

灰분이 많은 無煙炭의 燃燒速度에 關하여*

南 宮 寔** · 柳 重 基***

On the Combustion Rate of Anthracite Coal Abundant in Ash

Shik Namkoong** and Choongki Yoo***

** Dept. of Chem. Eng., College of Eng., Hanyang Univ.

*** Electric Laboratory, Korea Electric Co.

The influence of ash content of anthracite coal on its combustion rate and diffusion rate of oxygen gas through the ash layer were observed.

On the temperature range lower than 600°C the rate equation of the combustion is expressed rather simple;

$$v = \frac{3.16 \times 10^{13}}{\sqrt{T}} (\Delta C) e^{-\frac{45762}{RT}} \quad (1)$$

indicating chemical step is rate controlling.

And at the temperature range of 630°C to 1,230°C

$$v = \frac{(\Delta C)}{\frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_d} + \frac{1}{3k_f}} \quad (2)$$

Diffusion rate constant of eq. (2) was found to be estimated by eq (3)

$$k_d = \frac{12}{D_p} \times 0.166 \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2} \left\{ 1 - \left(\frac{\rho_p f_a}{3, 2} \right)^{2/3} \right\}$$

The forms of equations (1) and (2) had been proposed by Hottel etc.

緒 言

灰분이 적은 炭素物質의 燃燒反應에 關한 速度論의 研究는 일찍이 H. C. Hottel, M. A. Mayer 等의 研究가 있으나 灰분이 많은 無煙炭에 關한 研究는 적다.

이 研究에서는 數種의 國產低質炭을 들어 그 灰分含有率이 燃燒速度와 粒子內 酸素擴散速度에 미치는 影響 等を 研究하였다.

既往의 燃燒反應速度式의 檢討

1. 純化學反應速度定數 k_c 에 關하여

H. C. Hottel 等¹⁾²⁾³⁾은 灰분이 아주 적은 Carbon Brush 用의 炭素物質의 球狀單一粒子の 燃燒實驗結果로부터 그 單位反應表面積當 單位時間當의 反應速度 v [$\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$]가 다음과 같이 表示됨을 報告하고 있다.

$$\left. \begin{aligned} v &= -\frac{dN}{A, d\theta_p} = k_c \Delta C \\ \text{단 } k_c &= \frac{a}{\sqrt{T}} e^{-\frac{E}{RT}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

* 1965年 7月 26日 受理

** 漢陽大學校 工大 化學工學科

*** 韓國電力(株) 電氣試驗所

여기서 $A_r[\text{cm}^2]$ 는 燃燒反應의 進行에 따라 時間的으로 減少되어가는 反應表面積을 나타내며 $\Delta C[\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{cm}^{-3}]$ 는 氣體本體中과 燃燒反應의 化學平衡狀態下的 酸素有效濃度差를 나타낸다.

燃燒溫度가 800°C 以下の 範圍內에서 粒徑 25mm 인 單一球狀粒子일 경우에 (1)式的 定數 $a=4.32 \times 10''$, $E=44,000[\text{cal/g} \cdot \text{mol}]$ 을 얻었다.

이번 이 報告에서는 灰分이 많은 炭素質粒子的 燃燒에 關하여 考察하기 爲하여 反應速度 v 를 測定함에 있어서 먼저 熱天秤으로 測定記錄되는 燃燒中인 粒子的 重量減少로부터 未燃燒部分에 含有한 殘存炭素重量 W_r 을 算出한다.

燃燒進行에 따라 未燃燒部分이 球狀을 維持하면서 縮小되어가고 燃燒反應은 燃燒進行에 따라 形成되는 灰層內의 未燃燒部分의 表面上에서만 進行된다고 假定하기로 한다.

