

엔진速度와 負荷가 디젤 排氣가스에 미치는 影響에 관한 研究

(A Study of the Effects of Engine Speed and Load on Diesel Emissions)

李載淳* · 金承武* · 申容在* · 徐廷一**

(J. S. Lee, S. M. Kim, Y. J. Shin, J. I. Seoh)

Abstract

Smoke, Hydrocarbon and Carbon Monoxide emissions of concern in environmental pollution on AVDS-1790-2D diesel engine were studied experimentally and past studies on emissions of diesel engine were investigated.

Engine speed and load were considered as variable factors influencing the emissions. The test results of a multicylinder, direct injection and turbocharged 4 cycle diesel engine were compared with past studies. Both emission levels of experimental study and past studies were markedly influenced by engine operation factors.

The results obtained in this study can be summerized as follows;

- 1) Smoke intensity is proportional to engine load and varies with engine speed.
- 2) Hydrocarbon and nitric oxides emissions vary with engine speed and load.
- 3) Carbon monoxide emission is insensitive to engine speed and varies with engine load.

I. 序 論

輕車輛에서 디젤엔진의 使用은 디젤엔진의 單位重量當 馬力이 낮고 騒音, 振動 및 初期費用이 높으며 가솔린엔진에 비해 最大速度가 낮기 때문에 不適合한 것으로 생각하여 왔다. 따라서 重車輛에서란 디젤엔진이 使用되어 왔다.

最近의 燃料節約에 대한 方策이 디젤엔진의 輕車輛 및 乘用車에 대한 흥미를 갖게 되었으며 디젤엔진의 發展趨勢는 1970年代에 들어서면서 公害問題에 關連하여 排氣가스의 有毒成分인 煤煙(smoke), CO, HC 및 NO_x등을 減少시키는 方向으로 前進되고 있다. 그러나 公害問題와 關連하

여 動力 및 燃料消耗率의 저하없이 排氣가스의 公害限界值를 滿足시켜야 하기 때문에 問題가 되고 있다.

國內에서는 디젤엔진에 대하여 煤煙 이외의 다른 成分에 대하여는 規制가 없으나 外國에서는 강력한 規制限界를 規定하고 있다. 美國에서는 軍用엔진의 경우 엔진規格書에서는 煤煙의 限界值를 3.5 BOSCH Unit이내로 制限하고 있다.⁽¹⁾

엔진 排氣가스 有毒成分의 排出量은 엔진형, 燃料成分, 엔진構造 및 運行條件 등 엔진變數에 따라 變하기 때문에 排氣가스 有毒成分을 減少시키기 위한 研究가 활발히 遂行되고 있다.

本 研究에서는 디젤엔진의 엔진速度 및 負荷

* 洪陵機械 工業會社

** 漢陽大學校 工科學

變化에 대한 文獻에 의한 排氣가스 有成分(煤煙, HC, CO 및 NOx 등)의 排出傾向을 분석하고 既存車輛에 使用되고 있는 디젤엔진의 排氣가스 有成分의 排出範圍를 測定하는데 그 目的이 있다.

本 試驗에 使用된 엔진은 AVDS-1790-2D 直接噴射式(with turbocharger) 디젤엔진이며 試驗에 의하여 排氣가스중의 煤煙, HC 및 CO 등을 測定하여 煤煙 및 CO의 排出圖(emission map)을 導出 하였다.

II. 本 論

엔진速度를 증가시키면 吸氣의 渦度가 증가되고 따라서 燃料의 發火遲延 期間이 감소된다. 또한 이는 매사이클마다 燃燒에 所要되는 時間이 감소되고 熱傳達에 의한 熱損失이 감소되므로 冷却損失이 적어 排氣가스의 溫度를 증가시킨다.

엔진負荷를 증가시키면 실린더내로 噴射되는 燃料量이 증가되므로 混合氣가 濃厚해져서 燃燒에 필요한 空氣의 不足으로 不完全 燃燒의 원인이 되므로 煤煙排出量을 증가시킨다.

1. 엔진速度가 排氣가스에 미치는 影響

엔진速度의 變化에 따른 煤煙가스의 噴出現象에 대한 현재까지의 研究結果를 檢討해 보면 다음과 같다.

Fig. 1⁽²⁾은 予燃燒室式 디젤엔진의 煤煙特性을 나타낸 것으로 엔진速度와 煤煙과의 관계가 一定하지는 않으나 엔진速度가 증가할수록 煤煙이 증가하고 있다.

Fig. 2⁽³⁾는 單氣筒 直接噴射式 디젤엔진의 試驗結果로 엔진速度가 증가할수록, 空氣/燃料比가 낮을수록 煤煙은 증가하고 있다.

Fig. 3⁽²⁾은 直接噴射式 디젤엔진 試驗結果며, Fig. 4⁽⁴⁾는 turbocharger을 가진 디젤엔진의 試驗結果로 엔진速度 증가시 煤煙이 감소하는 傾向을 나타낸다.

