

直接噴射式 디젤機關의 NO<sub>x</sub>에 關하여

安 秀 吉\*

On The NO<sub>x</sub> in Direct Injection diesel engine

Soo Gil AHN\*

## Abstract

To investigate the relation of NO<sub>x</sub> emission and consumption rate in a direct injection diesel engine with a multihole nozzle under same fuel consumption and rpm, a naphthyl ethylenediaming method on NO<sub>x</sub> emission and Tektronix oscilloscop on the indicator diagrams have been used.

Comparisons of the NO<sub>x</sub> emission and fuel consumption rate made on various conditions have led to the following results.

1. The higher the injection pressure in the later injection time the lower NO<sub>x</sub> emission and the fuel consumption rate have been attained.
2. By the change of nozzle hole diameter under the same injection pressure, the NO<sub>x</sub> emission was much more lowered in the small diameter than large one, but fuel consumption rate was in inverse proption to the NO<sub>x</sub> emission.
3. The effect of injection spray angle,  $\frac{1}{d_n}$  on NO<sub>x</sub> emission, fuel consumption rate under same injection time and injection pressure was neglectable.

## 1. 緒 論

內燃機關에서 排出되는 有害개스중에는 CO, HC, 黑煙, NO<sub>x</sub> 등이 있고 그 중에서도 HC, CO는 空然比가 18~90정도로 큰 디젤機關에서는 별 問題가 없지만 NO<sub>x</sub>와 黑煙에 의한 公害는 많다고 한다<sup>1)</sup>.

특히 NO<sub>x</sub>는 光化學的인 黑煙의 原因이 될뿐 아니라 NO<sub>x</sub>는 그 자체 血液중의 헤모그론과 結合하여 血液중의 酸素運送機能을 低下시키므로 酸素欠乏症 및 中樞神經의 機能을 低減시키는 原因으로 되고 NO<sub>x</sub>는 大氣중에서 서서히 酸化되어 NO<sub>2</sub>로 되지만 NO<sub>2</sub>는 500ppm 이상이면 死亡의 위험이 있기 때문에 그 低減對策이 重要한 課題로 되어 있다<sup>2)</sup>.

Otto機關에 對해선 詳細한 研究가 되어 있지만<sup>3, 4)</sup> 高出力, 燃費, 熱負荷 및 耐久性이 優秀한 直接噴射式 diesel機關에 對해서는 아직 系統的인 研究는 없고, 小型副室式 dissel機關이 直接噴射式 diesel機關 보다 NO<sub>x</sub> 生成量이 적다는 몇개의 報告가 있으나<sup>5, 6, 7)</sup> 直接噴射式 diesel機關의 噴射機構와 噴射條件에 의한

NO<sub>x</sub> 生成量을 調査한 것은 별로 없다. 그래서 著者는 各種의 因子를 系統的으로 變化시켜 그 發生機構에 對해 檢討하고 NO<sub>x</sub> 低減效果를 얻으려고 한다.

## 2. 材料 및 方法

Fig. 1은 實驗全景을, Fig. 2는 實驗에 使用된 機關의 燃室과 nozzle의 斷面을 나타낸다.

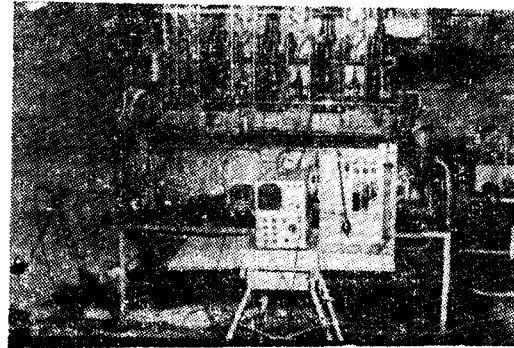


Fig. 1. General view of experimental apparatus.

\* 釜山 水産大學, National Fisheries University of Busan.

