

# 디젤기관의 燃料噴射노즐形狀이 酸化 窒素의 生成과 平均有效壓力에 미치는 影響에 관한 研究

李 有 凡

## Influences of Fuel Injection Nozzle of Diesel Engine on the mean Effective Pressure and NO<sub>x</sub>Emission

Lee Yubum

目	次
1. 序 論	2.6 實驗方法
2. 實驗裝置 및 實驗方法	3. 實驗結果 및 考察
2.1 實驗機關	3.1 噴孔直徑에 의한 影響
2.2 燃料噴射 노즐	3.2 噴射角度的 影響
2.3 壓力·크랭크角度線圖과 壓力·體積線圖의 關係	3.3 噴孔直徑에 對한 噴孔길이의 比較에 의한 影響
2.4 平均有效壓力及 燃料消費率의 算出	3.4 噴孔數의 影響
2.5 酸化窒素의  측정	4. 結 論
	參考文獻

### Abstract

The author investigated the influence of fuel injection nozzle of 4 stroke cycle direct injection diesel engine on the mean effective pressure and NO<sub>x</sub> emission. The experiment was carried out by 13 kinds of fuel injection nozzle, which had different nozzle diameters, spray angles, number of holes and ratio of injection hole diameter to injection hole length.

The mean effective pressures were calculated from the pressure-volume and pressure-crank-angle diagrams which were taken from a four stroke cycle single acting diesel engine fitted with above mentioned 13 kinds of fuel injection nozles and measured also NO<sub>x</sub> emission by the naphthyl ethylene diamine method.

The result of experiment can be summarized as follows:

- (1) The mean effective pressure seems to be augmented by the better penetration of fuel injection than the better atomization.
- (2) The formation of NO<sub>x</sub> emission is in inverse proportion to the mean effective pressure.
- (3) The spray angle, number of nozzle holes and ratio of injection hole diameter to its length affect less on the mean effective pressure and NO<sub>x</sub> emission than the injection hole diameter.
- (4) The rate of fuel consumption of the engine is in the reverse ratio to its formation of NO<sub>x</sub> emission.

## (5) The variation of exhaust gas temperature is not so sensible as other items.

The general tendency of summarized results seems to agreed approximately with those conclusions of published papers.

## 1. 序 論

最近 社會的으로 큰 論難의 對象이 되고있는 大氣汚染問題는 主로 汽油機關과 火力發電所 및 工場의 排氣가스와 關聯되는 것으로 生覺되고 있다.

다만 韓國의 境遇에는 大衆의 交通手段으로서 主로 버스가 利用되고 이 버스는 大部分이 디젤機關을 搭載하고 있는 關係上 디젤機關의 排氣가스도 큰 關心거리가 되고 있다, 그러나 論難의 對象은 汽油機關과는 달리 不完全 燃燒로 因한 煤煙發生에 對한 것이다. 이러한 것들은 燃燒機構를 改良하고 整備함으로써 어느程度 解決될 수 있는 問題들이다. 要는 機關의 經濟性과 安定性을 犧牲하지 않고 排氣가스의 有害成分을 除去 乃至는 抑制할 수 있는 方法이 있는가에 있다.

一般的으로 디젤機關은 熱效率이 좋고 大馬力을 낼 수 있는 長點이 있는 反面 振動, 騒音 등으로 해서 乘用車 등에는 알맞지 않는 것으로 생각되고 있으며 比較的 大馬力이 必要한 버스 등에 利用되고 있다.

排氣公害의 見地로 볼 때 汽油機關보다는 有利한 것으로 看做되고 있으나 우리나라와 같이 가장 基本的인 交通手段인 버스의 原動機가 디젤機關이고 그 台數가 無視할 수 없을 程度임을 考慮할 때 汽油機關과 같이 組織的이고 大規模의 디젤機關 排氣對策의 研究가 要請되고 있다. 그 동안 이 方面의 研究가 많이 發表되고 있으나 汽油機關에 比較하면 別로 많지 않다.<sup>1),2),3),4)</sup>

有害排氣成分中 酸化窒素(NOx)는 NO와 NO<sub>2</sub>이다. 이 중 NO는 血液의 헤모그로빈과 結合하여 血液의 酸素運送機能을 低下시키는 原因이 된다고 한다. NO<sub>2</sub>는 大氣中에서 자외선에 依하여 NO와 O로 分離되어 O<sub>3</sub>를 形成하고 O<sub>3</sub>는 大氣中의 炭化水素와 反應해서 酸化性이 強한 有機過酸化물을 形成하여 所謂 光化學的인 스모그의 原因이 될뿐아니라 NO自體는 有害度가 크고 溶解度가 적으므로 呼吸時에 肺深奧部까지 到達하며 3時間 暴露時의 致死濃度도 SO<sub>2</sub>의 1000ppm 以上인데 對해서 90~100ppm 程度로 危險度가 大端히 높다. 그러므로 그 低減對策이 重要한 課題로 되어 있다. 燃燒室에서 發生하는 NOx濃度는 燃燒濃度, O<sub>2</sub>濃度 및 燃燒가스의 滯留時間의 增加 등으로 增大한다. 그러므로 NOx의 發生抑制는 最高燃燒溫度와 O<sub>2</sub>濃度を 낮추고 燃燒가스의 滯留時間을 짧게 하여야 한다. 그러나 燃燒溫度를 낮게 한다는 것은 thermal NOx의 發生抑制에 效果가 크나 fuel NOx에 對해서는 低溫에서도 發生되므로 큰 效果가 없고 O<sub>2</sub>濃度の 低減은 兩者의 發生抑制에 對해서 모두 效果가 있다.<sup>5)</sup>

筆者는 이러한 點을 考慮하여 優先 디젤機關의 出力과 NOx 發生과의 關係를 考察해 보기 爲하여 直接 噴射式 디젤機關에서 燃料噴射노즐의 噴孔直徑 噴孔數 噴射角度 噴孔直徑에 對한 噴孔의 長이의比 등을 달리하는 13種의 노즐을 製作하여 各 노즐의 使用에 따른 壓力·크랭크角度線圖 및 壓力·실린더容積線圖를 撮取하여 燃燒狀態 및 圖示平均有效壓力을 調査하고 노즐의 形狀이 NOx의 生成과 經濟性에 어떤 影響을 미치는가 檢討하여 보았다.



## 2.1 實驗機關

實驗機關은 4行程 사이클, 4 실린더, 直立, 水冷, 直接噴射式 디젤機關으로 그 諸元은 表 2.1과 같다.

Table 2.1 Dimension of the testing engine.

Item	Specification
Type	KANEGAFUCHI T4R24
Output	180PS, 430 r. p. m.
Cylinder dia.	238mm
Piston stroke	363mm
Fuel pump	Bosch type
Compression ratio	14

## 2.2 燃料噴射 노즐

燃料噴射노즐의 噴孔直徑, 噴孔數, 噴射角度, 噴孔直徑에 對한 噴孔길이의 比 등을 燃燒室의 크기, 型, 空氣의 흐름 등을 考慮하여<sup>6)</sup> 表2.2와 같이 系統的으로 13種으로 나누어 製作하였으며 그림2.3은 機關에 使用한 노즐을, 그림2.4는 燃燒室과 燃料噴射노즐의 斷面을 나타낸다.