以上の 結果에서 엔진速度 증가시 煤煙이 증가하는 것은 空氣-燃料 混合 및 作用時間이 짧아 燃燒에 필요한 時間이 감소하기 때문이며, 煤

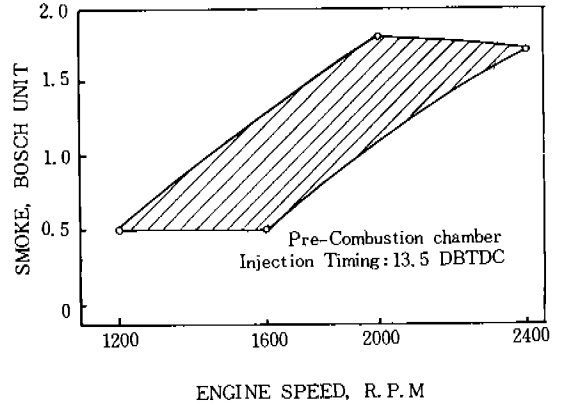


Fig. 1 The Effect of Engine Speed on Smoke (IDI Engine)

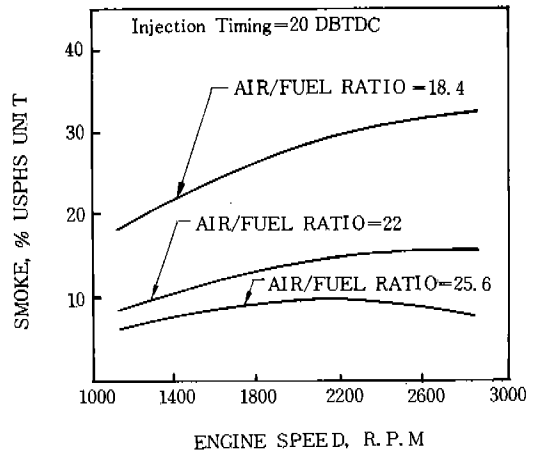


Fig. 2 Smoke Opacity as a Fuction of Engine Speed at Slected Air/Fuel Ratios

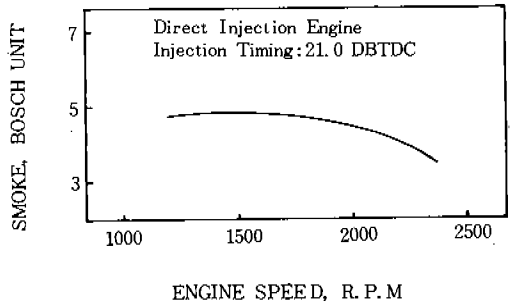


Fig. 3 The Effect of Enging Speed on Smoke (DI Engine)

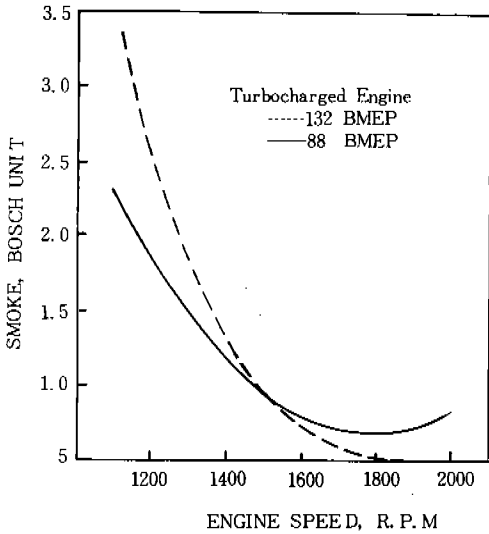


Fig. 4 Smoke Opacity as a Function of Engine Speed at a Selected BMEP.

煙이 감소하는 것은 空氣의 渦流作用 및 turbo-charger을 통하여 空氣-燃料 混合에 필요한 충분한 空氣를 供給하기 때문이다.

Fig. 5⁽²⁾는 予燃燒室式 디젤엔진 排氣가스의 HC 量을 나타낸 것으로 엔진速度가 증가될 때 HC 量은 20ppm에서 100ppm으로 500% 증가되었다. 이것은 高速에서는 燃料噴射가 싸이클 後期에 이루어지고 燃燒에 필요한 時間이 짧기 때문이다.

Fig. 6⁽²⁾은 直接噴射式 디젤엔진 排氣가스의 HC 量을 나타낸 것으로 1800rpm의 中速에서 最高 値를 나타내고 있다. 低速에서는 실린더내의 燃料-空氣 混合이 증가되고, 高速에서는 높은 排氣가스의 溫度가 排氣 酸化率을 증가시키기 때문에 HC 量이 감소된다.

Fig. 7⁽²⁾은 直接噴射式 엔진의 速度變化에 따른 CO 量을 나타낸 것으로 排氣가스중의 CO 量은 엔진速度에 거의 影響을 받지않고 一定하다. 그리고 디젤엔진에서 排氣가스중 CO 量은 여러 試驗結果에서 비교적 낮게 나타나고 있다.

Fig. 8⁽²⁾은 予燃燒室式 엔진의 NOx 量을 나타낸 것으로 엔진速度가 증가할수록 NOx 量이 증가된다. 이것은 高速에서 熱損失이 감소되기 때문에 가스溫度가 높아 NOx 量이 증가된다.

