

보일러의 效率向上을 위한 燃燒補助裝置에 關한 研究
(燃燒室 模型 實驗)

A Study on the Apparatus for Improving Boiler Efficiency

徐 廷 一* 趙 珍 鎬* 李 昌 植* 曹 鐘 徹**

(J. I. Seoh) (J. H. Cho) (C. S. Lee) (J. C. Jo)

ABSTRACT

This paper presents the experimental investigations of a system as a second treatment means to increase boiler efficiency and heat transfer from combustion gas to heating surfaces in the case of spray combustion.

In order to reburn residual combustible components accelerate the burning rate of sprayed fuel droplets, improve the diffusion flame and delay the residence time of the flame, a device with slit type nozzles for spouting preheated supplementary air is used in this study.

In the experiment, boiler efficiency and smoke concentration in the exhaust gas at given conditions are measured in both case of installing and not - installing device in the model of combustion chamber which was designed to be equipped with five surfaces.

The results obtained in this experiment are as follows ;

1. The optimum values of air rate λ are about 1.3 in both case.
2. The exhaust gas temperature in the case with device increases about 30 ~ 70 °C above that of the case without the device.
3. Boiler efficiency and reduction effect of smoke emissions are improved considerably.

Nomenclature

A_n : nth tank's surface area

a_o : air rate supplied from burner

a_s : supplementary air rate

B : fuel consumption

C_w : mean specific heat of water

G_{rf} : Grashof number

H_l : lower calorific value of heat

* 漢陽大學校 工科學

** 漢陽大學校 大學院

h_n : convection heat transfer coefficient from the n th tank's surface to air
 L : actual air/fuel ratio
 L_s : stoichiometric air/fuel ratio
 m : dimensionless value ($= a_s/a_o$)
 $P_{r,f}$: Prandtl number
 t_g : exhaust gas temperature
 t_{mf} : mean final temperature at the given measuring time interval
 t_{mi} : mean initial temperature at the given measuring time interval
 t_∞ : ambient temperature
 η : efficiency
 λ : air rate ($= L/L_s$)
 $\Delta\tau$: measuring time
 S.A.: subsidiary apparatus

1. 序 論

보일러의 효율을 위한 방안으로는 공급공기의 예열, 연도내의 배열회수, 열면의最適設計, 버너로부터噴出되는燃料微粒의完全燃焼를 위한燃焼室의構造改善등을 들 수 있다. (1,6) 이들중에서도 공기가充分히供給될 수 없는火炎後部에서의不完全燃焼로 인한未燃成分의濃度を低減시켜서大氣汚染防止에 기여하고 효율증대를圖謀하는 것은 매우 중요한 일이다. 大氣汚染防止策으로서는現在排氣中の有害成分을低減시키는方法으로서燃料의燃焼過程에서燃焼効率을向上시키는前處理方法和排氣에 대하여實施하는後處理方法이 있다. (2) 前者는燃料의燃焼性向上과燃焼噴射系統의改善等이며 이 방법은燃焼効率을 높이는데 그目的이 있으므로排氣淨화와同時에熱効率向上에 효과가 있으며後者는燃焼室體積이 작은內燃機

關等에서燃焼室에서排出되는燃焼生成物을處理하는方法으로서그代表的인實例는熱反應이나觸媒에 의한酸化反應等으로可燃性の未燃排出成分을再燃焼시키는 것이며 (2) 이러한方法是機關의效率증대에는直接的인 효과가 없다. 그러나燃焼空間이比較的 넓은外燃機關等에서는燃焼室內에서未燃成分이排出되기前에熱反應의原理를應用한再燃焼方法의利用이考慮될수 있다. (2, 10)

따라서本研究의目的은噴霧燃焼時火炎後部の不完全燃焼部に豫熱된空氣를供給하여充分히混合시키고 이로써未燃可燃成分의再燃焼와燃焼促進을圖謀하는後處理方法에 의하여燃焼效率증대와流動低抗이 없는範圍內에서火炎을擴散시켜熱面과의接觸面을擴大시키므로써傳熱效果向上을 시도하였다. 이를 위하여 5개의傳熱面으로 둘러싸인燃焼室內의火炎後部の45°C의前面傾斜部に슬릿型空氣噴出노즐을 갖는燃焼補助裝置를装着하고豫熱空氣를노즐을通하여供給되도록 하였다.

本報에서는空氣比入가一定한條件下에서燃焼補助裝置를装着하기前과後에 대하여傳熱面을 통한受熱媒體인 물의吸收熱량과傳熱面을包含하는탱크의大氣와接한表面으로부터周圍로의自然對流에 의한傳熱量을 구하므로써熱效率를計算하고 또한排氣의媒煙度を測定하여兩경우에 대하여比較하였다. 이와 같이 하여燃焼補助裝置의效果和性能을評價하고各경우에 대하여最大效率를 가지는空氣比를 구하고火炎의流動과再燃焼現象을觀察하여豫熱空氣가再燃焼에 미치는影響을比較檢討하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1 實驗用 燃焼室

本實驗에서製作하여使用한燃焼室은 配

키지型 水管式 보일러의 燃燒室을 modeling 한 것으로서 Fig.1에 表示한 바와 같다. 이 燃燒室은 두께 2.3 mm인 軟鋼으로서 直6面體의 燃燒室壁中에서 燃燒室바닥을 除外한 나머지 5面을 傳熱面으로 하고 그 面들을 各各의 受熱面으로 하는 5개의 相互分離된 탱크를 만들었다. 탱크內의 受熱媒體는 물이며 그 總體積은 870 m³이다. 燃燒室바닥은 耐火벽돌과 유리솜을 3回交代로 갈

고 耐火몰타르를 最上部에 발라서 充分히 斷熱시켰다. 그리고 燃燒室 右側壁의 中央部에 直徑 105 mm의 觀察窓을 耐火유리로써 만들어 火炎의 流動과 再燃燒現象을 觀察할 수 있도록 하였다. 또한 燃燒가스의 排出口는 燃燒室後面中央下部의 바닥에서 約 125 mm위의 位置에 中心을 두고 높이 20 m인 煙突에 連結하였다.