殘存炭素重量 $W_r[\text{g}]$ 는 燃燒前의 粒子重量 $W_0[\text{g}]$ 와 完全燃燒實驗에서 測定되는 重量基準의 炭素含有率 f_c [—]와 燃燒開始後 時間 θ_p 內의 重量減少量 $\Delta W[\text{g}]$ 에 依하여 다음과 같이 求하여진다.

$$W_{r(\theta p)} = W_0 f_c - \Delta W \quad (2)$$

이때 燃燒進行에 따라 生成되는 灰層의 離脫이 없다고 생각한다. 따라서 反應速度式은 (1)式에 準하여

$$v = -\frac{dW_r}{MA_r d\theta_p} = k_c \Delta C \quad (3)$$

로 表示하기로 한다. M 는 炭素原子量이다. 또한 v 는 燃燒中인 粒子內의 未燃燒球狀部分半徑을 $r[\text{cm}]$ 이라 하고 粒子密度를 ρ_p 라 할 때

$$\left. \begin{aligned} A_r &= 4\pi r^2 \\ W_r &= \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \rho_p \cdot f_c \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$v = -\frac{f_c \rho_p}{M} \frac{dr}{d\theta_p} = -\frac{1}{\alpha} \frac{dr}{d\theta_p} = k_c \Delta C \quad (5)$$

로 表示된다.

2. 總括燃燒速度定數 \bar{k}

燃燒中에 溫度上昇, 殘存灰層의 有無 및 空氣流速의 變化에 따라 總括燃燒速度는 化學反應速度, 灰層內의 酸素擴散速度 및 灰層外 表面境膜內의 酸素擴散速度 등에 依存되므로 (5)式中 k_c 는 다음과 같은 內容의 總括燃燒速度定數 $\bar{k}[\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}]$ 로 代置되어야 한다.

$$\bar{k} = \frac{1}{\frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_d} + \frac{1}{3k_f}} \quad (6)$$

단 k_c , k_d , k_f 는 各過程의 速度定數⁴⁾⁵⁾⁶⁾이다.

다음 (5) 式으로부터 燃燒完結時間 $\theta_B[\text{sec}]$ 가 算出된다.

$$\text{即} \quad -\frac{dr}{d\theta_p} = \alpha \Delta C \bar{k} [\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}] \quad (5')$$

境界條件

$$\left. \begin{aligned} \theta_p &= 0 \text{에서 } r = R \\ \theta_p &= \theta_B \text{에서 } r = 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(5')와 (7) 兩式으로부터 얻어진다.

$$\theta_B = \frac{R}{\alpha \cdot \Delta C \bar{k}} = \frac{D_p}{2\alpha \Delta C \bar{k}} \quad (8)$$

本實驗에서 D_p 는 試料煤炭의 相當徑을 取하여 $D_p = \left(\frac{6}{\pi} V\right)^{1/3}$ 으로 計算하였으며 $V = \frac{\pi}{4} (1.3)^2 H$ 이다. ΔC 는 粒子表面上的 酸素濃度 C_s 와 燃燒反應의 化學平衡狀態下的 酸素濃度 C_i 의 差인 有效濃度差이나 C_s 는 事實上 零이라하여도 計算에는 大差없으며 이 ΔC 를 溫度 T 및 酸素 mol 分率 x 로써 表示하면 다음과 같이 된다.

$$\Delta C = \frac{x}{22.4 \times 10^3} \times \frac{273}{T} [\text{g} \cdot \text{mol} \cdot \text{cm}^{-3}] \quad (9)$$

3. 未燃燒部分의 減少速度

燃燒時間이 經過됨에 따라 未燃燒部分의 半徑이 時間的으로 變하여 減少된다. 矢木, 國井⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 등이 (5') 式的 反應速度式과 酸素移動速度를 關聯시켜 다음과 같은 式을 導出하였다.

$$\left. \begin{aligned} \theta_p / \theta_B &= 1 - \frac{\delta \left(\frac{r}{R}\right) + 3\omega \delta \left(\frac{r}{R}\right)^2 + \omega(1-2\delta) \left(\frac{r}{R}\right)^3}{\omega + \omega \delta + \delta} \\ \omega &= k_c / k_d, \quad \delta = 3k_f / k_d = \frac{1}{2e} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

e 는 粒子表面積當 細孔總斷面積이다.

4. 灰層內酸素擴散移動速度定數

灰層 即 酸化膜中에서 酸素가 擴散하는 速度에 對하여 Hellinkx⁷⁾가 Oil Shale을 燃燒시켜서 그 擴散移動速度定數 k_d 를 다음과 같이 表示하였다.

$$\left. \begin{aligned} k_d &= \frac{12}{D_p} D_{vs} = \frac{12}{D_p} e D_{vf} \\ D_{vf} &= 0.166 \left(\frac{T}{273}\right)^{3/2}, \\ e &= 0.0286 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

D_{vs} 는 固體內 酸素擴散速度 $[\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ 이며 D_{vf} 는 氣體內 酸素擴散速度 $[\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$ 이다.

