

## 熱精算方式

洪 承 民\*

熱을取扱하는裝置나工場設備에供給되는熱量 및電力의熱當量과 그使用狀態와를檢討하여入熱과出熱과의關係를明確히하기 위해熱精算을行한다. 이것에 따라有効하게利用되는熱量과損失熱量の細目に 걸쳐檢討할수가 있기 때문에合理的인設計,改造,操業의指針으로 삼을수가 있다. 따라서熱效率改善을 위한熱管理方法의最善의科學的인根據가 될 수 있으며現狀分析의基礎가 되는 것이다.

### 1. 熱精算의 基準

#### 1. 基準을 定하는 方法

- (1) 基準溫度: 原則의으로 外氣溫度로 한다.
- (2) 發熱量: 設備種類에 따라 高發熱量 또는 低發熱量的 어느 것을 잡아도 좋다. 그러나 어느 것을 잡았음인지 明記한다.
- (3) 熱精算을 行하는 때: 定常狀態일때 또는 어떤 操作의 全工程 또는 그 工程內의 指示된 一部의 工程에서 잡는다.

(4) 單位: 裝置, 設備의 種類에 依하나 Kcal/kg 燃料 또는 Kcal/Nm<sup>3</sup> 燃料, Kcal/kg 製品, Kcal/t 製品 또는 Kcal/h 또는 Kcal/d 로 表示한다.

(5) 結果의 表示: 入熱, 出熱 및 循環熱의 3項目으로 한다. 入熱에는 設備의 外部로부터 들어가는 에너지(燃料의 發熱量, 豫熱에 의한 顯熱이나 電力을 包含한다) 및 設備內에서 發生한 熱(反應熱 狀態變化에 의한 潛熱 등)을 들고 出熱에는 設備로부터 外部에 나가는 에너지 및 設備

內에서 吸收된 反應熱과 그밖의 熱을 든다. 단 反應熱의 吸收와 發生이 間時에 또는 서로 계속하여 일어날때는 그들의 代數和를 갖고 入熱 또는 出熱에 넣을수가 있다. 循環熱에는 設備內部에서 循環이되는 熱을 든다.

#### 나. 測定事項

一般的으로 測定하는 것은

- (1) 使用燃料의 諸性狀
- (2) 燃料의 使用量
- (3) 空氣溫度(必要에 따라 氣壓 濕度등)
- (4) 燃燒生成物의 組成
- (5) 煙道가스의 溫度
- (6) 被熱物의 量 및 溫度
- (7) 未燃物의 量 및 組成
- (8) 被熱物의 化學變化의 有無

그 밖에 通氣, 燃燒狀況, 燃燒裝置名部의 溫度 등의 測定, 또한 이들의 名事項이 直接 測定되지 않는 量은 物質精算에 의한다. 以上은 一般測定事項이나 裝置에 따라 特別히 測定할 事項이 있다.

### 2. 熱精算方法

#### 가. 入熱

- (1) 燃料가 保有하는 熱量, 燃燒量과 顯熱로 나눈다.

燃燒熱 (發熱量) × (燃料量)

顯熱 (燃料의 比熱) × (溫度差) × (燃料量)

燃料量은 固體, 液體에 있어서는 Kg, 氣體燃料에서는 Nm<sup>3</sup>을 單位로 한다.

燃料의 比熱 Cp는 常溫付近에서는 大略 石炭 0.31 Kcal/kg/°C, 코크스 0.25Kcal/kg/°C, 重油 0.45Kcal/kg/°C, 都市가스 0.33Kcal/Nm<sup>3</sup>/°C

\* 正會員, 本報告書는 지난 1974년 5월 25일에 設置된 本學會 熱管理委員會 第三分科의 첫報告書임을 밝힙니다.

이다. 溫度差는 그것의 溫度와 基準溫度와의 差를 말한다.

(2) 燃燒用空氣의 顯熱(空氣의 比熱) × (溫度差) × (空氣量)

空氣의 比熱은 常溫에서는 0.31Kcal/Nm<sup>3</sup>/°C. 豫熱되고 있을 때는 比熱表에 依한다. 固體燃料의 1kg 中の 炭素分은 燃料 1kg 에서 생기는 타고 남은 재 속의 炭素分을 빼낸 것으로 計算한다. (Cr).