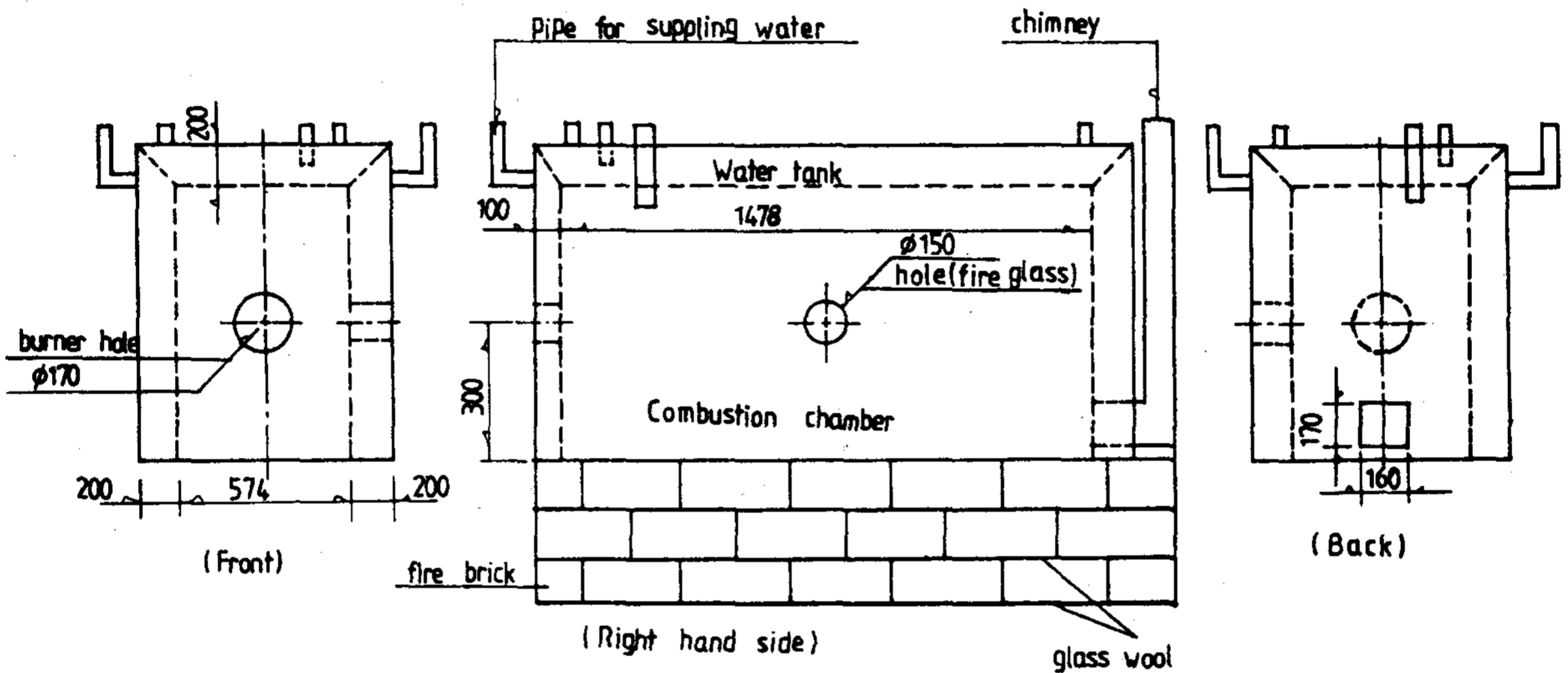


Fig.1 Experimental combustion chamber with heating surface

2.2 燃燒補助裝置 (1)

未燃成分의 再燃燒와 燃燒促進 및 傳熱效果의 向上을 위한 燃燒補助裝置는 冷間壓延스테인레스鋼板 (KSD3700)을 使用하여 프레임, 노즐 및 送風通路를 만들고 空氣噴出노즐部가 火炎에 露出되지 않도록 耐火度 SK37인 벽돌로 덮고 그 表面에 耐火몰타르를 발랐다. 燃燒補助裝置의 縱斷面積은 燃燒室縱斷面積의 50%이며 노즐로부터 噴出되는 空氣와 補助裝置에 의한 火炎의 流動低抗을 적게하고 空氣가 未燃가스部에 고르게 供給되게 하기 위하여 火炎이 닿는 前面傾斜部의 傾斜面은 45°로 하였고 幅 350 mm인 4개의 슬릿型 노즐을 140 mm間隔으로 配置하

