{C23}$

$$Q_{C23} = 2.3 \text{ Kcal/kg-CI}$$

Cooler의 heat balance

<表 5> (단위 : Kcal/kg-CI)

	Kcal/kg-CI	%
<b>1. 入 熱</b>		
Cooler 入口 Clinker 顯熱	299.0	92.5
H.P. air의 顯熱	1.3	0.4
L.P. air의 顯熱	22.6	7.1
<b>入熱合計</b>	<b>322.9</b>	<b>100.0</b>
<b>2. 出 熱</b>		
出口 Clinker 顯熱	16.3	5.1
Cooler 排 gas의 顯熱	147.4	46.7
Cooler 外壁의 熱損失	2.3	0.7
water jacket의 회수열	10.0	3.1
secondary air 회수열	146.9	45.4
<b>出熱合計</b>	<b>322.9</b>	<b>100.0</b>

(iv) water jacket에서의 熱損失  $Q_{C24}$

$$Q_{C24}=10 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

(v) Secondary air 회수열  $Q_{C25}$

差로써 計算된다.

$$Q_{C25}=76.9 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

$$\begin{aligned} \text{出熱合計 } Q_{C2} &= Q_{C21} + Q_{C22} + Q_{C23} + Q_{C24} + Q_{C25} \\ &= 16.3 + 147.4 + 2.3 + 10 + 146.9 \\ &= 322.9 \text{ Kcal/kg-Cl} \end{aligned}$$

上記 計算을 요약하여 <表 5>와 같이 Cooler의 heat balance를 구할 수 있다.

## 7. 檢 討 結 論

### 7-1 檢 討 事 項

#### (1) 單位生産量

$$\begin{aligned} \text{Kiln의 유효용적 } V &= \frac{\pi}{4} D_i^2 L \\ &= \frac{\pi}{4} \times (5.4 - 0.4)^2 \times 95 \\ &= 1864 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

시간당 생산량 = 116.5 T/H

그러므로 單位 生産量  $t/m^3 \cdot 24h$ 는

$$\frac{116.5 \times 24}{1864} = 1.5t/m^3 \cdot 24h$$

로서 他 plant의 實績은  $1.4 \sim 1.8 t/m^3 \cdot 24h$ 이므로 상당한 효율로 운전되나 앞으로의 연구가 필요하다 보겠다.

#### (2) Cooler의 air balance

cooling air량은  $3.5 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$ 으로 他工場보다  $1.0 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$ 前後 程度로 多量의 냉각 공기를 사용하고 있으므로 air source를 줄이므로  $2.5 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl} + 3.0 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$ 線으로 할 수 있겠다.

#### (3) secondary air의 熱回收 및 溫度

cooler 入口 clinker 顯熱 = 299.0 Kcal/kg-Cl  
secondary air 回收熱 = 146.9

따라서 回收熱 比率  $\eta_s$ 는

$$\eta_s = \frac{146.9}{299.0} \times 100 = 49.1\%$$

로서 약간 양호한 상태이다.

이를 55%線으로 올릴 경우의 열절감은

$$299.0 \times \frac{55 - 49.6}{100} = 16.2 \text{ Kcal/kg-Cl}$$

이며 이로써 얻는 이득은 막대한 것이다.

또한 secondary air temp는

$$0.954 \int_{273+20}^{273+t} C_p dT = 146.9$$

에서 trial-error method를 사용하여 풀면 secondary air temperature는  $480^\circ\text{C}$ 이다.

국내 시멘트 공장의 大部分이 secondary air temp測定용으로 사용하고 있는 計器는 thermocouple이므로 輻射에 의한 오차가 커져 이상의 경우  $900 \sim 1,000^\circ\text{C}$ 를 가리키게 됨을 유의해야 한다.

#### (4) Primary air 量

理論燃燒空氣量 =  $0.862 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$

primary air 量 =  $0.154 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$

$$\text{primary air 比} = \frac{0.154}{0.864} \times 100 = 17.82\%$$

로서 거의 不良상태에 가깝다.

#### (5) air leakage 및 폐기

폐기 자체가  $1.508 \text{ Nm}^3/\text{kg-Cl}$ 에 달하는 것은 air leakage가 많다는 의미이며 이의 고찰은 이미 前述했다<sup>(1)</sup>.

이 이외에도 外壁 熱損失, 熱效率, preheater의 heat balance 등에 관해서 검토되었으나 생략하기로 한다.

지금까지 「시멘트」誌 1970.8<sup>(2)</sup>에 실린 熱收支 計算方法에 의한 計算例를 記述했다.

이로써 東海工場은 社內規格으로서 熱管理를 위한 준비를 완료한 셈이고 燒成工程의 분석과 이해가 가능하게 되었다.

(1) 朴炳哲, 梁在均 「Rotary Kilm의 熱收支의 計算과 工程管理面의 應用」, 「시멘트」 1970. 8, pp. 25~39