

# 國產無煙炭의 所要空氣量과 發生燃燒가스量의 算式에 관한 研究

李 友 桓\*

A Study on the Calculation Formulae for the Required Air and  
Combustion Gas of the Domestic Anthracites

Wuhuan Leigh

## Abstract

The characteristics of typical 35 kinds of domestic anthracites among 155 kinds are studied to find the calculation formula for the required quantity of air and the combustion gas quantity.

1) The author's calculation formulae are as follows:  $A_0 = \frac{1,064}{1,000} H_I + 0.086 (Nm^3/kg)$

(1) Theoretically required quantity of air

(2) Theoretical quantity of combustion gas  $G_0 = \frac{1,110}{1,000} H_I + 0.234 (Nm^3/kg)$

2) Theoretical quantity of air in combustion of domestic anthracite is always estimated more with Rosin's formula than author's one in the typical domestic anthracites which have the lower calorific value between 3,000~8,000 Kcal/kg and the difference of the calculated quantity of air becomes small, as the calorific value increases.

3) Theoretical quantity of combustion gas is estimated more by author's formula than by Rosin's one with the domestic anthracites which have more calorific value than 6,700 Kcal/kg and is estimated less in the under range of the above calorific value.

4) Theoretical quantity of required air and quantity of combustion gas of domestic anthracite show  $\pm 4\%$  difference by Rosin's formulae in comparison with results of actual analysis, and about  $\pm 1.5\%$  by the author's one.

## 記號說明

$H_h, H_l$ : 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  $Nm^3/kg$

$A, G$ : 燃料의 과잉공기量 및 그 때의 發生가스  
量  $Nm^3/kg$

$m = A/A_0$ : 空氣過剩係數

$c, h, o, s, n, w$ : 燃料 1kg中의 炭素, 水素, 酸  
素, 硫黃, 窒素 및 水分  $kg/kg$

$\alpha, \beta$ : 係數  
 $K, M$ : 常數

### 1. 序 論

燃料의 연소에 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 있다면 蒸汽罐, 燃燒爐 혹은 內燃機關의 研究나 設計에 크게 도움이 될 뿐만 아니라 燃料의 完全燃燒와 合理的인 熱管理에 큰 便宜를 가져올 것이다. 特別히 이 問題는 高價燃料時代인 現今에 重要性이 더욱 強調되고 있다.

燃料의 燃燒에 必要한 空氣量과 이 때 생기는 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에서 求하는 方法<sup>2)</sup> 등이 있다. 後者는 前者에 比해서 精度가 떨어지나 元素分析의 번거로움이 없으므로 많이 活用되고 있으며 이에는 Rosin 式이 有名하다. Rosin 式은 독일의 石炭에 대해서 1929년에 研究된 것<sup>3)</sup> 이나 지금도 利用되고 있는 式이다. 그러나 國產無煙炭에 대해서 어느 程度의 精度를 갖는가에 대해서는 아직 研究되지 않고 있다.

本 研究는 國產無煙炭의 低位發熱量에 의해서 이 燃料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 유도하고 元素分析 結果에서 求한 것 및 Rosin 式에 의해서 求한 結果와 比較檢討한 것이다. 그러므로 이 結果는 國產炭의 活用과 그 熱管理의 合理化에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 2. 算式의 誘導

燃燒의 熱計算에는 低位發熱量이 基準이 되므로 理論的 空氣量이나 그 燃燒가스發生量의 計算에도 低位發熱量을 使用하는 경우가 많다. 燃燒管理에는 完全燃燒에 必要한 空氣量과 發生가스量이 必要하고 이것은 과정공기계수만 알면 다음의 式에서 求할 수 있다.

$$A = mA_0 \tag{1}$$

$$G = G_0 + (m-1)A_0 \tag{2}$$

### 2.1 理論的 空氣量의 算式

燃料의 元素分析 結果를 알 때 그 發熱量과 理論的 空氣量은 다음 式<sup>4)</sup>으로 計算할 수 있다.

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

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

低位發熱量( $H_i$ )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 性質을 도입해서 처리하는 수 밖에 없다.

