

# 日本에 있어서 自動車 排氣가스 規制와 對策<sup>1</sup>

## The State and Trend of Automobile Emission Control in Japan

齊 藤 孟\*  
Takeshi Saito

### 1. 日本에 있어서 自動車 排氣規制

日本에 있어서 自動車 排氣가스 規制가 시작되었던 것은 1966年으로, 當初는 가솔린(LPG를 포함)을 燃料로 하는 乘用車와 輕, 重量truck의 CO만 對象으로 되었다. 그 후, blow-by 가스와 燃料 蒸發가스의 規制가 施行되어 탄화수소(HC)의 排出이 억제되었다. 1973년이 되어 排氣中の CO와 同時에 HC와 窒素酸化物(NOx)의 3成分이 본격적으로 規制되게 되었다(表 1). 이때부터 試驗法도 10 mode, 重量規制로 바뀌었다. 또한 이 時期에 重量 가솔린 truck(bus를 포함)과 디젤차의 排氣가스規制(1974년부터)도 實施하게 되었다. 이들은 6 mode엔진 試驗에 의한 排出濃도로 規制되었다.

그 후, 가솔린 乘用車에 대해서는 1975, 76, 78年으로 段階적으로 規制가 強化되어 現在에 이르고 있다. 이 1978年의 規制는 美國의 Musky법에 根據한 값이며, 未對策車의 排出量의 약 10%를 目標로 한 嚴格한 規制值이다. 트럭에 대한 規制도 NOx에 대해서는 段階적으로 規制強化되어, 現在 1988~90 規制가 實施되어 가고 있다. 다만, 디젤차 중에도 乘用車에 대해서는 1986년부터 트럭의 規

制와 分離되어 10 mode에 의한 重量規制로 되고, CO, HC는 가솔린 乘用車와 같은 값으로 NOx는 未對策車의 약 20%라 하는 數值로 定하였다. 現在 1989~92年을 目標로 對策을 準備하고 있다(表 2).

이와같은 排氣가스 規制에 의하여 大氣의 環境濃度는 현저히 改善되어, 一酸化炭素의 環境基準은 거의 全部의 測定局에서 達成되고, 光化學 스모그 發生回數도 減少하고 있다. 그러나 大氣中の 二酸化窒素의 濃度는 1985년까지 漸減하던 것이 86. 87은 增加의 傾向을 나타내고 있다. 특히, 東京, 橫濱, 大阪 등의 大都市 沿道에 있어서 環境濃도가 높고, 東京에서는 28 測定局의 全部가 環境基準을 넘고 있는 狀態이다. 이 때문에 現在 디젤트럭을 주체로, 排氣량이 많은 트럭, 버스의 排氣規制를 한층 強化하는 方向으로 檢討되고 있다. 또, 디젤차에 대해서는 1972년부터 排氣黑鉛의 濃도가 規制되고 있지만, 現在 大氣中の 浮遊粒子狀 物質의 環境濃도가 基準을 넘고 있는 곳이 많은 점으로, 금후 particulate(粒子狀 物質 또는 미립자, PM이라 약한다)로써 規制될 展望이다.

이들 日本에 있어서의 規制를 美國의 것과 比較하여 보면, 중점을 두는 觀點이 다르다.

\* 早稻田大學 理工學部 機械工學科 教授

1. 本文內容은 1989年 9月 8日 第2回 起亞學術大會 發表原稿를 번역, 편집한 것이다.

表1 가솔린차의 排氣가스 規制

日 本		年	1973	75	76	78	
乘 用 車	CO		18.4	2.10	←	←	g/km
	HC		2.94	0.25	←	←	
	NOx		2.34	1.20	0.60	0.25	
					0.85		

		年	1973	75	79	81	88	
L	CO		18.4	13.0	←	←	←	g/km
D	HC		2.94	2.10	←	←	←	
T	NOx		2.34	1.80	1.2	0.6	*	
					1.2	0.9	0.7	

\* 上段은 GVW ≤ 1,700kg, 1988년부터 乘用車와 같고, 下段은 1,700 < GVW ≤ 2,500kg

		年	1973	77	79	82	89	
H	CO %		1.2					
D	HC ppm		410					
T	NOx ppm		1,830	1,550	1,100	750	650	

EPA

		年	1973	78	80	81	
L	CO		24.2	9.32	4.35	2.11	g/km
D	HC		2.11	0.93	0.25	0.25	
V	NOx		1.86	1.24	1.24	0.62	

		年	1973	75	79	84	88	
L	CO		24.2	12.4	11.2	6.2	6.2	g/km
D	HC		2.42	1.24	1.06	0.50	0.50	
T	NOx		1.86	1.93	1.43	1.43	*0.75	

\*\*1.06

\* GVW ≤ 1,700kg    \*\* 1,700 < GVW ≤ 2,500kg

		年	1985	87	88	91	
H	CO		37.1	14.4	14.4	14.4	g/PSh
			40.0	37.1	37.1	37.1	
D	HC		1.9	1.1	1.1	1.1	
T			2.5	1.9	1.9	1.9	
	NOx		10.6	10.6	6.0	5.0	
			10.7				