Table 2.2 Specification of testing nozzles  
(Type D is original nozzle)

Specification(Nozzle dia. × Number of injection hole × Spray angle × Nozzle length)			
A	$\phi 0.22 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$	H	$\phi 0.30 \times 5 \times 125^\circ \times \ell 3.0$
B	$\phi 0.25 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$	I	$\phi 0.30 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 2.4$
C	$\phi 0.28 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$	J	$\phi 0.30 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.6$
D	$\phi 0.30 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$	K	$\phi 0.22 \times 6 \times 120^\circ \times \ell 3.0$
E	$\phi 0.32 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$	L	$\phi 0.25 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$
F	$\phi 0.35 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$	M	$\phi 0.28 \times 6 \times 120^\circ \times \ell 3.0$
G	$\phi 0.30 \times 5 \times 115^\circ \times \ell 3.0$	N	$\phi 0.30 \times 6 \times 120^\circ \times \ell 3.0$

1. 可本機圖紙 為根據甲子年設計 而化察其用 而成功 而為其用 而成功 而為其用 而成功

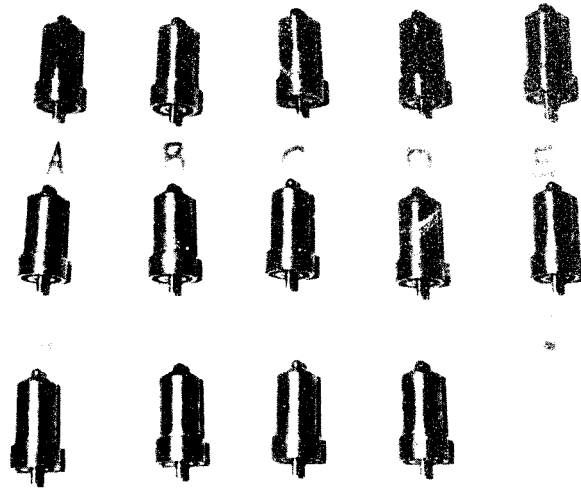


Fig. 2.3 Piston No. 1

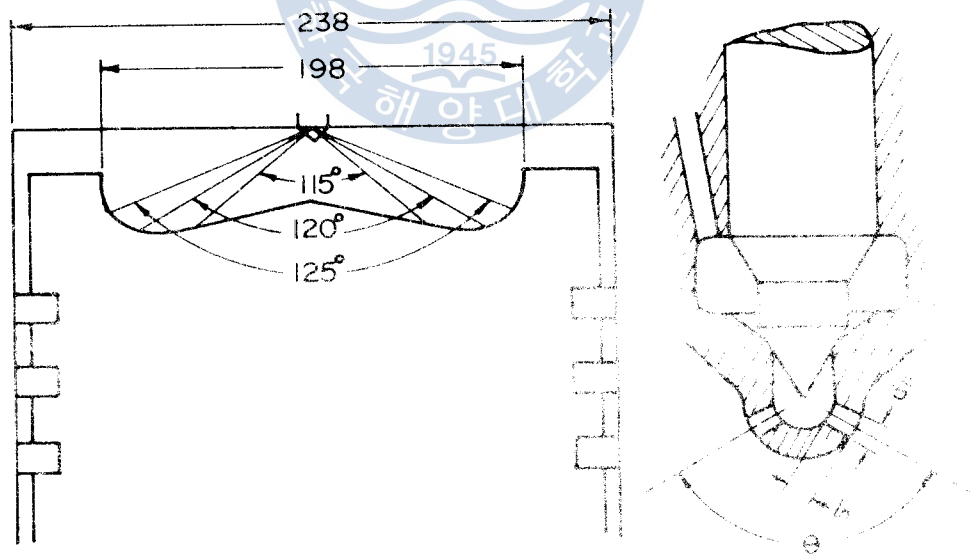


Fig. 2.4 Piston No. 2

### 2.3 壓力·크랭크角度線圖 및 壓力·體積線圖의 활취

壓力·크랭크角度(P·θ)線圖 및 壓力·體積(P·V)線圖는 그림2.3과 같은 오실로스코프(美國 Tektronix社 561B Type)로 활취했으며 이는 engine analyzer(vertical) amplifier (3A74), engine analyzer(horizontal) time base(2B67) 그리고 rotational function generator로 構成되어 있다.

실린더內的 壓力變化는 실린더·헤드에 裝備된 壓力픽업(pressure transducer)에 依하여 電氣的 信號로 變換하여 오실로스코프로 보내게 되어있다. 卽 이의 構造는 受壓板의 뒷面에 壓電板이 있어 실린더內的 壓力을 받으면 壓電板의 壓電效果(piezo-effect)에 依하여 電荷가 誘發되고 이것을 증폭하여 브라운管 오실로스코프에서 P·θ, P·V線圖를 그리도록 하고 있다. 壓力 픽업은 燒損을 防止하기 爲하여 冷却을 하고 있다.

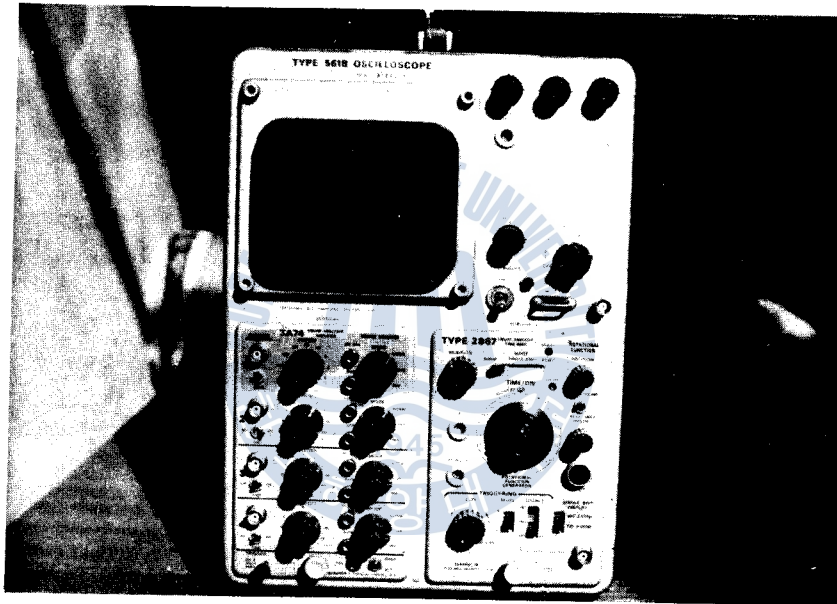


Fig. 2-5 Oscilloscope

### 2.4 平均有效壓力 및 燃料消費率의 算出

各 노즐을 使用하여 實驗한 境遇의 平均有效壓力(Pi)의 算出은 2.3에서 記述한 方法으로 활취한 P·V線圖에서 면적계(planimeter)로 面積을 計算하여 線圖의 平均높이(cm)를 求했으며 여기에 세로좌표 1cm가 21.1kg/cm<sup>2</sup>가 되게 調整하여 얻은 P·V線圖尺度를 곱하여 Pi를 算出했다.