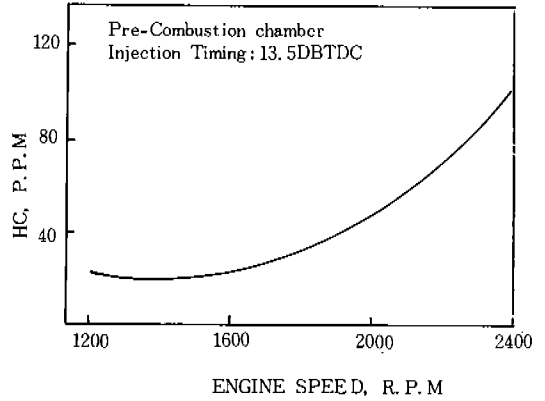


Fig. 5 The Effect of Engine Speed on Hydrocarbon Emission (IDI Engine)

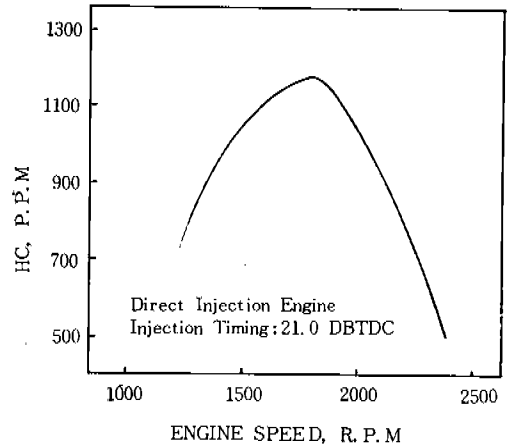


Fig. 6 The Effect of Engine Speed on Hydrocarbon Emission (DI Engine)

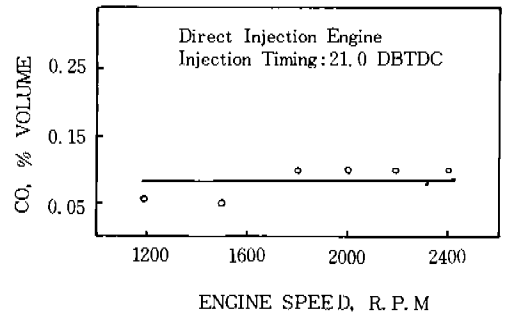


Fig. 7 The Effect of Engine Speed on Carbon Monoxide Emission

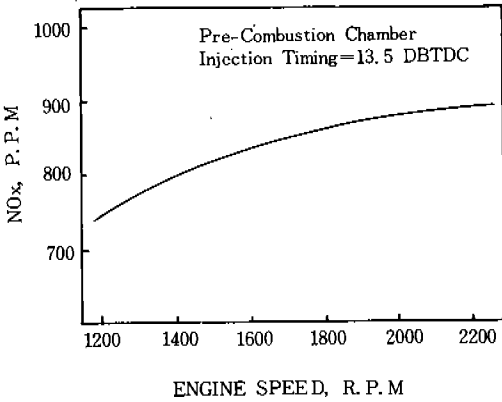


Fig. 8 The Effect of Engine Speed on Nitric Oxides Emission (IDI Engine)

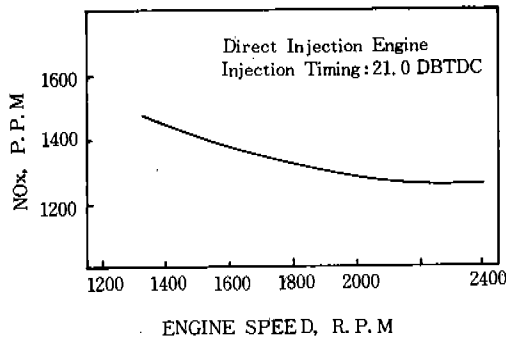


Fig. 9 The Effect of Engine Speed on Nitric Oxides Emission (DI, Engine)

Fig. 9⁽²⁾는 直接噴射式 엔진의 NO_x량을 나타낸 것으로 엔진速度가 증가할수록 NO_x량은 감소하고 있다. 이것은 두개의 因子로 생각할 수 있으며, 첫째는 엔진速度가 증가할수록 NO_x形成에 필요한 時間이 짧기 때문이며, 둘째는 엔진 팽창사이클이 시작되기전에 燃料噴射나 燃料의 燃焼가 완전히 이루어질 可能性이 적어 지므로 最高溫度가 감소되기 때문이다.

2. 엔진負荷가 排氣가스에 미치는 影響

엔진負荷 증가에 따른 排氣가스의 噴出現象에 대한 현재까지의 研究結果를 檢討해 보면 다음과 같다.

表 1⁽⁵⁾은 4개의 다른 엔진을 使用하여 運行條

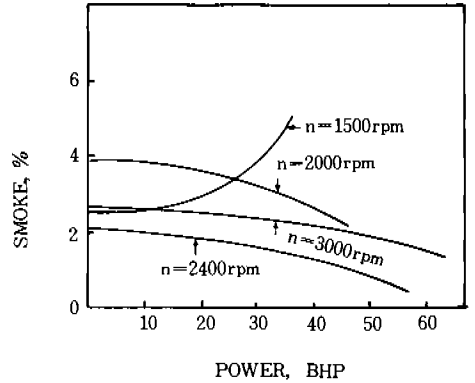


Fig. 10 Emissions of Smoke at Various Speed and Load Condition

件을 變化하면서 排氣가스의 特性을 試驗한 結果로 엔진의 空回轉, 最大荷重 및 加速때의 排氣가스 有毒成分을 測定한 것이다.

