

◎ 研究論文

重油의 燃燒에 必要한 所要空氣量과  
發生가스量의 算式에 관한 研究

李 友 桓\*

A Study on the Calculation Formulae of Required Air and  
Burning Gas Amount of Heavy Fuel Oil.

Wuhwan, Leigh

Abstract

The characteristics of typical 17 kinds of fuel oils are studied to find the calculation formulae for the required amount of air and the combustion gas amount.

1) The author's calculation formulae are as follows;

(1) Theoretically required amount of air

$$A_0 = 1.04 \times 10^{-3} H_1 + 0.03 = 3.224 \times 10^{-2} (\text{API}^\circ) + 9.639 (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

(2) Theoretical amount of combustion gas

$$G_0 = 1.11 \times 10^{-3} H_1 + 0.07 = 3.441 \times 10^{-2} (\text{API}^\circ) + 10.323 (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

2) Theoretical amount of the required air in combustion and combustion gas of fuel oils are always estimated less with Rosin's formula than with author's one.

3) Theoretical amount of the required air and the amount of combustion gas of fuel oils are more reasonable with author's formula than Rosin's one in comparison with results of actual analysis.

記號說明

$\alpha, \beta$  : 係數

$K, M$  : 常數

$H_h, H_l$  : 燃料의 高位 및 低位發熱量, Kcal/kg

$A_0, G_0$  : 理論的 空氣量 및 그 때 發生하는 燃燒가스量,  $\text{Nm}^3/\text{kg}$

$A, G$  : 燃料의 過剩空氣量 및 그 때의 發生가스量,  $\text{Nm}^3/\text{kg}$

$m = A/A_0$  : 空氣過剩係數

(API°) : 燃料의 API比重(60°F)

$c, h, o, s, n, w$  : 燃料 1kg中の 炭素, 水素, 酸素, 硫黃, 窒素 및 水分의 含量, kg/kg

1. 序 論

蒸氣缶, 燃燒爐 혹은 內燃機關의 設計나 研究에 있어서 燃料의 燃燒에 必要한 理論的 空氣量과 그 때 發生되는 燃燒가스量을 簡單하고 正確하게 計算할 수 만 있다면 燃料의 完全燃燒와 合理的인 熱管理에 큰 便宜를 가져 올 것이다. 特히 이 問題는 高油價時代인 現속에 重要性이 더

\* 正會員. 東義工業專門大學

을 強調되고 있다.

燃料의 燃燒에 必要한 空氣量과 이 때 生기는 燃燒가스量을 計算하는 式에는 燃料의 元素分析 結果에 의해서 求하는 方法<sup>1)</sup>, 燃料의 發熱量에 의해서 求하는 方法<sup>2)</sup> 등이 있다. 後者は 前者에 比하여 精度가 떨어지나 元素分析의 번거러움이 없으므로 많이 活用되고 있으며, 이에 Rcsin式이 有名하다. 이 式은 1929年에 研究된 것이나 原油導入源과 品質事情이 많이 바뀐 現 今도 利用되고 있다. 그러나 이 式이 우리나라에서 官民需用으로 많이 使用되고 있는 重油에 대해서 어느 程度의 精度를 갖는가에 대해서는 아직 研究되지 않고 있다.

本 研究는 市販되고 있는 17種의 重油에 대해서 그 比重과 低位發熱量에 의해서 重油의 燃燒에 必要한 空氣量과 그 때 發生하는 燃燒가스量을 求하는 式을 誘導하고, 이것과 그 元素分析 結果에 의해서 求한 것 및 Rcsin式에 의해서 求한 結果를 서로 比較해서 檢討한 것이다. 特히 Rosin式은 發熱量에 의해서 空氣量과 燃燒가스量을 計算하도록 되어 있으나, 市販되고 있는 重油는 大部分의 경우에 그 正確한 發熱量이 밝혀져 있지 않고 比重이나 粘度만이 잘 알려져 있다. 그러므로 筆者는 實際로 空氣量과 燃燒가스量을 쉽게 求할 수 있도록 發熱量代身에 重油 比重에 의해서 이들을 計算할 수 있는 式을 求하도록 試圖하였다.