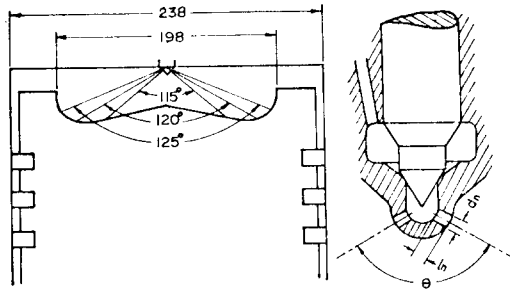


Fig. 2. Sectional view of combustion chamber and nozzle in tested engine.

Table 1. Dimension of the tested engine.

Type: Kanegafuchi T4R24
Out put: 180HP/430 rpm
Cylinder dia: 238mm
Piston stroke: 363mm
Fuel pump: Bosch
Compression ratio: 14

4 cylinder 4 cycle 直立, 水冷, 直接噴射式 diesel 機關을 2 cylinder 단 爆發시키고 가스의 採取는 1 cylinder 의 排氣管에서 10cm 떨어진 排氣管에서 試料가스 採取裝置에 의하여 注射器로 採取했다. 이때 回轉數를 350으로 一定하게 維持하고 燃料의 噴射量도 燃料 pump의 rack를 固定시킴으로서 68.6mm<sup>3</sup>/cycle로 維持했다.

또한 實驗機關의 噴射時期調整은 燃料 pump tappet bolt調整으로 T. D. C. 前 24°, 14°, 4°로 靜的으로 調整 運轉하고 燃料의 噴射壓力는 Nozzle의 調整 spring에 의해 500kg/cm<sup>2</sup>, 400kg/cm<sup>2</sup>, 300kg/cm<sup>2</sup>, 200kg/cm<sup>2</sup>, 100kg/cm<sup>2</sup>로 調整運轉했다. 이때 冷却水의 溫度는 44°C로 維持했다.

a) NO<sub>x</sub>의 分析은 JIS規準(1973)에 의거하여 Naphthyl ethylene diaming法을 使用했다.

b) 指壓線圖는 Tektronix type 561B oscilloscope를 使用했다.

c) 使用燃料의 組成은 Table 2와 같다.

Table 2. Composition of used fuel.

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

### 3. 結果 및 考察

#### (1) 噴射時期의 影響

同一한 nozzle로 回轉數와 噴射量을 一定으로 하고 噴射時期와 噴射壓力를 變化시켰을 때 NO<sub>x</sub> 濃度關係와 機關性能에 影響을 미치는 排氣溫度(t<sub>e</sub>)와 燃料消費率(b<sub>e</sub>)과의 關係를 Fig. 3, 4에 나타내고 Fig. 5는 上記의 nozzle로 噴射壓力를 300kg/cm<sup>2</sup>로 一定시킬 때 各種 噴射時期에 있어서의 指壓圖를 나타낸다.

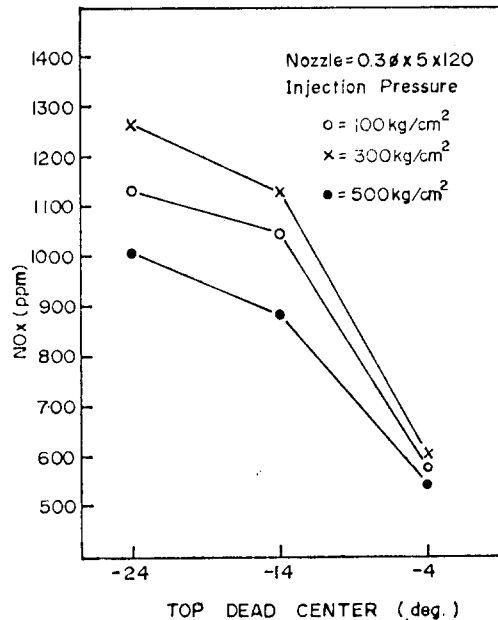


Fig. 3. Influence of injection timing and injection pressure on NO<sub>x</sub> emission.