表 1에서와 같이 空回轉때 HC와 NO_x의 量은 最大荷重 및 加速때의 값보다 작으며, 煤煙은 일반적으로 加速時에 높다. 2사이클 및 4사이클 (with turbocharger) 엔진의 煤煙排出量은 負荷變化에 큰 차이가 없으나 4사이클 엔진에서는 負荷變化에 큰 차이가 있다. HC 排出量은 4사이클 高速엔진에서 負荷變化에 따라 큰 차이를 보이고 있으며 그의 엔진에서는 큰 차이가 없다. 모든 엔진에서 NO_x의 量은 最大負荷에서 가장 큰 값을 나타내고 있으며, 2사이클 및 4사이클 (with turbocharger) 엔진에서 다른 엔진보다 NO_x의 排出量이 많다. CO 排出量은 2사이클과 4사이클 엔진에서는 負荷變化에 따라 증가하고 있으나, 4사이클 (with turbocharger) 엔진에서는 無負荷때 가장 높고 負荷증가에 따라 감소하다 最大負荷에서 다시 증가하고 있다.

Fig. 10⁽⁶⁾은 豫燃燒室式 엔진의 負荷變化에 따른 煤煙量을 나타낸 것으로 低速에서는 負荷가 증가할수록 煤燃量이 증가하고 있으나 高速에서는 負荷증가에 따라 煤燃量이 감소하고 있다.

Fig. 11⁽⁷⁾과 Fig. 12⁽⁸⁾는 直接噴射式 엔진과 豫燃燒室式 엔진의 負荷變化에 따른 HC량을 나타낸 것이다. 直接噴射式 엔진에서는 負荷 증가에 따라 HC 量이 감소하지만 豫燃燒室式 엔진에서

표 1 / 운행조건에 따른 유독성분 배출량

엔진형식 및 유독성분	운행조건			
	공운전	가속운전	부분하중	최대하중
2 Cycle 엔진				
엔진속도 rpm			1,800	1,800
Bmep psi			0.74	98
CO %	0.01	0.35	0.01	0.08
HC ppm	290	460	370	550
NO _x ppm	180	1,220	1,110	1,250
Smoke, Hartridge Unit	5	43	3	9
4 Cycle Turbocharged 엔진				
엔진속도 rpm			2,100	2,100
Bmep psi			69	137
CO %	0.07	0.14	0.02	0.03
HC ppm	290	370	250	170
NO _x ppm	370	2,390	1,150	2,550
Smoke, Hartridge Unit	3	20	8	10
4 Cycle, Medium Speed 엔진				
엔진속도 rpm			1,800	1,800
Bmep psi			75	101
CO %	0.02	0.08	0.04	0.26
HC ppm	180	330	210	150
NO _x ppm	330	920	590	780
Smoke, Hartridge Unit	5	64	40	55
4 Cycle High Speed 엔진				
엔진속도 rpm			3,200	3,200
Bmep psi			40	79
CO %	0.03	0.07	0.03	0.14
HC ppm	260	810	750	1,000
NO _x ppm	290	830	430	790
Smoke, Hartridge Unit	5	59	22	60

는 負荷증가에 따라 HC 量이 감소하다가 다시 증가하고 있다. 그리고 直接噴射式 엔진에서 HC 量은 豫燃燒室式 엔진의 HC 量보다 크게 나타나고 있다.

Fig. 13⁷⁾은 直接噴射式 엔진의 負荷變化에 따른 CO 量을 나타낸 것으로 負荷증가에 따라 CO 量이 감소하다가 다시 증가하고 있으며, 燃料噴

射時期에 따라 CO 排出量에 큰 차이가 있다.

Fig. 14⁸⁾은 豫燃燒室式 엔진의 負荷變化에 따른 CO 量을 나타낸 것으로 低速에서는 直接噴射式 엔진과 비슷한 傾向을 보이나 高速에서는 負荷증가에 따라 CO 量이 감소하는 傾向을 보이고 있다.

Fig. 15⁹⁾은 直接噴射式 엔진과 豫燃燒室式 엔

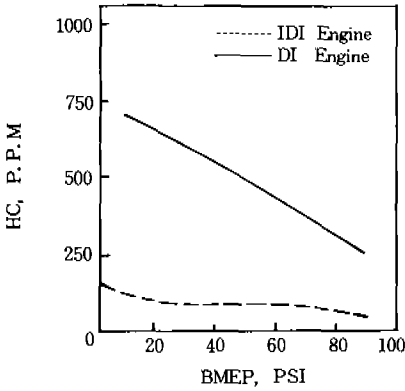


Fig. 11 Hydrocarbon Concentration, Direct Injection Engine and Prechamber Engine

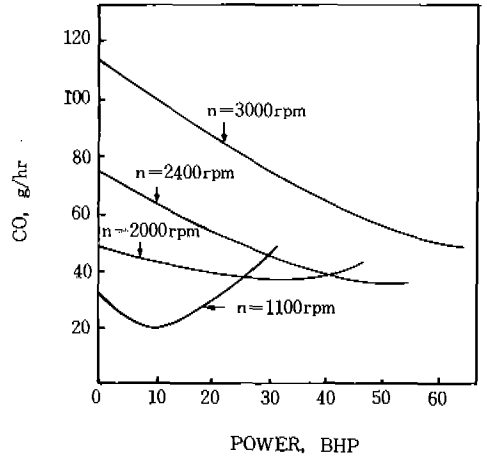


Fig. 14 Carbon Monoxide Emissions at Various Speed and Load Condition (IDI Engine)

