

可燃性物質의 重量 燃燒速度 測定에 關한 實驗的 研究

*朴榮祖, *韓應教, **金相旭 ***朴元寧

*한양대학교 교수

**방재기술연구소,

***한양대학교 대학원.

An experimental study on measurement of combustion rate of combustible substances

Young-Zo Park,* Eung-Gyo Han,* Sang-Wook Kim** Won-Young Park**

ABSTRACT

A study was performed on combustion rates of three kinds of combustible substances under a few different combustion conditions.

To measure the combustion rates by weight method, I contrived an apparatus using a sensitive load cell.

The experimental results by the combustion tests of various combustible substances shows that the combustion circumstances, eg., air supply condition and the existence of flammable oil.

And it is found that the time constant T in case of oil absence is smaller than that in case of oil existence, and the time constant T in case of enforced air-entrained condition is greater than that in case of natural air-entrained condition.

〈 기호설명 〉

a,b ; Constant	L ; Distance between the load cell and inflammable Substance
e_i ; Input Voltage	R ; Resistance
e_o ; Output Voltage	R ; Change of resistance with tension strain
e_1 ; Voltage at point 1	R ; Change of resistance with compression strain
e_2 ; Voltage at Point 2	W ; Weight of inflammable Substance
C ; Strain	Z ; Section modulus
E ; Young's modulus	
F ; Gage factor	
K ; Proportional Coefficient	

I. 序 論

火災를 一般的으로 說明하면 다음과 같은 說明式으로 表示할 수 있다.

$$[發火源 + 可燃物] + \alpha + 媒體可燃物 + 建物 = 火災$$

發火源에는 담배불, 불티, 電氣合線등의 여러 가지가 있고 α 는 燃燒條件으로서 空氣의 供給條件, 기름의 有無, 濕氣등에 影響을 받는 因子이고 媒體可燃物에는 家具, 建物, 內裝材등이 있다.

火災에 關한 研究는 實際 建物을 태워서 實驗하기에는 費用의 浪費가 크고 燃燒現象을 解析하기도 어렵다. 따라서 建物을 構成하는 可燃性物質들의 燃燒現象을 解析함으로써 火災에 미치는 影響을 考察하는 경우가 대부분이다.

F. Grand(1)의 燃燒實驗은 可燃性物質을 燃燒시켜 그 燃燒가스를 가스 分析機로 分析하여 實驗條件이 燃燒에 미치는 影響을 考察한 것이다.

本 研究에서는 重量 燃燒速度 測定法으로서 從來의 靜止法(바아너법)이나 傳播法을 參考하고 스트레인 게이지를 利用한 Load Cell 을 使用하여 그 測定感度を 높인 裝置를 自作하고 이것으로 時間에 따른 重量變化를 測定하여 記錄器(miniwriter)로 記錄하는 새로운 方式을 考案하여 몇가지 可燃物質을 燃燒시켜서 그 重量減少 速度를 測定, 實驗式을 誘導하고 또한 이와같은 燃燒는 하나의 1次 遲延要素에 該當함을 알 수 있다. 따라서, 여기서는 火災의 Parameter가 되는 時定數 T를 求하였다.

또 燃燒過程中 最大火焰 높이는 寫眞으로 測定하였다. 그리고 燃燒環境의 變化 即, 기름의 有無, 空氣, 供給條件등의 燃燒條件을 考慮하여 實驗한다. 送風機로 바람을 일으키는 경우 裝置의 感도가 크므로 심한 振動이 發生한다. 따라서 煙筒의 높이를 變化하여 바람의 세기를 調節한다.

實驗은 同一한 條件 即, 常溫常壓에서 行한다.

그리고 燃燒現象을 支配하는 物理法則을 考察하여 原型과 模型實驗의 相似法則을 誘導함으로써 實際狀況에서의 可燃物의 燃燒現象을 本 實驗과 같이 模型實驗 할 수 있음을 考察한다.

II. 實驗方法

1. 實驗可燃性物質의 種類

建物을 構成하는 可燃性物質은 대단히 種類가 많기 때문에 本 實驗에서는 家庭에서 가장 흔한 신문지, 커튼, 木材로서 各 可燃物에 對한 重量燃燒速度 特性을 考察하고자 한다.