本實驗者 등은 e 를 細孔比라하고 e 와 k_d 를 다음과 같이 計算하였다.

$$k_d = \frac{2A}{V} e D_{vf} = \frac{2A_{ss}}{V} D_{vf} \quad (12)$$

$$e = \frac{A_{ss}}{A} = 1 - \left(\frac{V_a}{V_s}\right)^{2/3} = 1 - \left(\frac{\rho_c}{\rho_a} f_a\right)^{2/3} \quad (13)$$

(13) 式을 (12) 式에 代入하면

$$k_d = \frac{12}{D_p} \times 0.166 \left(\frac{T}{273}\right)^{3/2} \left\{ 1 - \left(\frac{\rho_c}{\rho_a} f_a\right)^{2/3} \right\} \quad (14)$$

A 는 粒子的 表面積 $[\text{cm}^2]$, A_{ss} 는 粒子表面의 細孔

總斷面積 $[cm^2]$, V 는 粒子的 體積 $[cm^3]$, V_a 는 灰分의 眞容積 $[cm^3]$, W_a 는 粒子中 灰分量 $[g]$, ρ_c 는 炭의 겉보기 密度 $[g \cdot cm^{-3}]$, ρ_a 는 灰分의 眞密度 $[g \cdot cm^{-3}]$, f_a 는 炭中灰分含有率 $[-]$ 이다.

無煙炭의 灰分은 Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na 등의 酸化物의 混合物이므로 灰分眞密度 ρ_a 는 灰分의 各成分의 分率 $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ 과 各成分眞密度 $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ 등으로써 求하여진다.

本實驗에서 使用한 試料의 灰分 및 45個炭硯 灰分分析結果에서 灰分眞密度 平均値를 求한바 $\rho_a = 3.2 [g \cdot cm^{-3}]$ 이었다.

이를 (14)式에 代入하면 k_d 는 ρ_c 와 f_a 로써 求할 수 있게 된다.

實驗裝置 및 實驗方法

1. 裝置

英國 Stanton 社製 熱天秤을 使用하였는데 그 爐內徑은 38mm, 爐高는 280mm, Pt-Rh 線加熱爐이며 溫度調節範圍는 $10^\circ C \sim 1400^\circ C$, 感度는 1.0mg 이며 溫度, 時間 및 試料의 重量減少等이 自動記錄되는 裝置이다.

2. 試料

70 mesh 以下 粉炭을 徑 13mm, 高 10~15mm 程度의 圓柱形으로 加壓成型한 것이며 Table-1 에 그 組成을 表示한 바와같이 灰分含有率을 달리하여 調製한 6種의 試料와 代表的인 國產無煙炭의 試料를 10種 使用하였다.

Table 1. Composition of the Samples

Sample	Volatile matter%	Fixed Carbon %	Ash %	Heat Value Kcal/kg	Initial deformation
F6-4	2.0	15.25	82.75		
F10-2	2.0	18.25	79.35		
FB	2.49	38.91	58.60		
FS	2.82	48.48	48.7		
B70	3.56	62.24	34.2		1,370°C
S70	3.38	74.82	21.8	5,806	1,130
Jungdong	4.88	52.12	43.0	4,105	1,360
Munkyoung	4.63	64.47	30.9	5,232	1,420
Okke	5.1	62.7	32.2	5,195	1,440
Okdong	5.1	64.2	30.7	5,257	1,485
Hukyun	6.04	69.6	24.0	5,688	
Doke	4.52	63.48	32.0	5,176	1,480
Macha	7.15	48.35	44.5	4,190	1,430
Hambak	5.14	59.86	35.0	4,912	1,380
Ensung	3.64	19.60	16.75	6,515	
S-6	3.25	64.25	32.50	5,219	

燃燒實驗에 앞서 各試料의 體積을 實測한 다음 熱天秤의 試料支持棒 上斷에 試料를 놓을 때는 煉炭底面에도 充分한 空氣가 接觸되도록 留意하였다.