Fig. 3, 4에 나타나는 바와 같이 同一한 噴射時期에 있어서 噴射壓力의 變化에 의한 NO<sub>x</sub>의 減少率보다 噴射時期를 遲延시켰을 때가 NO<sub>x</sub>의 減少率이 큼을 나타낸다. 또한 噴射時期를 遲延시키고 噴射壓力의 變化에 의한 NO<sub>x</sub>의 變化는 매우 鈍함을 나타낸다. 그러나 燃料消費率의 變化는 燃料噴射時期를 遲延시켰을 때가 同一한 噴射時期의 噴射壓力를 變化시켰을 때 보다 심한 變化를 나타내며 특히 噴射時期가 T. D. C. 前 4°, 噴射壓力 500kg/cm<sup>2</sup>일 때가 燃料消費率이 제일 적으며 排氣溫度도 低下함을 나타낸다.

噴射時期를 遲延시킴에 따라 NO<sub>x</sub>의 濃度가 低減되는 理由는 T. D. C. 근방에서 燃料를 噴射하게 되어 着火遲延이 짧아 第一期燃燒가 작게되고 또 膨脹行程에서 燃燒量이 增加하기 때문에 全体的 및 局部的으로

直接噴射式 디젤 機關의 NO<sub>x</sub>에 관하여

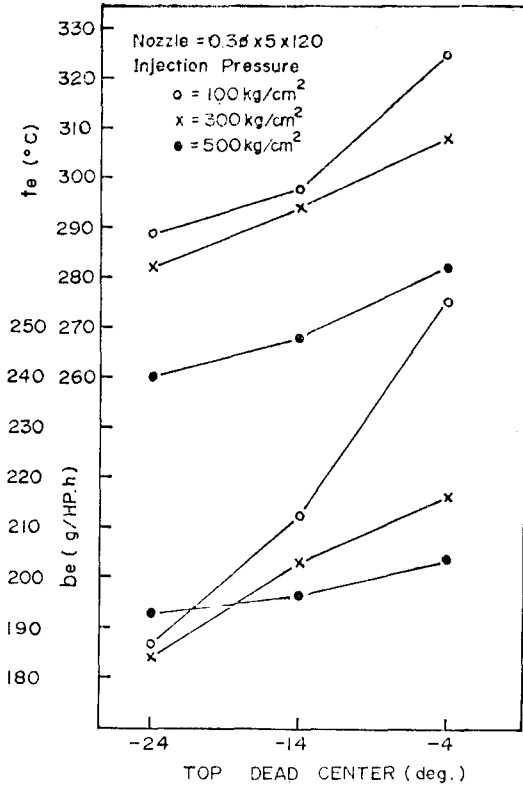


Fig. 4. Influence of injection timing and injection pressure on engine performance.

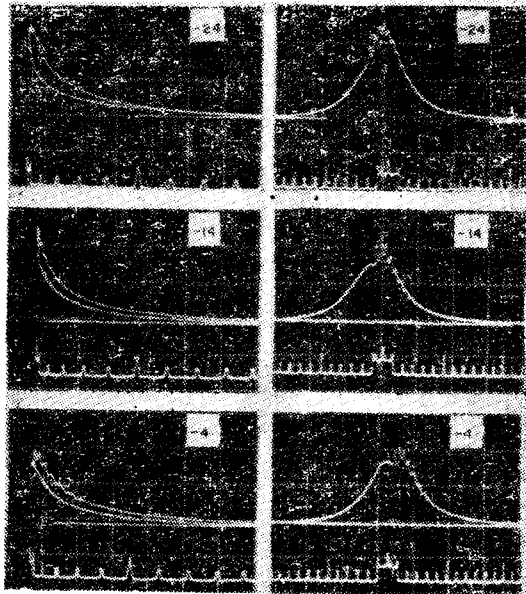


Fig. 5. Indicator diagrams in injection pressure 300 kg/cm<sup>2</sup>, rpm 350, fuel quantity 68.2 mm<sup>3</sup>/cycle, injection timing -24°, -14°, -4°.

