

改善 米糠油 燃料에 의한 農用 디젤機關의 排氣 排出物 特性

裴明煥*, 河正鎬**

Exhaust Emissions Characteristics of an Agricultural Diesel Engine with Improved Rice Bran Oil Fuels

M. W. Bae*, J. H. Ha**

Abstract

The effects of improved rice bran oil on the characteristics of exhaust emissions have been experimentally examined by a single cylinder, four cycle, direct injection, water-cooled and agricultural diesel engine operating at several loads and speeds. The experiments are conducted with light oil, rice bran oil, and improved rice bran oil as a fuel. The fuel injection timing is fixed to 22° BTDC regardless of fuel type, engine loads and speeds. To reduce the viscosity of rice bran oil, it is used with the methods of heating, methyl ester and ultrasonic system in a highly viscous rice bran oil. In this study, it is found that the brake specific fuel consumption rate of light oil is the lowest and that of improved rice bran oil is lower than that of pure rice bran oil, and NO_x emissions of light oil are the lowest and those of pure rice bran oil are the highest, but soot emissions of light oil are the highest. However these results are not amply satisfied with the emissions regulation limit using the pure and improved rice bran oil as a fuel in diesel engines.

Key Words : Exhaust Emissions(排氣 排出物), Diesel Engine(디젤機關), Improved Rice Bran Oil(改善 米糠油), Viscosity(粘度), Heating(加熱), Methyl Ester(메틸 에스테르), Ultrasonic System(超音波 시스템)

1. 序 論

最近 高油價로 인한 化石에너지 需給의 不安 때문에, 다시 代替에너지 開發에 대한 關心度가 높아지고 있다. 특히 特定한 에너지源의 依存度를 낮추기 위한 內燃機關 燃料의 多樣化를 向해서 여러 가지 代替燃料의 開發 및 使用이 檢討되고 있다. 그 中, 再生産이 可能한 植物油를 디젤機關의 燃料로서 活用하기 위한 研究가 多樣하게 이루어지고 있어 一部는 實用的 段階까지 다다르고 있다.¹⁻²⁾

植物油는 種類에 따라 다르기는 하지만, 輕油에 比하여 約 80 ~ 100% 程度의 發熱量을 가지고 있고, 低硫黃 成分의 含有量, CO₂의 低排出量 등에 대한 利點 때문에, 賦存資源이 豊富한 植物油를 淸淨의 代替에너지源으로 活用하는 것은 바람직하다고 알려져 왔다.^{3,4)}

그러나 植物油는 높은 粘度 때문에, 揮發性이 낮고 微粒化가 나쁘다. 또한, 燃燒化學에 影響을 미치는 다른 化學的 構造, 不完全 燃燒로 인한 潤滑油 汚染 등의 問題가 發生된다. 따라서 燃料 및 空氣의 不適當한 混合에 의해 燃燒가 不完全하게 이루어지고, 機關部品에 煤煙成分이 堆積되어 磨耗를 일으키는 등 여러 가지 問題가 發生되어 機關의 長時間 運轉에는 容易하지 않다.⁵⁾

植物油의 高粘度를 改善하기 위한 研究는 植物油와 輕油를 混合한 混合油로서 使用하는 境遇, 觸

媒에 의해 米糠油와 알코올을 反應시켜 에스테르 化하여 活用하는 境遇 등이 以前부터 이루어져 왔다.⁶⁾ 특히, 植物油의 加熱, 植物油 乳化燃料, 超音 波 適用, 自體成分 改善 등에 의한 部分的 研究가 많이 遂行되고 있지만, 本質的인 燃燒改善은 아직 까지 이루어지고 있지 않다.⁷⁾

本 研究에서는 直接噴射式 農用 4行程 디젤機關 에 燃料로서 使用하는 米糠油의 粘度를 改善하기 위한 몇 가지 方法을 適用하여 機關回轉速度 및 負荷를 變化시켰을 境遇의 窒素酸化物 및 煤煙 排出物에 미치는 影響을 輕油와 純粹 米糠油를 使用 한 境遇와 實驗에 의해 調查하고 比較해 보았다.

2. 實驗 裝置 및 方法

2.1 實驗裝置

Fig. 1은 本 實驗에 使用된 裝置의 概略圖를 나타낸 것인데, 實驗機關은 水冷, 單氣筒, 直接噴射式 4行程 農用 디젤機關이며, 主要諸元은 Table 1과 같다.