燃料消費率(bi)은 燃料계 측실린더로 測定한 燃料消費量(cm<sup>3</sup>/h)을 다시 지시마력(IHP)當으로 換算했으며 그 算出式은 다음과 같다.

$$b_i = \frac{B \cdot r}{IHP} [g/PS \cdot h] \dots \dots \dots (2-1)$$



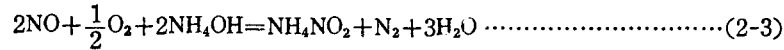
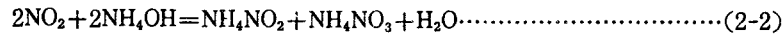


(8)

(Beckmann DU type)를 사용하여 波長 545mm에서 각각의 흡광도를測定하여 分析用試料溶液 및 二酸化窒素標準液의 吸光度로 했다.

吸收液으로 암모니아수를 使用하였을 境遇의 化學反應式은 다음과 같다.

酸化窒素와 암모니아水의 反應式



암모니아수를 使用하였을 境遇에는 NO<sub>2</sub> 및 NO의 各 2몰(mol)로부터 NO<sub>2</sub><sup>-1</sup> 1몰(mol)을 發生하므로 NO와 NO<sub>2</sub>의 含量의 計算式은 다음과 같다.

$$C = \frac{0.5 \times \frac{A}{As} \times 20}{V \times \left( \frac{273}{273+t} \right)} \times 1000$$

여기에서 C : 酸化窒素의 濃度(ppm as NO<sub>2</sub>)

A : 分析用試料溶液의 吸光度

As : 2酸化窒素 標準液의 吸光度

V : 試料가스 採取量(ml)

t : 溫度(°C)

### 2·6 實驗方法<sup>8)</sup>

4行程사이클, 4실린더, 直立, 水冷, 直接噴射式 디젤機關을 4실린더 中 2個의 실린더는 燃料을 遮斷하고 나머지 두 실린더로 運轉하였으며 回轉數 350 r. p. m., 燃料噴射時期上死点前 21°, 燃料噴射開始壓力 300kg/cm<sup>2</sup>로 一定하게 維持하고 燃料의 噴射量도 燃料펌프의 랙크를 固定시킴으로서 34.2mm<sup>3</sup>/cycle/cyl로 했으며 冷却水出口 溫度는 45°C로 維持했다. 이때 실린더內의 P·θ, P·V線圖는 燃料噴射노즐을 차례로 交換시켜 燃燒시킨 No.3 실린더 테스트 룩에 附着한 壓力픽업에 依해 壓力信號를 오실로스코우프에 連結시켜 오실로스코우프에 나타나는 波型을 카메라로 撮影하여 얻었으며 上死点(T. D. C.)의 表示는 플라이 휘일의 側面에서 1/8' 떨어져 附着한 magnetic transducer에 依했다.

NOx 分析用 排氣가스의 採取는 No.3 실린더의 排氣밸브에서 10cm 떨어진 排氣管에서 試料가스 採取裝置에 依하여 採取했다.

實驗에 使用한 燃料油는 輕油로서 그 組成은 表2·3과 같다.

Table 2·3 Composition of used fuel oil

Carbon	86.3%	Nitrogen	0.00%
Hydrogen	13.4%	Specific gravity	0.83, 15/4°C
Sulphur	0.3%	Cetane number	56
Oxygen	0.00%	Lowcalorific value	11000kcal/kg



### 3. 實驗結果 및 考證

그림3·1은 表2·2의 各 試片을 使用하여 檢閱을 廻轉하였을 때 雙縮 10 倍인 變形을 受한 試片의 代表的인 P-θ線圖 및 P-V線圖를 示하였는 것이다. 上圖 各 試片은 1000psi(70kg/cm<sup>2</sup>)의 荷重을 受한 試片의 變形을 波形 中 中央의 큰 凹아크와 小 凹아크 사이의 凹角에 發生되게 檢閱되므로 各 試片線의 上死點을 나타내고 작은 凹아크와 작은 凹아크 사이의 凹角(凹角은 10°를 示한다)에 對하여 荷重의 軸 눈금은 300psi(21.1kg/cm<sup>2</sup>)가 示되는데 載重(strenuation)의 荷重(loading)을 調整하여

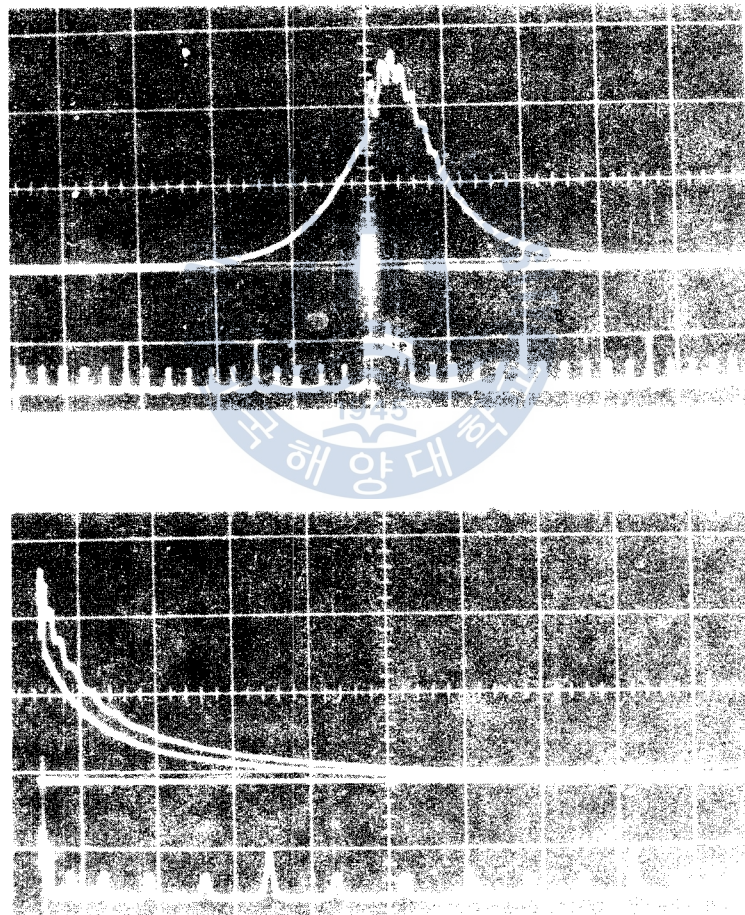


Figure 3.1. P-θ and P-V curves of the specimen.