上段은 3,855 < GVW ≤ 6,350kg, 下段은 GVW > 6,350kg

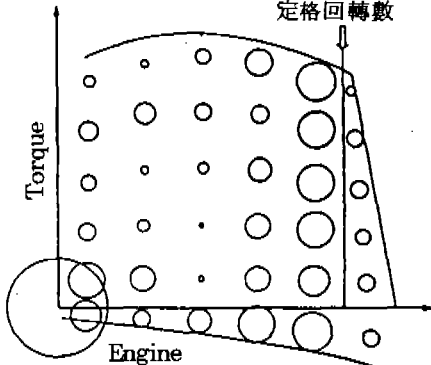
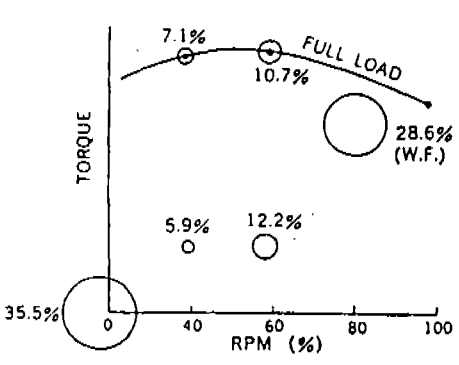
表2 디젤車の 排出가스 規制値

日本	g/km	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
乗用車	IW ≤ 1,250 kg	2.1	0.4	0.7	
	1990年			0.5	
	IW > 1,250 kg	↑		0.9	
	1992年			0.6	
LDV	GVW ≤ 1,700 kg	2.1	0.4	0.9	
LDT	1,700 < GVW ≤ 2,500 kg (ppm)	790	510	260(IDI)	380(DI)

EPA	g/km	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
LDV (乗用車)		2.1	0.25	0.62	0.373
	1987年				0.124
LDT	GVW ≤ 1,700 kg	6.2	0.50	0.746	0.373
	1,700 < GVW ≤ 3,855 kg	↑	↑	1.056	↑
	1988年				0.124

日本	ppm	CO	HC	NO <sub>z</sub>	PM
	GVW > 2,500 kg	790	510	260(IDI)	400(DI)

EPA	g/PSh	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
	GVW > 3,856 kg	15.5	1.3	6.0	0.60
	1991年				0.25
	1994年				0.10(BUS)
					0.10



○ MEASURING POINT OF D-6 MODE  
● MEASURING POINT OF 3 MODE SMOKE

美國過度 mode 運轉頻度 分布(時間率)  
美國過度 mode 運轉은 高速域과 Low-idling 시의  
運轉頻度가 많은 것을 알 수 있음.  
Operating map of EPA transient cycle test

디젤 6mode와 3mode 스모그의 測定点

日本에서는 NO<sub>x</sub>의 排出을 가장 중요시하고 있는 反面에, 美國에서는 光化學 스모그發生 및 그것에 의한 oxident를 중시하고 있기 때문에 HC 또는 PM의 규제에 가장 중점을 두고 있다. 規制値는 試驗 mode가 다르기 때문에 일률적인 比較는 어렵지만, 乘用車에서는 日本의 NO<sub>x</sub> 規制가 엄한 것에 대하여, 디젤차를 포함한 트럭류의 規制에 대해서는 美國이 嚴格하다. 이 이유의 하나는 美國에 있어서는 輕·重量車에 디젤차가 적은 편에 비하여 日本에서는 이 class에 디젤차가 많은 점을 들 수 있다.

## 2. 가솔린 乘用車의 排氣가스 對策

### 2.1 對策 시스템의 變遷

1987년의 排氣가스 規制에 대해서는 可能한 한 混合比를 稀薄하게 하고, 혹은 다량의 排氣再循環(EGR)을 實施하여 NO<sub>x</sub>를 저감하고, CO, HC는 酸化觸媒에 의하여 저감하는 방식이 주류였다. 稀薄混合氣를 安定하게 燃燒시키기 위하여, 吸氣系에 swirl port 나 swirl vane을 設置하거나 cylinder head에 제 3의 작은 吸氣 valve(jet valve)을 設置하여 吸氣의 swirl을 強化하여 燃燒를 促進시키도록 하였다. 또, 연소실에 副室을 設置하여, 그 가운데의 混合氣를 點火하고, 主室에 의 噴出가스에 의한 亂流를 이용하여 燃燒를 促進시키는 방식, 또는 2개의 點火 plug를 設置하여, 燃燒期間을 短縮하는 방식 등 각종의 方法이 採用되었다. 本田技術研究所가 開發한 副室附着 屑狀給氣機關(CVCC)도 그것의 하나로, 당시 世界的으로 유명하게 된 방식이었다. 그러나, 그 후 3원觸媒 방식이 開發되어 그 性能이 安定化됨과 同時에 이들의 방식은 차츰 새롭게 變化하게 되었다.

現在 가솔린 乘用車의 排氣對策은

EM + EGR + 空燃比制御 + O<sub>2</sub> 센서  
+ 3원觸媒

가 주류로 되고 있다. 日本에서는 이 시스템이 거의 全部이며, 生産臺數의 약 90%를 점

하고 있다.

EM + EGR + 酸化觸媒

의 시스템은 일부 小形車에 불과하다.