渦流式, 電氣動力計를 使用하여 機關토크를 測定 하였고, 機關回轉速度 및 負荷를 調節하기 위하여 스톱 액추에이터(throttle actuator)를 使用하였다. 排氣 排出物中, NO_x는 Quintox 排氣 分析器 (英國 Kane-May社)에 의해, 煤煙은 스모크 測定 器에 의해 計測하였다.

水槽속의 銅파이프를 加熱器로 加熱하여 米糠油 가 通過되면서 米糠油가 加熱되도록 機關과 燃料 탱크 사이에 加熱시스템이 設置되어 있다. 또한, 米糠油의 微粒化를 改善하기 위하여 超音波 에너

* 慶尙大學校 輸送機械工學部,

** 慶尙大學校 大學院

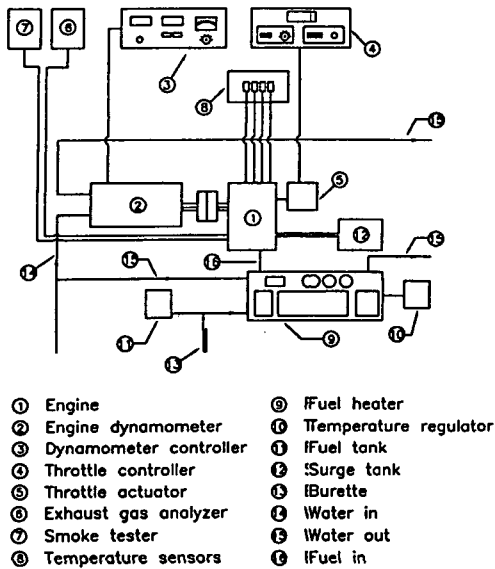


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

지를 가하는超音波發振裝置와振動자로構成된超音波시스템을機關과燃料탱크사이에設置하였다.

冷却水, 潤滑油, 排氣 및 燃料의 溫度를 測定하기 위하여 冷却水는 물재킷의 中心部에, 潤滑油는 오일팬 空間의 中心部에, 排氣는 排氣管 끝으로부터 50 mm되는 位置에, 燃料는 燃料濾過器 및 燃料加熱器에 各各 溫度感知裝置를 附着시켰다.

그 외에도 空氣吸入時 脈動을 줄이기 위하여 機關의 吸氣部에 서지탱크를, 植物油와 輕油를 混合하는 境遇, 比重差異에 의한 層分離를 일으키지 않도록 燃料탱크안에 小型 攪拌機를, 排氣管에서 距離 1 m, 높이 80 cm되는 支點에 消音器를, 머플러에 連結된 排氣管의 出口部에 排氣의 圓滑한 排出를 위하여 送風機를 設置하였다. 그리고 燃料탱크는 機關으로부터 約 1.8 m의 높이에 設置하여 重力에 의해 燃料가 供給되도록 하였다.

2.2 實驗方法

本 研究에서는 機關回轉速度 및 負荷를 파라미터로 하여 燃料로서 輕油 및 米糠油만을 100% 使

Table 1 Specifications of test engine

Items	Specifications
Engine / Model	Agricultural Diesel Engine / ND80DI
Type	Single Cylinder, H Type, Water-Cooled, 4 Cycle, Direct Injection
Bore × Stroke	92 mm × 95 mm
Piston Displacement	631 cc
Maximum Power	8.2 kW/2200 rpm
Fuel Injection Timing	BTDC 22°
Compression Ratio	19 : 1

用하였을 境遇와 米糠油를 加熱한 境遇, 에스테르화한 境遇 및 超音波 에너지를 가한 境遇에 대하여 實驗을 하였다. 機關回轉速度를 變化시키는 境遇에는 토크를 固定하여 回轉速度를 1200 rpm부터 200 rpm 間隔으로 增加시키면서 實驗을 하였고, 機關負荷를 바꾸는 境遇에는 스로틀 액추에이터를 完全開度한 狀態를 全負荷로 놓고, 全負荷의 토크 값을 測定하여 機關回轉速度를 固定하고 負荷를 25%씩 變化시키면서 實驗을 하였다. 全負荷에서 輕油를 使用한 境遇의 燃料消費率, 토크 및 出力에 대한 試驗機關의 特性曲線에 대해서는 著者の 研究報告⁸⁾에 提示되어 있다.