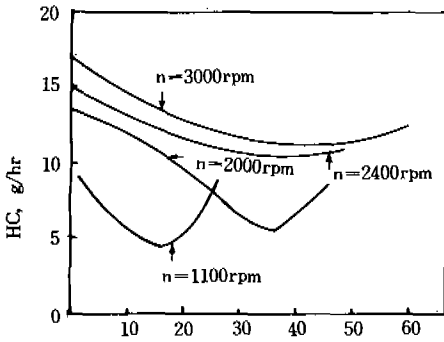


Fig. 12 Hydrocarbon Emissions at Various Speed and Load Condition (IDI Engine)

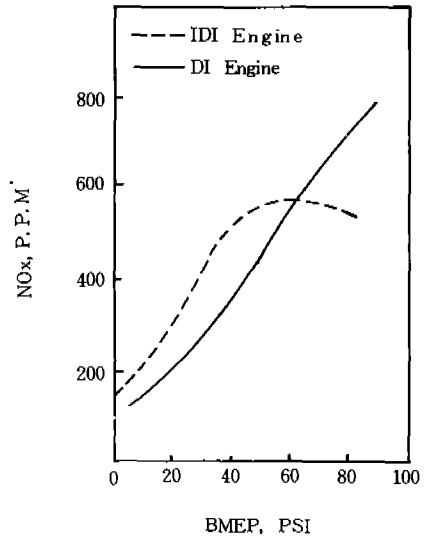


Fig. 15 Nitric Oxides Concentration, Direct Injection and Prechamber Engine

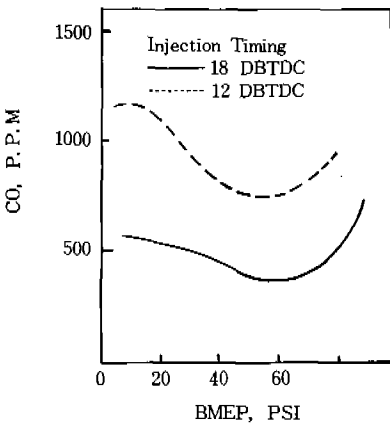


Fig. 13 Carbon Monoxide Emission as a Function of Engine Load at Selected Injection Timing

진의 負荷變化에 따른 NO_x 量을 나타낸 것으로 直接噴射式 엔진에서는 負荷증가에 따라 NO_x 量이 증가하고 있으나 豫燃燒室式 엔진에서는 負荷증가에 따라 NO_x 量이 증가하다가 감소하는 傾向을 나타낸다. 低負荷에서는 直接噴射式 엔진에서 NO_x 量이 적으나 高負荷에서는 豫燃燒室式 엔진에서 NO_x 量이 적다.

III. 試驗結果 및 考察

1. 엔진試驗 方法

本 試驗에서 엔진速度는 1,000rpm에서 2,400 rpm까지 200rpm단위로 等分하여 測定하였고, 負荷率은 8 等分하여 1/8에서 8/8負荷까지 測定하였다. 試驗에 使用된 엔진의 諸元은 다음과 같다.

- 엔진모델 : AVDS-1790-2 D (TCM社製作)
- 실린더數 및 配列 : 12기통, 90° 上向 V타입.
- 壓縮比 : 16 : 1
- 噴射時期 : 26DBTDC
- 燃料세탄價 : 40

排氣가스 測定 試驗裝置 概略圖는 Fig. 16과 같으며 測定方法은 다음과 같다.

煤煙(smoke) : sample probe를 排氣管의 測定 空에 삽입하여 測定된 成分量은 smoke meter의 지시기에서 判讀하였으며 測定單位는 BOSCH unit이다.

CO 및 HC : 가스分析器 R1-730을 使用하며 CO가스는 퍼센트單位로, HC는 ppm單位로 測定 하였다.

2. 試驗結果 및 檢討

AVDS-1790-2 D 엔진의 試驗結果 資料들을 정리하여 그림으로 나타내며 엔진速度와 負荷變化에 어떤 傾向을 나타내는지를 檢討해 보고자 한다.