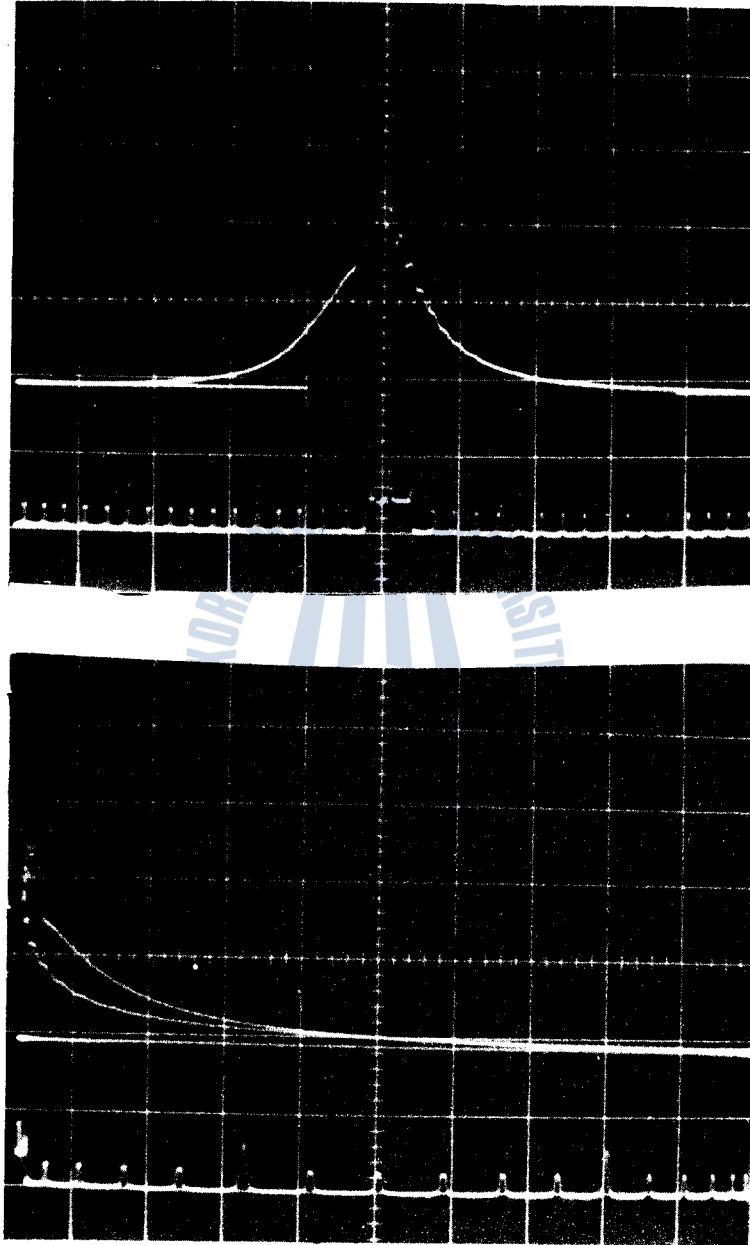


Fig. 3-1(b) P- $\theta$ , P-V diagram( $\phi 0.25 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$ )