燃料消費率의 測定은 뷰렛의 一定한 容量(30 cc)의 燃料가 消費되는데 걸리는 時間을 測定하는 體積式 方法을 使用하였고, 測定時의 溫度에 따른 比重을 適用하여 單位時間 出力當 燃料消費率의 값 (g/kWh)으로 計算하였다. 噴射時期는 實驗條件에 關係없이 BTDC 22°로 固定하였고, 實驗을 하는 동안 動力計 및 加熱器의 冷却水는 強制循環을 시켰고, 이때 冷却水, 潤滑油 및 排氣管에는 K型 熱電對, 燃料濾過器는 R型 熱電對를 裝着하여 機關의 作動狀態를 隨時로 點檢하면서 實驗을 하였다.

本 實驗에서 使用한 燃料는 輕油 및 米糠油인데, 이 들에 대한 化學的 및 物理的 特性은 以前의 研究報告를 參考하기 바란다.⁸⁾ 그런데 物性值에서 注目할 點은 純粹 米糠油의 粘度로서 41.43 cSt이다. 이 값은 輕油의 粘度 3.46 cSt보다 約 12倍 程度 높은 高粘性이다. 燃料의 粘度가 높으면 燃料의 移送이 어려워져 送出壓力이 增加할뿐만 아니라, 噴射할 때 粒子가 커져 分散性이 나빠지고, 着火遲延과 不完全燃燒을 일으켜 燃料消費量이 增加하게 되고, 有害性 排氣 排出物이 增加하게 된다.

本 研究에서는 이러한 問題點을 改善시키기 위하여 米糠油를 加熱하는 境遇, 에스테르화하는 境遇 및 超音波 에너지를 가하는 境遇의 方法을 適用하였다. 加熱 米糠油의 境遇에는 333 K되도록 加熱器를 使用하여 加熱하였는데, 加熱된 燃料가 燃料管을 지날 때 溫度가 떨어지는 것을 防止하고 燃料濾過器內의 溫度가 一定하게 維持되도록 管을 加熱시켰다.

超音波 에너지를 가하는 境遇에는 燃料噴射펌프의 入口에 호른(horn)이 裝着된 振動子와 發振裝置로 構成된 超音波 시스템을 使用하여 振動子에 의해 超音波를 加하였다. 超音波 發振裝置는 發振部(oscillating part), 增幅部(amplifying part) 및 整合部(matching part)로 構成되는데, 發振部에서는 28.5 kHz의 周波數를 發振하며, 增幅部에서는 振動子를 驅動시킬 수 있는 電力으로 增幅해 준다. 整合部에서는 增幅된 矩形波 同周波數의 사인波를 바꾸어 임피던스를 整合하여 振動子에 加해 준다.

米糠油를 에스테르화하기 위한 알코올로는 메탄올을 使用하였고, 觸媒로는 나트륨 메톡시드(sodium methoxide)를 使用하였다. 米糠油의 에스테르화 轉換率에 影響을 미치는 因子는 메탄올 混合比, 觸媒濃度 및 反應溫度인데, 米糠油와 메탄올의 몰比는 1 : 7, 觸媒濃度는 나트륨 메톡시드 1

