

術技論叢

韓國無煙炭의特性

—發熱量計算과 分析數値의

適用에 關하여—

大韓石炭公社

技術研究所 所長 宋 泰 潤

1. 緒 言

燃料의 發熱量은 發熱量 測定裝置로서 直接 精密하게 測定하여 決定하는 것이 原則이다. 그러나 裝置를 갖고 있지 않을때나 同一炭種 特히 產地가 같은 同一炭種을 恒常 多數件 分析할때는 迅速을 要한다. 또 直接 測定할 時間的 餘裕가 없을때나 概略的인 近似值를 알고자 할때等 여러가지 境遇에는 分析數値로부터 計算式에 依하여 算出하게 되는 때도 많다. 特히 規模가 적어서 熱量計를 갖고 있지 않은 事業所의 現場에서나 煉炭工場等에서는 恒常 取扱하는 同一炭種에 對하여 隨時로 그 發熱量을 把握하고자 할때 簡單한 工業分析 數値로서 發熱量을 算出하는 것이 必要하다.

一般的으로 固體燃料의 發熱量計算式은 元素分析 또는 工業分析 結果로서 誘導되나 計算式으로서 具備하여야 할 條件은

가. 實測值에 될수 있는대로 接近된 값을 주는 計算式일것.

나. 可能한 限 簡單할것.

다. 變數가 적을것

라. 適用範圍가 넓을것.

等이다. 計算式은 過去 여러사람에 依하여 各各의 實驗結果로서 發表된 것이 많으나 우리는 韓國無煙炭에 適合한것, 範圍를 좁혀서 各炭田, 各炭礦, 甚至於는 各坑에 適合한 計算式을 誘導活用하여야 할 것이다. 그래서 여기에서는 이러한 計算式을 誘導하는데 考慮할 몇 가지 點과 石公炭에 對한 몇가지 試案을 提示하고자 한다.

2. 計算式의 樣式

가. 工業分析 結果에서

工業分析 結果는 水分, 灰分, 揮發分, 固定炭素의 4成分으로 表示되는 故로 이 4成分이 總發熱量에 미치는 影響은 두말 할 것도 없이 水分과 灰분이 많으면 發熱量이 적어지고 可燃成分인 揮發分과 固定炭素가 많으면 發熱量도 높아진다. 但 水分은 乾式基準에 있어서는 影響을 주지 않을 것이다. 總發熱量을 H_g kcal/Kg, 水分을 $W\%$, 灰分을 $A\%$, 揮發分을 $V\%$, 固定炭素를 $C\%$, 係數를 f , 恒數를 K 로 表示하면 다음의 몇가지 樣式의 計算式이 成立될 수 있을 것이다.

(1) 灰分에 依한 式

$$H_g = f(100 - A') + K \left(A' = \frac{A}{100 - W} \times 100 \right) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

(2) 水分, 灰分에 依한 式

$$H_g = f \{ 100 - (W + A) \} + K \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

(3) 揮發分, 固定炭素에 依한 式

$$H_g = f_1 C + f_2 V + K \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

$$H_g = f_1 C' + f_2 V' + K \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

$$\left(C' = \frac{C}{100 - W} \times 100 \quad V' = \frac{V}{100 - W} \times 100 \right)$$

(4) 水分, 揮發分, 固定炭素에 依한 式

$$H_g = f_1 W + f_2 V + f_3 C + K \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

이 中에서 ①式은 ②式의 變形으로서 가장 簡單한 式이며 널리 適用되고 있다. ②式은 $H_g = f(C + V) + K$ 로 變形할 수 있으며 ③式의 f_1 과 f_2 가 같은 境遇의 式이다. ④~⑤式은 보다 正確한 計算值를 주나 ①式과 ②式이 工業分析數值로서 水分, 灰分만 要求함에 比하여 工業分析의 4成分에 對한 分析值를 全部 要求하는 不便이 있다. 그러나 ①, ②式은 水分, 灰分이 發熱反應에 關與하지 않고 可燃成分의 發熱量이 恒常 一定하다는 假定에서 出發한 것인데

可燃成分인揮發分, 固定炭素의 發熱量은 반드시 一定하지 않으므로
이에서 오는 誤差를 輕視할 수 없을 것이다.