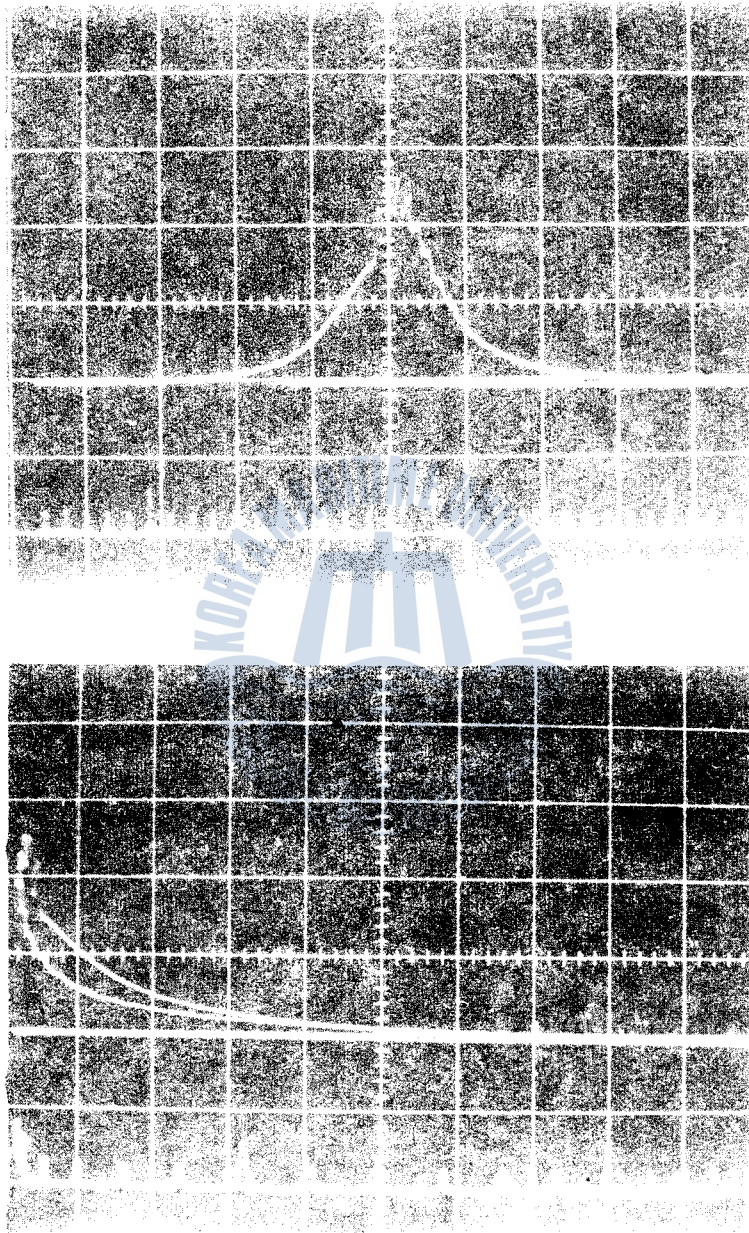
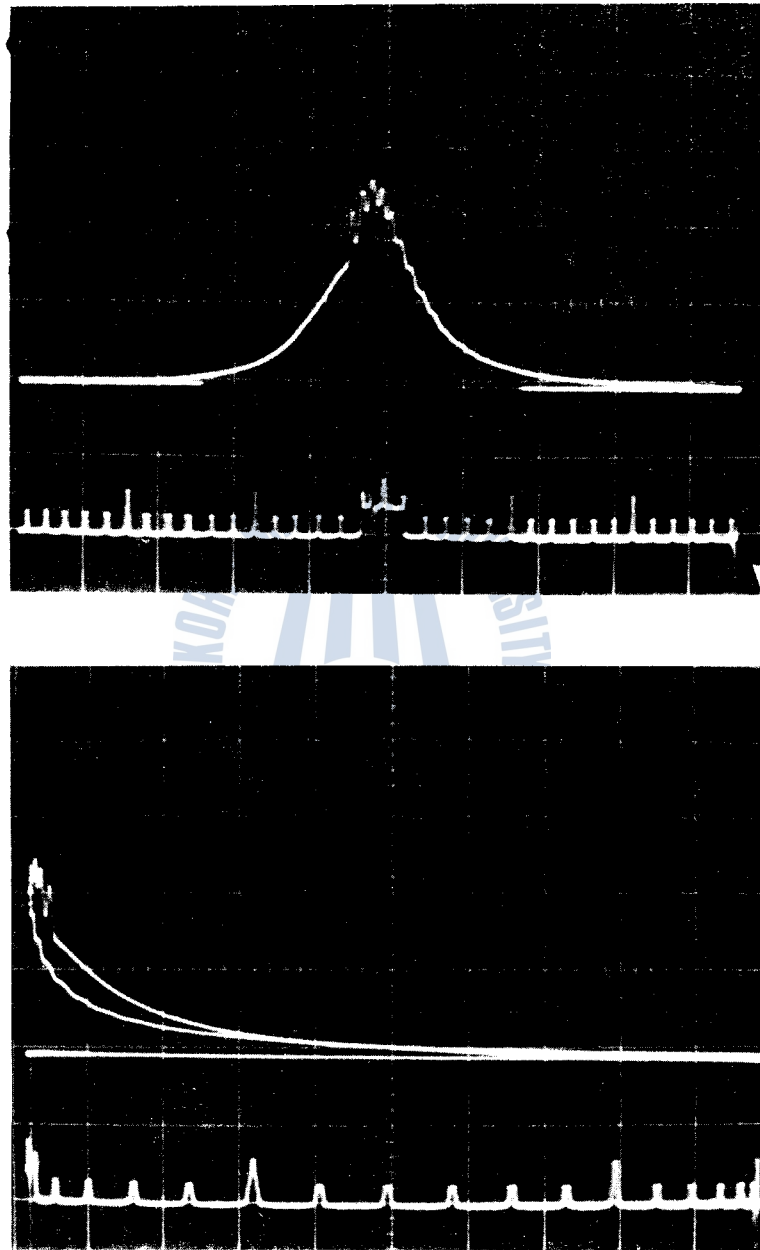
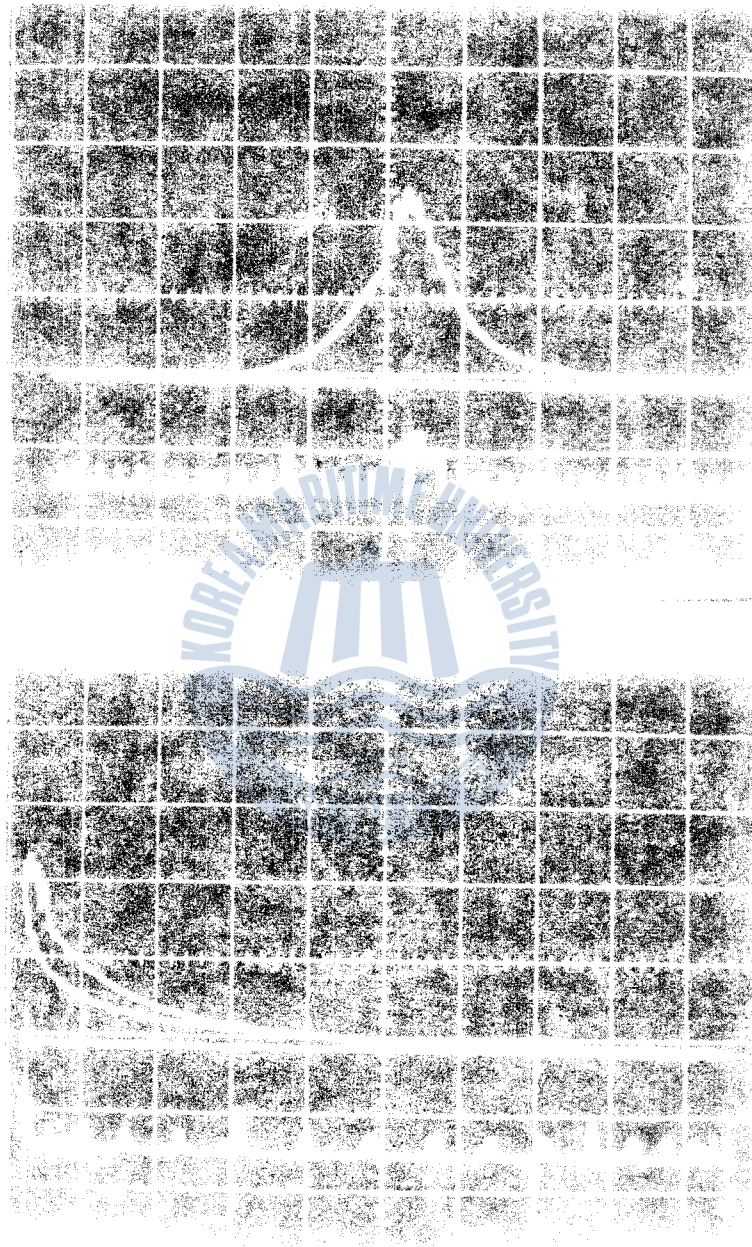


Figure 1. The graph of the function  $f(x) = -x^2 + 4x - 4$  and  $g(x) = x^2 - 4x + 4$ .



3-1(d) P·θ, P·V diagram( $\phi 0.35 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 3.0$ )