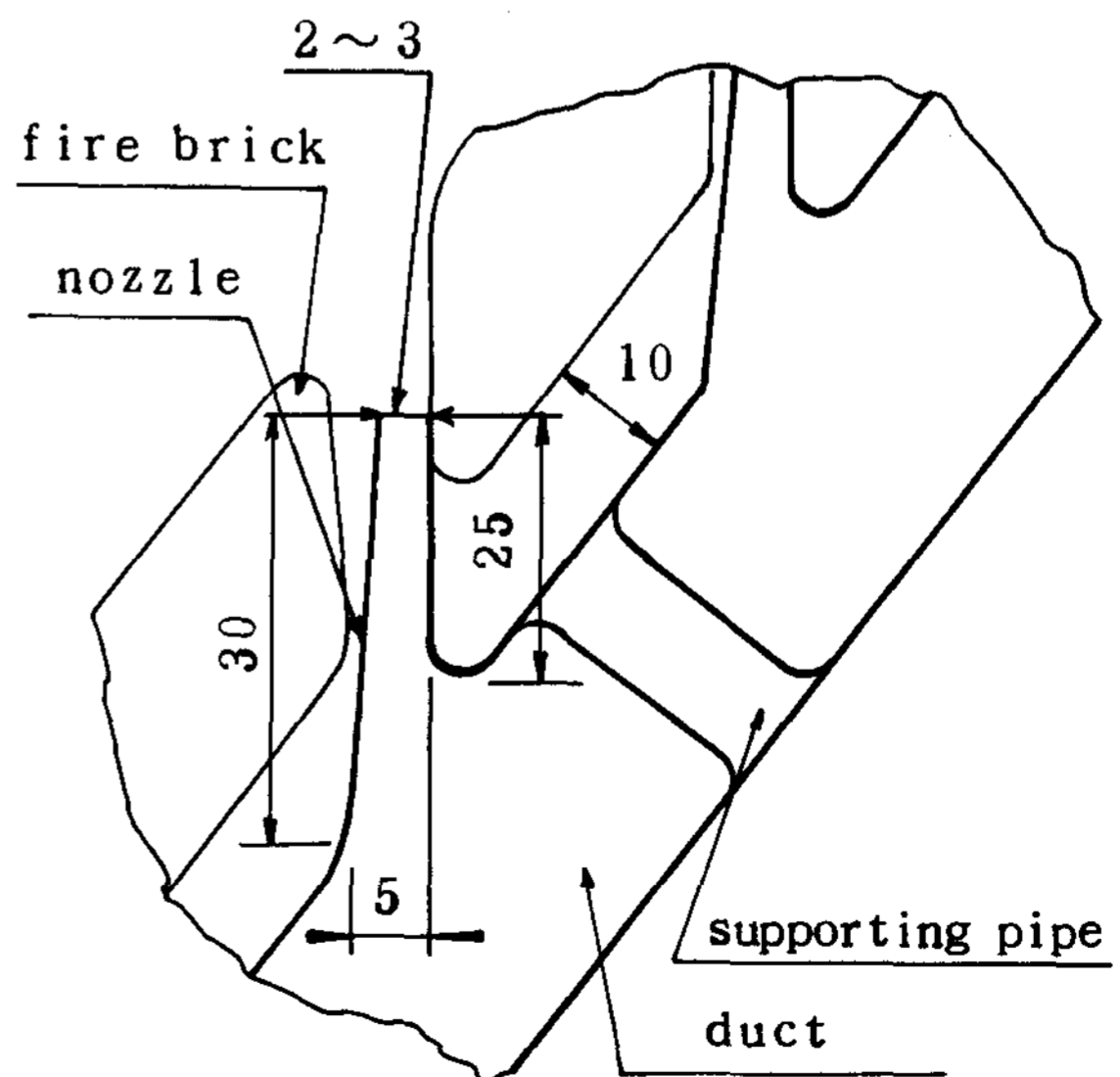


Fig.2. Air spouting nozzle

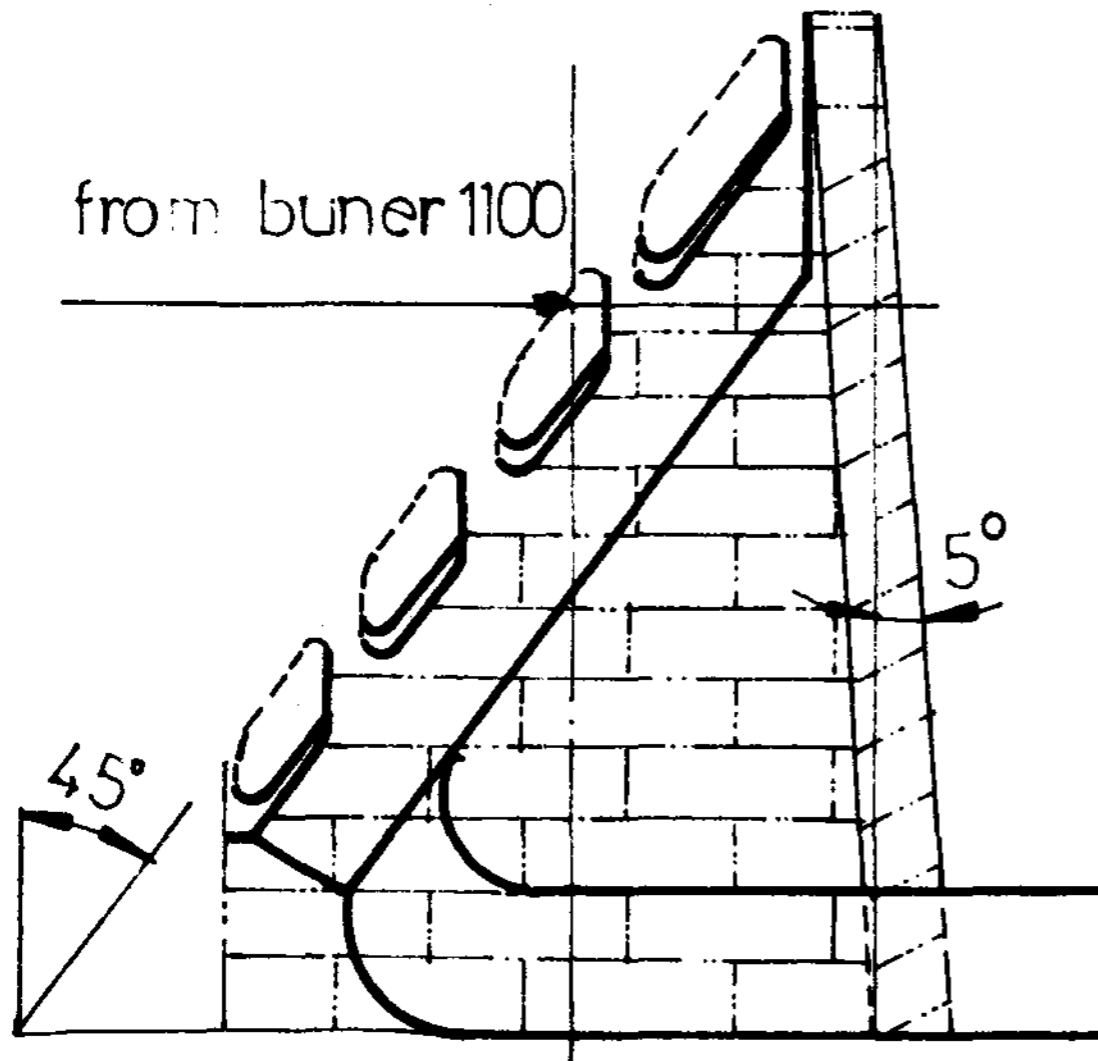


Fig. 3. Schema of the subsidiary apparatus



Fig. 4. Photo of the subsidiary apparatus

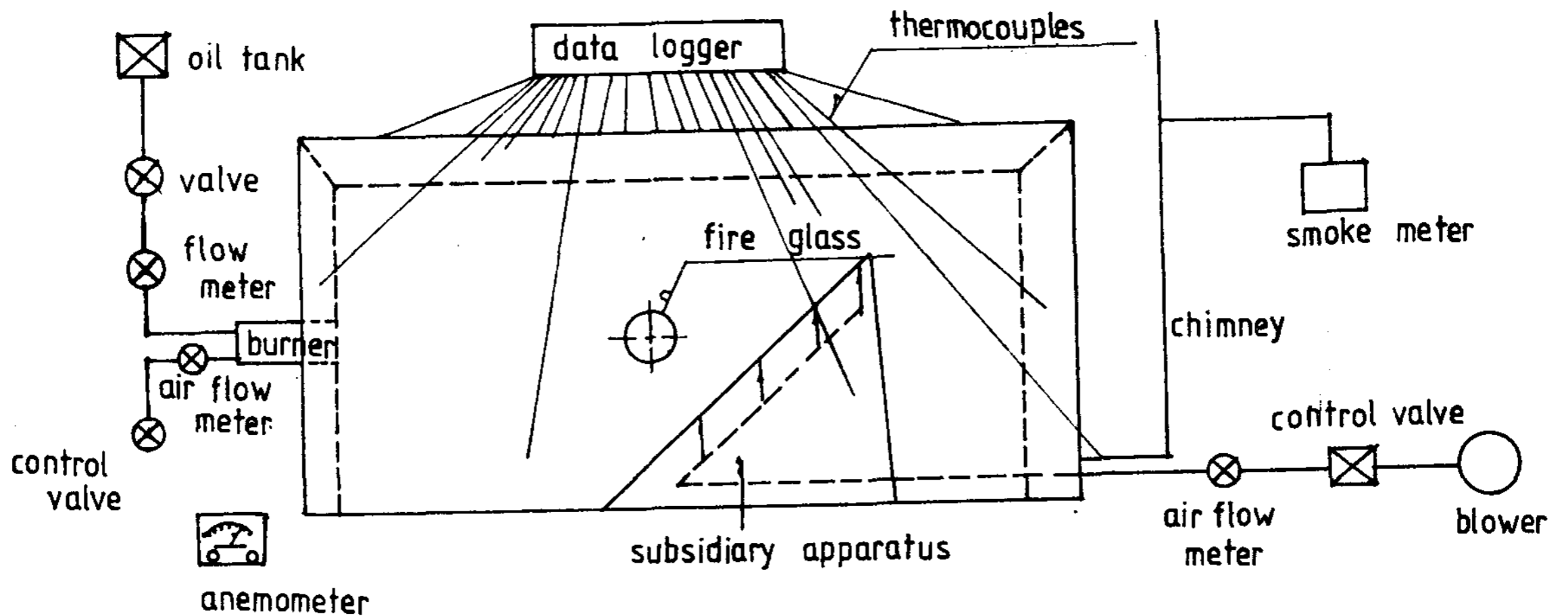


Fig. 5 Schematic diagram of experimental apparatus

였다. Fig. 2는 슬릿형노즐의 詳細圖이며 Fig. 3과 Fig. 4는 燃燒補助裝置의 構造와 그 寫眞이다.

2.3 實驗裝置

實驗裝置의 概略圖는 Fig. 5와 같다. 燃燒補助裝置는 3번째 (아래에서) 이 버어너로

부터 1100 mm 거리에 位置하도록 裝着하고 送風機로 부터 나오는 空氣를 豫熱하여 供給하였다. 버어너는 油量과 空氣量을 調節할 수 있는 輕油用 로우터리式으로서 最大火炎길이는 大氣中에서 1200 mm, 燃料流量은 1 ~ 17 l / hr 의 용량을 갖는다. 버어너로 供給되는 油量, 空氣量 및 燃燒補助裝置로 供給되는 空氣量의 調節과 流量

測定을 위하여 調節밸브와 流量計를 各 管路에 附着하였으며 煤煙度測定을 위하여 煙突上方 2 m되는 곳에 排出가스의 採取口를 만들었다. 또한 各 탱크内部의 平均水温과 탱크表面의 溫度測定을 위하여 熱電對를 連結시켰으며 탱크表面에서의 空氣의 流動速度의 測定에는 anemometer를 使用하였다. 實驗에서 使用한 溫度計는 Data logger FLUKE 2200이다.