나. 元素分析 結果에서

元素分析의 結果에서 發熱量을 計算함에는 各 可燃成分의 含量에
그 發熱量을 乘한 代數和로서 求한다. 여기에서 問題가 될것은
酸素의 狀態이며 酸素含有量이 많은 燃料는 그 結合狀態에 따라
發熱量에 相當한 差異를 招來한다. 元素分析 結果에 依한 計算式
은 이 酸素結合의 狀態를 考慮하는 觀點에 따라 여러가지 式이
賦與될 것이다 元素分析 結果의 炭素를 C%, 水素를 H%, 酸
素를 O%, 黃을 S%, 窒素를 N%, 總發熱量을 Hg kcal/Kg,
係數를 f로 表示하면 다음과 같이 여섯가지 形態의 式이 考慮된다

(1) 酸素와 窒素를 無視한 式

$$Hg = f_1 C + f_2 H + f_3 S \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

(2) 酸素가 H₂O로 된다고 假定한 式

$$Hg = f_1 C + f_2 \left(H - \frac{O}{8} \right) + f_3 S \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

⑦式에서 窒素를 考慮한 式

$$Hg = f_1 C + f_2 \left(H - \frac{O+N}{8} \right) + f_3 S \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

(3) 酸素가 CO₂로 된다고 假定한 式

$$Hg = f_1 \left(C - \frac{3}{8} O \right) + f_2 H + f_3 S \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

$$Hg = f_1 \left(C - \frac{3}{4} O \right) + f_2 H + f_3 S + f_4 \frac{3}{4} O \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

(4) 酸素가 H₂O와 CO₂로 된다고 假定한 式

$$Hg = f_1 \left(C - \frac{3}{16} O \right) + f_2 \left(H - \frac{O}{16} \right) + f_3 S \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

$$Hg = f_1 \left(C - \frac{3}{8} O \right) + f_2 \frac{3}{8} O + f_3 \left(H - \frac{O}{16} \right) + f_4 S \dots \dots \textcircled{12}$$

(5) 燃燒所要酸素量부터 求하는 式

$$Hg = (f_1 H + K) \left\{ \frac{C}{3} + H - \left(\frac{O-S}{8} \right) \right\} \dots \dots \dots \textcircled{13}$$

3. 従来の各種 計算式

가. 工業分析 結果에 依한 計算式

Lenoble 氏는 純炭의 發熱量이 一定하다는 假定下에 固體燃料의 發熱量에 影響을 주는 要素를 不燃成分인 水分과 灰分이라고 看做하여 다음 式을 發表하였다.

$$Hg = 87.4 \{ 100 - (A+W) \} \text{ kcal/Kg} \dots\dots\dots ⑭$$

그리고 新井氏는 石炭中の 水分量과 純炭의 發熱量 사이에는 水分이 많은 石炭일수록 純炭의 發熱量이 水分含有量에 反比例하여 低下하는 傾向이 있다는 實驗的 結論을 얻고 水分 0%의 純炭 發熱量을 8,900 Kcal/Kg로 假定하여 다음 式을 誘導하였다.

$$Hg = 88 - 2W' \{ 100 - (A+W) \} \text{ Kcal/Kg} \dots\dots\dots ⑮$$

$$\text{但 } W' = \left(\frac{W}{100-A} \right) \times 100$$

新井氏는 이式 外에 코크스, 木炭, 木材, 煉炭에 對한 計算式을 各各 다음과 같이 주고 있다.

$$\text{코크스 } Hg = 81 \{ 100 - (A+W) \} \text{ Kcal/Kg} \dots\dots\dots ⑯$$

$$\text{木炭 } Hg = 80 \{ 100 - (A+W) \} \text{ Kcal/Kg} \dots\dots\dots ⑰$$

$$\text{木材 } Hg = 50 \{ 100 - (A+W) \} \text{ Kcal/Kg} \dots\dots\dots ⑱$$

$$\text{煉炭 } Hg = 80.5 \{ 100 - (A+W) \} \text{ Kcal/Kg} \dots\dots\dots ⑲$$

Lategen 氏는 Witbank 地方의 Transbaal 炭에 對하여 灰分과 發熱量의 關係를 求하여 灰分 0%의 發熱量을 15,600 B.T.U/LB. 灰分 84%의 發熱量을 0. B.T.U/LB로 하여 다음 式을 提案하였다.

$$Hg = \frac{15,600}{84} (84 - A') = 168 (84 - A') \text{ B.T.U/LB} \dots\dots\dots ㉑$$

$$\text{但 } A' = \frac{A}{100-W}$$

Whitaker 氏는 Nottinghamshire 와 Derbyshire 炭에 對하여 灰分 0%의 發熱量을 14,500 B.T.U/LB로 하여 다음 式을

提案하였다.

$$Hg = 145 \left(100 - \frac{100}{87} A' \right) \text{ B.T.U/LB} \dots \dots \dots \textcircled{21}$$