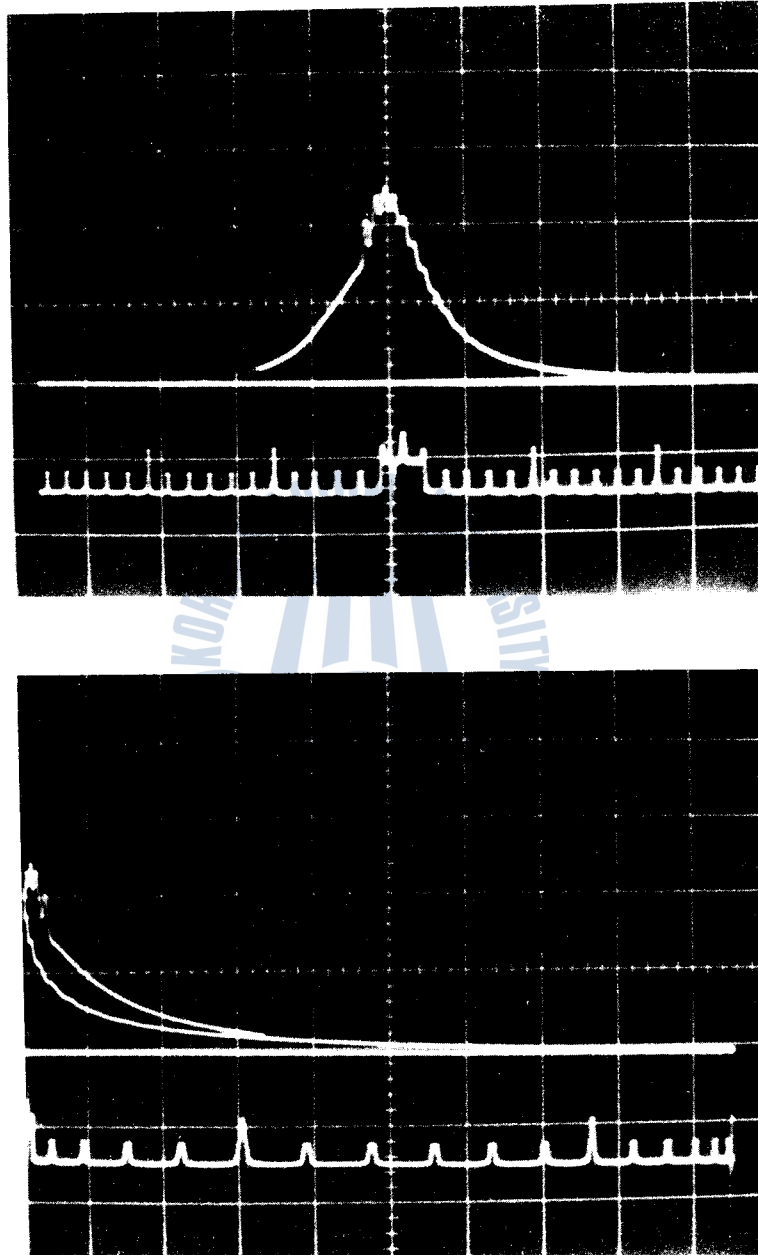


Fig. 3-1(f) P- $\theta$ , P-V diagram( $\phi 0.30 \times 5 \times 120^\circ \times \ell 2.4$ )



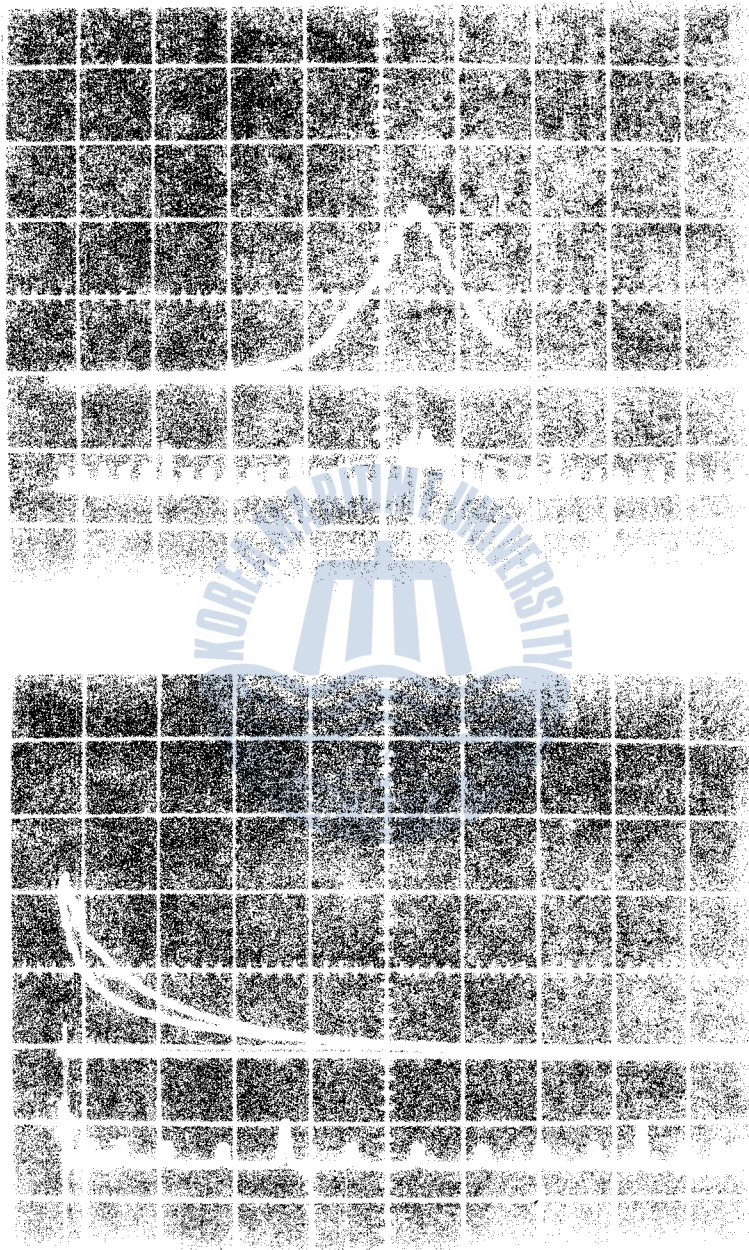


Fig. 2. (a)  $\beta$  vs.  $\alpha$

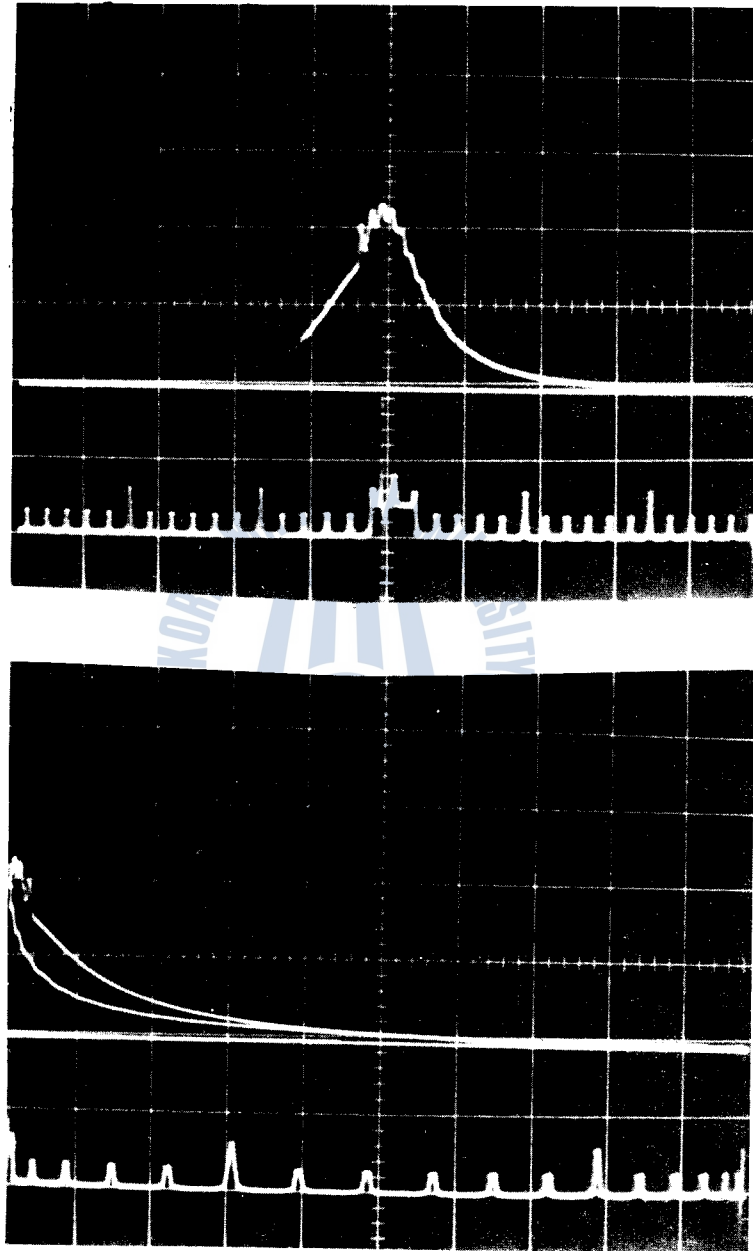


Fig. 3-1(h) P-θ, P-V diagram( $\phi 0.30 \times 6 \times 120^\circ \times \ell 3.0$ )