2. 重量法에 의한 重量燃燒率 測定

實驗 可燃物質을 實驗裝置위에 얹어 點火하여 着火시킨후 完全히 燃燒할때 까지 時間에 따른 重量減少率을 Load Cell 을 利用하여 檢出하고 이것을 時間과 함께 記錄함으로써 正確하게 測定할 수가 있었다.

Fig.1은 低重量 燃燒速度 測定裝置의 Block-Diagram이고 Fig.2는 高重量 燃燒速度 測定裝置의 Block-Diagram이다.

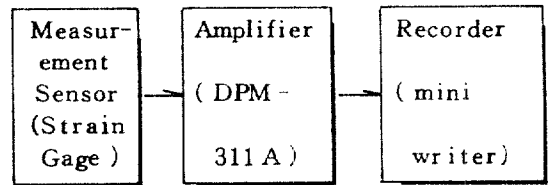


Fig. 1. The Block Diagram of Measurement Apparatus of Light Weight

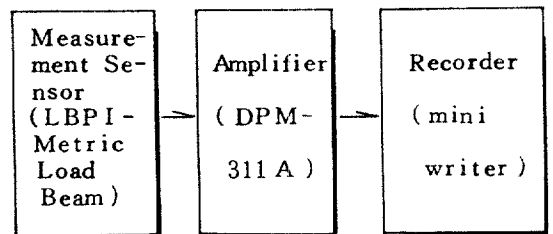


Fig2. The Block Diagram of Measurement Apparatus of Heavy Weight

Fig.1에서 종이 및 綿布와 같은 低重量 測定에는 (F·S 2000 × 10⁻⁶) Strain gauge 를 使用하여 20 gr 以下用 低重量 Load Cell 을 自作하였고 高重量 測定에는 Fig.2와 같은 容量이 좀 큰 LBPI-Metric Load Beam 의 Beam type Load Cell 을 使用한다.

3. 燃燒條件

燃燒條件에 따라 燃燒速度가 어떻게 影響을 받는가를 考察하기 위해 實驗 可燃物質에 기름 2 cc를 噴霧器로 뿌린것과 뿌리지 않은것, 바람이 있을때와 없을때의 條件에 따라 實驗한다.

바람 (風)을 發生시키는 器具로서 送風機를 쓰기보다는 煙筒의 길이를 變化시키면서 實驗하는데 이것은 裝置의 安定度를 높이기 위함이다.

Fig. 3은 煙筒의 縮小 圖面이다.

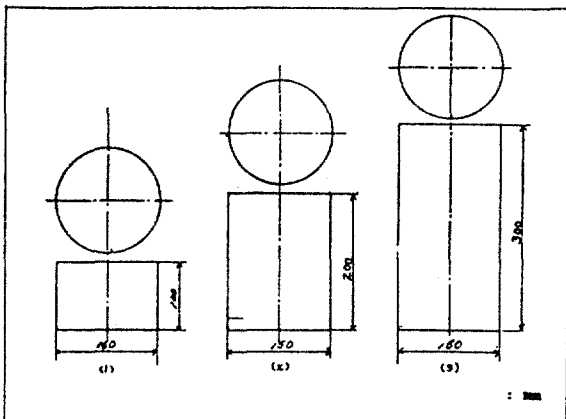


Fig.3. A fifth reduction drawing of smokestack

Ⅲ. 實驗結果 및 考察

1. 實驗結果

實驗에서 記錄機의 Recording Speed는 1mm/sec, Calibration gain을 1로 보정하였다.

종이나 면, 木材類등은 주로 纖維質의 有機

質로 構成되어 있으며 이들이 加熱되면 熱分解되어 可燃性의 分子들이 外部로 放出되면서 表面에서 불꽃 燃燒의 樣相을 나타내는데 分解殘存物中에는 相當量의 炭소가 生成된다. 따라서 分解 가스가 生成될 동안은 相當한 불꽃의 모습을 나타내지만 時間의 經過에 따라 炭化物에 의한 灼熱 燃燒(속불)가 본격적으로 進行되면 불꽃의 樣相은 서서히 減少하지만 炭化物의 본격 燃燒로 인해 重量의 急激한 減少가 일어나게 된다. 그런데, 종이나 면과 같은 것은 單位質量當의 空氣 接觸面積이 대단히 크므로 불꽃燃燒와 灼熱 燃燒間의 變化性이 뚜렷이 나타나지는 않는다. 그러나 木材는 종이와 면에 비해 比表面積이 대단히 작으므로 그 變化性이 뚜렷하다.