2.4 實驗方法

버어너에 供給되는 空氣量과 油量을 調節밸브로써 調整하여 固定시킨 다음 大氣狀態에서 5개의 탱크內 受熱媒體인 물의 平均溫度上昇과 排出가스溫度를 測定하고 탱크의 各 表面에서 自然對流에 의한 放熱量을 近似計算하기 위하여 各 탱크表面上의 各部 溫度를 30秒마다 測定하여 그 平均値를 구하고 煤煙度를 測定하였다. 물의 溫度가 90 °C를 넘지 않는 範圍에서 供給油量을 增加시켜 連續運轉狀態에서의 油量, 送風量을 3分마다 變化시켜 가면서 測定하였다. 使用燃料인 디젤油의 物性値는 低發熱量 $H=100260$ Kcal/kg, 密度 $\rho=0.843$ kg/m³, 重量組成 C 86.3%, H 12.8%, S 0.9%이다.

2.5 效率計算

模型보일러의 熱效率計算은 탱크表面의 溫度가 90 °C以下이므로 탱크表面으로부터 周圍로 輻射傳熱量은 極히 微小하므로 無視하고 受熱媒體인 물의 吸熱량과 탱크表面으로부터 周圍空氣로 對流傳熱량의 合을 有效熱量으로 하였다. 따라서 效率式은 다음과 같이 表示된다.

$$\eta = \frac{\sum_{n=1}^5 C_w \cdot M_n \cdot (t_{mf} - t_{mi})_n + \sum_{n=1}^5 h_n \cdot A_n}{B \cdot \Delta\tau \cdot H_f}$$

$$\frac{(t_{ms} - t_{\infty})_n \cdot \Delta\tau}{B \cdot \Delta\tau \cdot H_f} \times 100 (\%)$$

여기서 M_n 은 n 번째 탱크內의 물의 質量을 나

타낸다.

實驗에서 測定된 탱크周圍空氣의 流動速度는 0.05 m/s 以下였으므로 自然對流로 看做할 수 있었으며, 本 實驗에서의 諸條件들로부터 膜溫度 $t_f = (t_{ms} + t_{\infty})/2$ 에서 空氣의 性質들인 動粘性係數 ν , 體積膨脹係數 β , 및 Prandtl number를 表에서 찾고 對流熱傳達가 일어나는 탱크表面의 길이 ℓ 과 重力加速度 $g = 9.806$ m/s² 를 利用하면

$$Gr_{ff} \cdot Pr_{ff} = \frac{g \beta (t_{ms} - t_{\infty}) \ell^3}{\nu^2} \cdot Pr_{ff} > 10^9$$

이므로 亂流이다.

따라서 大氣壓下에서 各 表面들로부터 空氣로 自然對流에 대한 對流熱傳達係數 h 는 다음의 實驗式(4, 5) 들에 의하여 近似計算하였다.

垂直平板에 대하여 :

$$h_n = 0.95 (t_{ms} - t_{\infty})_n^{1/3} [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

水平平板에 대하여 :

$$h_n = 0.61 \{ (t_{ms} - t_{\infty})_n / \ell^2 \}^{1/5}$$

$$[W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

여기서 h_n 은 n 번째 탱크表面에서의 對流熱傳達係數를 表示한다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 보일러의 效率향상과 煤煙度低減效果

實驗에서 얻은 燃燒補助裝置의 装着前後의 結果를 相互比較하여 效率향상과 煤煙度低減의 效果를 檢討하기로 한다.

(1) 效率향상效果

Fig.6은 補助裝置의 装着前後의 두경우에 대하여 空氣比가 效率에 미치는 效果를 나타

낸 것이며 여기서 알 수 있듯이 効率は 두 경우모 두 空氣比 λ 가 1.1 ~ 1.4의 範圍에서 最大值를 보이며 計算值^(8,9)와 거의 一致하고 있다.

Fig.7은 空氣比가 다음과 같이 定義한 効率上昇率에 미치는 效果를 表示한 것이다.

$$\text{効率上昇率} = \frac{\eta_{\text{with S.A.}} - \eta_{\text{without S.A.}}}{\eta_{\text{without S.A.}}} \times 100 (\%)$$

여기서 添字 without S.A와 with S.A.는 燃燒補助裝置(S.A)의 装着前과 装着後를 各各 나타낸다.

보일러의 効率上昇率は λ 가 1.3以下인 範圍에서는 서서히 增加하다가 1.3以上에서는 급격히 減少한다.