또한 Goutal氏는 石炭試料 600種에 대하여 發熱量, 揮發分, 固定炭素를 測定하여 各各의 比率로서 다음 式을 發表하였다.

$$Hg = 820 + aV \text{ Kcal/Kg} \dots \dots \dots \textcircled{22}$$

a는 純炭分の 揮發分 V'의 函數이다. 그리고 小南氏는 日本炭 73種을 試驗하여 다음 式을 算出하였다.

$$Hg = \frac{1}{100} (8,100C + 7,640V) \text{ Kcal/Kg} \dots \dots \dots \textcircled{23}$$

但 7,640은 揮發分에 對한 實驗發熱量의 平均値이다.

한편 香坂氏는 113個의 分析結果로서 新井式을 再檢討하여 다음의 修正式을 提出하였다.

$$Hg = 810 + (96 - \alpha W)(V + W) \dots \dots \dots \textcircled{24}$$

α 는 試料石炭의 水分量(W)에 關係하는 係數로서 다음의 두가지 값을 가진다.

$$W < 5.0 \dots \dots \dots \alpha = 6.5$$

$$W \geq 5.0 \dots \dots \dots \alpha = 5.0$$

中村氏는 Goutal式이 揮發分이 많으면 適用하기 困難하고 또한 同一 揮發分이라도 粘結性에 따라 發熱량이 달라짐을 말하며 많은 實驗 結果로서 다음과 같이 修正하였다.

$$Hg = 780 + a(V - 0.1A) \text{ Kcal/Kg} \dots \dots \dots \textcircled{25}$$

7,800은 實驗的으로 求한 固定炭素의 發熱量이고 0,1의 係數는 灰分中 吸熱反應에 關與한다고 看做되는 成分의 量이며 實驗的으로 求하여진 것이다. 係數 a는 實驗的으로 求한 揮發分의 發熱量이며 無灰基準의 揮發分과 粘結性의 函數로 된다.

또한 毛塚氏는 滿洲炭에 對하여 從來의 計算式의 長點과 欠點을 考察하여 다음 式을 發表하였다.

$$H_g = 810 + \sqrt{30(V - 3 - 0.1A) \times 100 - \frac{200}{3}W} \text{ Kcal/Kg.} \text{ ㉔}$$

新井氏は 黒褐炭, 褐炭, 亜炭, 無煙炭의 計算式으로서 다음 式을 提出하였다.

黒褐炭 $H_g = 810 + V(86 - 2W) \text{ Kcal/Kg.} \dots \dots \dots \text{ ㉕}$

褐炭, 亜炭 $H_g = 810 + V(76 - 0.7W) \text{ Kcal/Kg.} \dots \dots \dots \text{ ㉖}$

無煙炭 $H_g = 86.7C + 61.4V \text{ Kcal/Kg.} \dots \dots \dots \text{ ㉗}$

나. 元素分析 結果에 依한 計算式

燃料의 發熱量은 單只 含有하는 可燃成分의 燃燒熱의 和로 看做하여 發表된 式은 다음과 같다.

Scheuren - Kestner 와 Meunier 의 式

$$H_g = \frac{1}{100} (8,100C + 34,250H + 2,250S) \text{ Kcal/Kg.} \text{ ㉘}$$

Kerl 의 式

$$H_e = \frac{1}{100} \{ 8,100C + 34,250H - 600(W + 9H) \} \text{ Kcal/Kg.} \dots \dots \text{ ㉙}$$

(但 H_e는 眞發熱量)

Ferrni 의 式

$$H_e = \frac{1}{100} \{ 8,100C + 34,500H - 540(W + 9H) \} \text{ Kcal/Kg.} \dots \dots \text{ ㉚}$$

石炭中の 酸素의 存在을 無視한 以上の 式은 實測值보다 높은 結果를 나타내며 不正確性을 謀免할 수 없다.

다른 Dulong 氏는 固體燃料中の 酸素는 모두 水素와 化合하여 물의 形態로 存在함으로써 酸素의 1/8에 該當하는 水素는 發熱反應에 關与하지 않은 것으로 看做하여 다음 式을 提出하였다.

$$H_g = \frac{1}{100} \{ 8,080C + 34,500(H - \frac{O}{8}) \} \text{ Kcal/Kg.} \dots \dots \dots \text{ ㉛}$$

또한 燃燒中の 黃도 燃燒하는 것으로 認定하여

$$H_g = \frac{1}{100} \{ 8,100C + 34,000(H - \frac{O}{8}) + 2,500S \} \text{ Kcal/Kg.} \dots \dots \text{ ㉜}$$

$$He = \frac{1}{100} \left\{ 8,100C + 28,600 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2,500S \right\} \text{ Kcal/Kg.} \dots \textcircled{35}$$

로 하였으나 実測値와 比較하면 多少 높은 값을 나타 내므로 이것은 石炭中の 水分 또는 燃燒生成水分이 石炭의 發熱을 阻害하는 것으로 看做하였다.