Fig. 17은 엔진速度 變化에 따른 煤煙量을 나타낸 것으로 煤煙의 變化傾向은 低速 1200rpm 에서는 煤煙量이 적으나 高速으로 速度를 증가

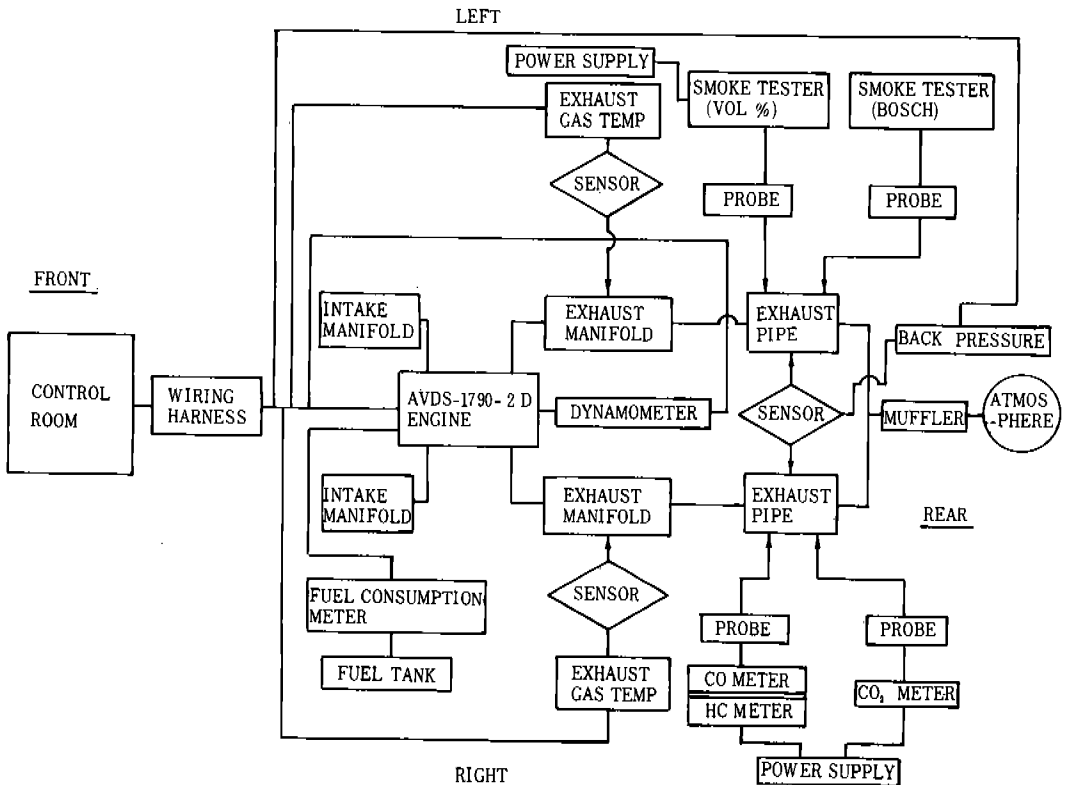


Fig. 16 Schematic Diagram for Exhaust Gas Analysis (AVDS-1790-2D Engine)

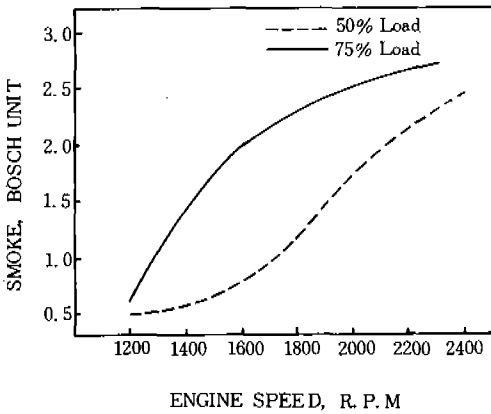


Fig. 17 The Effect of Engine Speed on Smoke Emission (Test Result)

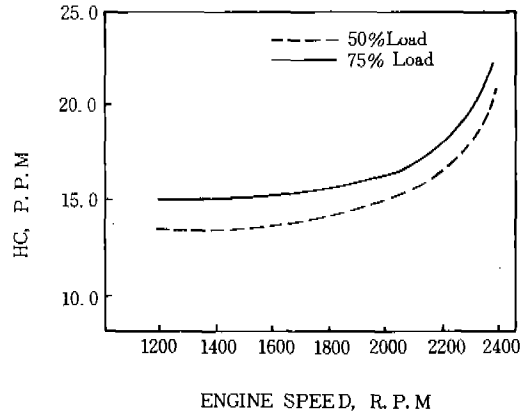


Fig. 18 The Effect of Engine Speed on Hydrocarbon Emission (Test Result)

할때 煤煙量이 急激히 증가하고 있다. 試驗結果資料에 의하면 低速 低負荷에서는 煤煙이 0.5 - 0.65 BOSCH unit이며 高速 高負荷에서는 2.0 ~ 3.0 BOSCH unit를 나타내고 있다.

일반적인 엔진速度와 煤煙量의 變化傾向은 一定하지 않고 엔진의 다른 變數에 따라 煤煙이 증가하는 경우와 감소하는 경우가 있다.

Fig. 18은 엔진速度變化에 따른 HC量을 나타낸 것으로 HC의 排出量은 低速인 1200rpm에서 15ppm, 高速인 2400rpm에서 22ppm 정도로 엔진速度의 증가에 따라 HC 排出量이 증가하는 傾向을 보인다. 엔진速度와 HC 排出量과의 관계는 엔진速度가 증가할수록 燃料噴射時期, 燃燒時間, 燃料混合 및 排氣가스 溫度等の 影響에 따라 HC 排出量이 증가하거나 감소하는 傾向을 나타낸다. 本 試驗엔진에서는 엔진速度가 증가할수록 짧은 燃燒時間에 따른 不完全 燃燒의 影響이 다른 影響보다 크므로 HC量이 증가되고 있는 것 같다.

Fig. 19는 엔진速度變化에 따른 CO量을 나타낸 것으로 CO의 排出量은 엔진速度變化範圍에서 0.025~0.03% 정도로 큰 變化가 없다. 이것은 Fig. 7에서와 같이 CO의 排出量은 엔진速度에 거의 影響을 받지않고 一定하다는 것이다.