(3) 被差物이 갖고 있는 熱量(被熱物의 比熱) × (溫度差) × (被熱物量)

普通때는 被熱物의 顯熱들을 生覺하나 때에 따라서는 潛熱도 名해서 生覺할수도 있다. 이때에는 다음식의 計算值를 加한다.

(被熱物의 潛熱) × (被熱物量)

(4) 化學變化에 依한 出入熱量, 被熱物이 化學變化를 받고 熱의 發生 또는 吸收를 이르킬때는 그의 反應을 生覺할 必要가 있다.

나. 出熱

(1) 被熱物이 물고 나가는 熱量(被熱物의, 潛顯熱) × (被熱物量)

入熱의 (3)의 때와 같은 計算으로 한다. 단, 顯熱을 計算하는데는 被熱物을 들어내는 溫度와 基準溫度와의 사이의 平均比熱을 잡는다. 보일러 일때는 蒸氣表에 依하면 便利하다.

(2) 燃燒排가스가 물고 나가는 熱量. 乾排가스의 保有熱과 排가스中の 水蒸氣의 保有熱과의 和가 된다. 즉 濕潤燃燒가스의 顯熱이다.

(濕潤燃燒가스量) × (平均比熱) × (溫度差)

燃燒가스의 平均比熱은 가스 分析의 結果부터 比熱差에 依해 計算하지만 대개 0.33Kcal/Nm<sup>3</sup>/°C 로서 좋다.

(3) 燃燒生成水蒸氣의 潛熱量, 熱精算에 있어 高發熱量을 基準으로 했을때에 計算한다. 따라서 低發熱量基準일때는 不必要하게 된다.

(生成水蒸氣量) × (蒸發潛熱)

이 水蒸氣의 蒸發熱 600(水蒸氣量) Kcal/kg 또는 480Kcal/Nm<sup>3</sup> 을 使用한다.

(4) 不完全燃燒에 의한 損失熱量, 排가스中の

酸化炭素의 容量 %를 (CO)라 하면

$$(乾排가스量 Nm^3) \times \frac{(CO)}{100} \times 3035$$

排가스中에 水素나 메탄 등의 未燃分이 남아 있을때는 氣體燃料의 發熱量 計算法에 依해 算出한다.

만약 排가스中에 灰의 量이 定해 있을때는 그의 發熱量을 8100Kcal/kg 로하여 그의 保有熱을 이 損失熱에 加한다.

(5) 燃滓(재)中の 未燃炭素에 의한 損失熱 (燃滓中の 未燃炭素分) × 8100

燃滓中の 未燃炭素分은 燃料 1kg 中の 炭素灰分을 C, A[Kg], 燃滓 1kg 中の 炭素를 Ca[kg]라 고하면 燃料 1kg 부터 생기는 燃滓中の 炭素는  $\frac{CA}{1-Ca}$  [kg/kg] (燃料), 고로 이 損失熱은

$$8100 \times \frac{CA}{1-Ca} \times (燃料量)$$

(6) 放射, 傳導 등에 의한 損失熱, 위의 出熱合計과 入熱合計와의 差로한다.

특히 直接 測定하려 할때는 爐壁에 蓄積되는 熱과 爐壁부터 外部에 放散하는 熱로 나눈다.

爐壁에 蓄積되는 熱(爐壁의 重量) × (爐壁의 比熱) × (爐壁의 上昇溫度)

爐壁上昇溫度는 全히 冷却된 爐부터 作業할때는 爐內外의 平均溫度를 잡고 急冷 急熱을 反復하는 爐에서는 急熱時의 最高溫度의 內外壁의 平均溫度  $T_{m2}$  急冷時의 最低溫度의 內外壁의 平均溫度  $T_{m1}$  을 求하여  $(T_{m2} - T_{m1})$  을 爐壁 上昇溫度로 한다. 단, 이때는 爐壁의 實際의 溫度는 內外壁面의 平均溫度 보다 높은 것이 普通이며 이렇게 計算한 熱量의 30~40%으로 본다.