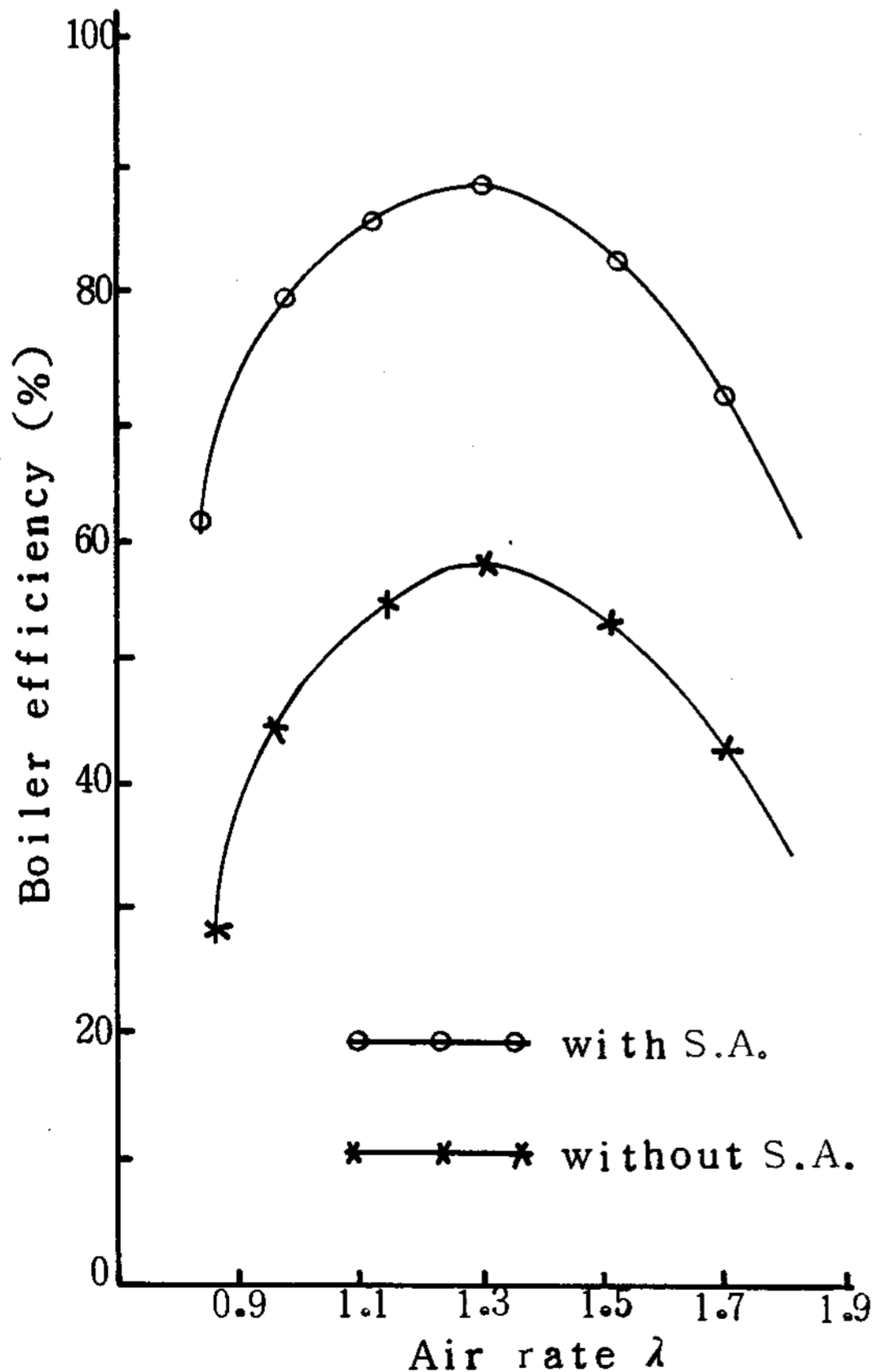


Fig.6 The effect of λ on η

(2) 煤煙度低減效果

Fig.8은 a_0 에 대한 a_s 의 比인 m 이 0.3일 때 燃料消費量 B 가 煤煙度에 미치는 影響을 나타낸 것으로서 B 가 0.4일 때 煤煙度 0(火炎이 形成되지 않은 경우임)으로 부터 B 가 增加함에 따라서 增加하고 $B=0.58$ 부근에서 極大值를, $B=0.65$ 부근에서 極小值를 나타내었다. B 가 0.5보다 작은 경우에는 空氣-燃料比가 커서 過多한 空氣로 인하여 煤煙度가 낮으며 實際의 運轉條件에서는 큰 意義가 없다. 効率의 경우와 같이 燃燒補助裝置에 의한 煤煙度低減效果가 顯著함을 Fig.9와 Fig.10으로부터 알 수 있다. 最大의 煤煙度低減率은 空氣比가 約 1.1에서 나타났으며 煤煙度低減率은 다음과 같이 定義하였다.