이 研究結果는 熱管理의 合理化에 寄與할 것으로 期待된다.

## 2. 算式의 誘導

重油의 熱計算에는 그의 發熱量이 基準이 되므로 理論的 空氣量이나 그 燃燒가스量의 計算에도 低位發熱量을 使用하는 경우가 많다. 그리고 燃燒管理에서 燃料의 完全燃燒에 必要한 空氣量과 그 때 發生하는 燃燒가스量은 그 燃料의 元素分析結果에 의해서 理論值를 求하고 이것에 過剩空氣係數를 加算해서 다음 式에 의해서 求한다.

$$A = mA_0 \dots\dots\dots(1)$$

$$G = G_0 + (m-1)A_0 \dots\dots\dots(2)$$

## 2.1 理論的 空氣量의 算式

燃料의 元素分析結果를 알 때는 그 發熱量과 理論的 空氣量을 다음 式<sup>3)</sup>으로 計算할 수 있다.

$$H_l = 8,100c + 29,000 \left( h - \frac{o}{8} \right) + 2,500s - 600aw \dots\dots\dots(3)$$

$$A_0 = 26.7 \left( \frac{c}{3} + h - \frac{o-s}{8} \right) \dots\dots\dots(4)$$

低位發熱量( $H_l$ )에서 理論的 空氣量( $A_0$ )를 求하는 式은 (3)과 (4)式에서 媒介變數로 되어 있는  $c, h, o$  등을 消去하면 求할 수 있지만 數學的으로 이것이 不可能하므로 燃料의 特性을 導入해서 處理하는 수 밖에 없다.

附錄의 Table 1은 市販되고 있는 重油<sup>4)</sup>에 대해서 調査한 元素分析結果와 比重, 發熱量 등이 다.

이 表의 元素分析結果에 의하면 ( $c+h$ )가 94% 以上이고, 其他가 6% 以下이므로 이 燃料들의 低位發熱量은 ( $c+h$ )에 支配되고 其他 成分의 影響은 거의 一定한 것으로 看做할 수 있다. 따라서 이러한 燃料油들의 理論的 空氣量과 低位發熱量의 關係는 다음의 一般式으로 表示할 수 있다.

$$A_0 = \alpha H_l + K \dots\dots\dots(5)$$

(5)式에 (3), (4)式을 代入하면

$$8.90c + 26.7h - 3.338o + 3.338s = 8,100\alpha c + 29,000\alpha h - 3,625\alpha o + 2,500\alpha s - 600\alpha aw + K \dots\dots\dots(6)$$

$\alpha$ 는 (6)式의 兩邊의  $c$ 와  $h$ 項에서

$$8.90c + 26.7h = 8,100\alpha c + 29,000\alpha h$$

$$\therefore \alpha = \frac{8.90(c/h) + 26.7}{8,100(c/h) + 29,000} \dots\dots\dots(7)$$

$K$ 는 (6)式에서

$$\begin{aligned} & -3.338o + 3.338s = -3,625\alpha o \\ & + 2,500\alpha s - 600\alpha aw + K \\ \therefore K &= (3,625\alpha - 3.338)o + (3.338 \\ & - 2,500\alpha)s + 600\alpha aw \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

(7)과 (8)式이 恒等的으로 成立되도록  $\alpha$ 와  $K$ 를 決定하면 (5)式이 具體化된다.

### < $\alpha$ 의 決定>

Table 1에 의하면 重油의  $c/h$ 値는 6~11.6 程度이므로 (7)式의  $c/h$ 에 (6~11.6)을 代入해서

Table 1. Specific Gravity, Chemical Compositions, Calorific Values and Amount of Air and Combustion Gas.