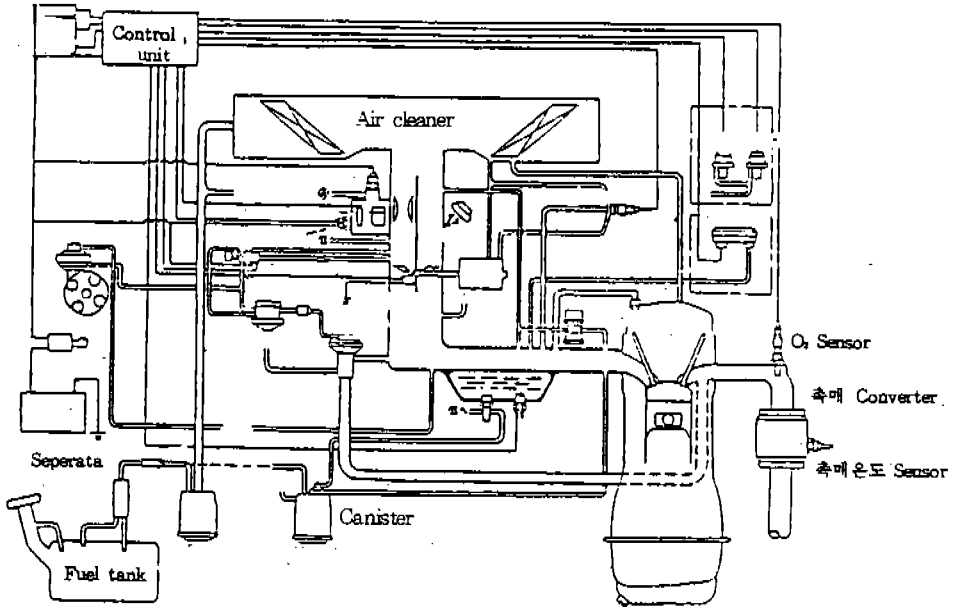
엔진 modification (EM)은 燃燒室, 吸氣系, 點火時期 등의 變更을 포함하지만 이것들은 排氣가스 對策으로서가 아니고, 오히려 出力性能의 向上이나 燃料消費率의 저감을 위한 變更으로 되고 있다. 燃料供給 裝置로서는 電子制御 燃料噴射 裝置(EFI)가 增加하여 氣化器와 거의 同數로 되고 있다. 각 실린더에 별도로 噴射 valve를 갖는 multi-system이 대부분이지만, 일부에 single point system도 採用되고 있다. 氣化器도 空燃比制御 附着의 것으로, 電子制御式이다. EGR은 負壓制御 또는 電子制御에 의하여 각 運轉條件에 대하여 最適량으로 制御된다. 3원觸媒 시스템이 이와 같이 늘어난 것은 이 방식이 엔진의 性能을 가장 적게 희생시키는 것이며, 그위에 여유를 가지고 排氣對策에 對應할 수 있기 때문이다. 그러나, 稀薄 混合氣 燃燒에 비하면 연비가 나쁘기 때문에 그 改善이 今後 課題로 되고 있다.

### 2.2 電子制御 燃料噴射方式

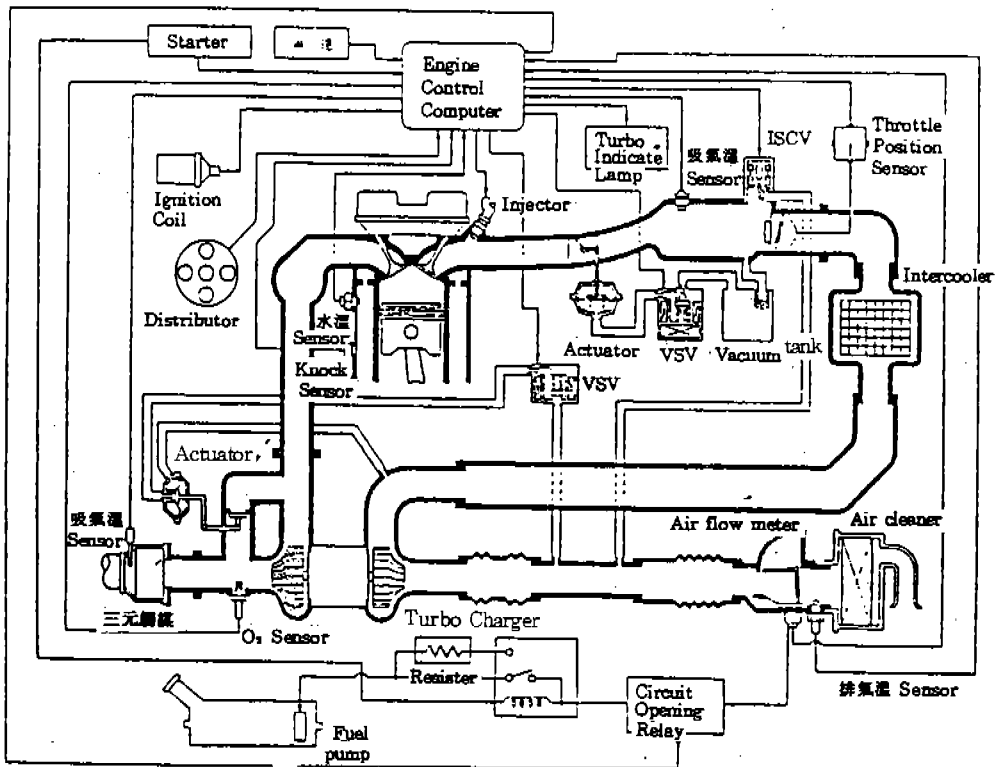
이 방식에서는 現在 그 大部分이 micro-computer를 이용하고 있고, 그위에 燃料噴射量의 制御만이 아니라, 엔진의 綜合集中 制御 裝置로서, 點火時期, idle 回轉數 등의 制御 외에, 각종의 運轉條件에 對應하여 각 parameter를 最適으로 制御할 수 있는 機能을 갖게 하고 있다(그림 1).