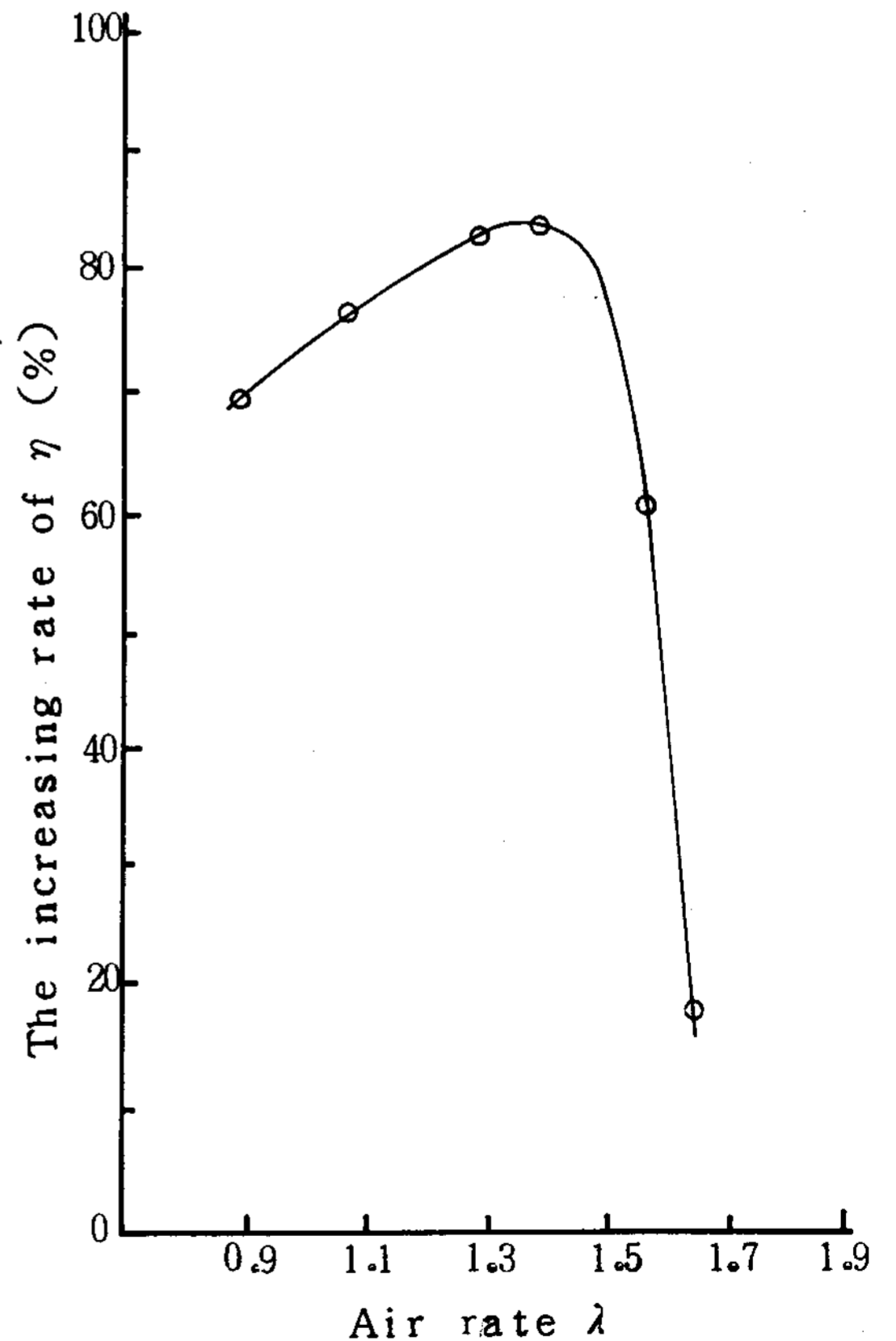


Fig.7 The effect of λ on the increasing rate of η

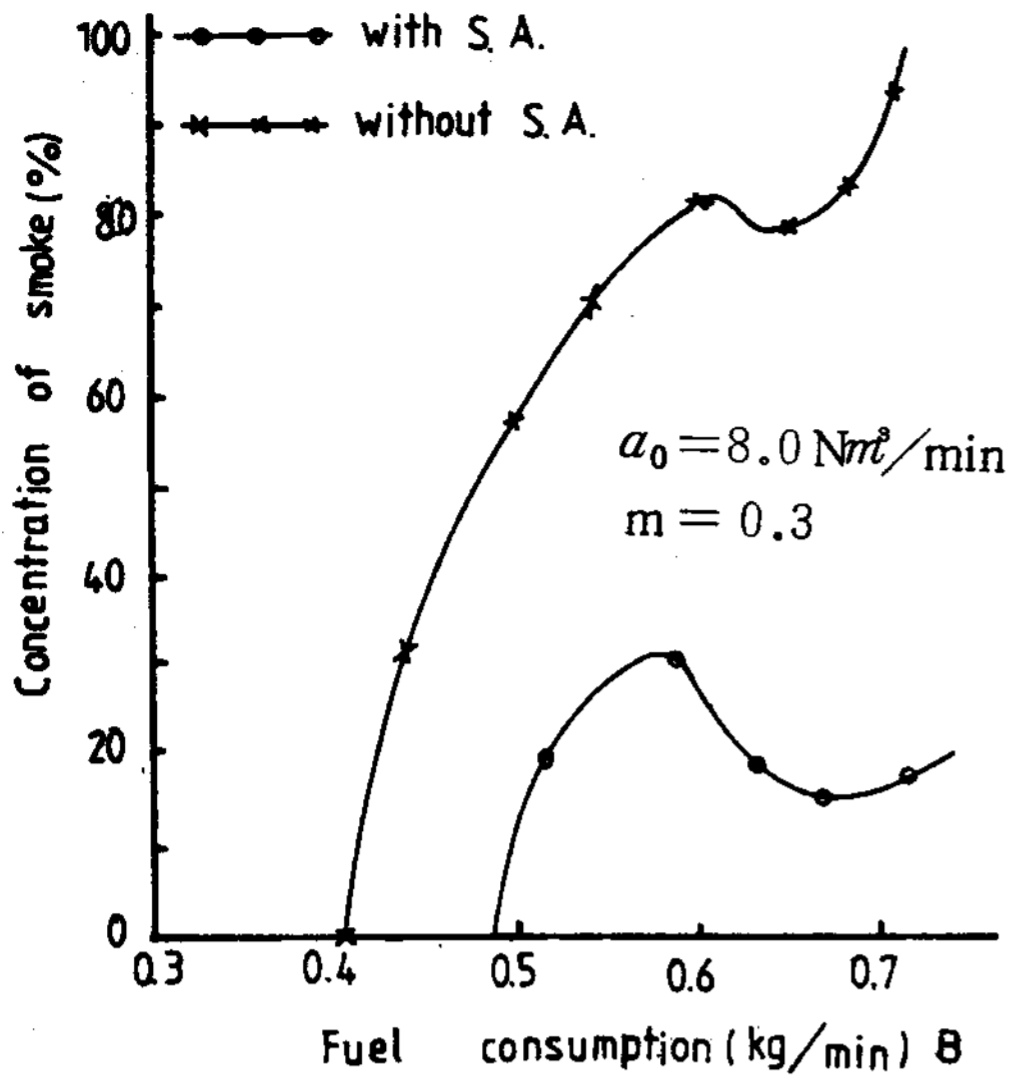


Fig.8 The effect of B on the concentration of smoke

煤煙度低減率

$$= \frac{[C.S.]_{\text{without S.A.}} - [C.S.]_{\text{with S.A.}}}{[C.S.]_{\text{without S.A.}}} \times 100 (\%)$$

여기서 [C.S.]는 煤煙度(%)를 나타낸다.

3.2 排氣溫度

排氣의 溫度는 Fig.11에 表示된 바와같이 燃燒補助裝置에 의한 再燃燒效果에 의하여 相當히 上昇하였다. 이는 補助裝置의 再燃燒效果에 의한 燃燒效率의 向上을 證明해준다.