Nos.	Kinds of oils	Specific gravity API (60°F)	Chemical compositions %					Calorific value kcal/kg		c/h	$A_o \text{ Nm}^3 / \text{kg}^*$	$G_o \text{ Nm}^3 / \text{kg}^*$
			C	H	O&N	S	W	$H_h$	$H_l$			
1	s- 1	12	88.05	7.58	1.00	3.28	—	9,720	9,310	11.61	9.93	10.43
2	s- 2	14	86.90	9.36	—	3.16	—	10,020	9,510	9.29	10.34	10.96
3	s- 3	16	85.26	10.31	—	3.94	—	10,130	9,570	8.27	10.46	11.14
4	s- 4	18	83.22	10.15	3.74	2.83	—	10,230	9,680	8.19	10.19	10.78
5	s- 5	20	86.11	11.81	1.20	0.67	—	10,430	9,790	7.29	10.81	11.58
6	s- 6	22	84.6	10.9	2.87	1.63	—	10,590	10,000	7.76	10.40	11.13
7	s- 7	24	84.9	13.7	1.4	—	—	10,680	9,940	6.20	11.17	12.09
8	s- 8	26	85.40	13.07	1.12	0.15	—	10,690	9,790	6.54	11.19	11.94
9	s- 9	28	84.90	13.70	1.40	0.37	—	10,720	9,980	6.20	11.18	12.09
10	s-10	30	84.82	13.09	2.05	0.36	—	10,720	10,010	6.48	10.98	11.85
11	s-11	32	83.26	12.41	3.83	0.59	—	10,800	10,130	6.71	10.62	11.46
12	s-12	34	84.36	13.21	1.09	0.32	—	10,910	10,200	6.38	11.01	11.88
13	s-13	36	84.3	14.1	1.6	—	—	11,890	11,130	5.97	11.22	12.15
14	s-14	38	81.52	11.61	6.92	0.55	—	10,510	9,880	7.02	10.17	10.95
15	s-15	20	87.15	12.33	—	0.32	—	10,760	10,090	7.06	11.19	11.87
16	s-16	20	86.1	12.3	—	1.60	—	11,190	10,530	7.00	11.00	11.80
17	s-17	20	87.29	12.32	—	0.43	—	10,930	10,260	7.08	11.06	11.88

\* calculated by chemical compositions

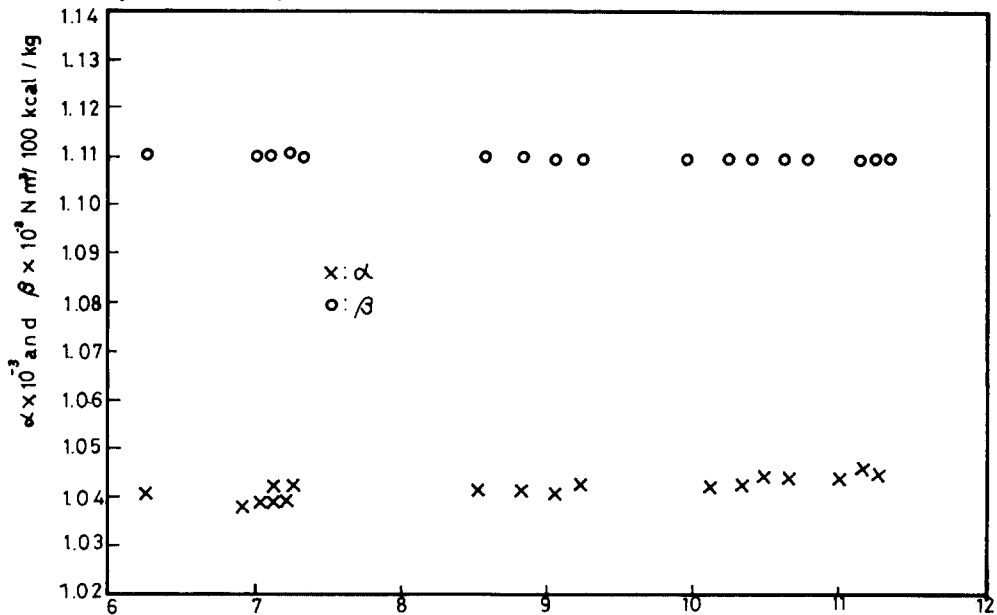


Fig. 1. Relations of c/h to  $\alpha$  and  $\beta$ .