EFI에서 중요한 役割을 하게 하고있는 空氣量 檢出方式은 當初 Bosch사의 vane 식이 널리 이용되고 있었지만 그후 karman 渦流式이나 熱線式도 많이 이용되게 되었다. 또 컴퓨터 導入에 의하여 制御時間이 짧고, 精度가 좋아짐으로써 吸氣부압과 回轉數 또는 throttle개도와 回轉數를 檢出하여 空氣量을 計算하는 間接 檢出方式이 實用化되었다.

燃料噴射 valve(injector)에서는 燃料蒸氣에 의한 高溫 再始動性의 惡化를 防止하기



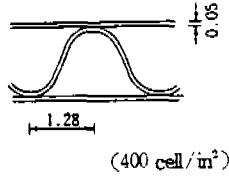
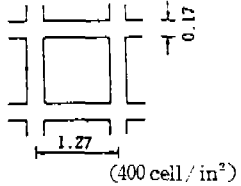
1) 氣化器式(EGR 附着 MAZDA B5)<sup>1)</sup>



2) 電子噴射式(TOYOTA 3S-GTE)<sup>2)</sup>

그림 1 엔진의 電子制御

表3 메탈 담체와 세라믹 담체의 比較<sup>5)</sup>

		메탈 담체	세라믹 담체
形狀特性	Cell 形狀		
	幾何學的表面積	38.8 (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	26.8 (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )
	開口率	90.3 (%)	75.0 (%)
材料特性	材 質	퍼라이트계 스텐레스	코제라이트
	熱傳導率	4 × 10 <sup>-2</sup> (cal/s · cm · °C)	3 × 10 <sup>-3</sup> (cal/s · cm · °C)
	熱膨脹係數	11.0 × 10 <sup>-6</sup> (1/°C)	0.6 × 10 <sup>-6</sup> (1/°C)
	比 熱	0.12 (cal/g · °C)	0.2 (cal/g · °C)

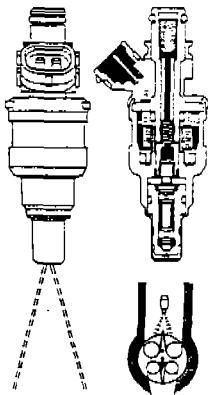


그림2 2噴口 噴射 valve (TOYOTA)<sup>3),4)</sup>

위하여, 燃料을 valve 하부로부터 넣어 냉각하는 bottom feed 형이 이용되었다. 또, 燃料의 壓力을 50 ~ 100 kPa 높게 하기도 한다. 最近의 multi-valve 화에 의한 2分割 吸氣port 에 대해서는, 2孔 injector (그림 2)가 開發되고, 또 燃料의 特定成分에 의한 분구의 막힘에 대해서는 ball valve의 injector도 開發되고 있다.

2.3 觸媒裝置

3원觸媒에는 Pt/Rh가 많이 이용되고 있지만, 일부에는 약간 價格이 낮은 Pd/Rh도

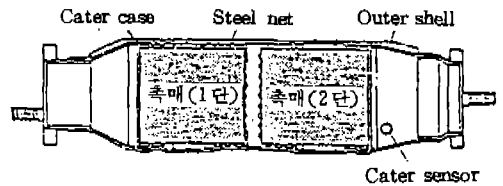
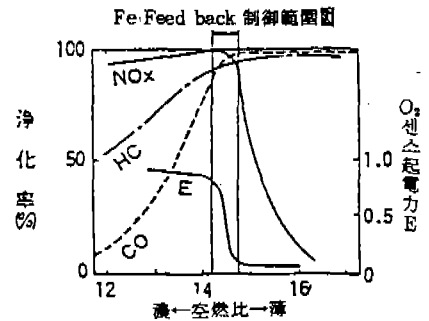


그림3 Dual bed 觸媒裝置<sup>5)</sup>

이용되고 있다. 그리고 2개의 觸媒를 직렬로 이용하여, 1단에 Pt계, 2단에 Pd계를 사용하는 예 (그림 3)도 있다. 이것은 被毒에 약한 Pd의 열화防止에도 도움이 된다. 3元觸媒는 理論空燃比 近傍에서 3成分에 대한 轉化率이 最高로 되지만, 이 空燃比의 變動을 吸收할 수 있는 것이 바람직하다. 이 때문에 最近에는 助觸媒로써 세리아(CeO<sub>2</sub>)가 添加되고 있다. 또 세리아의 高溫에 있어서 機能低