然燃溫度가 低下하기 때문이라 생각된다. 그러나 噴射時期遲延에 따라 擴散燃燒期間이 길어져 排氣溫度는 上昇하고 燃費는 惡化하여 黑煙이 增加할 傾向이 있지만 C. A. V. 社의 khan<sup>1)</sup>의 噴射모델에 의하면 噴射壓力을 上昇시키므로 黑煙의 濃度를 減少시킬 수 있다고 推定할 수 있다. 即 NO<sub>x</sub>의 濃度를 低減시키기 위해 噴射時期를 遲延시켰을 때 噴射壓力을 充分히 높혀 空氣利用率을 向上시키에 따라 燃料의 消費率을 改善할 수 있고 黑煙의 濃度도 減少시킬 수 있다고 推定할 수 있다.

(2) 噴射壓力의 影響

射時期를 一定으로 하고 nozzle孔이 틀리는 3개의 nozzle에 대해 噴射壓力의 變化에 依한 NO<sub>x</sub>濃度와 機關性能과의 關係를 Fig. 6, 7에 나타낸다. 이에 의하면 同一한 nozzle에 대해 噴射壓力이 200kg/cm<sup>2</sup>에서 最大의 NO<sub>x</sub> 生成濃度를 나타내고 이것보다 噴射壓力이 높거나 낮으면 濃度가 低下하는 것을 나타내며 燃料消費率은 NO<sub>x</sub> 生成濃度와 反比例함을 나타낸다.

噴射壓力이 200kg/cm<sup>2</sup>에서 NO<sub>x</sub>의 濃度가 最大가 되는 것은 一部の 不均一混合氣의 多點着火에 의한 溫度上昇이 稀薄域과 消費領域의 酸素에 影響을 미쳐 NO<sub>x</sub>가 많이 生成되었지만 溫度上昇에 의한 最適燃燒로 燃料消費率은 減少한다고 생각된다. 그러나 噴射壓力이 800kg/cm<sup>2</sup>보다 높으면 높을수록 噴霧粒徑은 작

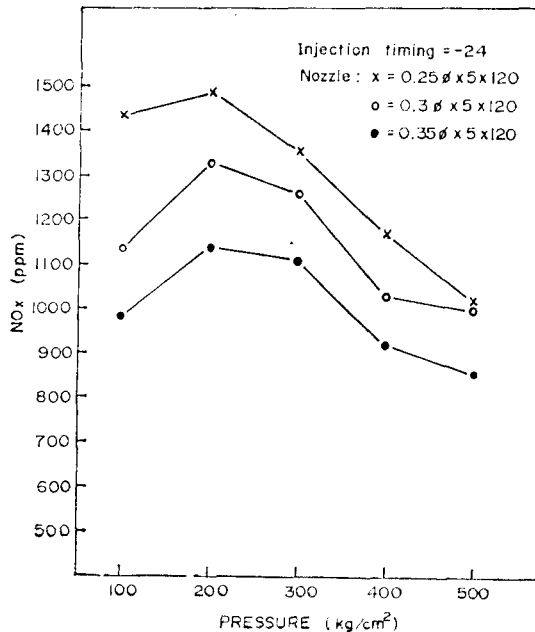


Fig. 6. Influence of injection pressure on NO<sub>x</sub> emission under same injection timing.

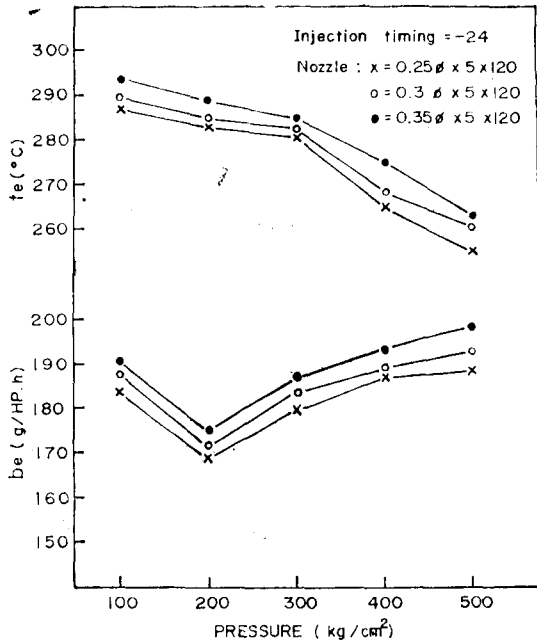


Fig. 7. Influence of injection pressure on engine performance under same injection timing.