水分의 蒸發熱을 以上の 計算値에서 減함으로써 比較的 実測値에 近似한 값이 되었으므로 다음의 여러 變形式이 提出되었다.

Schwackhofer의 式

$$He = \frac{1}{100} \left\{ 8,080C + 34,462 \left(H - \frac{O}{8} \right) - 637(W + 9H) \right\} \text{ Kcal/Kg.} \dots \textcircled{36}$$

Balling의 式

$$He = \frac{1}{100} \left\{ 8,080C + 34,462 \left(H - \frac{O}{8} \right) - 652(W + 9H) \right\} \text{ Kcal/Kg.} \dots \textcircled{37}$$

Verband의 式

$$He = \frac{1}{100} \left\{ 8,100C + 29,000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2,500S - 600W \right\} \text{ Kcal/Kg.} \dots \textcircled{38}$$

獨逸工業協會의 式

$$He = \frac{1}{100} \left\{ 8,100C + 34,000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2,200S \right\} \text{ Kcal/Kg.} \dots \textcircled{39}$$

$$He = \frac{1}{100} \left\{ 8,100C + 28,560 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2,200S - 600W \right\} \text{ Kcal/Kg.} \textcircled{40}$$

Bunte의 式

$$He = \frac{1}{100} \left\{ 8,100C + 29,000 \left(H - \frac{O+N}{8} \right) + 2,500S - 600W \right\} \text{ Kcal/Kg.} \textcircled{41}$$

以上の 式에서는 有効水素에 對하여 $\left(H - \frac{O}{8} \right)$ 또는 $\left(H - \frac{O+H}{8} \right)$ 를 使用하고 있다. 特히 Verbanel의 式은 後에 $H - \frac{O+H}{8}$ 로 修正되었다. 이것은 Künle氏가 獨逸工業協會의 式에 對하여 두가지를 比較한 結果 窒素量을 考慮하여야 함을 強調한 까닭이다.

Fischer氏는 石炭中の 酸素는 全部 炭素와 化合하여 二酸化炭素

로 되어 存在하는 것으로 看倣하여 다음의 式을 發表하였다.

$$Hg = \frac{1}{100} \left(8,100 \left(C - \frac{3}{8} O \right) + 34,250 H + 2,250 S \right) \text{Kcal/Kg.} \dots \text{㉓}$$

Scheurer 氏 등은 그後 酸素는 모두 一酸化炭素의 形態로 있는 것으로 생각하여 炭素에 그만큼의 補正을 하였다.

$$Hg = \frac{1}{100} \left(8,100 \left(C - \frac{3}{4} O \right) + 34,250 H + 2,250 S + 5,700 \frac{3}{4} O \right) \text{Kcal/Kg.} \dots \text{㉔}$$

Streche 氏와 Lant 氏는 固體燃料中の 酸素는 그 半이 炭素와 化合하여 炭酸개스로 있고 나머지 半은 水素와 化合하여 물로 되어 있다고 假定하여 다음 式을 誘導하였다.

$$Hg = \frac{1}{100} \left(8,137 \left(C - \frac{3}{16} O \right) + 34,220 \left(H - \frac{O}{16} \right) + 2,500 S \right) \text{Kcal/Kg.} \text{㉕}$$

Steuer 氏는 石炭의 構造上 酸素는 OH基와 CO基의 形態로 있다고 하여 그것은 不明이나마 酸素의 析半式이 두가지 形態로 있는 것으로 假定하고 또한 CO基의 燃燒熱은 一酸化炭素의 그것과 같은 값이라고 생각하여 다음 式을 發表하였다.

$$Hg = \frac{1}{100} \left(8,100 \left(C - \frac{3}{8} O \right) + 5,700 \times \frac{3}{8} O + 34,500 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2,500 S \right) \text{Kcal/Kg.} \dots \text{㉖}$$

以上の 各式은 燃料의 構造로부터 理論적으로 推論하여 誘導한 計算式이나 Mahler 氏 등은 元素分析 結果와 実測發熱量을 比較하여 酸素의 影響을 實驗적으로 求하여 計算式을 다음과 같이 決定하였다.