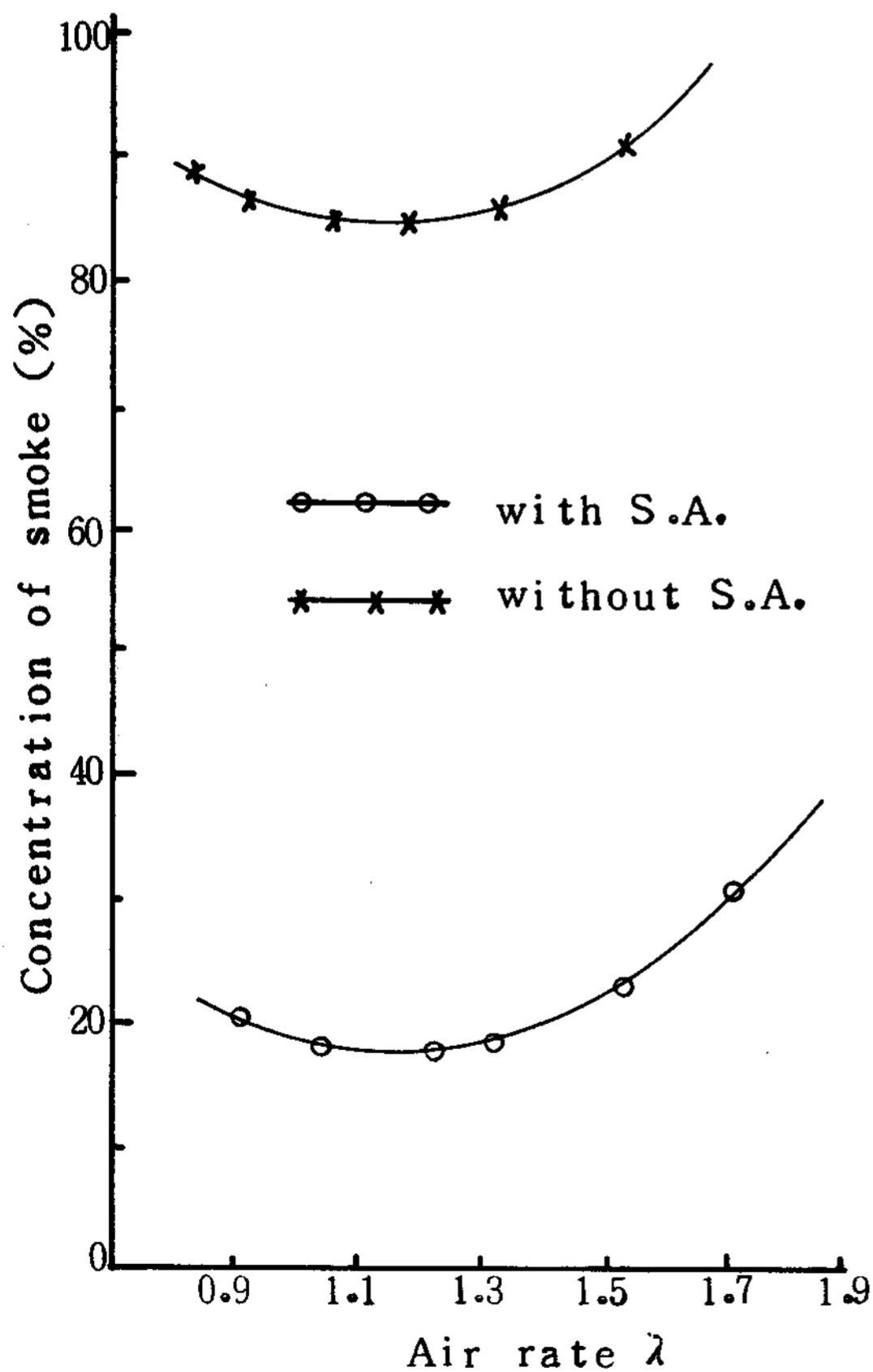


Fig.9 The effect of λ on the concentration of smoke

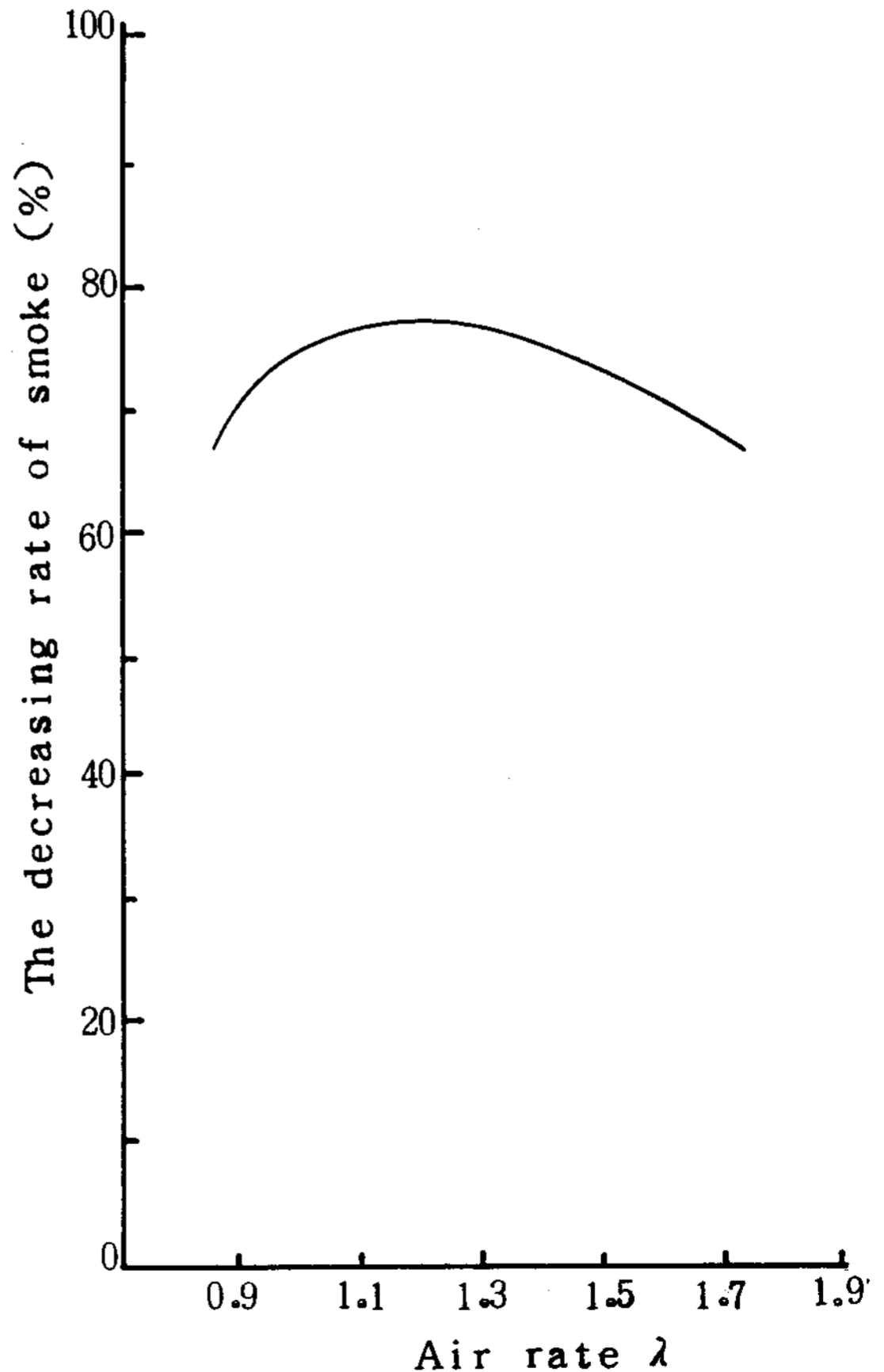


Fig.10 The effect of λ on the decreasing rate of smoke

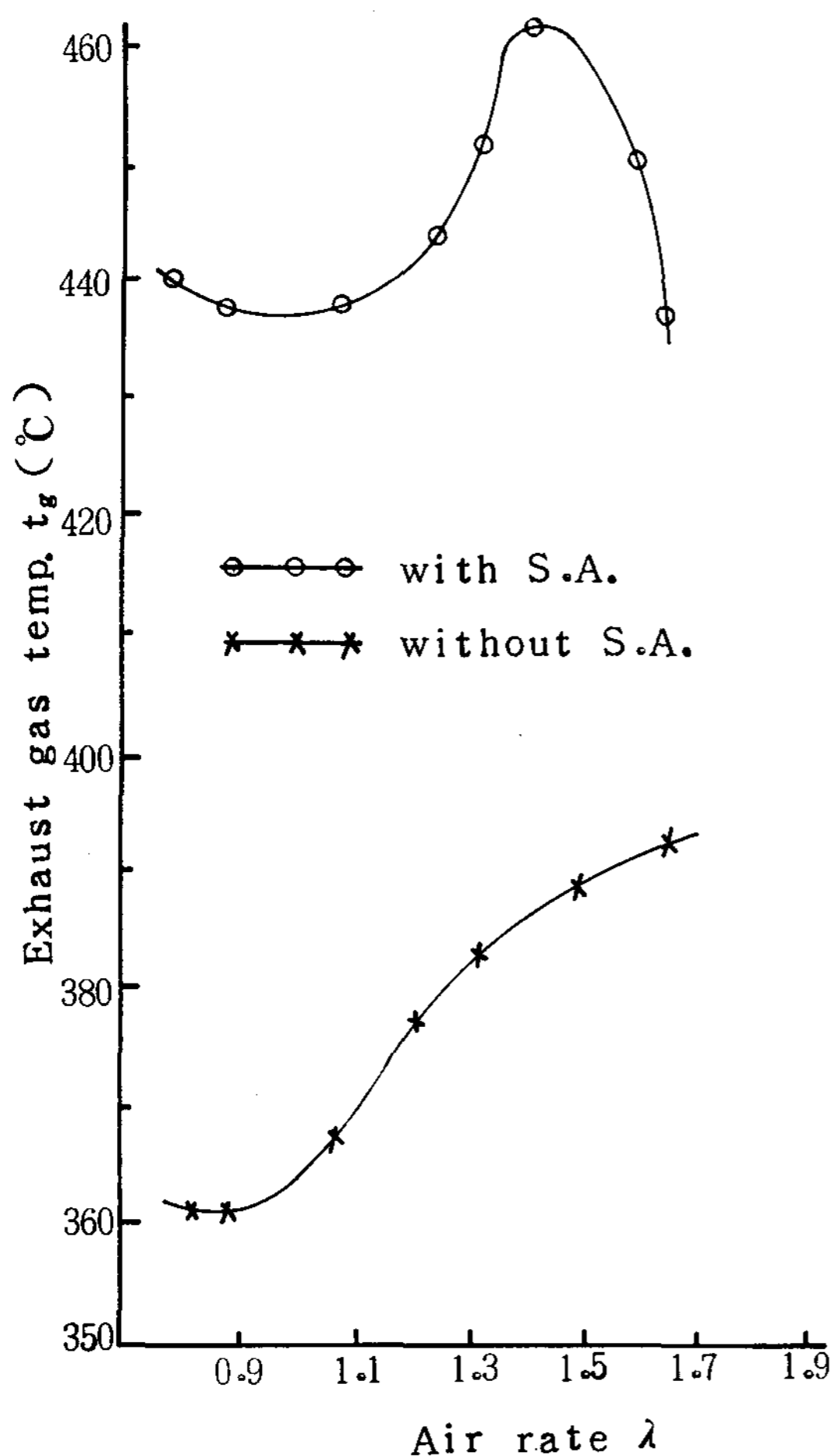


Fig. 11 $\lambda - t_g$ relation

3.3 未燃成分과 再燃焼와 火炎의 流動現象 (Fig. 12 參照)

觀察窓으로부터 火炎을 觀察한 結果를 살펴보면 一定한 噴霧油量에 대하여 버어너部에서 噴出되는 空氣量 a_0 가 적을 때에는 火炎後部는 多量의 未燃成分에 의하여 黑赤色을 띠며, a_0 를 增加시키면 火炎의 長이가 길어지고 黄赤色으로 變하고, a_0 가 理論空氣量보다 약간 더 큰 값 (實際空氣量)이 되면 橙色의 長炎으로 되며 a_0 를 더욱 增加시키면 黄赤色의 短炎으로 되어 그 以上の a_0 에 대하여는 다시 黑赤色으로 變化한다.

燃焼室内에 燃焼補助装置를 装着한 後에는 그 装置의 노즐에서 噴出되는 豫熱空氣에 의하여 黑色 또는 黑赤色의 火炎後部에서의 未燃成分이 再燃焼하여 長炎으로 되고 装置둘레에 넓게 擴散되었다.

a_0 가 理論空氣量보다 작은 範圍에서는 火炎後部를 이루는 多量의 霧化된 微粒의 未燃燃料 液滴과 未燃가스들이 燃焼補助装置의 空氣노즐에서 噴出되는 空氣와 混合되어 高温狀態에서 再燃焼하며 一定 a_0 에 대하여 燃料噴霧量이 적은 경우에는 補助装置의 傾斜面上에서 그 面과 약간의 間隔을 두고 平行한 方向으로 火炎이 進行하여 그 補助装置 둘레로 擴散된다. 燃料量이 增加하면 火炎은 渦動을 일으키며 燃焼補助装置의 傾斜面에 近接하여 平行한 方向으로 流動하고 燃料量이 더욱 增加하면 燃焼補助装置 바로 앞에서는 火炎의 形態가 거의 없고 (버어너部에서는 火炎이 存在함) 不連續의 再燃焼로 인한 新生火炎이 傾斜面上에 形成되어 渦動은 더 커짐을 觀察할 수 있었다.

a_0 가 理論空氣量보다 큰 範圍에서는 一定한 a_0 와 燃料消費量 B 에 대하여 a_0 가 增加하면 버어너部의 主火炎과 燃焼補助装置 傾斜面上的의 獨立火炎사이의 未燃成分이 殘留하는 不連續部가 없어지면서 하나의 長炎으로 되며 傾斜面上서 再燃焼火炎의 渦動의 정도도 점차 작아진다.