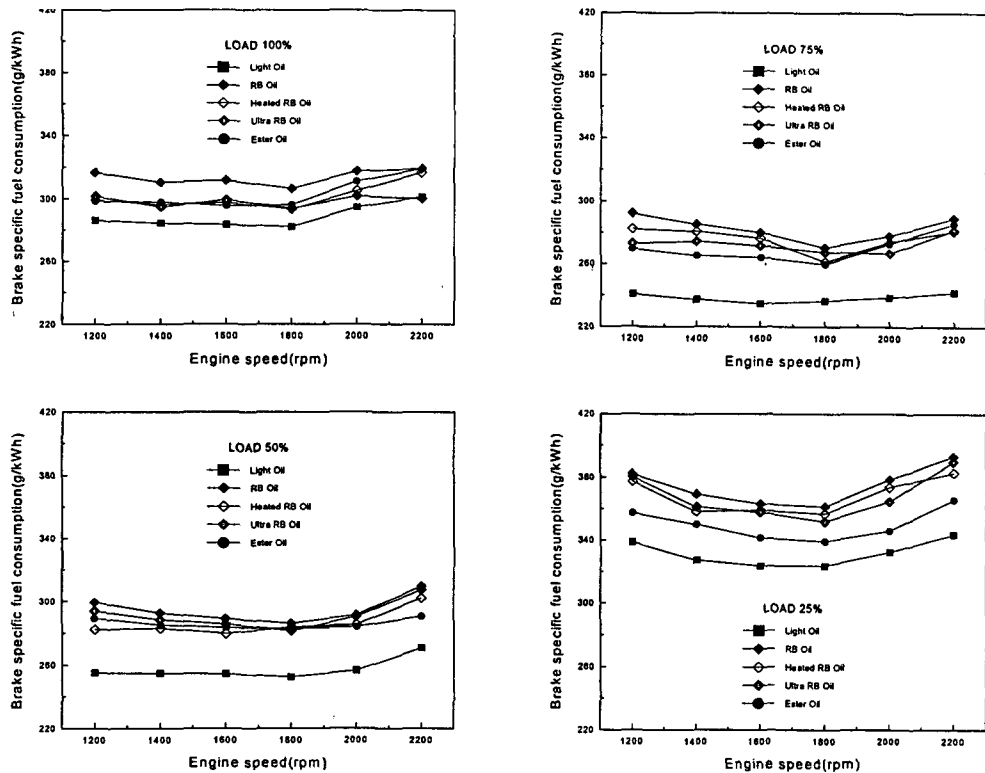


Fig. 2 Comparison of brake specific fuel consumption with different fuels and improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

wt%, 反應溫度는 60℃일 境遇, 98%의 轉換率을 얻을 수 있었다.

本 研究에서는 다른 燃料 혹은 方法을 適用하여 連續實驗을 할 境遇에는 同一 燃料 혹은 方法에 대한 機關回轉速度 및 負荷 變動의 實驗을 끝낸 후, 다른 燃料 혹은 方法으로 交替하였고, 實驗을 始作할 때와 끝마칠 때는 恒常 輕油를 使用하여 一定 時間 동안 機關을 作動시켰다.

3. 實驗 結果 및 考察

3.1 燃料消費率

Fig. 2는 機關負荷를 25%씩 增加시켰을 境遇, 輕油(Light Oil), 米糠油(RB Oil), 加熱 米糠油(Heated RB Oil), 超音波 米糠油(Ultra RB Oil) 및 에스테르化 米糠油(Ester RB Oil)를 燃料로 使用하여 機關回轉速度를 1200 ~ 2200 rpm까지 200 rpm씩 變化시켰을 때의 制動 燃料消費率을 나타낸 것이다. 그림에서 負荷에 關係없이 米糠油의 燃料消費率은 輕油만의 境遇보다도 增加하고, 粘度를 改善시키기 위하여 活用된 3 方法의 改善 米糠油 燃料消費率에 대한 增加 및 減少 傾向은 뚜렷하게 나타나지 않고 있으나, 米糠油만의 境遇보다는 燃料消費率이 減少되고, 輕油만의 境遇보다는 增加되고 있음을 알 수 있다. 또한 燃料의 種類 혹은 方

法에 關係없이 負荷가 增加할수록 燃料消費率이 減少하나, 全負荷에서는 다시 燃料消費率이 增加하고 있음을 알 수 있다. 機關回轉速度에 대한 燃料消費率은 全負荷 特性曲線에 나타난 것과 같이 大體의 1800 rpm 附近에서 最小의 燃料消費率을 보이고, 1800 rpm 以前에는 機關回轉速度의 增加에 따라 燃料消費率이 減少하지만, 1800 rpm 以後에는 機關回轉速度의 增加에 따라 燃料消費率도 增加되고 있다.

米糠油만을 使用하는 境遇는 輕油만을 使用하는 境遇에 비해 燃料消費率이 約 6 ~ 18% 程度 增加하였는데, 그 理由로서는 粘度가 높기 때문에 噴霧 微粒化의 效率이 나쁘고, 또한 米糠油의 密度가 커서, 單位時間當의 噴射量이 增加하기 때문이라고 推定된다. 이러한 粘度를 改善하기 위하여 使用된 3 方法들은 實驗條件에 따라 다르기는 하지만, 米糠油만의 境遇보다는 燃料消費率이 減少되고 있다. 그러나 이 들 3 方法에 대한 燃料消費率의 增減 差異를 明確하게 區分할 수 없음을 알 수 있다.