게 되고貫通力도增加되어均一한混合氣에 의해燃燒速度增加로 O<sub>2</sub>의濃度가 급속히減少되어 NO의生成濃度는 적어지지만 순간적으로 빠른速度的燃燒energy는機關이充分히利用할 수 없고 오히려燃料의消費率은增加하였다.噴霧粒徑은 10μ以下에 가까운可燃限界的燃燒가燃料의稀薄領域까지擴大되어키의均一한燃燒가行하여진다고한다.그러나噴射壓力이 20kg/cm<sup>2</sup>보다 작은 100kg/cm<sup>2</sup>에서는噴射壓力의低下에 따라噴射率을 내리므로燃燒期間이 길게되어燃燒溫度가低下하기 때문이라 생각된다.

(3) nozzle孔直徑에 의한影響

射噴時期, 噴射壓力을一定으로했을 때噴射直徑의變化에 의한 NO<sub>x</sub>生成濃度和機關性能과의關係를 Fig. 8에 나타내며 이에 의하면噴孔의直徑이 0.25mm에서最大的 NO<sub>x</sub>濃度を 나타내고 이것보다噴孔의直徑이 크면 NO<sub>x</sub>生成低減效果는 매우 크나, 이때燃料消費率은增加하고 있다.

噴孔의直徑이 0.25mm 보다 클수록 NO<sub>x</sub>의生成濃度가低減되는 것은噴霧粒徑의增大에 따라油粒의蒸發에 의한膨脹行程의燃燒量增加로燃燒溫度가低下하기 때문이라고 생각되고 0.25mm 보다 작은 0.22mm에서는油粒徑의過少에 의한貫通力이 희생되어

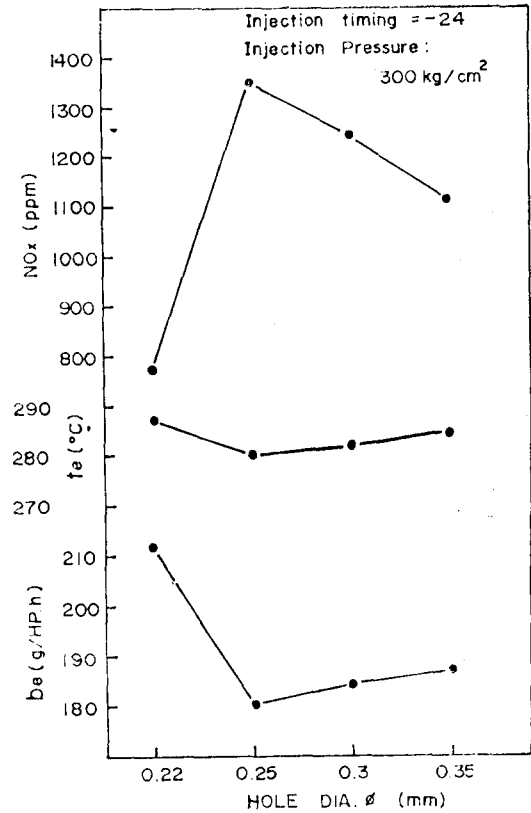


Fig. 8. Influence of nozzle hole diameter on NO<sub>x</sub> emission and engine performance.

nozzle 部近의濃混合氣를形成하여燃燒室內의不均一混合氣에 의한全體的으로燃燒溫度가低下하기 때문이라 생각된다.