Fig. 20은 엔진負荷變化에 따른 煤煙量을 나타낸 것으로 負荷增加에 따라 煤煙量은 모든 엔

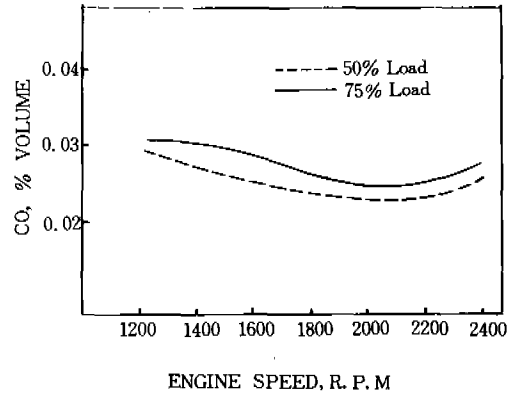


Fig. 19 The Effect of Engine Speed on CO Emission (Test Result)

진速度 範圍에서 急激히 증가하는 傾向을 보이고 있다. 25%負荷 1600rpm까지는 煤煙度가 약 0.5 BOSCH unit로 미약하나 그 以後에는 3.1 BOSCH unit 까지 上昇한다.

알의 表 1과 Fig. 10에서 엔진負荷變化에 따른 煤煙度는 엔진形狀과 型式에 따라 다르다. 즉 2 사이클 엔진과 豫燃燒室式 엔진에서는 負荷增加에 따라 煤煙이 증가하다 감소하고 있으나 그 외 엔진에서는 負荷增加에 따라 煤煙이 증가하고 있다.

Fig. 21은 엔진負荷變化에 따른 HC量을 나타낸 것으로 엔진負荷增加에 따라 1200~2000 rpm

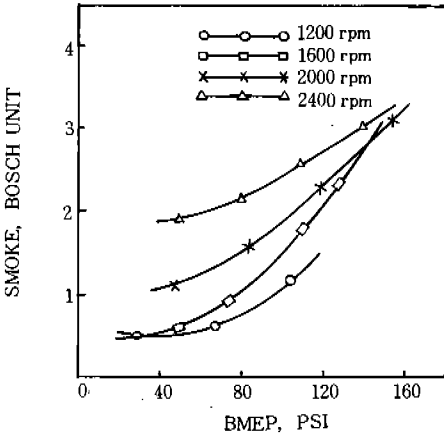


Fig. 20 The Effect of Engine Load on Smoke Emission (Test Result)

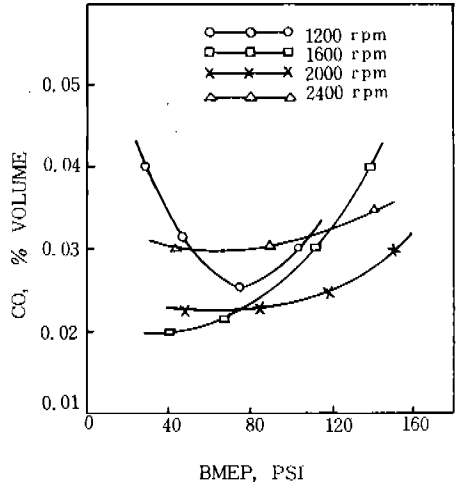


Fig. 22 The Effect of Engine Load on CO Emission (Test Result)

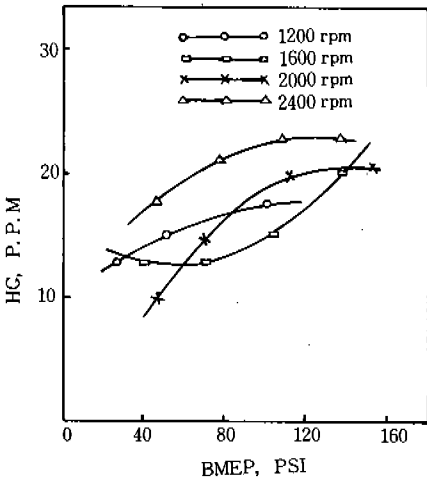


Fig. 21 The Effect of Engine Load on Hydrocarbon Emission (Test Result)

까지는 増加速度가 작으나 最高速度에서는 越等하게 増加하고 있다.

排氣가스중 HC 排出量은 엔진형, 엔진最高速度 및 엔진負荷에 가장 敏感한 影響을 받는다. 表 1 과 Fig. 11에서 보듯이 같은 直接噴射式 엔진이지만 負荷增加에 따라 HC量이 増加하는 경우, 増加하다 감소하는 경우 및 감소하는 경우가 있다. 또한 豫燃燒室式 엔진의 경우 負荷增加에 따라 HC量이 減少하다 増加하고 있다. 따

라서 負荷變化에 따른 HC排出量은 一定한 傾向이 없이 여러가지 變數에 따라 增減이 달라진다.

Fig. 22는 엔진負荷 變化에 따른 CO량을 나타낸 것으로 CO가스의 變化傾向은 1200rpm에서는 負荷의 增加에 따라 減少하다 増加하고 있으며, 1600rpm 以後에서는 엔진速度가 増加할수록 負荷增加에 따른 CO가스 放出量의 增加가 完滿해 지고 있다.

엔진負荷 變化에 따른 CO變化는 表 1 과 Fig. 14와 같이 一定한 傾向이 없이 여러변수에 따라 變하고 있다. 즉 直接噴射式 엔진에서는 負荷增加에 따라 CO량이 減少하다 増加하고 있으나, 豫燃燒室式 엔진에서는 低速에서는 直接噴射式 엔진과 비슷한 傾向을 보이나 高速에서는 負荷增加에 따라 CO량이 減少하고 있다.

3. 排氣가스의 排出圖 (Emission Map)

Fig. 23과 Fig. 24는 煤煙과 CO가스의 排出圖를 나타낸 것으로 상부의 선도 AB 以上 에서는 엔진의 能力이 미치지 못하는 領域이며 하부의 선도 CD는 엔진의 出力이 최소가 되는 領域이다. 따라서, 엔진 運行條件에 따른 排氣가스의 排出量은 ABCD 範圍內에서 해석이 가능하다.