附錄은 155종의 國產無煙炭中 代表的인 性質을 가진 35종에 대해서 調查한 것<sup>5)</sup> 이다. 이 表의 左半部에 의하면 國產無煙炭의 組成은 特低質炭을 除外하면 ( $c+h$ )가 70%以上이고 ( $o+w$ )가 15%以下, 其他가 15%以下이므로 이러한 石炭의 低位發熱量은 ( $c+h$ )에 支配되고 기타 成分의 영향은 거의 一定한 것으로 看做할 수 있다. 그러므로 國產炭의 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.

$$A_0 = \alpha H_i + K \tag{5}$$

(5)式에 (3), (4)式을 代入하면

$$\begin{aligned} & 8.90c + 26.7h - 3.338o + 3.338s \\ & = 8,100\alpha c + 29,000\alpha h - 3,625\alpha o + \\ & 2,500\alpha s - 600\alpha w + K \end{aligned} \tag{6}$$

$\alpha$ 는 (6)式의 兩邊의  $c$ 와  $h$ 項에서

$$\begin{aligned} & 8.90c + 26.7h = 8,100\alpha c + 29,000\alpha h \\ \therefore \alpha & = \frac{8.90(c/h) + 26.7}{8,100(c/h) + 29,000} \end{aligned} \tag{7}$$

$K$ 는 (6)式에서

$$-3.338o + 3.338s = -3,625\alpha o + 2,500\alpha s - 600\alpha w + K$$

$\therefore K = (3,625\alpha - 3.338)o + (3.338 -$

$$2,500\alpha)s + 600\alpha w \tag{8}$$

(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:

(7)式의  $c/h$ 에 0~50을 代入해서  $\alpha$ 를 求하여 圖示하면 Fig. 1과 같이 된다. 附錄에 의하면 國

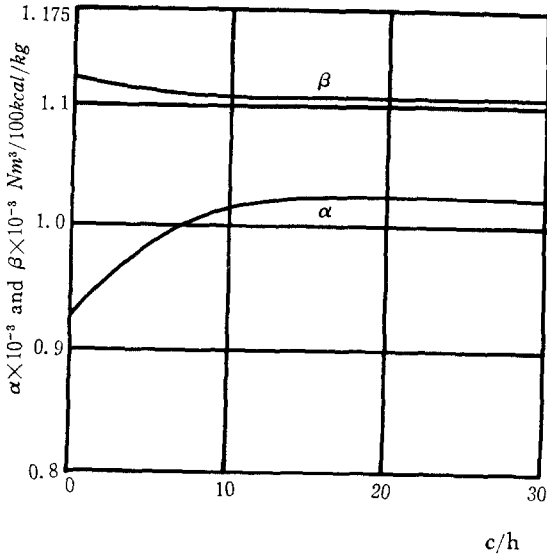


Fig.1 Relations of c/h to  $\alpha$  and  $\beta$

産無煙炭의 c/h値는 10~50程度이고, Fig. 1에서 그 範圍의 c/h에 대해서  $\alpha$ 는(1.05~1.08) $\times 10^{-3}$ 이다. 그리고 위 35種의 石炭에 대해서  $\alpha$ 의 平均値를 求하면  $1.0636 \times 10^{-3}$ 으로 된다.

K의 決定:

K는 (8)式에  $\alpha=1.0636 \times 10^{-3}$ 을 代入하면

$$K=0.5176o+0.679s+0.6382w \quad (9)$$

附錄의 分析表에서 o, s, w%는 炭種에 따라서 若干의 差가 있으나 그 數値가 적으며 이 35種의 石炭에 대한 平均値가 w=0.0325, o=0.1135 및 s=0.009383에 不遜하다. 이 數値를 (9)에 代入하면 K $\approx$ 0.086으로 된다.

따라서 (5)式은

$$A_0=1.064 \times 10^{-3}H_i+0.086 \quad (10)$$

### 2.2 理論的 가스量의 算式

A<sub>0</sub>에 대한 것과 같은 방법으로 G<sub>0</sub>의 算式도 다음과 같이 求할 수 있다.

元素分析結果에 의한 G<sub>0</sub>의 算式<sup>6)</sup>은

$$G_0=(1-0.21)A_0+\frac{22.4}{12}c+\frac{22.4}{2}h+\frac{22.4}{32}s+\frac{22.4}{18}w+\frac{22.4}{28}n \\ =8.90c+33.27h-2.632o+3.33s$$

$$+0.8n+1.244w \quad (11)$$

G<sub>0</sub>와 H<sub>i</sub>의 關係는 c, h, o 등의 含量關係가 A<sub>0</sub>의 경우와 同一하므로

$$G_0=\beta H_i+M \quad (12)$$

(12)式에 (3)과 (11)式을 代入하면

$$8.90c+33.27h-2.632o+3.33s+0.8n+1.244w \\ = [8,100c+29,000(h-\frac{o}{8})+2,500s-600w]\beta+M \quad (13)$$

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

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

$\beta$ 의 決定:

國産炭에서 c/h는 10~50程度이고 Fig. 1에서 이 값에 대한  $\beta$ 는 炭種에 따라 (1.10~1.110) $\times 10^{-3}$ 이다. 또 國産炭에 대한  $\beta$ 의 平均値는 1.110 $\times 10^{-3}$ 이다.