$\alpha$ 를求めて서 圖示하면 Fig. 1과 같이 된다.

이 그림에서  $\alpha$ 는  $(1.03 \sim 1.06) \times 10^{-3}$ 이고 그 平均値를 求하면  $(1.04 \times 10^{-3})$ 으로 된다.

〈K의 決定〉

K는 (8)式에  $\alpha = 1.04 \times 10^{-3}$ 을 代入하면

$$K = 0.432o + 0.738s + 0.624w \dots\dots\dots(9)$$

Table 1의 元素分析結果에서  $o, s, w$ 는 油種에 따라 若干의 差가 있으나, 그 數値가 적으며 17種의 重油에 대한 平均値가 O와 N은 0.0166, S는 0.0188에 不過하다. 그러므로  $o = s = w =$

0.017로 보면 (9)式에서  $K=0.026893 \cong 0.03$ 이 된다. 따라서 (5)式은

$$A_o = 1.04 \times 10^{-3} H_i + 0.03 \dots\dots\dots(10)$$

### 2.2 理論的 燃燒가스量의 算式

$A_o$ 의 誘導와 같은 方法으로  $G_o$ 의 算式도 다음과 같이 求할 수 있다.

元素分析結果에 의한  $G_o$ 의 算式<sup>6)</sup>은

$$\begin{aligned} G_o &= (1-0.21)A_o + \frac{22.4}{12}c + \frac{22.4}{2}h \\ &\quad + \frac{22.4}{32}s + \frac{22.4}{18}w + \frac{22.4}{28}n \\ &= 8.90c + 33.27h - 2.632o + 3.33s \\ &\quad + 0.8n + 1.244w \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

$G_o$ 와  $H_i$ 의 關係는  $c, h, o$  등의 含量關係가  $A_o$ 의 경우와 同一하므로

$$G_o = \beta H_i + M \dots\dots\dots(12)$$

(12)式에 (3)式과 (11)式을 代入하면

$$8.90c + 33.27h - 2.672o + 3.33s + 0.8n + 1.244w$$

$$= \left[ 8,100c + 29,000 \left( h - \frac{o}{8} \right) + 2,500s - 600w \right] \beta + M \dots\dots\dots(13)$$

$$\therefore \beta = \frac{8.9(c/h) + 33.27}{8,100(c/h) + 29,000} \dots\dots\dots(14)$$

(14)式을 圖示하면  $\beta$ 는 Fig. 1과 같이 表示된다.

#### < $\beta$ 의 決定>

17種의 重油에서  $c/h$ 値는 (6~11.6) 程度이고 Fig. 1과 같이 이 값에 대한  $\beta$ 값은 油種에 따라 變化하지 않는다. 따라서  $\beta$ 의 값은 燃料의 種類 如何에 關係없이 恒常( $1.11 \times 10^{-3}$ )이다.

#### < $M$ 의 決定>

$K$ 의 경우와 같은 方法으로 (13)式의 左右兩邊에서  $c$ 와  $h$  以外的 項을 같다고 하면

$$\begin{aligned} &-2.632o + 3.33s + 0.8n + 1.244w \\ &= -3,625\beta o + 2,500\beta s - 600\beta w + M \end{aligned}$$

이 式에  $\beta = 1.11 \times 10^{-3}$ 을 代入하면

$$M = 1.392o + 0.555s + 0.8n + 1.91w \dots\dots(15)$$

Table 1의 17種의 油種에서  $o, s, n, w$ 는  $K$ 를

求할 때와 같이  $o=s=w=0.017$ 을 (15)式에 代入하면  $M=0.065569 \cong 0.07$ 을 얻는다.

따라서 (12)式은

$$G_o = 1.11 \times 10^{-3} H_i + 0.07 \dots\dots\dots(16)$$

### 3. 新算式과 Rosin式과의 比較

以上과 같은 方法으로 求한 新算式을 Rosin式과 對比해서 쓰면 다음과 같다.