Fig. 23에서 1000-1800rpm 사이의 低速에서는

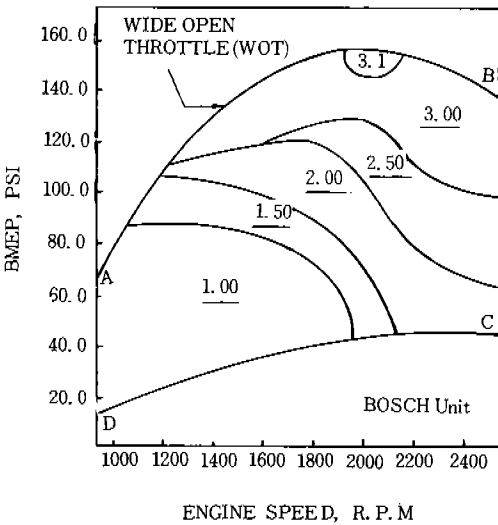


Fig. 23 Smoke Emission Map of AVDS-1790-2D Engine

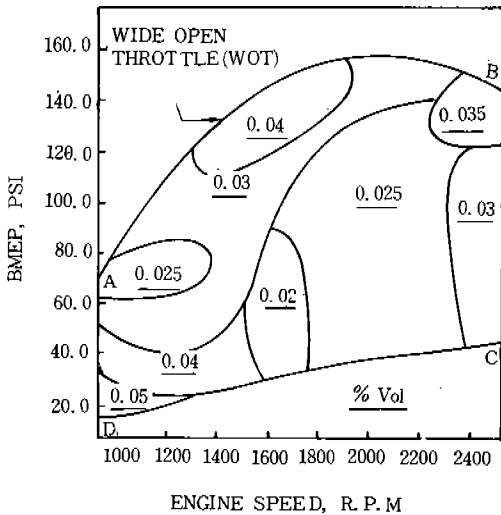


Fig. 24 CO Emission Map of AVDS-1790-2D Engine

全負荷, 高速에서는 低負荷의 範圍가 煤煙이 1.0 BOSCH unit 이하로 放出되는 最小値를 나타내는 領域이다. 또한 1400-2400rpm 高負荷 範圍에서는 煤煙이 2.5BOSCH unit 이상의 最大値를 나타내는 領域이다. 실제 車輛에 搭載時 일 반적인 엔진速度는 1800~2200rpm에서 最大動力

의 60~70% 정도로 이때의 煤煙은 2.0~3.0BOSCH unit로 나타나고 있다.

Fig. 24에서 CO가스 排出量의 最小領域은 1600 rpm의 25~50% 負荷範圍이며, 最大領域은 1000 rpm의 25%負荷 부근이다. CO 排出量의 最大値는 엔진의 低速, 低負荷의 不完全 燃焼에서 起因한다. 실제 엔진이 車輛에 搭載되어 운행될때 엔진速度 1800~2200rpm에서 60~70% 負荷가 소요되므로 이때의 CO 排出量은 0.025% 정도로 나타나고 있다.

IV. 結 論

디젤엔진의 엔진速度와 負荷變化에 따른 排氣가스의 煤煙, HC 및 CO의 變化 傾向을 調査研究한 結果는 다음과 같다.

1) 煤煙의 排出量은 엔진速度 變化에는 一定한 傾向이 없으나, 負荷를 증가시키면 煤煙量이 증가하는 傾向을 나타낸다.

2) HC 및 NO_x의 排出量은 엔진速度와 負荷變化에 따른 一定한 傾向이 없이 다른 엔진變數에 따라 변한다.

3) CO의 排出量은 엔진速度 變化에는 거의 影響을 받지않고 一定하며 負荷變化에는 다른 엔진變數에 따라 변한다.

4) 현재 使用되고 있는 AVDS-1790-2D 엔진의 煤煙, HC 및 CO의 排出量을 調査하였고, 煤煙 및 CO 가스에 대한 排出圖를 작성하였다.

參 考 文 獻

- 1) MIL-E-62177, Military Specification, "AVDS-1790-2D Diesel Engine," 24 Jan. 1964.
- 2) AD913314, "Diessel Engine Combustion and Emissions TACOM Research Engine," Technical Report No. 11796, April 1973.
- 3) Walte Bryzik, "Relationships Between Exhaust Smoke Emissions and Operating Variables in Diesel Engine," SAE Paper 770718.

- 4) M. C. Brands, "Helmoltz Tuned Induction System for Turbocharged Diesel Engine," SAE Paper 790069.
- 5) W. F. Marshall etc., "Factors Influencing Diesel Emissions," SAE Paper 680528.
- 6) W. F. Marshall etc., "Performance Characteristics of Automotive Engines in the United States," NTIS PB-271884, July 1977.
- 7) Rudolf Pischinger etc., "Combustion System Parameters and Their Effect Upon Diesel Engine Exhaust Emissions," SAE Paper 720756.
- 8) C. Bassoli etc., "Exhaust Emissions from a European Light Duty Turbocharged Diesel," SAE Paper 790316.
- 9) FCIM / Powerplant Report, "Controlling Exhaust Emissions in Diesel Engines," Volume 80, No. 9, Automotive Engineering, Sept. 1972.