특히 기름이 있는 경우 기름 자체가 液體로서 加熱에 의해 有機 固體 可燃物의 熱分解 가스 生成보다 쉽게 증발하였다.

2. 實驗結果의 考察

2.1 重量燃燒速度 實驗式의 誘導

本 實驗 Data의 Ln W-T가 Graph로 부터 燃燒速度 實驗式을 다음과 같이 誘導할 수 있다.

$$\ln W = at + b$$

$$\rightarrow W = \exp(at + b) \quad (a < 0) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 a는 直線의 기울기, b는 直線의 절편 따라서 a는 重量減少狀態를 支配하는 요소이다.

$$\frac{dw}{dt} = ae^{at+b} = a e^b e^{at} \dots\dots\dots (2)$$

時定數 $T = -\frac{1}{a} > 0$ 이면

$$\rightarrow \frac{dw}{dt} = -\frac{e^b}{T} e^{-\frac{t}{T}} \dots\dots\dots (3)$$

2-2. 各 可燃物의 燃燒速度

實驗式 (1), (2), (3)은 實驗 Data로 부터 다

음과 같은 각 可燃物에 대한 燃燒速度를 구할 수 있었다.

(1) 종이의 경우

	Weight Reduction Rate	a	b	T
No Smokestack	$-0.912 \exp(-t/37.03)$	-0.027	3.52	37.03
Smokestack 1	$-1.123 \exp(-t/32.25)$	-0.031	3.59	32.25
Smokestack 3	$-1.562 \exp(-t/25.64)$	-0.039	3.69	25.64

(The Case of Oil Absence)

	Weight Reduction Rate	a	b	T
No Smokestack	$-0.497 \exp(-t/46.9)$	-0.0213	3.15	46.9
Smokestack 1	$-0.774 \exp(-t/35.7)$	-0.028	3.32	35.7
Smokestack 3	$-1.049 \exp(-t/28.57)$	-0.035	3.4	28.57

(The Case of Oil Existence)

(2) 綿布의 경우

	Weight Reduction Rate	a	b	T
No Smokestack	$-0.4725 \exp(-t/38.46)$	-0.026	2.9	38.46
Smokestack 3	$-0.46 \exp(-t/33.3)$	-0.03	2.73	33.3

(The Case of Oil Absence)

	Weight Reduction Rate	a	b	T
No Smokestack	$-0.362 \exp(-t/45.6)$	-0.022	2.8	45.6
Smokestack 3	$-0.602 \exp(-t/38.0)$	-0.0263	3.13	38.0

(The Case of Oil Existence)

(3) 木材의 경우

	Weight Reduction Rate	a	b	T
No Smokestack	$-3.38 \exp(-t/43.4)$	-0.023	4.97	43.4
Smokestack 3	$-7.286 \exp(-t/32.36)$	-0.0309	5.463	32.36

(The Case of Oil Absence)

가연성 물질의 중량 연소속도 측정에 관한 실험적 연구

	Weight Reduction Rate	a	b	T
No Smokestack	$-2.26\exp(-t/48.3)$	-0.0207	4.84	48.3
Smokestack 3	$-5.39\exp(-t/35.7)$	-0.028	5.26	35.7

(The Case of Oil Existence)