筆者의 式

$$A_o = \frac{1.04}{1,000} H_i + 0.03 \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

$$G_o = \frac{1.11}{1,000} H_i + 0.07 \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

Rosin의 式

$$A_o = \frac{0.85}{1,000} H_i + 2.00 \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

$$G_o = \frac{1.11}{1,000} H_i \quad \text{Nm}^3/\text{kg}$$

筆者의 算式과 Rosin式을 比較해 보면  $A_o$ 에 서는 筆者의 係數가 Rosin것보다 좀 더 크고 常數項은 Rosin式의 것이 좀 더 크며,  $G_o$ 에서는 兩者의 係數가 같고 常數項은 筆者의 것은 0.07 인데 대해서 Rosin것은 0이다.

Fig. 2는  $A_o$ 와  $H_i$ 의 關係를 筆者의 式과 Rosin式에 의해서 圖示하고 重油의 元素分析結果에 의해서 計算된 Table 1의  $A_o$ 와  $H_i$  關係를 같이 表示한 것이다.

이에 의하면 Rosin式은 筆者의 式보다 所要空氣量이 적으며 元素分析結果에 의해서 計算된 所要空氣量이 가장 많음을 보여준다.

Fig. 3은  $G_o$ 와  $H_i$ 의 關係를 筆者式과 Rosin式에 의해서 圖示하고 重油의 元素分析結果에 의해서 計算되는  $G_o$ 와  $H_i$ 의 關係를 併示한 것이다. 이에 의하면 發熱量에 대한 發生가스量은 Rosin式이 第一 적고 筆者의 式이 中間이고 元素分析結果에서 計算되는 量이 第一 많은 傾向을 보이고 있다.

Fig. 2와 Fig. 3의 結果로 보아서 國內市販重油에 대한 所要空氣量과 發生燃燒가스量의 計算은 Rosin式보다 筆者의 式이 더 잘 맞는다는 것을 알 수 있다.

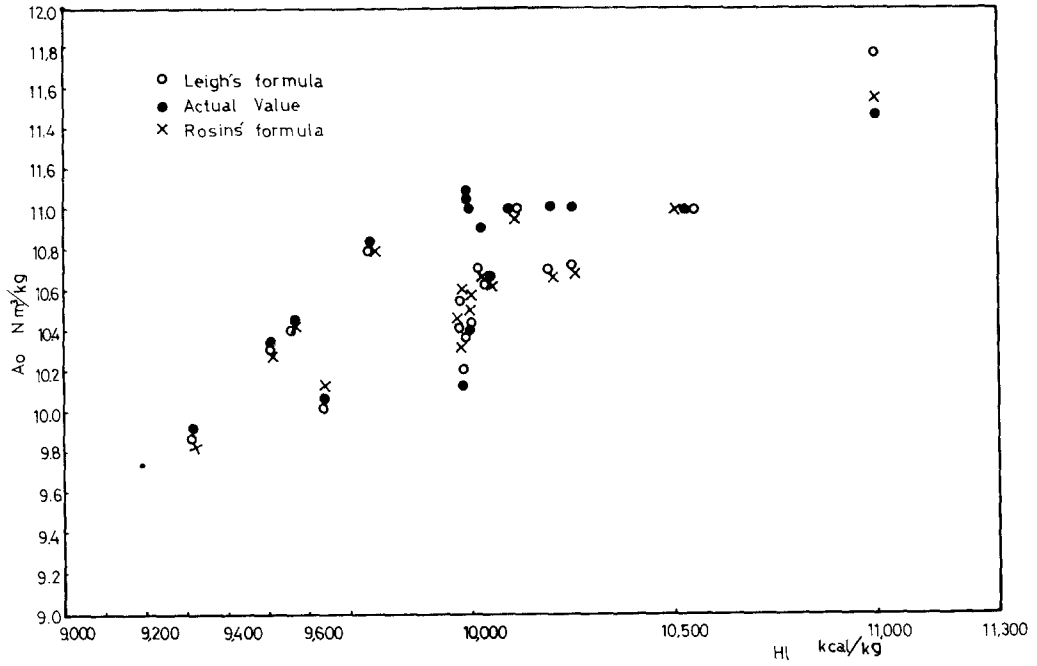


Fig. 2. Relations of  $H_t$  to  $A_o$ .