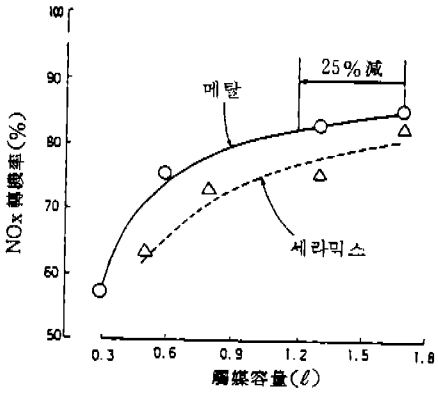
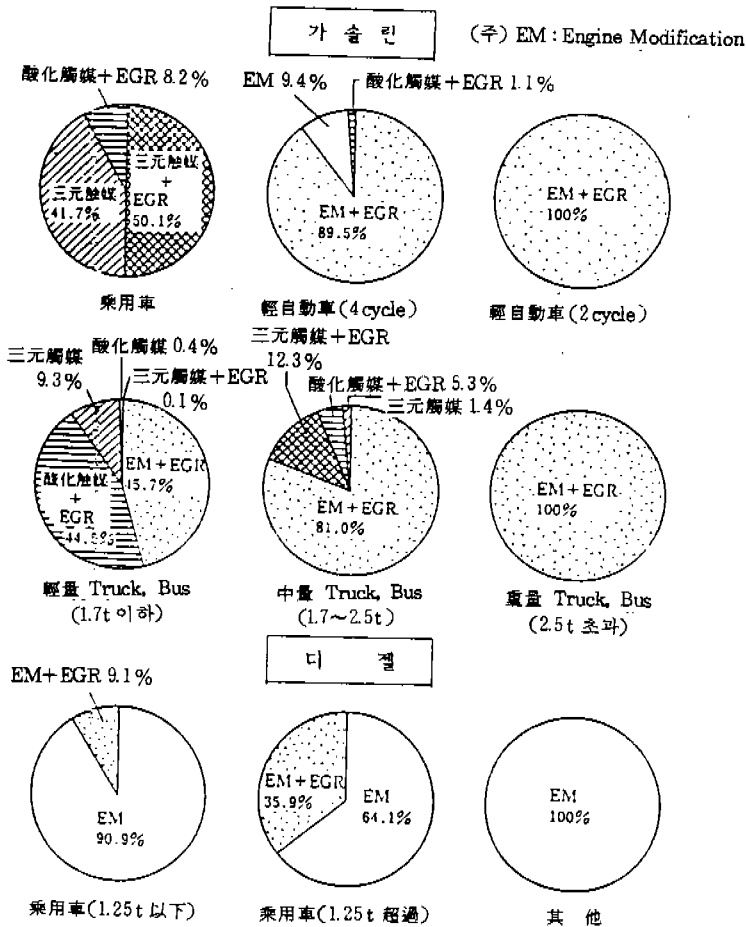


그림 4. 메탈 擔體觸媒의 效果 (日産) <sup>6)</sup>

下를 없애기 위하여 La를 組合시켜 添加하는 것도 試圖되고 있다. 이것은 機能向上만이 아니라, 擔體인 알루미늄의 熱安定性を 向上시키고, 貴金屬觸媒의 sintering 防止效果도 있는 것으로 알려져 있다.

觸媒擔體는 거의 monolith 형으로, 세라믹材가 널리 使用되고 있지만, 最近 일부에 메탈제가 實用化되고 있다(그림 4). 메탈제는 單面積 비율이 크게 얻어질 수 있으며, 形狀의 自由性도 있고, 重量도 가볍지만 觸媒의 擔持에 어려움이 있다.



出典 : 日本自動車工業會

그림 5. 排氣가스 對策別의 生産臺數 比率 <sup>6)</sup>

### 3. 가솔린 트럭의 排氣對策

트럭류의 排氣規制는 지금까지 乘用車보다 緩和되었기 때문에, 경량차를 除外하고 거의 가 EM + EGR로 對應하여 왔다(그림 5). 規制値가 낮은 경량차는 그 과반수가 觸媒를 이용하고, 일부는 3元觸媒를 使用하고 있다. 今後 規制強化와 더불어 觸媒의 使用이 增加하는 傾向에 있다. 이 경우, 高負荷에서 使用되는 頻度높은 트럭에서의 촉매의 熱耐久性이 問題된다.

### 4. 디젤엔진의 排氣對策

디젤엔진에는 副室式(IDI)과 直接噴射式(DI)이 있고, IDI는 DI에 비해 NO<sub>x</sub>의 排出이 약 20~30% 적지만(그림 6), 그만큼 燃料消費率이 나쁘다. 또, 高負荷시의 熱耐久性에도 劣惡하다. 現在 日本에서는, GVW 3500 kg 이하의 車輛에는 IDI가 많이 利用되고 있지만 그 이상의 大型車에는 거의 DI 엔진이 利用되고 있고, 매년 小形車도 DI化하는 傾向이 있다. IDI는 와류실식으로 豫燃燒室은 거의 없다. 디젤엔진의 排出 NO<sub>x</sub>를 저감시키기 위해서는, 初期의 豫混合 燃焼를 可能한 한 억제하여 溫度를 낮추면 좋고, 여기에는 噴射時期를 늦추는 것이 가장 效果적이다(그림 7). 그러나 噴射時期를 늦추면 연비가 악화하고, DI 엔진에서는 soot가 增加하고, particulate(PM)도 늘어난다(그림 8). 이 改善을 위해서는 燃焼 後期の 擴散燃焼를 促進