爐壁에서 外部에 放散하는 熱

$$\Sigma (h_c + h_r) \Delta t : F \text{ [Kcal/h]}$$

이 式에서는 壁面  $F[m^2]$ 에서 每時放散하는 熱量이 주어짐으로 이것을 所要 燃料量에 對한 熱量에 換算한다.

여기에  $h_c$ 는 對流傳達率을 표시하며

爐壁이 水平上向일때는  $2.8 \times \sqrt{\Delta t}$

煎壁이 垂直橫向일때는  $2.2 \times \sqrt{\Delta t}$

爐壁이 水平下向일때는  $1.5 \times \sqrt{\Delta t}$

또한  $h_r$ 는 放射傳熱係數로서

$$h_r = 4.88 \left[ \left( \frac{T_o}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_i}{100} \right)^4 \right] \times 0.8 / \Delta t$$

여기에  $T_o$ ,  $T_i$ 는 爐外壁溫度 및 室內溫度를 絶對溫度로 표시한 것으로서 그들의 差를  $\Delta t$ 로 하고  $F$ 로 爐壁의 面積 [ $m^2$ ]으로 한다. 또 爐壁의 內部的 溫度  $T_i$  [ $^{\circ}K$ ], 爐壁의 두께  $l$  [ $m$ ], 또한 熱傳導率  $\lambda$  [ $Kcal/m \cdot h \cdot ^{\circ}C$ ]를 알면 다음式에서도 求할 수 있다.

$$\frac{\lambda(T_o - T_i)}{l} \cdot F \text{ [Kcal/h]}$$

### 3. 物質精算方法

熱精算을 行할때는 各供給物質 또는 各生成物質의 量이 直接 測定되지 않을때가 있다. 이때에는 그들의 元素分析이나 가스分析 結果에서 物質精算을 하여 計算으로 求한다. 또한 熱精算의 精度를 올리기 위해서는 各其 成分에 關하여 物質精算을 할 必要가 있다. 物質精算은 供給物質中的  $C, H, O, N$  등의 各元素의 어느 것인가가 生成物質中에 어떻게 分配되어 있는가를 重量의 으로 精算하는 것으로서 質量保存의 法則에 基礎한다.

#### 가. 炭素精算

(1) 固體, 液體中에 있는 炭素量, 原料 1kg에 대하여  $x$  [kg]의 物質이 주어져서 그중의 炭素分이  $k$  [%]라고 하면 그의 炭素量  $C$ 는

$$C = xk/100 \text{ [kg]}$$

(2) 氣體中에 있는 炭素量, 原料 1kg에 대하여  $V_L$  [ $Nm^3$ ]의 氣體가 生져 그속에 炭素를 包含한 組成 [%]이  $CO_2, CO, CH_4, C_2H_4$  라하면 이 氣體中에 含有된 炭素量  $C$ 는

$$C = \frac{12}{22.4} \times \frac{V_L}{100} [(CO_2) + (CO) + (CH_4) + 2(C_2H_4)] \text{ [kg]}$$

(1)에 있어서  $C$ 와  $k$ 를 알게되면  $x$ 를 求할 수 있다. 또 (2)에서 氣體의 組成과  $C$ 를 알면  $V_L$ 가 計算된다.

#### 나. 水素精算

(1) 固體, 液體中에 있는 水素量, 原料 1kg에 대하여  $y$  [kg]의 物質이 生成되어 그 中の 水素分

이  $h$  [%]라고하면 그의 水素量  $H$ 는

$$H = yh/100 \text{ [kg]}$$

(2) 氣體中에 있는 水素量, 原料 1kg에 대하여  $V_g$  [ $Nm^3$ ]의 氣體가 生져 그중에 水素를 含有한 組成 [%]이 各其  $H_2, CH_4, C_2H_2$  라고 하면 그의 水素量  $H$ 는

$$H = \frac{2}{22.4} \times \frac{V_g}{100} [(H_2) + 2(CH_4) + 2(C_2H_4)] \text{ [kg]}$$

(3) 물 및 水蒸氣中에 있는 水素量  $H$ 는

$$H = \frac{2}{18} W \text{ [kg]}$$

단,  $W$ 는 原料 1kg에 의해 生成된 물 또는 水蒸氣量 [kg]이다.