3. 燃燒速度測定

豫備實驗의 結果에서 $600^\circ C$ 以下에서는 燃燒의 進行에 따라 外套狀으로 生成하여지는 試料의 既燃燒部分인 灰層內의 酸素擴散抵抗이 다른 素過程의 抵抗에 比하여 無視할 수 있음을 알았으므로 燃燒試料의 溫度를 連續적으로 15分間에 $100^\circ C$ 씩 上昇토록 하여 各溫度에 있어서의 反應速度를 減量曲線을 解析함으로써 近似的으로 求하는 簡易法을 使用하였다.

한편 $600^\circ C$ 以上에서는 一定溫度에서 時間的인 燃燒試料의 重量減少速度를 測定하였으며, 또 理論的인 解析을 도우기 爲하여 完全燃燒時間(Time for Complete Combustion)을 測定하였다.

實驗結果와 그 解析

1. k_c 의 測定

燃燒反應이 化學反應速度의 支配下에서 進行될 때는 炭의 灰分含有率이 反應速度에 無關함이 實測되어서

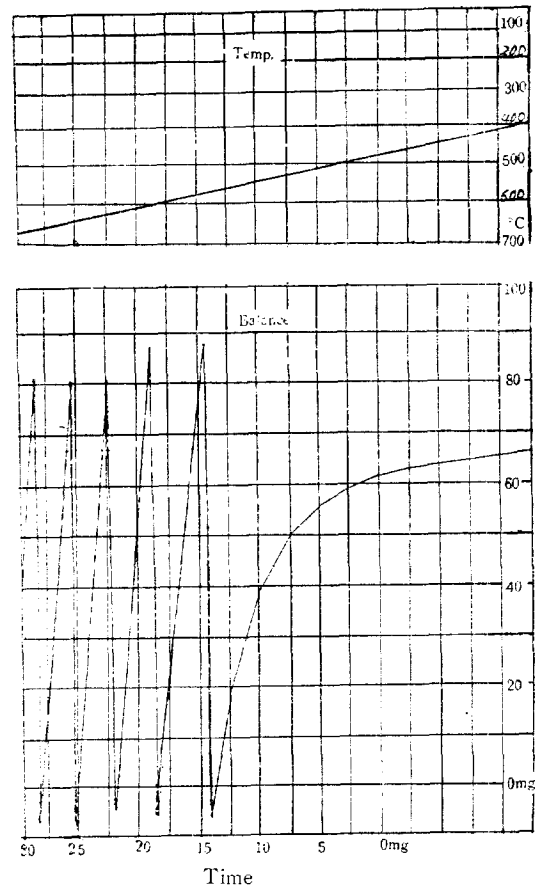


Fig 1. Experimental Chart for k_c

各試料의 揮發分을 事前に 完全히 除去하고 着火 溫度에서부터 600°C까지의 溫度를 100°C/15min의 率로 上昇시키며 試料의 重量減少量實測結果의 實例는 Fig-1의 Chart와 같으며 6種試料를 各其 3回式 測定하여 各 Chart에서 每 2.5分間의 平均溫度와 其 燃燒試料 減少量을 基礎로하여 $(W_r/W_c)^{1/3}=r/R$ 인 關係와 (5)式에 依하여 얻은 化學反應速度定數 k_c 를 얻고 各溫度와 k_c 의 關係를 Fig-2에 Plot 하였고 그 計算結果의 한 例는 Table-2와 같다.

Table-2. Experimental Data for k_c

θ_p	T_{av}	W_r	r	k_c
min	°K	mg	cm	cm/s
0	775.5	288	0.687	0.0
2.5	790.5	287	0.6862	0.1964
5.0	805.5	285	0.6846	0.4003
7.5	823	282	0.6822	0.6134
10.0	840.5	275	0.6765	1.488
12.5	855.5	264	0.6674	2.418
15.0	870.5	242	0.6483	5.153
17.5	888	210	0.6231	6.93
20.0	905.5	170	0.5763	12.94
22.5	923	132	0.5297	13.35