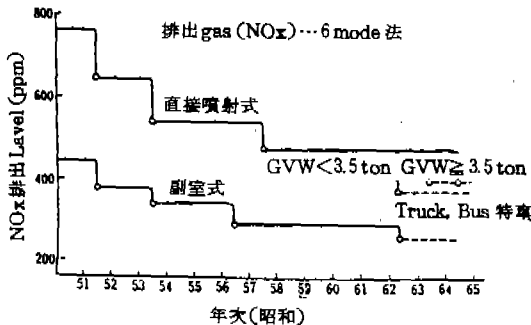


그림6 NO<sub>x</sub> 規制強化의 變遷<sup>7)</sup>

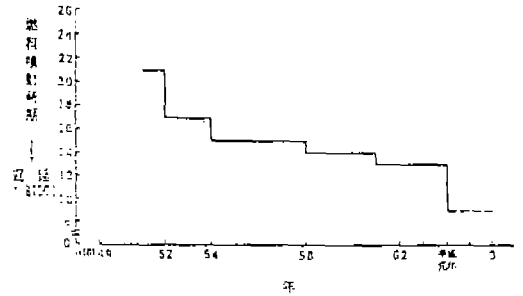


그림7 噴射時期遲延의 變遷<sup>8)</sup>

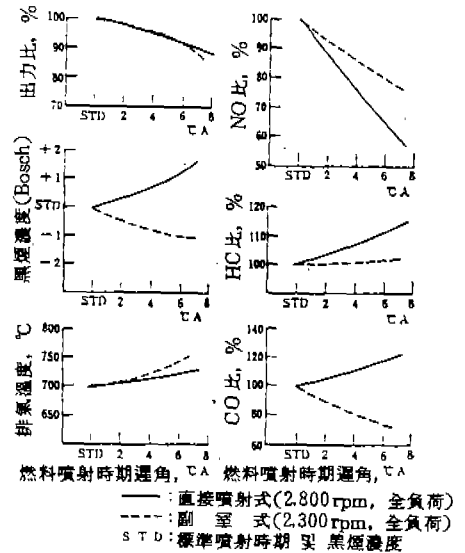


그림8 噴射時期의 影響<sup>9)</sup>

시킬 必要가 있으며, 이것을 위해 燃料噴射系의 여러가지 改良이 試圖되고 있다. 또 空氣量을 增加시키는 것도 과급과 더불어 必要한 對策 手段이다.

#### 4.1 IDI엔진의 對策

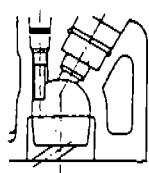
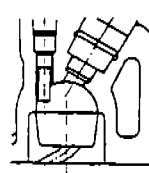
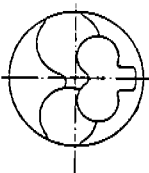
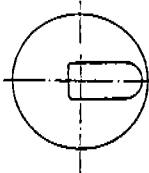

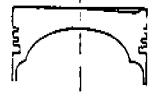
##### (1) 噴射時期의 遲延

IDI엔진에서는 噴射時期를 遲延시켜도 soot가 불어나지 않는다는 이점이 있지만, 거둬드는 規制強化에 의하여 現在の 噴射 開始時期는 거의 上死點에 가깝고, 이 이상 늦추게 되면 역으로 soot나 HC를 增加시키고, 始動性을 악화시킨다.

##### (2) 燃焼室의 改良

副室의 容積, 形狀, 連絡口의 크기, 形狀과



	従来仕様	改良仕様
壓縮比	21.5	22.2
副室噴口角度	直線	2段階形
主室形狀	雙渦流形	Wedge形
副室		
主室 (Piston Top面)		
		

4D65 디젤 엔진의 燃燒室仕様  
4D65 combustion chamber specifications

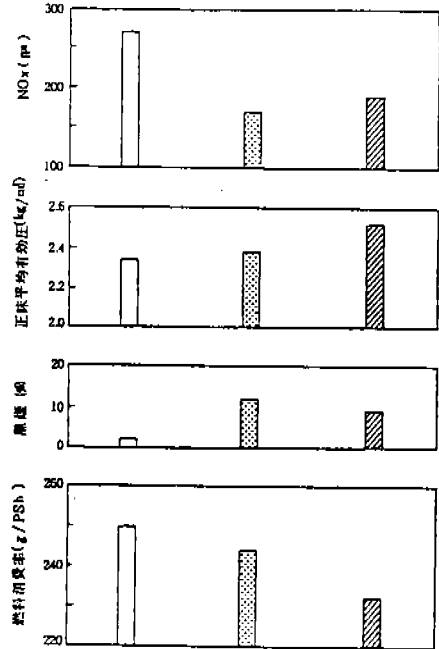
그림 9 副室連絡口 形狀의 改良(三菱)<sup>10)</sup>

그 방향, piston top부의 形狀 등이 排氣에 영향을 미치는 중요한 設計인자로 이들은 經驗과 다량의 實驗에 의하여 最適의 組合을 선택하고 있다(그림 9). 일반적으로는 副室을 작게 하면 NOx는 減少하고, HC와 soot는 增加한다. 또 연락구를 크게 하면 NOx는 低下하고, soot와 HC는 增加한다(그림 10). 日産自動車에서는 연락구에 部分口를 設置하여, 저속시의 NOx를 저감시키며 HC增大을 억제하고 있다(그림 11).

(3) 燃料噴射系의 改良

副室式 기관에서는 通常 分配型 펌프(VE형)가 使用되고 있다(그림 12). 噴射時期는 엔진의 運轉條件(回轉數와 負荷)에 따라서 最適의 값으로 設定할 必要가 있고, 이 때문에 噴射 펌프에 從來의 回轉數 制御 타이머외에, 負荷에 따라 時期를 制御하는 load timer를 장착하고 있다. 또 噴射率에 대해서도 初期는 緩慢하게, 後期는 高噴射率이 되도록 cam의 形狀(그림 13), plunger徑 등을 選定하고