3-1-1 噴射時間, 噴射開始壓力, 噴射量에 대한 噴霧室에서의 噴射과 平均有效壓力에 대한 影響 (13)

### 3-1 噴孔直徑에 의한 影響

噴射時間, 噴射開始壓力에 噴射量을 一定하게 하고 噴孔直徑의 變化에 의한 圖示平均有效壓力, 最高溫度, 比燃料消費率, 排氣溫度( $t_e$ ) 및 燃料消費率( $b_1$ )과의 關係를 圖形3-2에 보인다. 이 때 比燃料 噴孔直徑이 0.32mm이하 2는 最大로 되고 0.22mm이하 最少의  $P_i$ 를 나타낸다. 또한 比燃料 噴孔直徑이 0.32mm이하 35mm이하 2는 減少하는 趨勢에 있다.

이 때  $b_1$ 은 比燃料에 比比例關係가 있고 NOx의 生成量은 比例關係에 있다. 또한  $t_e$ 는 他의 條件에 對한 噴射時間을 一定하게 한 條件의 關係는 反比例關係에 있다.

이 때 圖 3-2의 關係를 噴孔이 0.22mm일 境遇 噴霧狀態가 一番 좋으나 貫通力(不完全燃燒) 噴射距離의 距離에 對한 關係가 不完全燃燒에 發生하고 그 結果  $P_i$ 가 낮아지고  $b_1$ 은 最大의 最高溫度나 最高壓力는 낮아 排氣의 NOx의 生成은 작으며  $t_e$ 는 後燃燒도 妨礙되어 噴孔이 크기가 增大함에 따라 燃料의 分布狀態가 漸次 改善되고 그 結果 最高溫도와 最高壓力는 漸次의  $P_i$ 와 NOx의 生成은 增大하는데 因하여  $b_1$ 은 줄어들고  $t_e$ 는 낮아지는 現象에 있다. 噴孔이 0.35mm에서는 貫通力이 過大하게 되고 그 結果 比燃料噴面에 衝突하므로 보다 不完全燃燒에 發生하고 그 結果  $P_i$ 는 낮아지며  $b_1$ 은 增加하며 NOx의 生成은 增加한다. 噴霧室에서 比燃料에 對한 關係를 圖示한 結果를 圖3-3에 보아라.

### 3-2 噴射角度的 影響

噴射開始壓力, 噴射時間에 噴射量을 一定하게 하고 噴射角度的 變化에 의한  $P_i$ , NOx,  $b_1$ ,  $t_e$ 의 關係를 圖示한 圖形3-4에 보인다. 이 때 比燃料 噴射角도가 12°일 때 NOx는 最小值이고  $b_1$ 과  $t_e$ 는 最小值로 된다. 이보다 噴射角이 크거나 작아지면 燃料의 分布狀態는 變化하여 排氣의 不完全燃燒을 發生하고 그 結果로  $P_i$ , NOx는 줄어들이고  $b_1$ ,  $t_e$ 는 最大의 最高溫度나 最高壓力에 이른다.

### 3-3 噴孔直徑에 對한 噴孔 길이의 比에 의한 影響

噴射開始壓力, 噴射時間에 噴射量을 一定하게 하고 噴孔直徑( $d$ )에 對한 噴孔 길이( $L$ )의 比에 對한 噴霧室에서의 噴射에  $P_i$ , NOx,  $t_e$ ,  $b_1$ 의 關係를 圖示한 圖形 3-4이다.

이 때 比燃料에 對한  $L/d$ 가 10일 때  $P_i$ , NOx는 最大로 되고  $t_e$ ,  $b_1$ 은 最小로 된다.

이 때 圖 3-4의 一般적인 規則에 對하면 그 比가 4 이하에 霧化狀態가 一番 良好하다고 한다. 噴霧室에서 噴霧室에 對한 噴射距離가 燃料의 分布 狀態가 좋다는 保證은 없다. 이 實驗에 의하면 比燃料에 對한  $L/d$ 가 10일 때  $P_i$ 는 最大로,  $b_1$ 과  $t_e$ 는 最小로 되고 그 前後에 있어  $P_i$ 는 減少하고  $b_1$ 은 增加하는 現象에 있다.

### 3-4 噴孔數의 影響

噴射時間, 噴射開始壓力에 噴射量을 一定하게 하고 各種의 噴孔直徑에 對하여 각각 5個의 噴孔을 噴孔을 增加한 結果  $P_i$ ,  $b_1$ ,  $t_e$ , NOx의 關係를 比較하여 보았다.

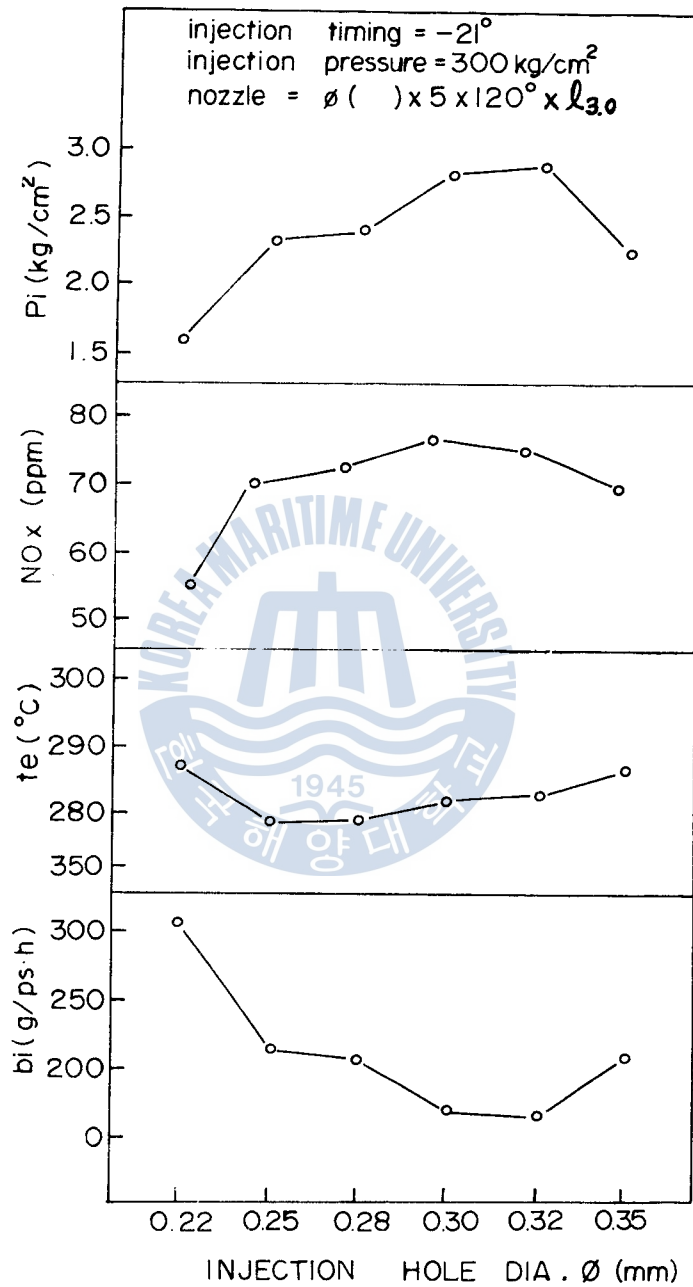


Fig. 3-2 Relationship between injection hole dia. and  $P_i, NO_x, t_e, b_i$ .