Fig-2에서와 같이 850°K以下에서는 거의 한 線上에 點綴되나 900°K以下에서는 이 線이 屈曲하기 始作

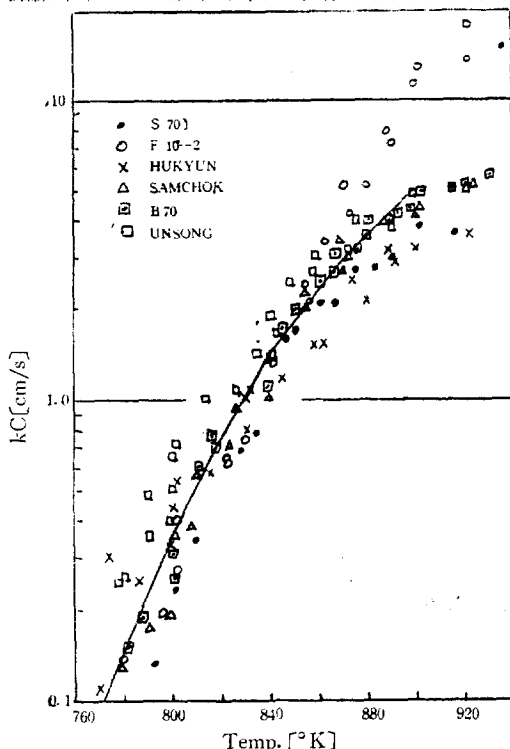


Fig. 2. k_c vs Temperature

하며 이 附近에서 粒子의 灰層內의 酸素擴散過程이 律速的으로 되어가는 點을 알 수 있다.

다시 이들을 $k_c\sqrt{T}$ 와 $\frac{10^4}{T}$ 의 關係를 點綴하면 Fig-3과 같으며 거의 한 直線上에 雲集한다.

이 直線에서 (1)式의 a 와 E 를 求하면 $a=3.16 \times 10^{13}$, $E=45762[\text{cal/g-mol}]$ 이 되어 無煙炭의 化學反應速度式은 다음과 같이 된다.

$$v = k_c \Delta C = \frac{3.16 \times 10^{13}}{\sqrt{T}} (\Delta C) e^{-\frac{45762}{RT}} \quad (15)$$

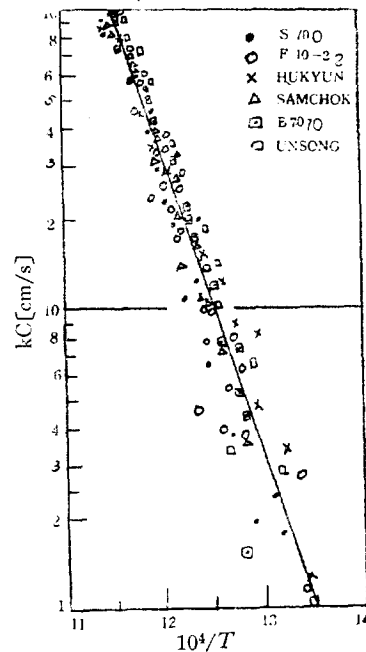


Fig. 3. $k_c\sqrt{T}$ vs $10^4/T$

2. \bar{k} 와 k_d

本實驗에서 使用한 試料는 600°C에서 k_d 의 支配로 轉換됨으로 630°C에서부터 1230°C까지 100°C間隔으로 溫度를 一定하게 維持시키며 灰分含有別試料과 各試料의 燃燒速度를 測定한 實例는 Fig-4의 Chart와 같으며 實驗結果 및 計算結果의 한 例는 Table-3과 같다.

이 Table는 한 試料炭의 例로써 630°C에서 1230°C까지 實測하여 計算한 結果이다.

Sample Size는 實驗直前に 實測하고 水分(H_2O), 可燃成分(C. M), 燃燒完結時間 θ_B 등은 Chart에서 求하였고 θ_B 와 (8)式에서 總括速度定數 \bar{k} 를 求하고 Table-3의 ρ_p , f_a , D_p , 및 T 등을 (14)式에 代入하여 k_d 를 計算하였다.