M의 決定:

K의 경우와 같은 方法으로 (13)式의 左右兩邊에서 c와 h以外的 項을 같다고 하면

$$-2.632o+3.33s+0.8n+1.244w \\ = -3,625\beta o+2,500\beta s-600\beta w+M$$

이 式에  $\beta=1.110 \times 10^{-3}$ 을 代入하면

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

國産炭 35種의 平均値를 求하면 o=0.1135, s=0.009383, w=0.0325 및 n=0.0113이므로 이 값을 (15)式에 代入하면 M=0.2343145 $\approx$ 0.234를 얻을 수 있다.

따라서 (12)式은

$$G_0=1.110 \times 10^{-3}H_i+0.234 \quad (16)$$

### 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<sup>7)</sup>과 對比해서 쓰면 다음과 같다.

筆者의 式

Rosin의 式

$$A_0 = \frac{1.064}{1,000}H_i+0.086 \quad A_0 = \frac{1.01}{1,000}H_i+0.50$$

$$G_0 = \frac{1.110}{1,000}H_i+0.234 \quad G_0 = \frac{0.89}{1,000}H_i+1.65$$

筆者의 算式과 Rosin式을 比較해 보면  $A_0$ 나  $G_0$ 에서 모두 Rosin式쪽의 係數가 若干 적고, 常數項이 모두 상당히 크다.

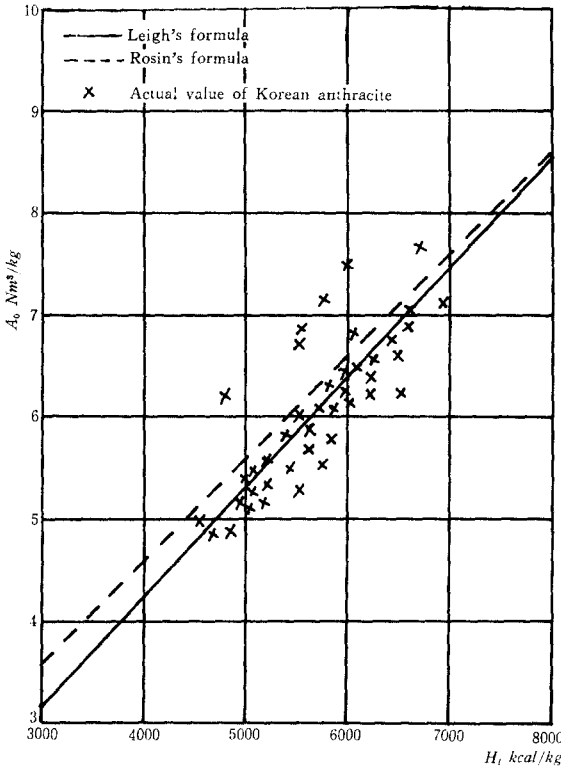


Fig. 2 Relations of  $H_1$  to  $A_0$

Fig. 2는  $A_0$ 와  $H_1$ 의 關係를 筆者의 式과 Rosin式에 의해서 圖示하고 國產無煙炭의 元素分析結果에 의해서 計算되는  $A_0$ 와  $H_1$  關係를 附錄 左半部에 의해서 X點으로 表示한 것이다. 이에 의하면 Rosin式은 筆者의 式보다 8,000Kcal/kg 以下の 石炭에 대해서 所要空氣量이 恒常 많고 그 差는 高發熱量인 石炭일수록 減少된다. 또 X點의 分布狀態로 보아서 國產無煙炭의 所要空氣量은 Rosin式도 상당히 잘 맞으나 筆者의 式이 더 잘 맞는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은  $G_0$ 와  $H_1$ 의 關係를 筆者式과 Rosin式에 의해서 圖示하고 國產無煙炭의 元素分析結果에 의해서 計算되는 이 關係를 X點으로 表示한 것이다. 이에 의하면 發熱量에 대한 發生燃燒가스量 約 6,700Kcal/kg를 境界로 해서 그 以下