3.2 排氣 排出物

3.2.1 窒素酸化物(NO_x) 排出物 Fig. 3는 輕油, 純粹 米糠油 및 3 方法에 의한 改善 米糠油의 燃料를 파라미터로 하여 實驗條件의 負荷에 있어서 NO_x 排出物의 測定結果를 機關回轉速度에 따

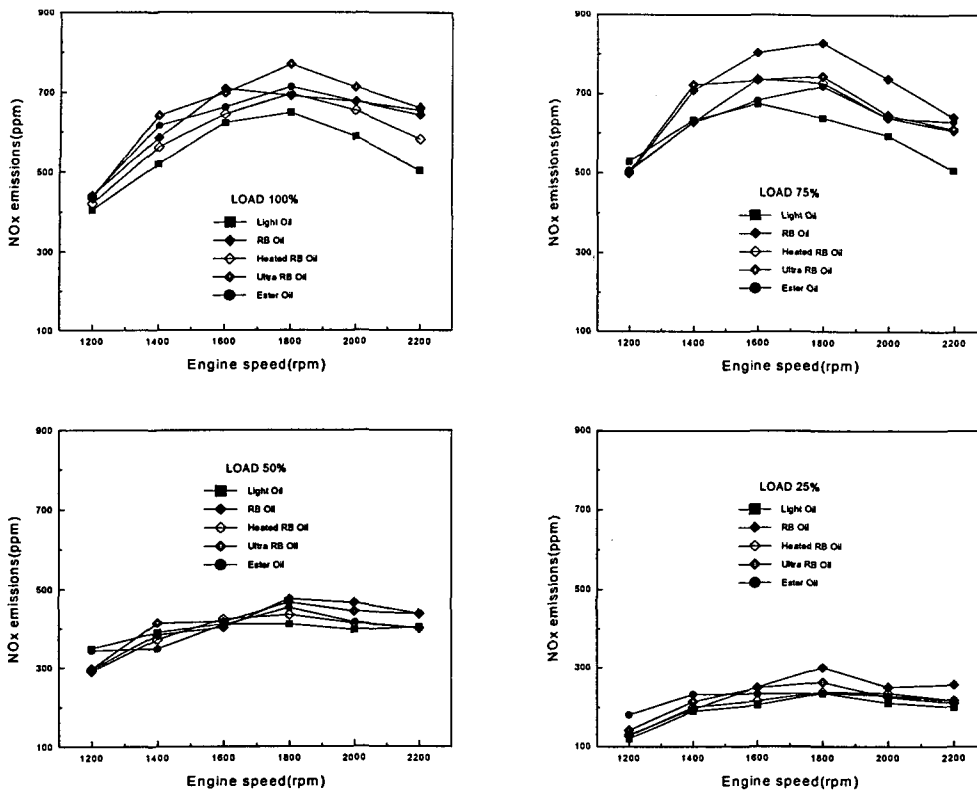


Fig. 3 Comparison of NO_x emissions with different fuels and improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

라 나타낸 것이다. 그림에서 본 연구의 기관회전 속도 1800 rpm 附近을 中心으로 이 보다 낮은 기관회전 속도에서는 기관회전 속도의 증가에 따라 NO_x 排出物이 增加하고, 그 以上の 기관회전 속도에서는 기관회전 속도의 증가에 따라 NO_x 排出物이 減少되고 있음을 알 수 있다. 全體의 負荷에 걸쳐서 輕油만을 使用하였을 境遇에 NO_x 濃도가 가장 적게 排出되고 있고, 全負荷의 몇 個의 機關回轉速度를 除外하고는 米糠油만을 使用하였을 境遇에 NO_x 濃도가 가장 많이 排出되고 있음을 알 수 있다. 特別히 全負荷에 있어서는 超音波를 加한 米糠油의 境遇에 O₂ 排出濃도가 가장 많았고, CO₂ 排出濃도가 가장 적었으며, NO_x 排出濃도가 가장 많았다.

한편, 低速의 機關回轉數에서는 氣化性이 輕油에 비해 나쁜 米糠油의 境遇에 燃燒가스溫도의 差가 크지 않기 때문에 輕油에 比하여 NO_x 排出物의 差가 크지는 않지만, 負荷가 높을수록 機關回轉數가 高速이 되면 燃燒室의 燃燒가스溫度도 增加되고, 發熱量은 多少 떨어질지라도 米糠油의 燃料消費率이 많아 全體의 燃燒效率이 改善되어 NO_x 排出物은 增加할 것으로 推定된다. 또한 NO_x 排出物은 燃燒가스溫度 뿐만 아니라, 酸素濃도와도 關係가 있기 때문에, 米糠油의 境遇, 含有된 10.7% 程度의 酸素濃도가 影響을 미치리라 豫想된다.

3.2.2 煤煙 排出物 同實驗條件의 負荷와 燃料油에 있어서 煤煙 排出物을 機關回轉速度에 따라 나타낸 것이 Fig. 4이다. 煤煙은 NO_x 排出物과 生成機構 過程 등이 相反되기 때문에, 앞에서 考察한 NO_x 排出物과는 一般의 相反되는 排出傾向을 나타내고 있다. 그림에 의하면 一般의 米糠油만의 境遇가 輕油만의 境遇보다 排出量이 減少함을 알 수 있는데, 이것은 米糠油에 含有된 10.7% 程度의 酸素量이 燃燒中 酸化過程에 寄與하기 때문일 것으로 豫想된다.