\bar{k} 는 實測值이며 k_d 는 計算值이므로 이들을 比較하면 Table-4와 같으며 630°C에서 730°C사이에는 k_c 와 k_d 가 함께 支配됨을 알 수 있고 灰分含有率 80%以上에서는 \bar{k} 의 값이 Hellinkx의 實驗式인 (11)式에 近似

Table 3, Experimental Data for $\bar{\kappa}$

Sample No. S-70

	T	$^{\circ}\text{C}$	630	730	830	930	1030	1130	1230
Sample size	H	mm	14.4	13.2	13.2	12.0	12.0	10.8	12.2
	W_w	mg	2617	2422	2416	2229	2520	1933	2145
	V	cm^3	1.909	1.75	1.75	1.591	1.591	1.432	1.617
	D_p	cm	1.54	1.495	1.495	1.449	1.449	1.399	1.391
	A	cm^2	7.44	7.021	7.021	6.59	6.59	6.143	6.664
Measurement	H_2O	mg	34	2.0	7.0	6.0	2.0	2.0	2.0
	$C.M$	mg	2016	1910	1889	1750	1690	1510	1662
	W_a	mg	567	510	520	473	460	421	481
	θ_p	min	125	58	50	47	41	37	37
Dry Sample	$V.M$	mg	87	82	81	75	73	65	72
	W_c	mg	1929	1820	1808	1675	1617	1445	1590
	W_d	mg	2583	2420	2409	2223	2150	1931	2143
	ρ_p	g/cm^3	1.35	1.383	1.375	1.4	1.35	1.35	1.325
Composition	f_{vm}	%	3.38	3.38	3.38	3.38	3.38	3.38	3.38
	f_c	%	74.68	75.54	75.11	75.34	75.21	74.83	74.34
	f_a	%	21.04	21.08	21.51	21.28	21.41	21.79	22.28
Combustion Rate	\bar{k}	cm/s	3.02	7.33	9.24	10.78	11.93	14.5	15.8
	k_d	cm/s	4.53	7.46	8.54	10.08	11.42	13.19	14.64
	e	—	0.595	0.595	0.595	0.595	0.631	0.622	0.624
	$\omega = \frac{k_c}{k_d}$	—	1.79	13.35	89.8	422	1560	4600	11900
	$\delta = \frac{1}{2e}$	—	0.841	0.841	0.841	0.841	0.792	0.804	0.802
Eq-(17)	A	—	0.203	0.0331	5.06×10^{-3}	1.08×10^{-3}	2.76×10^{-4}	9.5×10^{-5}	3.67×10^{-5}
	B	—	1.08	1.32	1.33	1.36	1.37	1.37	1.37
	C	—	0.295	0.358	0.369	0.371	0.318	0.332	0.32
	θ_p —	W_r/W_c		$\theta_p W_r/W_c$					
	min	%		min	%				
				2.0—94.5	1.4—94.5	1.5—94.0	1.5—93.8	1.4—93.1	1.2—93.1
				11.1—72.7	8.6—72.3	9.1—70.1	7.3—69.1	6.2—72.4	5.4—74.8
				18.4—56.2	17.3—50.2	18.4—46.3	15.7—44.3	12.0—51.6	10.5—56
				30.0—34.3	28.1—28.1	26.3—28.3	23.4—25.8	19.0—30.9	16.3—37.1
				40.8—18.0	38.5—11.5	36.4—10.4	33.7—7.3	28.6—10.2	30.1—5.6
				58—0.0	50—0.0	47.0—0.0	41.0—0.0	37.0—0.0	37.0—0.0

 W_w ; Weight of wet sample W_d ; Weight of dry sample $C.M$; Combustible matter in sample $V.M$; Volatile matter in sample F_{vm} ; Weight fraction of volatile matter in sample