Mahler 의 式

$$Hg = \frac{1}{100} \left(8,100 C + 34,500 H - 3,000 (O + N) \right) \text{Kcal/Kg.} \dots \text{㉗}$$

Dulong 의 式

$$Hg = \frac{1}{100} \left(8,100 C + 34,500 H - 4,312 (O + N - 1) \right) \text{Kcal/Kg.} \dots \text{㉘}$$

Mendelzeff의 式

$$Hg = \frac{1}{100} (8,100C + 30,000H + 2,600(S-O)) \text{ Kcal/Kg.} \dots \text{ ㉔}$$

Langclon의 式

$$Hg = \frac{1}{100} (8,100C + 27,000H + 2,500(S-O)) \text{ Kcal/Kg.} \dots \text{ ㉕}$$

Vondra'cek의 式

$$Hg = (78.6 + 2.8^4 \sqrt{100-C'})C + 270(H - \frac{1}{10}O) + 25S \text{ Kcal/Kg.} \dots \text{ ㉖}$$

Vondra'cek의 式中 C'는 純炭中の 炭素%로서 이것이 45~90%의 範圍이면 다음과 같이 簡易해 진다.

$$Hg = (89.1 - 0.062C')C + 270(H - \frac{1}{10}O) + 25S \text{ Kcal/Kg.} \dots \text{ ㉗}$$

특히 木炭에 適用할 計算式으로서 다음과 같은 式을 Nikitin氏가 提案하고있다

$$Hg = \frac{1}{100} (8,051C + 27,340H) \text{ Kcal/Kg.} \dots \text{ ㉘}$$

Grumell氏는 發熱量과 完全燃燒에 必要한 酸素의 量이 比例된다는 事實에 立脚하여 다음 實驗式을 發表하였다.

Grumell의 式

$$HG = (3,635H + 235.9) \left\{ \frac{C}{3} + H - \left(\frac{O-S}{8} \right) \right\} \text{ Kcal/Kg.} \dots \text{ ㉙}$$

4. 石公傘下 無煙炭에 對한 從來計算式의 適用比較

우리나라에 있어서는 石炭의 分析結果를 現在까지 거의 다 工業分析 結果로서 表示하고 있어서 元素分析 結果에 依한 發熱量 計算式을 適用比較할 資料가 없으므로 여기에서는 主로 工業分析結果에 依한 計算式을 適用比較하여 보기로 한다. 工業分析은 元素分析에 比해 操作上 훨씬 簡便할뿐만 아니라 揮發分이 固定炭素에

比해 顯爾히 적은 即 燃料比가 大端히 큰 無煙炭에는 工業分析 結果를 適用하여도 充分히 目的을 이룰 수 있다고 생각된다. 그러나 元素分析의 充分한 資料가 있으면 工業分析 結果에 依한 計算式 誘導에 큰 參考가 될것은 事實이다.

試料는 石公의 5個礦業所에서 直接 採取하였거나 分析을 依賴하여 온 것을 使用하였다. 總 57件中 各礦業所別로 보면 다음과 같다.

道溪礦業所	13件
長省 〃	8件
咸白 〃	20件
恩城 〃	9件
寧越 〃	7件

以上과 같이 試料의 數가 적어 適切한 計算式을 誘導함에 正確을 欠할 憂慮가 많으나 本報告의 첫째 目的은 앞으로 充分하고도 正確한 試驗을 함에 있어서 한 方向을 提示할려는데 있으므로 件數를 주려 時間을 節約하였다. 試料에 對한 工業分析方法은 韓國 工業規格에 忠實을 期하였다.

于先 3, (1)에서 論及한 各種 計算式中에서 韓國無煙炭에 適用할 計算式 誘導에 參考가될 5個式 即 Lenoble式, 新井式, Lategen式, Whitaker式, 小南式의 各式에 上記 57個試料의 工業分析의 實測值를 適用하여 附錄 №1을 作成, 考察한 結果 다음과 같다.

가. 5個式中 어느 것이나 直接 韓國無煙炭에 適用하기에는 困難하다.

그러나 몇個式은 係數를 修正하면 使用 可能할 것이다.

나. 係數를 修正하여도 어느 式이나 韓國無煙炭 全體에 適用될 計算式의 誘導는 困難하다.

다. Lenoble式은 係數를 修正하면 道溪, 長省, 咸白의 各炭, 特히 咸白 및 長省炭에 適用이 可能할 것이다.

라. 新井式과 小南式은 係數를 修正하면 5個炭種 全部에 適合할 것이다.

마. Letegen式과 Whitakar式은 韓國無煙炭에 適用하기 困難하다.