(4) 噴射角度的影響

噴射壓力 및 噴射時期를一定히 하고噴射角度만變化시켰을 때 NO<sub>x</sub>生成濃度和機關性能과의關係를 Fig. 9에 나타내고 있다. 이에 의하면 微少한噴射角의變化에는 NO<sub>x</sub>生成濃度和燃料消費率의變化는 적으나噴射角度를 크게 함에 따라 NO<sub>x</sub>濃度は 약간增加하고燃料消費率은減少함을 나타낸다. 이는噴射角度가 작음에 따라油粒이 piston의中央에集中되거나 또는 piston과 nozzle과의距離短縮으로油粒이 piston의中央頂面に衝突하여 piston 中央部分에濃混合氣를形成하기 때문이라 생각되며噴射角度가增加함에 따라 NO<sub>x</sub>濃度の增大과燃料消費率의減少는直接噴射式 diesel機關의強制swirle이 없는凹型 piston에 있어서燃燒에 의한高溫가스의 swirle이 piston의凹外

直接噴射式 디젤 機關의 NO<sub>x</sub>에 관하여

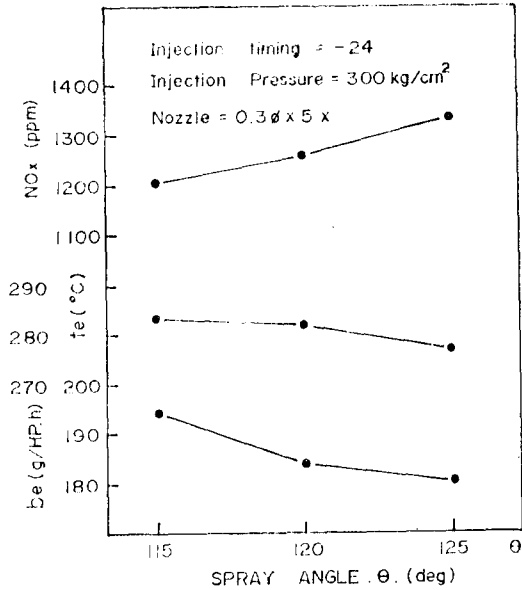


Fig. 9. Influence of spray angle on NO<sub>x</sub> emission and engine performance.

遇에 形成되어<sup>9)</sup> 高溫가스가 稀薄混合氣部分의 NO<sub>x</sub> 形成을 돕고 또 개스swirl에 의해 燃料空氣混合을 增進시키기 때문이라 推測된다.

(5) 噴孔 길이와 噴孔 直徑에 의한 影響

噴孔길이( $l_n$ )와 噴孔直徑( $d_n$ )의 比에 의한 影響을 噴射時期와 噴射壓力을 一定히 했을 때 NO<sub>x</sub> 濃도와 燃料消費率 및 排氣溫度의 實驗關係를 Fig. 10에 나타낸다.

이에 의하면 實驗機關인 nozzle의  $\frac{l_n}{d_n}$ 이 8보다 增加함에 따라 NO<sub>x</sub> 濃도는 減少하나 그 變化는 매우 완만하며 燃料消費率은 서서히 增加함을 알 수 있다. 이것은  $\frac{l_n}{d_n}$ 이 4일 때 霧化가 제일 良好하다고 하지만 霧化가 良好하면 貫通力이 弱해지는 서로 反對되는 關係는 잘 알려진 事實이다. 그러나  $\frac{l_n}{d_n}$ 의 增大에 따른 貫通力의 增大, 即 油粒의 飛行거리가 增大하므로

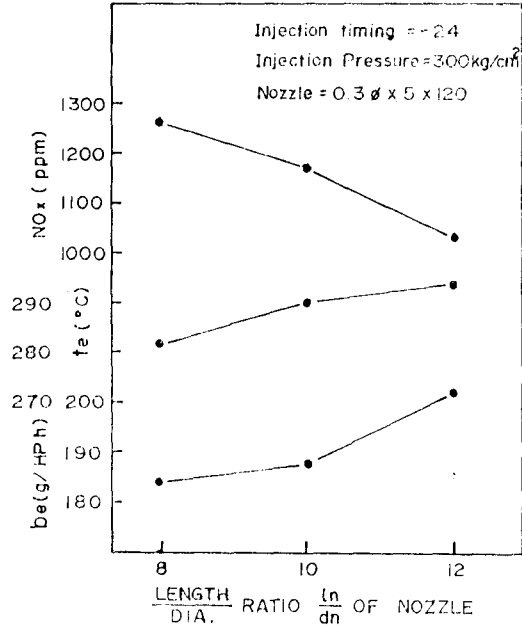


Fig. 10. Influence of  $l_n/d_n$  on NO<sub>x</sub> emission and engine performance.