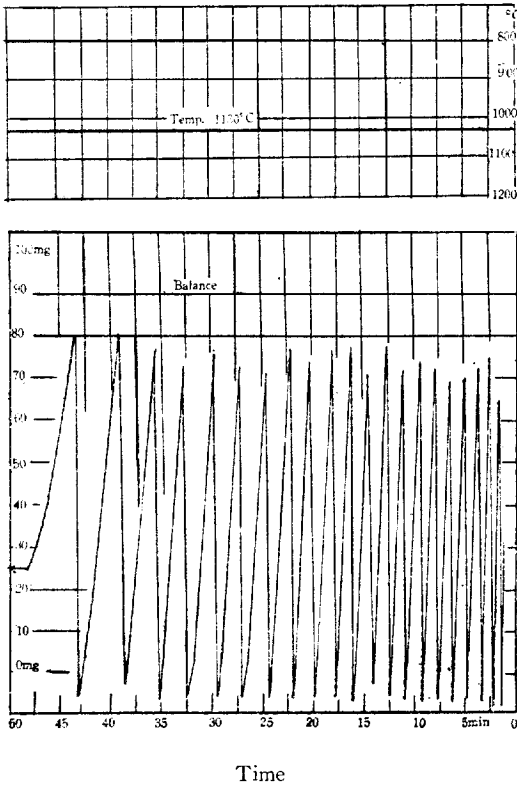


Fig. 4. Experimental Chart For \bar{k}

하여지며 그 以下에서는 \bar{k} 와 k_d 가 서로 近似値를 갖는다.

灰分含有率別로 \bar{k} 를 plot 하면 Fig-5의 下端 5個線과 같이 階段的으로 表示되며 여기에 다시 (15)式에서 얻은 k_c 線을 polt 하면 左側 傾斜線과 같으며, 또 다시 $\rho_c=1.3$ $\rho_a=3.2$, $f_a=0.3$ 인 炭을 한 例로써 粒徑 D_p 別로 k_d 를 計算하여 plot 하면 上端線들과 같다.

이것이 國產無煙炭 單一粒子의 燃燒速度定數를 나타내는 代表的인 것이 아닌가 한다.

3. r/R 의 時間的 變化

燃燒試料의 重量減少는 곧 未燃燒部分의 半徑減少로 表示되며 (10)式의 3次方程式 各項係數를 A , B , C 로 表示하면 各試料마다 다음 式으로써 求하여진다.

$$\left. \begin{aligned} \theta_p/\theta_B &= 1 - A\left(\frac{r}{R}\right) - B\left(\frac{r}{R}\right)^2 + C\left(\frac{r}{R}\right)^3 \\ A &= \delta/(\omega + \omega\delta + \delta) \\ B &= 3\omega\delta/(\omega + \omega\delta + \delta) \\ C &= \omega(1 - 2\delta)/(\omega + \omega\delta + \delta) \\ \omega &= k_c/k_d \quad \delta = 1/2e \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

(16)式에서 얻은 A , B , C 와 Fig-4의 Chart에서 얻은 W_r/W_c 의 時間的 變化를 Table-3의 下端에 記錄하였다.

이 (16)式은 試料의 形態와 成分으로써 計算할 수 있는 式이며, 이 計算値와 實測値인 W_r/W_c 에서 얻은

Table 4. \bar{k} and k_d

Sample No.	f_a	cm/s	630°C	730	830	930	1030	1130	1230
F-6-4	0.823	\bar{k}	0.707	2.618	3.2	4.07	4.66	4.85	3.4
		k_d	4.53	7.71	5.76	6.8	7.66	8.57	9.5
F-10-2	0.795	\bar{k}	0.858	3.145	3.975	5.17	6.044	7.25	6.03
		k_d	4.38	5.06	5.88	6.91	7.3	8.59	11.49
F-B	0.585	\bar{k}	2.26	4.28	5.43	7.031	7.14	10.06	9.83
		k_d	4.57	5.45	5.8	6.83	6.97	9.03	10.13
F-S	0.487	\bar{k}	2.87	5.39	6.19	8.203	9.93	11.62	12.36
		k_d	4.76	5.74	6.59	7.67	8.73	9.59	10.56
B 70	0.34	\bar{k}	5.485	5.9	7.56	8.79	9.27	9.517	12.77
		k_d	6.0	6.97	8.17	8.87	9.54	10.8	12.1
S 70	0.215	\bar{k}	3.02	7.33	9.24	10.73	11.93	14.5	15.8
		k_d	4.53	7.46	8.54	10.08	11.42	13.19	14.64

\bar{k} ; Observed, k_d ; Calculated

r/R 의 關係를 plot한 例가 Fig-6이며 $630^{\circ}\text{C}\sim 1230^{\circ}\text{C}$ 까지 各試料마다 이 兩者가 거의 一致되었다.