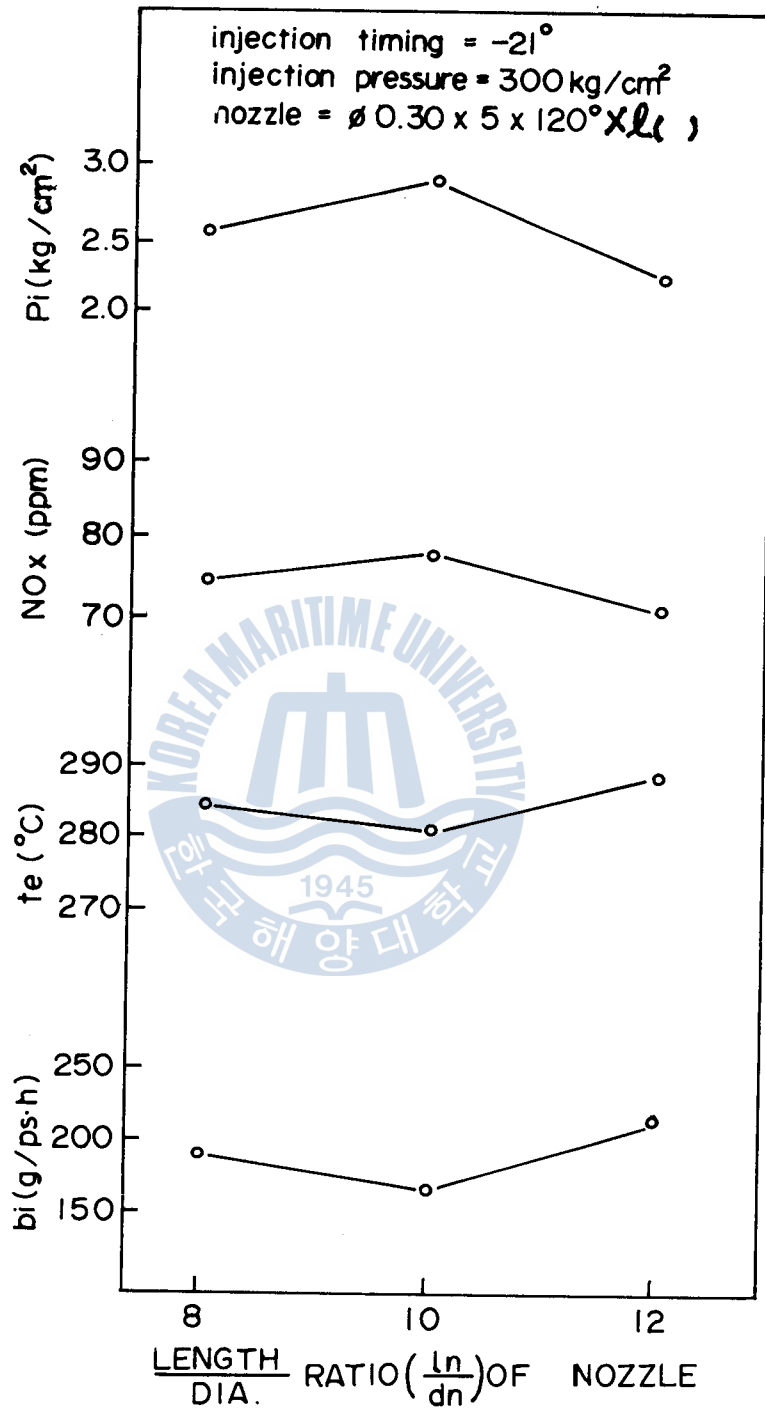


Fig. 3.4 Relationship between  $l_n/d_n$  and  $P_i$ , NOx,  $t_e$ ,  $b_i$ .



# 2019 年 中國 國際貿易 報告



圖表 1 中國貿易佔GDP  
資料來源：WTO



2019 年，船隻在經海  
運往中國港口，燃料消費  
量增加。

2019 年，中國港口吞吐

量增加，船隻在經海

運往中國港口，船隻在經  
海運往中國港口。

2019 年，中國港口吞吐

量增加，船隻在經海

運往中國港口，船隻在經  
海運往中國港口。

2019 年，中國港口吞吐  
量增加，船隻在經海  
運往中國港口，船隻在經  
海運往中國港口。

늘리고 實驗施設을 補完하여 燃燒室內의 最高溫度와 溫度의 持續時間 酸化窒素 以外の 炭化水素, 亞黃酸가스, 一酸化炭素, 炭酸가스 등의 排氣成分도 定量分析함으로써 좀 더 詳細한 檢討를 하고자 한다.

## 謝 辭

本 研究를 行함에 있어서 正성껏 指導하여 주신 全孝重博士님, 助言과 協助를 해주신 田大熙博士님, 趙佐衡教授님, 金東基教授님께 深深한 謝意를 表합니다. 그리고 實驗用 노즐을 製作하여 주신 新星다이젤工業株式會社와 實驗用 燃料油를 提供하여 주신 湖南精油工業株式會社, 實驗 및 原稿整理를 도와준 千忠奎君에게 感謝드립니다.

## 參 考 文 獻

- 1) 池上 勲 外3名: 테이젤機關における 窒素酸化物の生成(うず室의 場合) 日本機械學會論文集, Vol.39, No.327, pp.3444~3450, 1972.
- 2) 茂森 政: 테이젤엔진의 公害對策의 狀況에 について, 自動車技術, Vol. No.3, pp.131~139, 1972.
- 3) 北山善二郎 外2名: 少量噴射による 테이젤機關의 燃燒에 關する 研究, 內燃機關, Vol.12, No.4, pp.11~18, 1973.
- 4) 鈴木 孝: 테이젤機關에 における 排氣對策의 問題點, 日本機械學會誌, Vol.76, No.653, 1973.
- 5) 田大熙: 燃料와 燃燒의 管理, 韓國海洋大學 海事圖書出版部, pp.238, 241, 1976.
- 6), 10) 全孝重: 船用內燃機關講義, 韓國海洋大學 海事圖書出版部, pp.181~182, 1976.
- 7) JIS 핸드ブック: 公害關係, pp.144~147, 1973.
- 8) 安秀吉: Diesel機關의 燃燒에 依한 熱發生率의 研究, 韓水誌, 8(3), pp.150~156, 1975.
- 9) 翁炳澈: 燃料噴射時期 및 燃料噴射量이 直接噴射式 테이젤機關의 燃燒率에 미치는 影響, 大韓機械學會誌, Vol.8, No.2, p.45~46, 1968.