3 方法에 의한 改善 米糠油의 煤煙 排出物은 輕油만의 境遇보다 減少되고 있지만, 負荷 25%에서는 米糠油만의 境遇가 가장 排出濃도가 적다. 그러나 이들 값은 負荷 혹은 機關回轉速度에 따라 各 各 다르게 나타나기 때문에 比較할 수가 없다. 特別히 全負荷에서 超音波를 加한 米糠油의 境遇는 O₂ 濃도와 NO_x 濃도가 가장 많이 排出되었고, CO₂ 排出濃도는 가장 적었다. 여기서 煤煙 濃도도 가장 적게 排出되고 있음을 알 수 있다.

部分負荷에 比하여 全負荷에서 어느 境遇에서나 煤煙 排出物이 相對的으로 많은 것은 본 연구의 對象인 小型 農用 디젤機關에서 高負荷가 될수록 燃料消費率에 比하여 空氣過剩率이 減少하기 때문에 局所的으로는 酸素量이 不足하여 不完全燃燒가

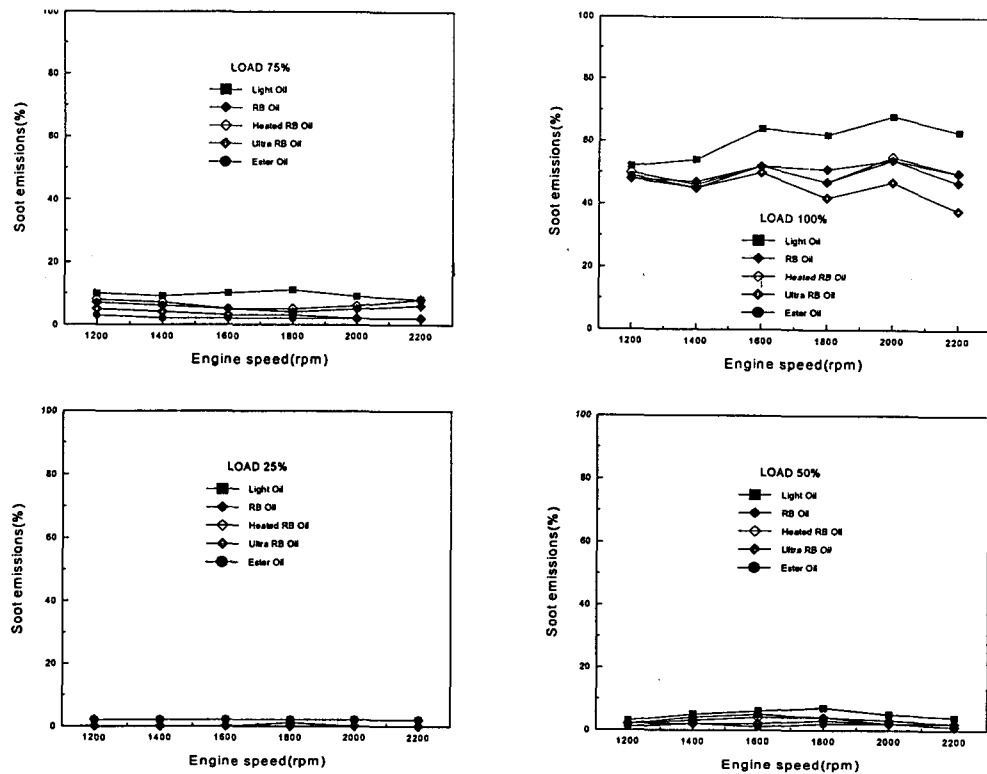


Fig. 4 Comparison of soot emissions with different fuels and improved rice bran oil fuels as a function of engine speed for full, three quarters, medium and a quarter engine loads

發生하여 煤煙 排出物이 增加한다고 생각된다.