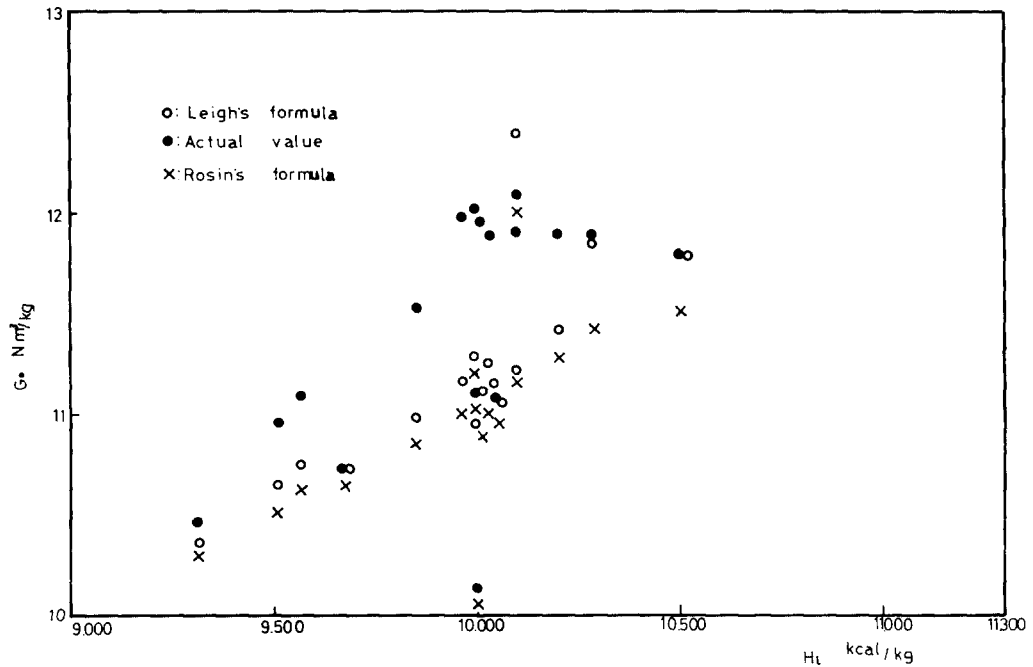


Fig. 3. Relations  $H_t$  to  $G_o$ .

4. 重油比重을 變數로한  $A_0$ 와  $G_0$ 의 算式

筆者가 誘導한 (10)과 (16)式은 低位發熱量  $H_l$ 에 의해서 理論的所要空氣量( $A_0$ )과 그 때 發生하는 燃燒가스量( $G_0$ )를 計算하도록 되어 있다. 그러나 前述한 바와 같이 市販重油에 대해서 比重은 正確히 明示되어 있으나 低位發熱量에 대해서는 近似值外에는 發表되어 있지 않다. 따라서 筆者의 式을 보다 効果的으로 活用할 수 있도록 하기 위해서 筆者의 計算式을 比重의 變數로 變形하지 않을 수 없다.

Fig. 4는 Table 1의 17種의 市販重油에 대해서 API度 對  $H_l$  關係를 表示한 것이며, 이 中의 몇種의 重油를 除外하고는 直線性이 좋다. 따라서 이 直線의 方程式을 Table 1의 實測值에 의해서 最小自乘法으로 求하면 다음과 같이 表示된다.

$$A_0 = 3.224 \times 10^{-2}(\text{API}^\circ) - 9.636(\text{Nm}^3/\text{kg}) \dots\dots\dots(17)$$

$$G_0 = 3.441 \times 10^{-2}(\text{API}^\circ) + 10.323(\text{Nm}^3/\text{kg}) \dots\dots\dots(18)$$