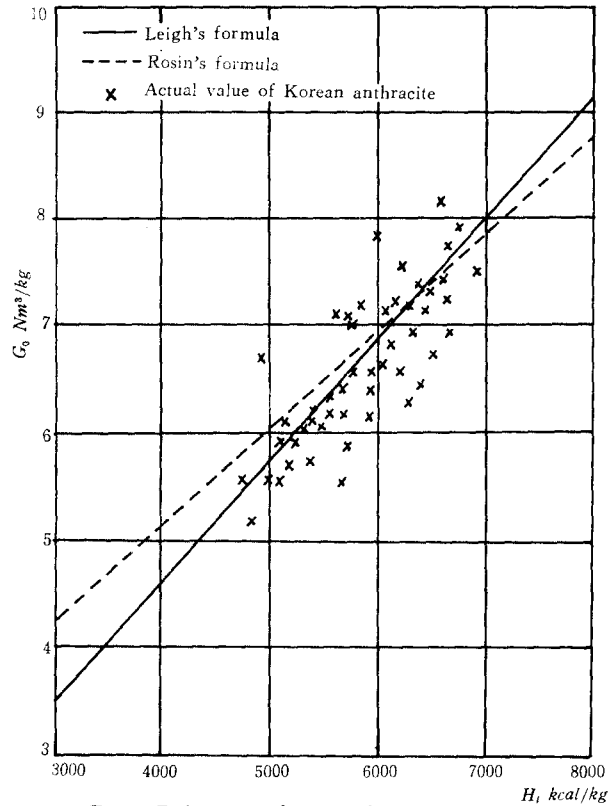


Fig. 3 Relations of  $H_1$  to  $G_0$

에서는 Rosin式이 그 以上에서는 筆者式이 많아지는 傾向이 있다. 또 X點의 分布狀態로 보아서 國產無煙炭의 發生가스量은 所要空氣量에서와 같이 Rosin式도 상당히 잘 맞으나 筆者의 式이 더 잘 맞는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 國產無煙炭에 대하여 筆者式으로 計算된  $A_0$ 와  $m$ 에 따른  $A$ 를 圖示한 것이고 Fig. 5는 筆者式으로 計算된  $G_0$ 와  $m$ 에 따른  $G$ 를 圖示한 것이다.

#### 4. 結 論

155種의 國產無煙炭中 代表的인 性狀을 가진 35種의 無煙炭에 대한 研究에서 다음의 結果를 얻었다.

1) 筆者의 計算式은 다음과 같다.

(1) 理論的 空氣量 :

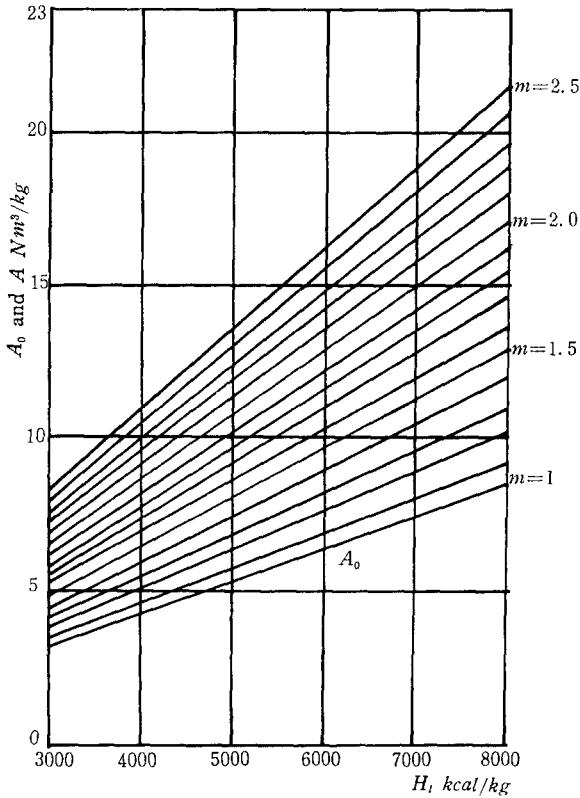


Fig. 4. Relations of  $H_1$  to  $A_0$  and  $A$

$$A_0 = \frac{1.064}{1,000} H_1 + 0.086 \text{ (N m}^3\text{/kg)}$$

(2) 理論的 燃燒가스量 :