다음 Fig. 12는 $a_0 = 0.2 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 일때 實驗에서 撮影한 火炎寫眞의 一部를 掲載한 것이다.

4. 結 論

本 研究에서 얻은 結論은 다음과 같다.

- (1) 보일러燃焼室内 火炎後部에서의 未燃成分을 再燃焼시키므로써 燃焼效率을 向上시키고 이로인한 燃焼室内部 溫度의 上昇으로 噴霧燃料의 蒸發 및 燃焼促進시킬 수 있었다.
- (2) 燃焼補助装置에 의한 效率上昇率은 空氣比 λ

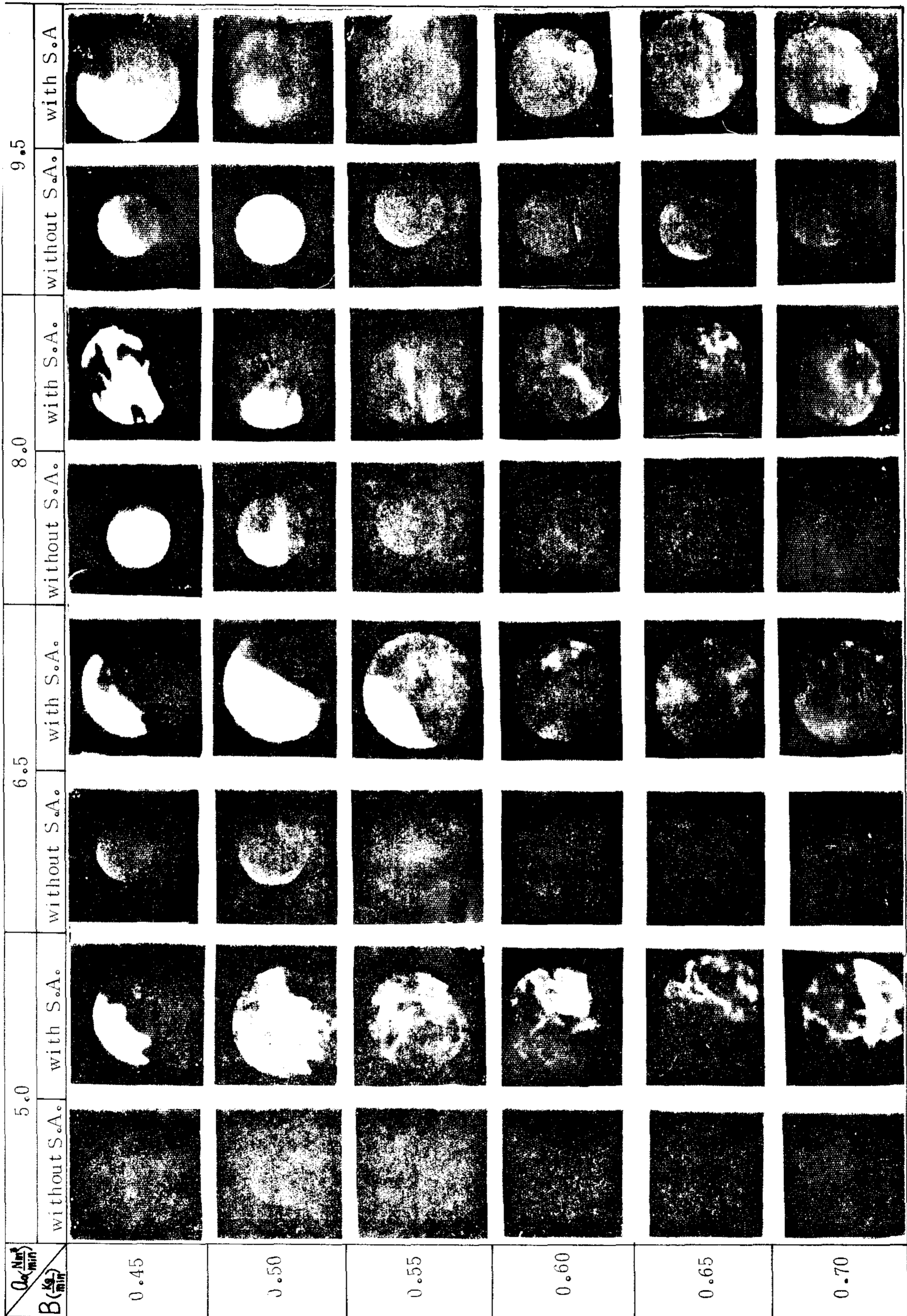


Fig.12 Photo. of flames When $a_s = 2.0 \text{ Nm}^3/\text{min}$

가 약 1.3에서 最大이고 煤煙度低減率은 空氣比λ
가 약간 낮은 1.1程度에서 最大였다.

(3) 燃燒補助裝置에 의한 燃燒效率向上으로 煤
煙度가 低減되고 排氣溫度는 約 30 ~ 70 °C程度
上昇한다.

(4) 燃燒補助裝置는 再燃燒와 燃燒促進外에 火
炎을 擴散시키므로서 傳熱面과의 接觸面이 擴大
되고 또한 燃燒室內에서 火炎의 滯留時間을 遲
延시켜서 傳熱效果를 增大시킨다.

(5) 排氣溫度上昇으로 因한 損失熱을 效率的 으
로 回收할 경우 熱效率의 向上은 더욱 增加될 것
으로 思料된다.

後 記

本 研究는 現代그룹의 研究費 支援에 의하여
遂行되었음을 밝히며 이에 깊은 謝意를 表합니
다.

參 考 文 獻

1. 徐廷一 外 2名, 높은 열효율과 대기공해방
지를 보장하는 고성능 보일러, 과학기술처
보고서, R-80-3, 1980.
2. 趙珍鎬 外 2名, 觸媒에 의한 가솔린機關排
氣中 CO와 HC濃度低減에 관한 實驗的 研
究, 韓國自動車技術學會誌, 第4卷, 第1號
pp 46 ~ 55, 1982.
3. J. P. Holman, Experimental Methods
for Engineers, McGraw-Hill, 1978.
4. J. P. Holman, Heat Transfer, Chap. 7
pp. 236 ~ 264, McGraw-Hill, 1976.
5. W. M. Rohsenow and H. Y. Choi, Heat,
Mass and Momentum Transfer, Prentice
-Hall Inc, Englewood Cliffs, 1961.
6. 日本ボイラ協會編, ボイラの燃料と燃燒,
1967
7. 植田, 機械の研究, 第1卷, 第1號, pp. 249
~ 254, 1969
8. T. D. Eastop and A. McConkey, Applied
Thermodynamics for Engineering Tech-
-nologists, Chap. 15, pp. 514 ~ 564,
LONGMAN, 1979
9. 金東垣 · 徐載珍, 蒸氣罐 및 原動機, pp. 80
~ 190, 東明社, 1980
10. 水谷幸夫, 燃燒工學, 森北出版株式會社,
1977.