

改良燒成法의 生産量推定

韓一세멘트工業株式會社 李 錫 宇
丹陽工場 試驗室長

1. 序

日本の Onoda cement Co. 에서 改良燒成法에 依하여 Kiln 公稱容量의 5倍의 Clinker 를 生産하고 있다는 얘기는 오래前부터 들어오든 바이나 事實그것이 可能한지에 對해서는 爲先Heat Balance 算出을 해봄이 좋을것이다. 그러나 實際이 方法에 依한 data 를 얻지못함으로 假想 우리들工場의 既施設 Kiln 現在그대로의 Heat Balance 를 改良燒成法으로 轉換했다고 생각하고 算出한다. 原料는 CaO 및 粘土를 各名 別途로 粉碎 別途貯藏했다가 混合後 Roller 等 成型으로 供給된다고 思料된다. data 는 1966年10月號「洋灰工業」誌에 掲載되어있는 當工場 Lepol Kiln Heat Balance 에 依據했다.

基準溫度는 20°C

計算方式은 JIS R 0303 에 따랐다.

2 Heat Balance

1) Heat intake Q_1 (Kcal)

1.1 燃料의 燃燒熱 : Q_a (Kcal)

a) 粉炭의 燃燒熱 : Q_{a1} (Kcal)

$$Q_{a1} = W_{f1} \times H_{l1} = 0.105 \times 5,799 = 609 \text{ (Kcal/kgcl.)}$$

$$W_{f1} = \text{clinker 1kg當 coal dust 使用量 (Kcal/kgcl.)}$$

$$H_{l1} = \text{coal dust의 heat calorific Value (Kcal/kg coal)}$$

b) C-oil의 燃燒熱 : Q_{a2}

$$Q_{a2} = W_{f2} \times H_{l2} = 0.0298 \times 9,450 = 282 \text{ (Kcal/kgcl.)}$$

$$W_{f2}: \text{clinker 1kg當 C-oil 使用量 (Kcal/kgcl.)}$$

$$H_{l2}: \text{C-oil heat calorific Value (Kcal/kg oil)}$$

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

1.2 fuel의 sensible heat: Q_b

a) coal dust sensible heat: Q_{b1}

$$Q_{b1} = W_{f1} \times C_{f1} \times (t_{f1} - t) = 0.105 \times 0.25 \times (30 - 20) = 0.262 \text{ (Kcal/kgcl.)}$$

$$C_{f1}: \text{coal dust의 Specific heat (Kcal/kg°C)}$$

$$t_{f1}: \text{Injection coal의 溫度}$$

b) C-oil의 sensible heat ; Q_{b2}

$$Q_{b2} = W_{f2} \times C_{f2} \times (t_{f2} - t) = 0.0298 \times 0.45 \times (120 - 20) = 1.341 \text{ (Kcal/kgcl.)}$$

$$C_{f2}: \text{C-oil의 specific heat (kcal/kg°C)}$$

$$t_{f2}: \text{C-oil의 溫度}$$

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

1.3 Raw meal의 Sensible heat : Q_c

a) dry raw meal의 sensible heat; Q_{c1}

$$Q_{c1} = W_m \times C_m \times (t_m - t) = 1.55 \times 0.2(30 - 20) = 3.1 \text{ (Kcal/kgcl.)}$$

$$W_m: \text{clinker 1kg當 dry raw meal 使用量 (Kcal/kgcl.)}$$

$$C_m: \text{Raw meal의 specific heat (Kcal/kg°C)}$$

$$t_m: \text{grate 入口의 原料溫度(°C)}$$

b) Raw meal中水分의 sensible heat; Q_{c2}

$$Q_{c2} = W_r \times (t_m - t) = 1.55 \times 0.125(30 - 20) = 1.9 \text{ (Kcal/kgcl.)}$$

W_r ; clinker 1kg當 原料中水分量 (kg)

$$Q_c = Q_{e1} + Q_{e2} = 5 (\text{Kcal/kgcl.})$$

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

2) Heat expenditure : Q_2

2.1 Clinker 燒成用熱 : Q_e

2.1.1 dry raw meal 을 900°C 까지 加熱하는데 所要되는 熱(Kcal) ; Q_{e1}

$$Q_{e1} = W_m \times C_m \times (900 - t) = 1 \times 0.234(900 - 20) = 206 (\text{Kcal/kgcl.})$$

W_m 을 1로 한것은 CaO 로된 原料가 그대로 Cl의 重量으로 된다고 看做 C_m 을 0.234로 한것은 CaO Rawmix 의 Specific heat 로 看做함