$$G_0 = \frac{1.110}{1,000} H_1 + 0.234 \text{ (N m}^3\text{/kg)}$$

- 2) 石炭의 燃燒에 必要한 理論的 空氣量  $A_0$ 는 發熱量 8,000Kcal/kg 以下の 石炭에서 恒常 Rosin式이 筆者式보다 많은 量을 나타내며 그 差는 高發熱量 일수록 적어진다.
- 3) 石炭의 燃燒時 發生하는 理論的 燃燒가스量은 약 6,700 Kcal/kg를 境界로 해서 그 以下에서 Rosin式이 그 以上에서 筆者式이 더 많은 量을 나타낸다.
- 4) 國產無煙炭의 燃燒에 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 Rosin式도 상당히 잘 맞으나 筆者의 式이 더 잘 맞다는 것을 알 수 있다.

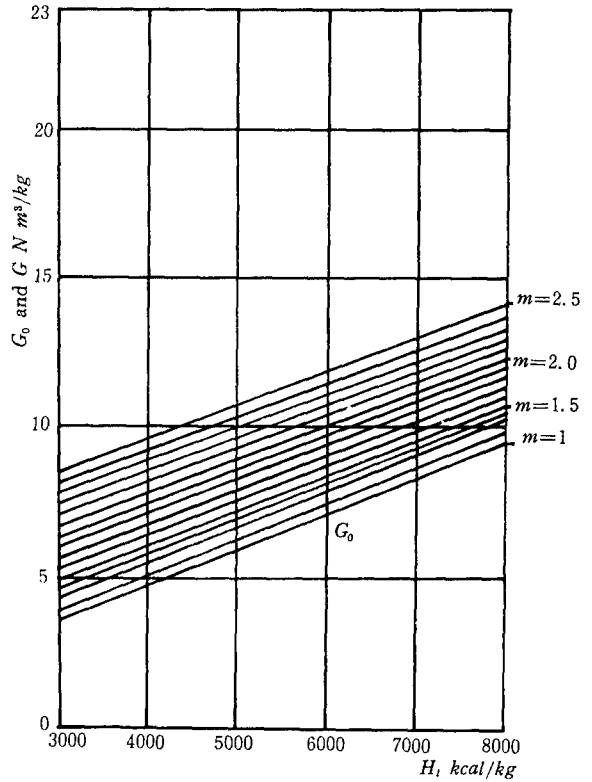


Fig. 5. Relations of  $H_1$  to  $G$  and  $G_0$

끝으로 이 研究에 助言하여 주신 韓國海洋大學 田大熙 教授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) 中央熱管理協議會: 熱管理技術講義, p. 116, 丸善(1960)
- 3) 信澤寅男: 熱管理計算圖表p. 5, 共立出版社 (1952)
- 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 (1972)
- 5) 韓國無煙炭綜合報告, 大韓石炭公社(1972)
- 6) 前掲書(4), p. 14.
- 7) 前掲書(2), p. 116.

附錄 : Chemical Compositions, Calorific Values and Amount of Air and Combustion Gas