engine : 4D65  
運轉條件: Q=12mm<sup>2</sup>/st/1500rpm  
副室容積比: 54.2%



噴口角度	Straight (現狀)	—	2段階形 (改良)
主室形狀	雙渦流形 (現狀)	wedge (改良)	—
噴口面積比	1.15	2.02	2.02

그림 10 噴口角度 및 主室形狀變更의 効果(三菱自動車)<sup>11)</sup>

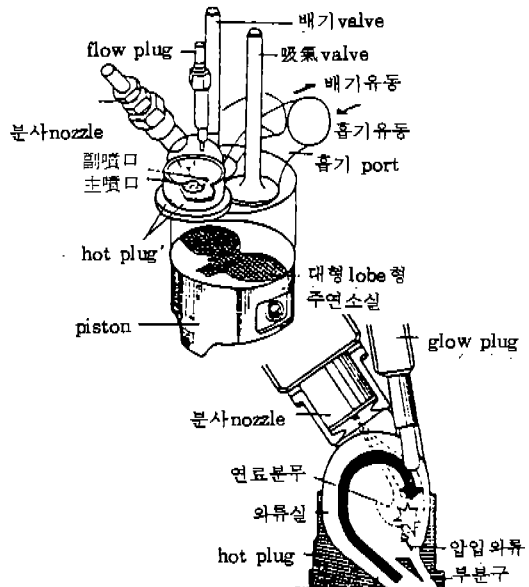


그림 11 部分口 附着 燃燒室(日産)<sup>12)</sup>

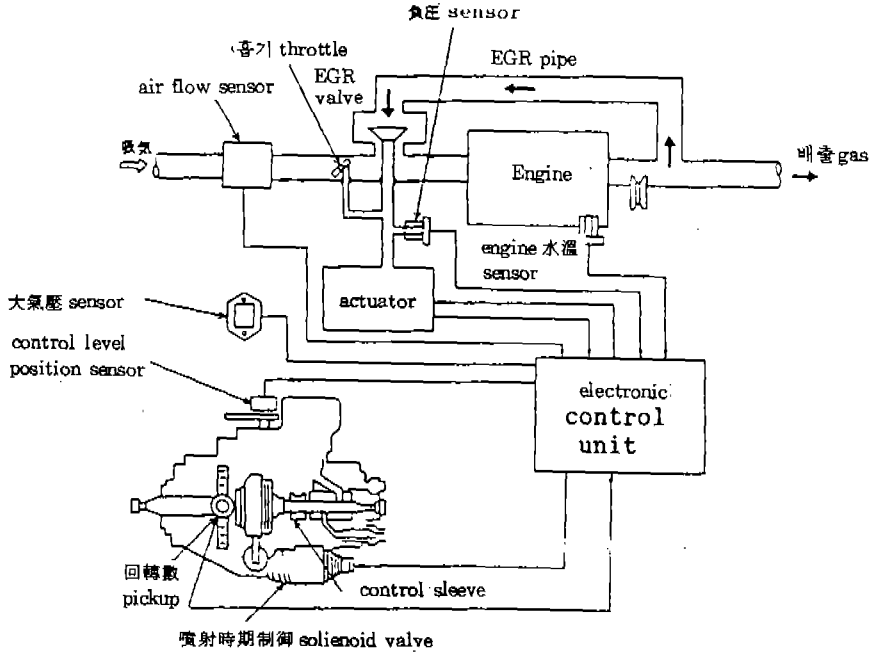
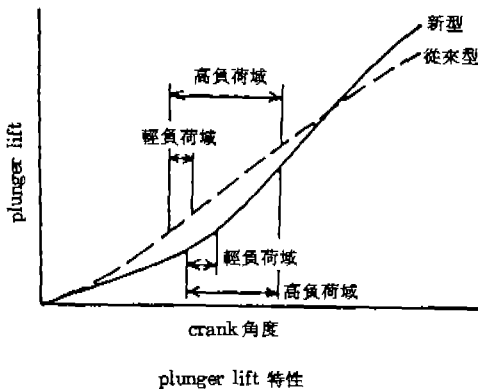


그림 12 VE Pump의 噴射時期制御 System (ISUZU) <sup>13)</sup>



plunger lift 特性

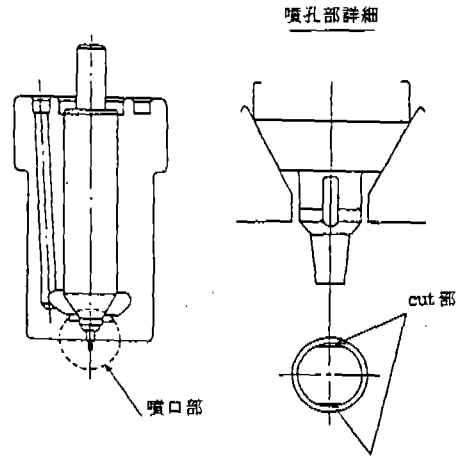
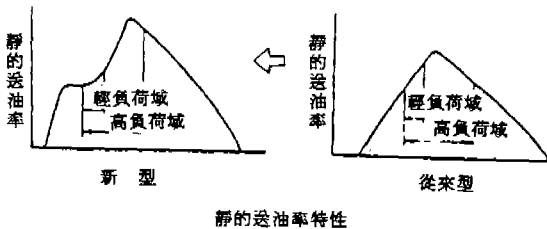


그림 14 噴射 nozzle 선단의 改良 <sup>15)</sup>



靜的送油率 特性

그림 13 CAM 形狀의 變更 (TOYOTA) <sup>14)</sup>

있다.

2차 噴射을 防止하여 HC의 增加를 억제하기 위해서는, 吐出 valve에 damping 效果를 갖도록 考안되어 있다. 또 吐出 valve의 되돌림 量을 가변으로 하여 噴射量에 의하여 噴射率을 變化시킨 예도 있다.

噴射 valve에서는 nozzle 끝부의 側面의 일부

를 cut하여, 使用중의 流量低下를 방지하고 있다(그림 14).