2.1.2 CaCO_3 , MgCO_3 및 Kaolin 分解에 必要한熱 : Q_{e2}

$$Q_{e2} = 400 \times (\text{CaCO}_3) + 280 \times (\text{MgCO}_3) + 223 \times (\text{Ka}) = 400 \times 0 + 280 \times 0 + 564 \times 0.0558 (\text{Al}_2\text{O}_3) \approx 31 (\text{Kcal/kgcl.})$$

2.1.3 CaO Raw meal 을 900°C 에서 1450°C 까지 加熱하는데 所要되는熱 : Q_{e3}

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

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

2.1.4 clinker 生成熱 : Q_{e4}

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

이 數値는 Nacken 의 文獻에서 求함.

2.1.5 900°C 에서 分解된 CO_2 및 水蒸氣의 顯熱

$$Q_{e5} = 187 \times (\text{CaO}) + 262 \times (\text{MgO}) + 159 \times (\text{Al}_2\text{O}_3) = 187 \times 0 + 262 \times 0 + 159 \times 0.058 = 9 (\text{Kcal/kgcl.})$$

2.1.6 1450°C 에서 clinker 保有顯熱 Q_{e6}

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

따라서 clinker 燒成用熱은

$$Q_e = Q_{e1} + Q_{e2} + Q_{e3} - Q_{e4} - Q_{e5} - Q_{e6} = 206 + 31 + 173 - 100 - 9 - 384 = -83 (\text{Kcal/kgcl.})$$

2.2 cooler 에 들러가는 clinker 顯熱 : Q_f

$$Q_f = C_k \times (t_{k1} - t) = 0.253 \times (1,320 - 20)$$

$$= 329 (\text{Kcal/kgcl.})$$

C_k : clinker 의 specific heat (Kcal/kg°C)

t_{k1} : cooler clinker 入口의 clinker 溫度 (°C)

2.3 clinker waste heat Q_g

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

C_k : 200°C clinker 의 specific heat (Kcal/kg°C)

t_{k2} : cooler 出口의 clinker 溫度 (°C)

2.4 cooler 冷却用 空氣가 冓이고 달아나는 熱 : Q_h

$$Q_h = A_3 \times C_A \times (t_3 - t) = 1,654 \times 0.311 \times (320 - 20) = 154 (\text{Kcal/kgcl.})$$

C_A : air 의 Specific heat (定壓) (Kcal/kg°C)

A_3 : cooler 剩餘空氣量 (Nm³/kgcl.)

t_3 : cooler 剩餘空氣의 排出溫度 (°C)

2.5 Raw meal 中 水分의 蒸發熱 : Q_i

$$Q_i = W_r \times r = 0 \times 585 = 0$$

r : 帶溫에서의 물의蒸發熱 (Kcal/kg H₂O)

$$r = 596 - 0.55t$$

2.6 Waste gas 에 依한 heat loss : Q_j

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

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

$$= \frac{22.4}{18} \times (0 + 0.02) \times 0.360 \times (110 - 20) \approx 0$$

W_{H_2O} : Kaolin에서 發生한 水蒸氣量 (kg)

$$W_{H_2O} = 0.353 \times \frac{(\text{Al}_2\text{O}_3)}{100} = 0.353$$

$$\times \frac{5.58}{100} = 0.02$$

C_{H_2O} : 水蒸氣의 Specific heat (Kcal/Nm³°C)

2.6.2 原料에서 發生한 CO_2 의 顯熱 : Q_{j2}

$$Q_{j2} = V_{CO_2} \times C_{CO_2} \times (t_g - t) = 0 \times 0.409$$

$$\times (110-20) = 0(\text{Kcal/kgcl})$$

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

V_{CO_2} : Clinker 1kg 當 原料에서 發生
한 CO_2 量 ($Nm^3/kgcl.$)

C_{CO_2} : 炭酸 gas 의 比熱

2.6.3 燃燒 gas 의 sensible heat : Q_{j3}

a) Coal dust 로부터

$$G_o = \frac{1.17HI}{1,000} + 0.05 = \frac{1.17 \times 5,799}{1,000}$$

$$+ 0.05 = 6,836(Nm^3/kg \text{ coal})$$

$$A_o = \frac{1.01HI}{1,000} + 0.5 = \frac{1.01 \times 5799}{1,000}$$

$$+ 0.5 = 6,358(Nm^3/kg \text{ coal})$$

$$Q_{j3} = [G_o \times C_g + A_o \times (m-1) \times C_A]$$

$$\times W_f \times (t_g - t)$$

$$= [6,836 \times 0.331 + 6,358(1,586-1)$$

$$\times 0.311] \times 0.105 \times (110-20)$$

$$= 32(\text{Kcal/kgcl.})$$

G_o : coal dust 1kg 當의 理論燃燒 gas
量 (Nm^3)