No.	Kinds of anthracite	Chemical compositions %										Calorific values Kcal/kg		c/h	A <sub>0</sub> Nm <sup>3</sup> /kg	G <sub>0</sub> Nm <sup>3</sup> /kg
		c	h	o	s	n	w	ash	H <sub>A</sub>	H <sub>I</sub>	Fuel-ratio					
									H <sub>A</sub>	H <sub>I</sub>						
1	Samchuk mine	72.64	4.48	4.31	1.47	1.26	0.60	15.24	6,391	6,145	2.84	16.2	7.57	7.94		
2	"	67.52	3.56	3.37	0.80	0.98	0.07	23.70	5,813	5,620	4.78	19.0	6.97	7.16		
3	"	56.90	4.73	16.00	1.30	1.02	9.67	10.20	5,924	5,580	0.76	12.0	5.84	6.36		
4	"	73.53	5.49	12.66	0.44	1.34	2.36	4.08	6,961	6,645	1.34	13.1	7.63	8.08		
5	"	61.50	1.59	5.76	0.57	0.94	3.76	25.98	5,224	5,121	13.12	41.3	5.70	5.87		
6	"	69.31	4.24	9.65	1.55	1.30	0.75	13.20	7,112	6,902	1.77	16.3	7.04	7.39		
7	"	59.28	3.54	4.11	0.52	1.05	0.50	31.00	6,183	5,989	3.66	16.7	5.58	6.36		
8	Dougwon mine	67.52	3.56	3.37	0.80	0.98	0.07	23.70	5,813	5,620	4.78	19.0	6.97	7.16		
9	"	70.41	3.36	7.36	0.64	1.18	2.23	14.82	6,690	6,495	6.39	21.0	6.93	7.34		
10	"	50.95	3.73	16.39	2.08	0.95	10.10	15.80	5,493	5,225	0.96	13.7	5.06	5.48		
11	"	60.08	5.18	17.46	1.08	1.38	3.22	11.70	6,392	6,092	1.13	11.6	6.30	6.71		
12	"	63.89	3.98	8.58	1.06	1.21	0.80	20.43	6,802	6,582	1.90	16.0	6.50	6.83		
13	"	53.06	6.81	14.32	0.43	1.15	1.08	13.25	6,993	6,619	1.02	7.8	6.09	6.64		
14	"	65.99	5.96	12.33	0.51	1.54	1.10	12.57	6,912	6,583	1.01	11.1	7.15	7.90		
15	Mungyon mine	59.24	5.43	12.55	2.39	1.11	1.26	18.02	5,047	4,747	0.92	10.9	6.38	6.95		
16	"	53.15	1.12	4.02	0.24	0.67	3.74	37.06	4,907	4,810	14.18	47.5	4.91	5.02		
17	"	57.54	3.07	19.0	0.54	1.02	1.82	17.11	5,311	5,135	1.69	18.8	5.33	5.69		
18	"	51.21	3.64	18.48	2.28	0.84	8.20	17.35	5,312	5,066	1.06	14.1	5.06	5.52		
19	Wujeon mine	50.96	4.44	9.91	1.69	1.12	1.55	30.33	5,436	5,186	0.88	11.5	5.45	5.78		
20	"	51.86	4.87	15.57	0.61	1.04	11.75	11.39	5,587	5,235	0.75	10.6	5.42	6.37		
21	Gomoh mine	53.44	5.08	17.09	3.88	0.84	2.35	20.32	5,735	5,447	0.95	11.7	5.77	6.06		
22	"	55.74	4.19	18.77	0.20	0.80	15.20	5.10	5,911	5,594	0.78	13.3	5.47	6.06		
23	Earyon mine	56.03	4.61	10.21	0.40	1.33	2.04	24.38	5,912	5,651	0.97	12.1	5.90	6.30		
24	"	62.94	5.29	11.26	1.84	1.20	1.57	16.90	6,036	5,741	1.22	11.9	6.68	7.09		
25	Fungjeon "	68.86	4.67	15.83	0.15	1.40	1.70	7.39	6,080	5,818	1.27	14.7	6.86	7.29		
26	"	68.52	5.16	9.24	0.90	0.98	0.70	19.50	6,260	5,977	1.21	13.8	7.20	7.58		
27	Dongo mine	65.53	4.88	9.68	0.44	1.23	1.15	17.09	6,279	6,009	1.53	13.4	6.83	7.21		
28	Kangdong "	65.01	4.81	8.06	0.68	1.07	1.65	18.82	6,308	6,038	1.56	13.5	6.82	7.22		
29	Bongmaeong "	60.05	5.16	13.6	0.73	0.77	0.75	18.94	6,333	6,049	1.33	11.6	6.30	6.71		
30	Duksoo "	59.24	5.43	10.55	2.39	1.01	1.50	18.50	5,045	4,740	0.90	10.9	6.45	6.85		
31	Bosung "	66.89	5.25	17.06	0.42	1.33	3.50	5.55	6,578	6,274	1.46	12.7	6.81	7.31		
32	Oneung "	65.99	5.96	12.33	0.51	1.54	1.10	12.57	6,912	6,583	1.01	11.1	7.15	7.90		
33	Dogye "	77.21	3.55	4.46	1.14	1.27	1.70	10.78	6,538	6,347	7.62	23.0	7.56	7.91		
34	Eunsung "	67.43	1.50	10.23	0.58	1.11	2.90	12.88	5,662	5,498	20.0	44.95	6.08	6.28		
35	Najeoin "	58.14	2.50	12.54	0.47	1.78	7.80	14.77	5,000	4,610	29.07	23.2	5.44	5.87		