이에 의한 油粒의 piston 頂面 충돌이 piston 頂面의 混合氣 形成과 또 이에 의한 piston 頂面의 油粒炭化에 의한다고 생각된다.

(6) 噴孔數의 影響

噴射時期와 噴射壓力을 一定히 하고 nozzle의 噴孔直徑이 클때의 그 數에 의한 것과 nozzle 噴射直徑이 작을 때 그 數에 의한 影響을 Table 3에 나타낸다.

이 Table에 의하면 噴孔直徑이 작으면 噴孔數가 많은 편이 NO<sub>x</sub> 濃도가 減少했음에 비해 噴孔直徑이 큰 편은 오히려 噴孔數가 많은 편이 NO<sub>x</sub> 生成濃도가 增加하는 서로 相反된 現象을 나타내고 있다.

이는 nozzle 噴孔直徑이 작고 噴孔數가 增加하면 噴射率은 增大되나 小噴孔直徑에 의해 貫通力低下로 nozzle

Table 3. Influence of number of nozzle holes on NO<sub>x</sub> emission and engine performance under different nozzle hole diameter.

nozzle type	te (°C)	be (g/HP.h)	NO <sub>x</sub> (ppm)	$\frac{NO_x}{b_e}$ (ppm·HP·h/g)
0.22φ×5×120	288	202	772	3.82
0.22φ×6×120	297	214	655	3.06
0.3φ×5×120	282	184	1262	6.86
0.3φ×6×120	280	178	1393	7.80

근방에서의 過濃混合氣部分의 酸素不足으로 不完全燃燒에 의한 局部的 및 全体的 溫度低下에 의한다고 생각되며 그와 反對로 噴孔徑이 큰 nozzle의 噴孔數가 많으면 貫通力이 희생됨이 없이 噴射率增大로 第一期 燃燒部分이 많아 燃燒개스溫度는 上昇하고 또 帶留時間의 增大때문이라 생각된다.

以上の 各種 因子를 系統的으로 變化시켜 直接噴射式 Swirl diesel機關의  $NO_x$  生成傾向을 調査했다. 이들의 實驗結果에서 어떠한 機構에 의해  $NO_x$ 가 最少로 形成되며 또 이때 燃料消費率과의 關係를 檢討하기 위해 上記의 實驗結果를 燃料消費率當  $NO_x$  生成濃度を Fig. 11에 나타내 보았다. 이에 나타나는 바와 같이 噴射時期를 T. D. C 근방( $-4^\circ$ )으로 遲延시키고 噴射壓力을  $100\text{kg/cm}^2$ 로 低下시킬 때가  $NO_x/\text{be}$ 은  $227\text{ppm}\cdot\text{hp}\cdot\text{h/g}$ 로 最少로 되었지만 이때 燃料消費率が  $255.2\text{g/HP}\cdot\text{h}$ 로 過大히 增大되었으려 同一噴射時期에 있어서 噴射壓力을  $500\text{kg/cm}^2$ 로 上昇시켰을 때는  $NO_x/\text{be}$ 는  $2.75\text{ppm}\cdot\text{hp}\cdot\text{h/g}$ 로 燃料消費率도  $204.2\text{g/HP}\cdot\text{h}$ 로 低下시킬 수 있었다.