3.3 改善 米糠油에 대한 代替燃料로서의 檢討

本 研究에서는 米糠油의 粘性係數를 낮추는 3 方法에 의하여 디젤機關의 代替에너지로서 改善 米糠油의 排氣 排出物 特性을 檢討하여 보았는데, 이렇게 調査된 NO_x 및 煤煙 排出物의 데이터를 Fig. 5에 나타내었다. 本 研究에서는 NO_x 및 煤煙 排出物을 總量이 아닌 濃度로서 測定하기 때문에, Fig. 5와 같이 나타내기 위해서는 計測된 濃度값을 總量값으로 換算하여야 한다. NO_x 排出量은 陸用 機關에 實施되고 있는 덴마크의 排氣 規制⁹⁾를, 煤煙 排出量은 Bosch數와 排氣中 煤煙 排出量과의 關係¹⁰⁾를 利用하여 換算하였다.

그림에서 韓國의 規制값은 トラック 등의 大型 디젤 機關에 適用되는 數值를 나타내고 있다. 2000年度 煤煙의 規制값에 대해서 100% 負荷인 境遇, 全條件의 輕油가 滿足되지 못하고 있고, 나머지 方法의 各 境遇에도 2 條件 程度밖에 滿足되고 있지 않음을 알 수 있는데, 低負荷의 境遇에는 NO_x 排出物의 規制값을 相當數 條件에서 滿足시키지 못하고 있다. 特히, 25% 負荷의 境遇가 50%의 境遇보다 더 많다. 이와 같이 煤煙 및 NO_x 排出物의 規制값을 同時に 滿足시키기가 簡單하지 않음을 알 수 있다. 本 研究結果는 先進 外國의 規制값은 거의 滿足시키지 못하고 있어 앞으로 排氣 排出物 低減

對策에 대한 이러한 問題의 解決이 相當히 深刻함을 意味한다.

改善 米糠油를 使用하는 境遇에는 低負荷보다는 中·高負荷에서 排氣 排出物의 規制값을 滿足시킬 수 있음을 나타내고 있는 特異한 結果를 보여주고 있다. 以前 研究에서 檢討한 輕油, 混合油 및 純粹 米糠油보다는 全體적으로 規制값을 滿足시키는 條件이 增加되었지만, 이러한 값들은 데이터 換算 등의 問題가 있기 때문에, 앞으로 보다 正確한 排氣 量값을 求하는 方法 등을 講究하여 NO_x 및 煤煙 排出物의 規制값 關係를 나타낼 必要가 있다.¹¹⁾

4. 結 論

水冷, 單氣筒, 4行程, 直接噴射式의 農用 디젤機關에 燃料로서 輕油, 米糠油 및 改善 米糠油를 使用하여 負荷 및 機關回轉速度를 變化시켰을 境遇, 이들 燃料들이 排氣 排出物 特性에 미치는 影響에 대해 實驗적으로 調査하여 얻은 主要 結果는 다음과 같다.

- 1) 燃料消費率은 負荷에 關係없이 輕油가 가장 적었고, 純粹 米糠油의 境遇에 가장 많았다. 改善 米糠油의 境遇에는 輕油和 純粹 米糠油의 中間에 位置하고 있지만, 負荷에 따른 이들 값의 比較가 負荷 혹은 機關回轉速度에 따라 一定하지 않았다.
- 2) NO_x 및 煤煙 排出物의 濃度는 燃料消費率,