#### 다. 酸素精算

(1) 固體, 液體中에 있는 酸素量, 原料 1kg에 대하여  $z$  [kg]의 物質이 生成되어 그중의 酸素分이  $u$  [%]라고하면 그의 酸素量  $O$ 는

$$O = zu/100 \text{ [kg]}$$

(2) 氣體中에 있는 酸素量, 原料 1kg에 대하여  $V_g$  [ $Nm^3$ ]의 氣體가 生져 그중 酸素를 包含한 組成 [%]가  $CO_2, O_2, CO$  라고 하면 그의 酸素量  $O$ 는

$$O = \frac{32}{22.4} \times \frac{V_g}{100} [(CO_2) + (O_2) + 0.5(CO)] \text{ [kg]}$$

(3) 물 및 水蒸氣中에 있는 酸素量

$$O = \frac{16}{18} \cdot W \text{ [kg]}$$

## 4. 보일러 熱精算 (例)

### 4. 1 熱精算基準

燃料의 成分은 一部 元素分析을 하고 陸用蒸氣 보일러의 成能試驗方法(KS B 6205)에 따라 아래와 같이 計算하였다.

가. 熱精算은 使用時의 燃料 1kg 當

나. 發熱量은 使用時의 燃料의 眞發熱量

다. 熱精算의 基準溫度는 外氣溫度(室外)

#### 4. 2 計測條件概要

試驗보일러型式, 3패스爐筒煙管罐(誘引通風)  
 傳熱面積=114 m<sup>2</sup>  
 計測日時 1967年 12月 5日  
 計測時間 13時 5分~15時5分(2時間)  
 日 氣 맑음  
 外氣溫度 13.7°C  
 室內溫度 25.5°C(보일러室)  
 使用燃料 第2種(B重油)  
 計測點 煙道담파後 3.4 m(가스分析, 가스溫  
 度, 드라후드, 다스드量等 同一點)

#### 4. 3 計測值

燃 料  
 分析值(%) 水分=0.05以下, 水素=11.87,  
 硫黃=2.36, 炭素=85.22  
 粘度(cst, 50°C)=23.39  
 比重(15/4°C)=0.9144  
 總發熱量(Kcal/kg)=10,530 (H<sub>k</sub>)  
 眞發熱量(Kcal/kg)=9,889 (H<sub>i</sub>)  
 $H_i = H_k - 600(9h + W)$   
 $= 10,530 - 600(9 \times 0.1186 + 0.0005)$   
 $= 9,889$   
 總使用量(I)=331.9(14°C)  
 豫熱溫度(°C, 바-너앞)=53.1  
 豫熱溫度(°C 매-다)=14.0  
 溫度에 의한 補正比重(14°C)에 있어서 K의 值  
 는 다음 計算式에서 算出한다.  
 $K = 1.000 - 0.00071(14 - 15)$   
 $= 1.00071$   
 補正總使用量 331.9 × 0.915 = 303.7 kg(14°C)  
 每時使用量 303.7 ÷ 2 = 151.9 kg/h  
 注\*: 重油의 比重補正係數는 1°C 當 大略  
 0.00066임으로 14°C의 比重은 0.00066만큼 15°C  
 일때의 比重(=0.9144) 보다 무겁다. 故로 14°C  
 의 比重=0.915

이 數值를 記憶해 두면 便利하다.

給 水

總給水量(l) 3,735.0  
 給水溫度(°C) 14.2  
 14.2°C 에 있어서의 물의 比重 0.9992  
 補正總使用量=3,735 × 0.992 = 3,732 kg  
 每時給水量=3,732 ÷ 2 = 1,866 kg/h  
 排가스成分(%)  
 CO<sub>2</sub>=10.8, CO=0.41, O<sub>2</sub>=5.1, N<sub>2</sub>=83.69  
 排가스溫度(°C)=256  
 보일러壓力(kg/cm<sup>2</sup>)=6.8(게이지壓)  
 보일러室 溫度, 濕度  
 乾球溫度=25.5°C, 濕球溫度 14.7°C,  
 相對濕度 26.3(%)  
 火炎溫度(°C)=1,438  
 蒸氣乾度(%)=98.8(實測)

蒸氣乾度를 實測하지 않을 때는 放射水管罐 같  
 은 것=98%, 란카샤, 코루넛슈罐 같은 것=97%  
 의 概略值로 한다.