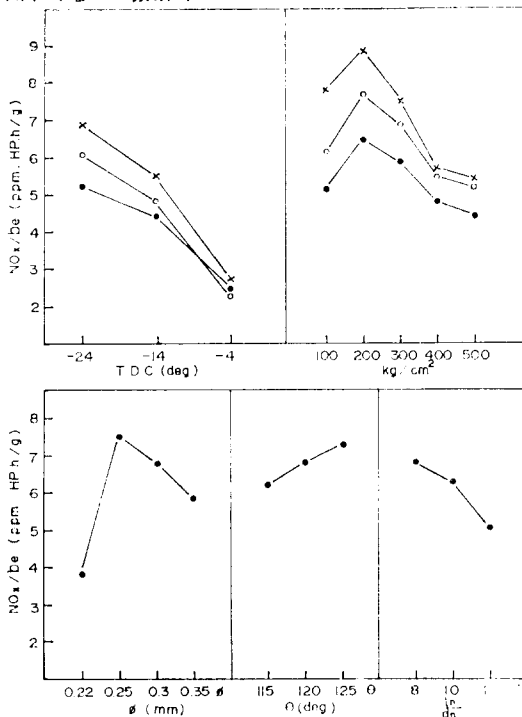


Fig. 11. The rate of  $NO_x$  emission per fuel consumption rate in each tested data.

噴孔徑의 變化에 있어서는  $0.22\phi \times 5 \times 120$ 의 nozzle이 他의 nozzle보다  $NO_x$ 의 濃도가 低減됨을 나타내고 噴射角度와  $\frac{1}{d_n}$ 의 變化에서는  $NO_x$  濃度變化가 적음

을 알 수 있었다. 따라서  $NO_x$  生成低減에 顯著한 역할을 하는 것은 噴射時期와 噴射壓力 및 噴孔의 直徑이며 이들의 變化에 의해  $NO_x$  生成濃도가 크게 低減되는 것을 알 수 있었다. 噴射遲延에 의한 燃料消費率의 增大는 막을 수 없지만 보다 높은 噴射壓力에 의해 空氣利用率을 向上시킴으로써 燃料消費率도 改善할 수 있으리라 보며 또한  $NO_x$ 를 低減시킬 수 있는 最適噴孔徑을 決定할 수 있으리라 본다.

## 要 約

直接噴射室式 diesel機關에 있어서 窒素酸化物發生傾向을 實驗한 結果는 다음과 같다.

1. 噴射時期를 遲延시키고 噴射壓力을 높임에 따라  $NO_x$ 와 燃料消費率が 低減된다.
2. 同一한 噴射時期와 同一한 噴射壓力에서도 nozzle 噴孔直徑의 減少에 따라  $NO_x$ 는 低減된다.
3. 同一한 噴射時期와 噴射壓力에서 噴射角度와 nozzle의 直徑에 대한 길이의 比의 變化만으로써는  $NO_x$  低減效果를 크게 얻을 수 없었다.

## 謝 意

本 實驗을 도와준 李有凡助教, 千忠奎君 및 光電分光計를 빌려주신 李康鎬 先生님께 感謝드립니다.

## 文 獻

1. 鈴木考(973): 데이젤機關における排氣對策の問題點. 日本機械學會誌, 76(653), 594~602.
2. Hiroshi Hayashi(1973): Introduction of the automobile. Internal combustion engine, 12(7) 91~95.
3. Shin Matsuoka (1975): Combustion and exhaust emission in spark ignited engine Internal combustion engine, 14(10), 77-90.
4. Louis E. Furlong(1975): Emission control and fuel economy chemtech, Tan, 34-38.
5. 池上詢 外 3名(1972): 데이젤機關における窒素酸化物の生成(うず室式の場合), 日本機械學會論文集, 39(327), 3444~3450.
6. 茂森政(1972): 데이젤エンジンの公害對策の狀況について, 自動車技術, 25(3), 131~139.
7. 北山善二郎 外 2名: 少量噴射によるデイゼル機關の燃燒に関する研究, 內燃機關, 12(4), 111~118.
8. JIS 핸드ブック(1973): 內害關係, p. 144~147.
9. Fujio Nagao(1973): A study on combustion in direct injection diesel engine. JSME, 16(93), 588-598.