結 論

總括的인 燃燒反應速度式은 國井等の 研究結果와 같으며

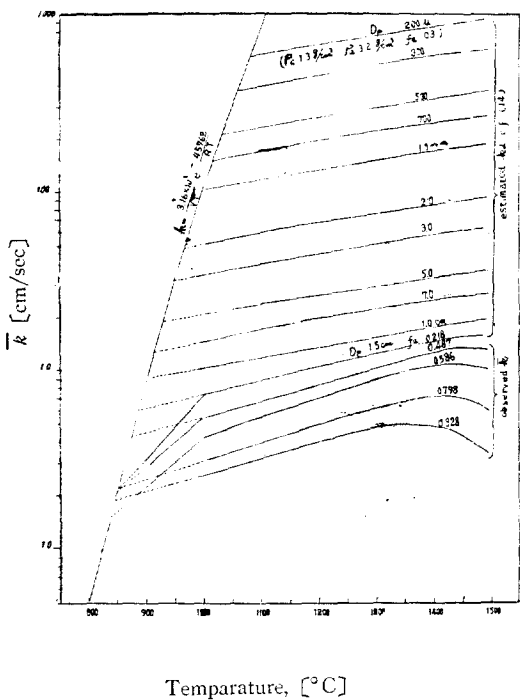


Fig. 5. Overall Combustion Rate Coefficient for Korean Anthracite Coal

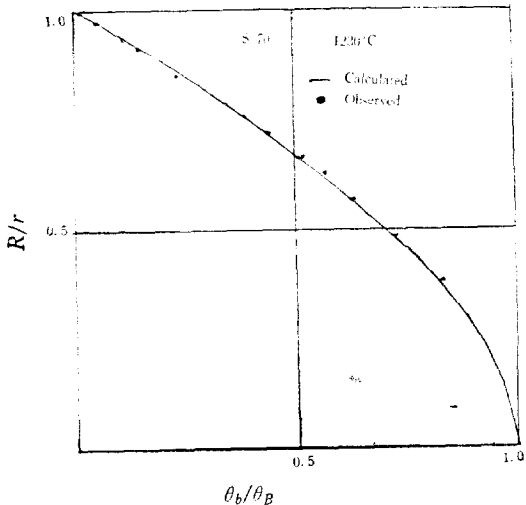


Fig. 6. r/R vs θ_P/θ_B

$$v = \frac{\Delta C}{\frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_d} + \frac{1}{3k_f}}$$

國產無煙炭의 燃燒速度에 關하여는 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 徑 15mm 程度の 粒子는 600°C 以下에서 化學的 燃燒過程이 律速的이며 그 燃燒速度定數는 다음과 같 이 表示된다.

$$k_c = \frac{3.16 \times 10^{13}}{\sqrt{T}} e^{-\frac{45762}{RT}}$$

2. 1130°C 와 1230°C 사이에서는 溫度上昇에 따라 總括燃焼速度가 顯著히 減少하며 이는 灰分의 融結로 因하여 灰層內의 酸素擴散을 妨害함에 起因하는 것으로 考察된다.

3. 630°C~1130°C의 範圍에서 實測된 燃燒反應速度를 解析하여 얻은 結果를 整理한 結果 灰層內의 酸素擴散移動速度定數 k_d 는 이 研究의 實驗範圍에서 다음과 같은 推算式을 求하여졌다.

$$k_d = \frac{12}{D_p} \times 0.166 \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2} \left\{ 1 - \left(\frac{\rho_c f_a}{3.2} \right)^{2/3} \right\}$$

References

1. Parker, A. L. and H. C. Hottel; I. E. C., 28, 1334—1936
2. Parker, A. L. and H. C. Hottel; I. E. C., 26, 889—1934
3. Levenspiel, O; Chem. React. Eng, p356 John. Wilery and Sons. Inc. (1962)
4. Yagi, S. and Kunii, D.; 5th Symposium (International) On Combustion p231—244, 1955
5. Yagi, S. and Kunii, D.; Chemical Eng. Sci. 16, 364—391, 1961
6. Yagi, S. and Kunii, D.; Chemical Eng. (Japan) 56, 133, 1953
7. 國井大藏; 新化學工學講座 IV. 5. 855.