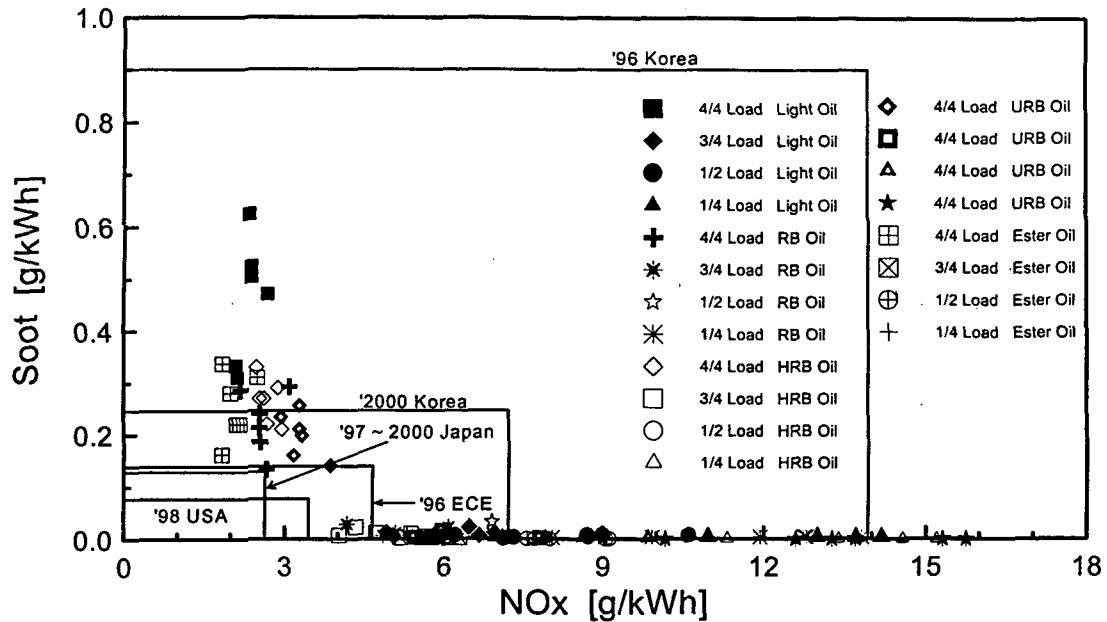


Fig. 5 Schematic illustration for correlation between NO_x and soot emissions

CO₂ 및 O₂ 排出濃도와 關係가 있는데, NO_x 排出物의 濃度は 負荷에 關係없이 大體로 輕油의 境遇가 가장 낮았고, 純粹 米糠油가 가장 많았다. 煤煙 排出物은 負荷에 關係없이 輕油에서 가장 많았지만, 負荷 100%에서는 超音波 適用 米糠油가 가장 적게 나타났다. 나머지 境遇에는 負荷 혹은 機關回轉速度에 따라 各各 다르게 나타나고 있어 比較를 할 수 없었다.

3) 粘度를 改善한 米糠油의 境遇, 輕油 혹은 純粹 米糠油보다는 規制값을 더 많은 條件에서 만족시키고 있지만, 디젤機關의 代替에너지로서 사용하여 여러 負荷條件 혹은 先進外國의 規制값을 滿足시키기 위해서는 다른 對策을 講究하여야 한다.

本 研究는 2000年度 頭腦韓國21事業으로부터 一部를 支援받아 이루어진 것으로 도움을 주신 關係者 여러분께 感謝드립니다.

參考文獻

1. Krahl, J., Vellguth, G., Munack, A., Stalder, K., and Bahadir, M., "Exhaust Gas Emissions and Environmental Effects by Use of Rape Seed Oil Based Fuels in Agricultural Tractors," SAE 961847, pp. 1 ~ 14, 1996.
2. Niemi, S. A., Illikainen, P. E., Mäkinen, M. L. K., and Laiho, V. O. K., "Performance and Exhaust Emissions of a Tractor Engine Using Mustard Seed Oil as Fuel," SAE 970219, pp. 21 ~ 32, 1997.
3. 盧相舜, 裴明煥, "물-가스홀 混合物을 燃料로 사용한 가솔린機關의 性能 및 排氣成分에 관한 實驗的 研究," 韓國船用機關學會誌, 第8卷, 第2號, pp. 25 ~ 38, 1984.

4. Stavinoha, L. L., and Howell, S., "Potential Analytical Methods for Stability Testing of Biodiesel and Biodiesel Blends," SAE 1999-01-3520, pp. 1 ~ 15, 1999.
5. Clark, N. N., Atkinson, C. M., Thompson, G. J., and Nine, R. D., "Transient Emissions Comparisons of Alternative Compression Ignition Fuels," SAE 1999-01-1117, pp. 1 ~ 14, 1999.
6. Scholl, K. W., and Sorenson, S. C., "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, pp. 555 ~ 567, 1993.
7. 井上惠太, 辻村欽司, "自動車原動機の環境對應技術," 朝倉書店, pp. 171 ~ 172, 1997.
8. 裴明煥, 河正鎬, "米糠油 燃料에 의한 農用 디젤機關의 性能 및 排氣 排出物에 관한 研究," 韓國船用機關學會誌, 第22卷, 第6號, pp. 816 ~ 826, 1998.
9. 오레·그로네(Grøne, O.), "低速船用機關における排ガス規制への對應," 日本船用機關學會誌, 第29卷, 第1號, pp. 14 ~ 23, 1994.
10. Matsui, Y., Kamimoto, T., and Matsuoka, S., "Formation and Oxidation Process of Soot Particulate in a D. I. Diesel Engine - An Experimental Study via the Two-color Method," SAE 820464, pp. 1923 ~ 1935, 1983.
11. Bae, M. W., "A Study on the Effects of Recirculated Exhaust Gas upon NO_x and Soot Emissions in Diesel Engines with Scrubber EGR System," SAE 1999-01-3266, pp. 78 ~ 87, 1999.