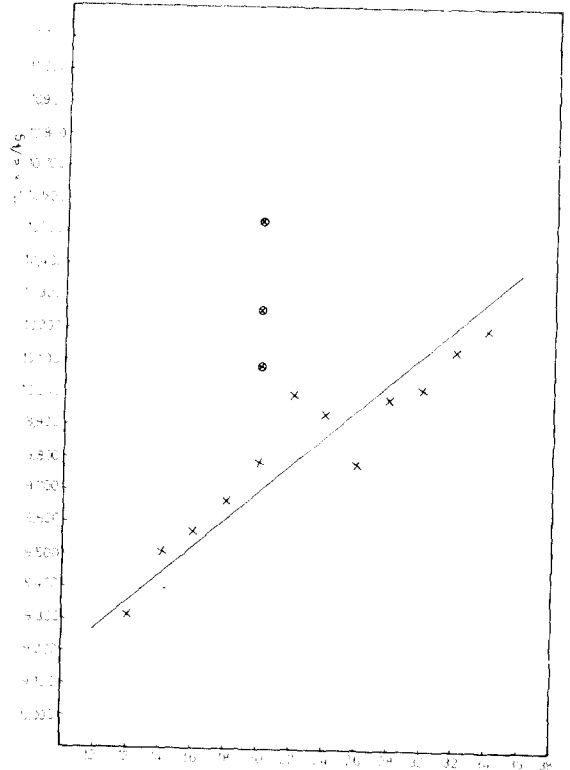


Fig. 4. Relations of  $\text{API}^\circ$  to  $H_l$ ( $\otimes$ :omit).