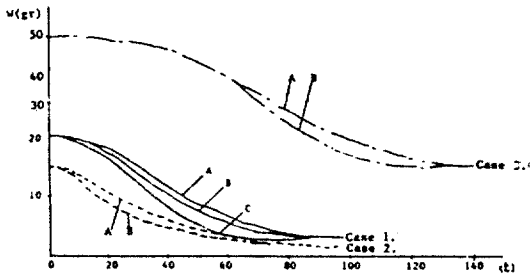


Fig4. The Graph of Reducing Weight according to Time

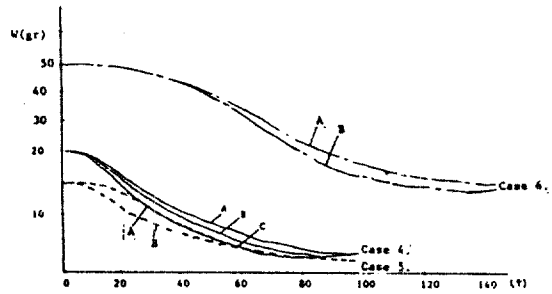


Fig6. The Graph of Reducing Weight according to Time

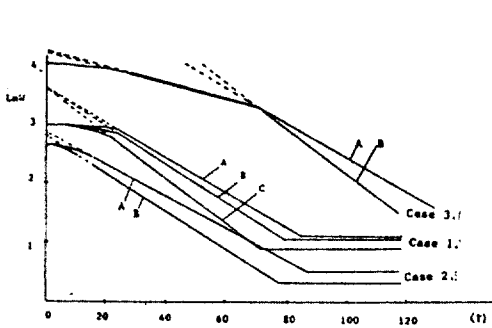


Fig5. The Graph of Ln W according to Time

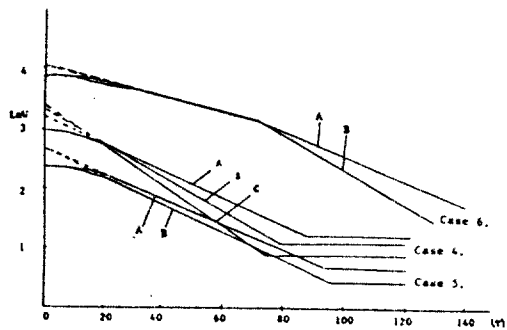


Fig7. The Graph of Ln W according to Time

Case 1. The Case of Oil Absence in paper	A = No Smokestack B = Smokestack 1 C = Smokestack 3
Case 2. The Case of Oil Absence in Cotton	A = No Smokestack
Case 3. The Case of Oil Absence in Wood	B = Smokestack 3
Case 4. The Case of Oil Existence in Paper	A = No Smokestack B = Smokestack 1 C = Smokestack 3
Case 5. The Case of Oil Existence in Cotton	A = No Smokestack
Case 6. The Case of Oil Existence in Wood	B = Smokestack 3

IV. 結 論

參 考 文 獻

本 研究에서 燃燒條件(a)를 變化시키면서 感度 좋은 스트레인 게이지式 Load Cell 을 使用, 可燃性 物質의 重量 燃燒速度를 測定한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 時間에 따른 重量變化는 定常燃燒狀態에서 지수 함수적으로 變함을 알 수 있었다.

$$W = e^{at+b} = e^b \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{e^b}{T} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

2. 時定數 T는 可燃物의 種類 및 기름의 有無에 따른 變化보다는 바람의 影響이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

3. 重量 燃燒速度의 變曲狀態는 종이, 면의 경우는 심하지 않으나 木材의 경우 確實하게 나타남을 알 수 있었다.

本 實驗에서는 實驗上의 어려움을 考慮하여 燃燒條件(a)의 경우 수를 制限하여 基礎的 實驗을 遂行하였다.

앞으로 重量 空氣供給條件, 濕度, 기름의 양 등의 因子를 調合하여 보다 發展된 研究에 조금 이나마 도움이 되었으면 한다.

1. ASTM D-2155-66 (1966)
2. Journal of fire Science Vol.3-july/Aug p.280~304 (1985).
3. 福山, 小川他: 高壓가스 Vol17. №5 p.243~251 (1980)
4. 한응교著: 計測工學, 光林社(1976)p.48~55.
5. 한응교譯 (W.Beack & B·B Marangoni 共著) 「最新計測工學」清文閣, p.250~425,(1984).
6. 疋出, 秋出: 「燃燒概論」, 코로나社, p.190 (1976).
7. W.J.Dixon: journal of American Statistical Association. Vol 43.p.109(1948)
8. 한응교著: Strain gauge-理論과 應用-普成文化社 (1974).
9. B.Andesson & S.E.Magnusson: Fire Behaviour of upholstered Furniture-an Experimental study. Fire and Materials Vol9. №1, p.41~45(1985).
10. W.D Weatherford: "Scaling of flames above free-burning Structural models", Combustion and flames Vol.14, Feb,jun 1970,p.21~29.