드라후드(平均水柱 mm)=-8

媒煙濃度(린게우만平均)=0~0.5

#### 4. 4 計算式

入熱(燃料 1 kg 當)

- ① 燃料의 發熱量 9,889 Kcal/kg 燃
- ② 燃料의 顯熱 17.73 Kcal/kg 燃  
 重油의 比重 × 重量 × (바-너前溫度 - 外氣溫度)  
 $0.45 \times 1(53.1 - 13.7) = 17.73 \text{ Kcal/kg 燃}$
- ③ 給水의 顯熱 6.14 Kcal/kg/kg 燃  
 重油 1 kg 當의 給水量 = 12.28 kg/kg 燃  
 물의 比熱 = 1 Kcal/kg  
 給水溫度(보일러入口) = 14.2°C  
 外氣溫度(室外, 보일러室은 아님) = 13.7°C  
 故로  $12.28 \times 1 \times (14.2 - 13.7) = 6.14 \text{ Kcal/kg 燃}$
- ④ 燃空氣의 顯熱 48.80 Kcal/kg 燃  
 $A_s \times \text{空氣比} \times \text{空氣의 容積平均比熱}$   
 $\times (\text{室溫} - \text{外氣溫度})$   
 理論空氣量 A<sub>s</sub>는 重油일때

$$A_0 = 0.85 \times \frac{H_i}{1,000} + 2.0 \text{ Nm}^3/\text{kg 燃}$$

$$= 0.85 \times \frac{9,889}{1,000} + 2.0 = 10,406 \text{ Nm}^3/\text{kg 燃}$$

空氣比  $m$  는 가스分析值부터 算出

$$m = \frac{N^2}{(N_2 - 3.76_1(O_2) - 0.5(CO))}$$

$$= \frac{83.69}{83.69 - 3.76\{(5.1) - 0.5(0.41)\}} = 1.282$$

故로  $10,406 \times 1.282 \times 0.31(25.5 - 13.7)$

$$= 48.80 \text{ Kcal/kg 燃}$$

入熱 = ① + ② + ③ + ④

$$= 9,889 + 17.73 + 6.14 + 10,406 = 9,961.67 \text{ Kcal}$$

出熱(燃料 1 kg 當)

⑤ 發生蒸氣의 保有熱 7,874.06 Kcal 燃

燃料 1 kg 當 給水量  $\times$  (蒸氣엔탈피 - 外氣溫度)

發生蒸氣의 엔탈피  $i$  는

$$\text{게이지壓 } 6.8 \text{ kg/cm}^2 = 7.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ 絶對}$$

$$= 660.8 \text{ Kcal/kg}$$

蒸發潛熱  $r = 490.6 \text{ Kcal/kg}$

蒸發의 乾度 = 98.8

$$i = 660.8 - \{(1 - 0.988) \times 490.6\}$$

$$= 654.91 \text{ Kcal/kg}$$

故로  $12.28 \times (654.91 - 13.7)$

$$= 7,874.06 \text{ Kcal/kg 燃}$$

⑥ 排가스의 保有熱 1,005.96 Kcal/kg 燃

乾排가스量  $\times$  乾排가스比熱) 排가스溫度 - 外溫)

乾排가스量 = 理論排가스量(空氣比 - 1)  $\times A_0$ .