C_g : 燃燒 gas 의 比熱(Kcal/ $Nm^3 \circ C$)

A_o : coal dust 1kg 當의 理論空氣量
(Nm^3)

m : 空氣比

C_A : 空氣의 比熱(Kcal/ $Nm^3 \circ C$)

W_f : clinker 1kg 當 燃料使用量 (kg)

t_g : 排 gas 溫度 ($\circ C$)

b) C-oil 로부터

$$G_o = \frac{1.11HI}{1,000} + 0.04 = \frac{1.11 \times 9,450}{1,000}$$

$$+ 0.04 = 10,540(Nm^3/kg \text{ oil})$$

$$A_o = \frac{0.85HI}{1,000} + 2.0 = \frac{0.85 \times 9,450}{1,000}$$

$$+ 2.0 = 10,042(Nm^3/kg \text{ oil})$$

$$Q'_{j3} = [10.54 \times 0.329 + 10,042$$

$$(1,1586-1) \times 0.311] \times 0.0298$$

$$\times (110-20) = 14(\text{Kcal/kgcl.})$$

$$Q_{j3} = Q_{j3} + Q'_{j3} = 46(\text{Kcal/kgcl.})$$

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

2.7 dust 및 radiation 其他에 依한 heat

loss : Q_k

$$Q_k = 124(\text{Kcal/kgcl.})$$

Q_k : Lepol Kiln heat Balance 에 依한

$$Q_2 = Q_e + Q_g + Q_h + Q_i + Q_j + Q_k$$

$$= -83 + 24 + 154 + 0 + 65 + 124$$

$$= 284(\text{Kcal/kgcl.})$$

即 Lepol Kiln 에서 1kg clinker 當 898Kcal 所
要되는 것이 改良燒成法에서는 284Kcal 만으로 足
하다.

따라서 clinker 는 n 倍 增産할 수 있으나 Kiln
Size 가 커지는 것이 아닌故로 Radiation 等に 依
한 heat Loss Q_k 는 一定하다고 보면

$$n = Q_1 - Q_k / Q_2 - Q_k = 774 / 160 \approx 4.85$$

3. 考 察

Lepol Kiln 보다 改良燒成法에서는 4.85 倍의
clinker 를 生産할 수 있으며 當工場改修工事以後
68年10月施行한 Heat Balance data 로 計算한 結
果도 4.6 倍로 大同小異하였다. 石灰爐內의 石灰
石末分解等으로 因하여 原料原單位(W_m)가 1.1
이 되어도 4 倍는 增産할 수 있는 概算이 나온다.
Kiln 은 3 r.p.m 로 廻轉하며 實際 처음에는 3 倍 生
産에서 原料成型後 熱傳導改良等으로 6 倍까지 上
昇했다고 한다. 이 方式의 利點은 原料로서의 生
石灰의 粉碎性向上으로 電力費節減, 生産量上昇
으로 原價節減, 施設投資減少等을 생각할 수 있
겠으나 短點으로서는 石灰爐廻轉問題 即 通風條
件을 爲한 石灰石 크기 分類, 不良石灰石의 爐壁
附着에서 오는 運轉上的 問題, 燃料로서 Cokes 를
使用함으로 高價인點 廻轉爐를 轉用해도 clinker
보다 生産性向上 10% 程度 및 現在 重油專燒을
石灰爐에 使用하고 있기는 하나 問題點이 있으며
大型 Mill 出現後 意義가 減少한點 甞보다도 石
灰爐의 熱效率이 Rotary Kiln 보다 낮어 熱消費量
이 많은 點이 있다. Preheater 없는 Kiln 을 利用
하는 改良燒成法은 Waste gas 를 Waste heat b-
oiler 에 利用 自家發電으로 工場所要電力의 約
3分之1을 擔當하고 있다한다. 國內 Kiln 에도 原
料로서 生石灰를 添用한다면 生産性이 向上될 것
임으로 考慮해볼직하다.

參考 JIS R 0303 cement 工業用爐의 熱勘定方式
「洋灰工業」誌 1966年 10月號 Lepol Kiln의
Heat Balance (1969. 3. 4 接受)