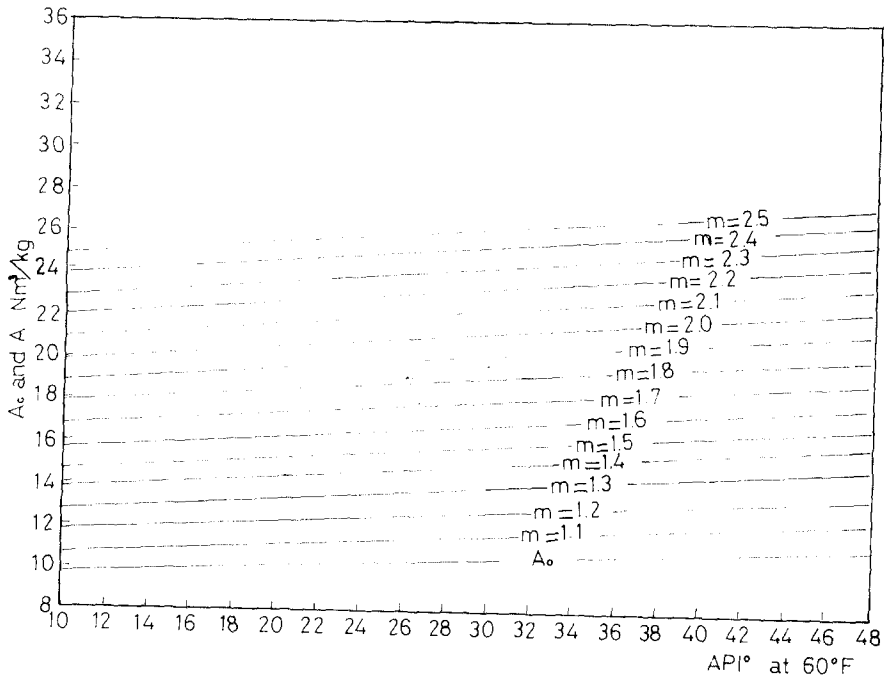


Fig. 5. Relations of  $H_l$  to  $A_0$  and  $A$

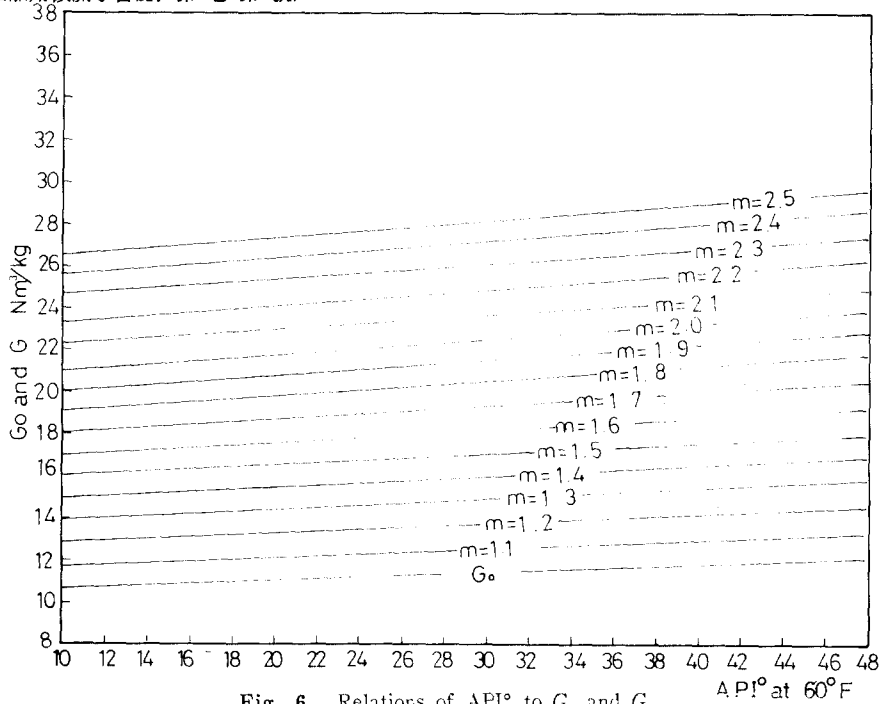


Fig. 6. Relations of API° to  $G_0$  and  $G$

Fig. 5는 17種의 市販重油에 대하여 筆者의 (17)式으로 計算된 理論的 空氣量( $A_0$ )와 過剩 空氣係數( $m$ )에 따른 實際 所要空氣量( $A$ )를 圖示한 것이고, Fig. 6은 筆者의 (18)式으로 計算된 理論的 燃燒發生가스量( $G_0$ )와 過剩空氣係數  $m$ 에 따른 實際 燃燒發生가스量( $G$ )를 圖示한 것이다.

### 5. 結 論

17種의 市販重油에 대해서 調査한 所要空氣量과 發生燃燒가스量의 算式에 관한 以上の 研究에서 다음의 結果를 얻었다.

1) 算者의 計算式은 다음과 같다.

(1) 理論的 空氣量 :

$$A_0 = 1.04 \times 10^{-3} H_i + 0.03$$

$$= 3.224 \times 10^{-2} (\text{API}^\circ) + 9.636 (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

(2) 理論的 燃燒가스量 :

$$G_0 = 1.11 \times 10^{-3} H_i + 0.07$$

$$= 3.441 \times 10^{-2} (\text{API}^\circ) + 10.323 (\text{Nm}^3/\text{kg})$$

2) 重油의 燃燒에 必要한 理論的 空氣量과 그 때 發生하는 理論的 發生燃燒가스量은

Rosin式이 筆者의 式보다 더 적은 量을 나타낸다.

3) 重油의 燃燒에 있어서 必要한 理論的 空氣量과 그 때 發生하는 理論的 燃燒가스量은 元素分析結果에서 計算되는 量으로 보아서 筆者의 式이 Rosin式보다 더 잘 맞는다는 것을 알 수 있다.

<謝 辭>

이 研究에 助言하여 주신 韓國海洋大學 田大熙 博士님에게 謝意를 表합니다.

### 參 考 文 獻

- 1) 田中楠彌大: 燃料と燃燒, p. 84~87, 昭見堂 (1965)
- 2) 中央熱管理協會會: 熱管理技術講義, p. 116, 丸善社, (1960)
- 3) 機械工學便覽: 改訂 第4版 12-21-20 日本機械學會, (1962)
- 4) 田大熙: 燃料와 燃燒의 管理 (改訂版) p. 139~140. 韓國海洋大學 海事圖書 出版部
- 5) 某重油會社의 市販重油製品
- 6) 前掲書(4), p. 14.
- 7) 前掲書(2), p. 116.