- 生成水蒸氣量

$$\text{理論排가스量}(G_0) = \frac{1.11 \times H_i}{1,000} \text{ Nm}^3/\text{kg 燃}$$

$$= \frac{1.11 \times 9,988.9}{1,000} = 10,977 \text{ Nm}^3/\text{kg 燃}$$

$$\text{生成蒸氣量} = \frac{22.4}{18} \left( \frac{9 \times h + \text{水分}}{100} \right) \text{ Nm}^3/\text{kg 燃}$$

$$= \frac{22.4}{18} \left( \frac{9 \times 11.87 + 0.05}{100} \right)$$

$$= 1.33 \text{ Nm}^3/\text{kg 燃}$$

乾排가스量 =  $10,977 + (1,282 - 1) \times 10,406$

$$- 1.33 = 10,977 + 2,934 - 1.33$$

$$= 12,581 \text{ Nm}^3/\text{kg 燃}$$

故로  $12,581 \times 0.33(25.5 - 13.7)$

$$= 1,005.96 \text{ Kcal/kg 燃}$$

⑦ 排가스中の 水蒸氣의 保有熱 116.56 Kcal/kg

排가스中の 水蒸氣重量蒸氣平氣比熱

= (排가스溫度 - 外氣溫度)

$$\text{水蒸氣重量} = \frac{9h + \text{水分}}{100} = \frac{9 \times 11.87 + 0.05}{100}$$

$$= 1.069 \text{ kg/kg 燃}$$

故로  $1.069 \times 0.45(25.5 - 13.7) = 116.56$

⑧ 不完全燃燒가스(CO)에 의한 損失熱

157.33 Kcal/kg 燃

$$\text{乾排가스量} \times \frac{\text{CO}\%}{100} \times 3,050 \text{ Kcal/kg 燃}$$

$$\text{故로 } 12,581 \times \frac{0.41}{100} \times 3,050 = 157.33$$

⑨ 放熱 기타에 의한 損失熱 87.76 Kcal/kg 燃

$$\{① + ② + ③ + ④\} - \{⑤ + ⑥ + ⑦ + ⑧\}$$

$$= 9,961.67 - 9,153.91 = 870.76$$

#### 4. 5 性能值

가. 每時換算蒸發量

$$\frac{\text{每時給水量} \times (\text{發生蒸氣엔탈피} - \text{給水溫度})}{538.8}$$

$$= \frac{1,866 \times (654.91 - 14.2)}{538.8} = 2,218.9 \text{ kg/h}$$

나. 보일러保熱面換算蒸發率

$$\frac{2,218.9}{114} = 19.5 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

다. 보일러傳熱面負荷

$$(9,886 \times 151.9) \div 114 = 13,172.6 \text{ Kcal/m}^2\text{/m}^2\text{h}$$

라. 燃燒室熱發生率, Kcal/m<sup>3</sup>h

$$\frac{\text{每時重油使用量(kg)} \times (H_i + \text{重油의 顯熱})}{\text{燃燒室容積(m}^3\text{)}}$$

마. 보일러效率

$$\frac{\text{每時換算蒸發量} \times 538.8}{\text{重油每時使用量} \times H_i} \times 100(\%)$$

$$= \frac{2,218.9 \times 538.8}{151.9 \times 9,889} \times 100 = 79.59(\%)$$

바. 보일러負荷率

$$\frac{\text{每時換算蒸發量}}{\text{每時最大蒸發量}} = \frac{2,218.9}{3,000} \times 100 = 73.96(\%)$$

사. 바너負荷率

$$= \frac{166}{227} \times 100 = 73.13(\%)$$

$$\frac{\text{每時燃燒量}}{\text{每時最大燃燒量}} = \frac{151.9 \div 0.915}{227} \times 100$$

6. 熱精算表(發熱量, 外氣溫度基準, 燃料 1kg當)

項 目	入 熱		出 熱	
	Kcal/kg	%	Kcal/kg	%
① 燃料의 發熱量	9,889.00	99.27	—	—
② 燃料의 顯熱	17.73	0.18	—	—
③ 給水의 顯熱	6.14	0.06	—	—
④ 空氣의 顯熱	48.80	0.49	—	—
⑤ 發生蒸氣의 保有熱	—	—	7,874.06	79.04
⑥ 乾排가스의 保有熱	—	—	1,005.96	10.10
⑦ 排가스中の 水蒸氣의 保有熱	—	—	16.556	1.17
⑧ 不完全燃燥가스에 의한 損失熱	—	—	157.33	1.58
⑨ 放射, 傳熱 기타에 의한 損失熱	—	—	807.76	8.11
合 計	9,961.67	100.00	9,961.67	100.00

(熱管理委員會 第3分科 提供)