(4) EGR

EGR은 디젤기관에서도 유효하지만, 다량의 EGR을 施行하면 吸氣量이 줄어 soot가 增加한다. 따라서 吸氣量에 餘裕가 있는 低負荷域에서만 EGR을 適用할 수가 있고, 全負荷 부근에서는 EGR을 할 수가 없다(그림17). 그러므로 EGR량은 運轉條件에 따라서 制御할 必要가 있고(그림 15), 여기에는 負壓式과 電子式이 있다. 規制가 嚴格하게 됨에 따라 電子式 制御方式이 採用되고 있다(그림 16).

디젤엔진의 排氣에는 soot나 SOx가 포함되어 있기 때문에 이것이 실린더 가운데에 들어가면 실린더, 피스톤링, cam nose, cam

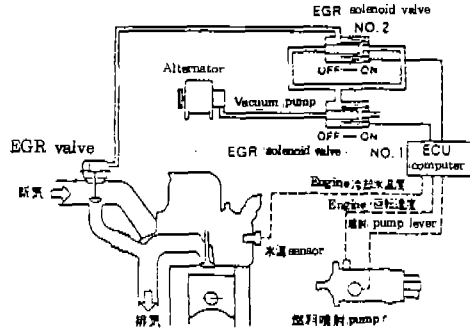


그림 16 電子式 EGR System圖<sup>10)</sup>

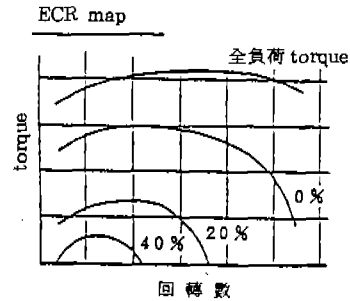


그림 17 EGR의 作動域<sup>16)</sup>

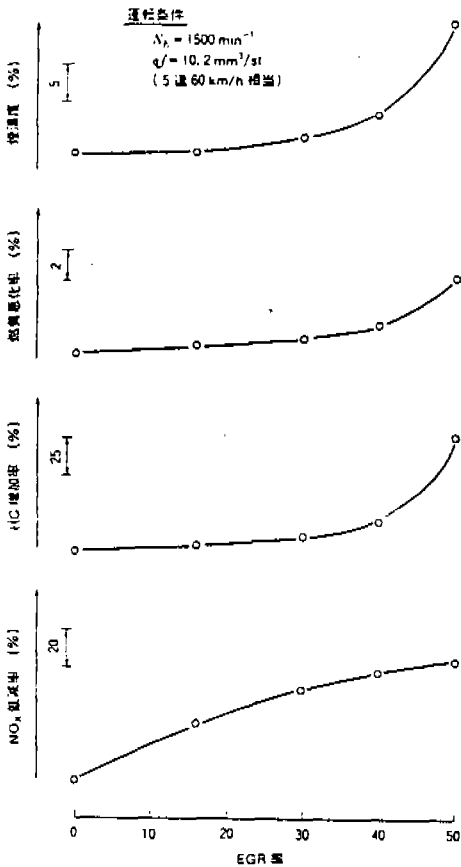


그림 15 EGR 量이 排出가스, 燃費에 미치는 影響<sup>10)</sup>

rocker 등에 腐蝕이나 마모를 일으켜 엔진 耐久性에 크게 영향을 미친다(그림 18). 現在 이것을 解決하기 위해서, 실린더 내면의 표면 처리, ring의 材料變更, cam, rocker arm ped의 材料·加工면에서의 개선 등의 方法에 의하여 對處되고 있다. 또, oil seperator 나 첨세한 by-pass oil filter의 장착 등 潤滑油系의 改良도 實施되고 있다. 그러나, 今後 燃費 증량을 위해서는 燃料중의 硫黃分을 저감시킬 必要가 있다.

4.2 DI 엔진의 對策

(1) 噴射時期

DI 엔진의 噴射時期도 規制強化와 더불어 점차 지연되고, 未對策時에 上死點前 20° 정도였지만, 現在는 8° 정도로 되고 있다(그림 19). 이 이상 遲延시키면, 排氣黑鉛이 增大할 뿐만아니라, 始動이 곤란하게 되고, 暖機時에 白煙을 發生한다. 이 對策으로써 壓縮比를 높이지만 이것은 NOx를 增加시키기 때문

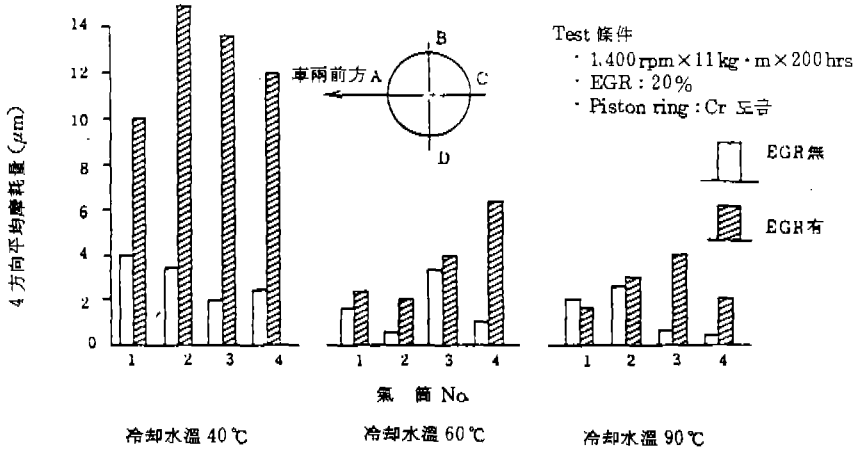


그림 18 EGR 에 의한 cylinder 의 磨耗 <sup>17)</sup>

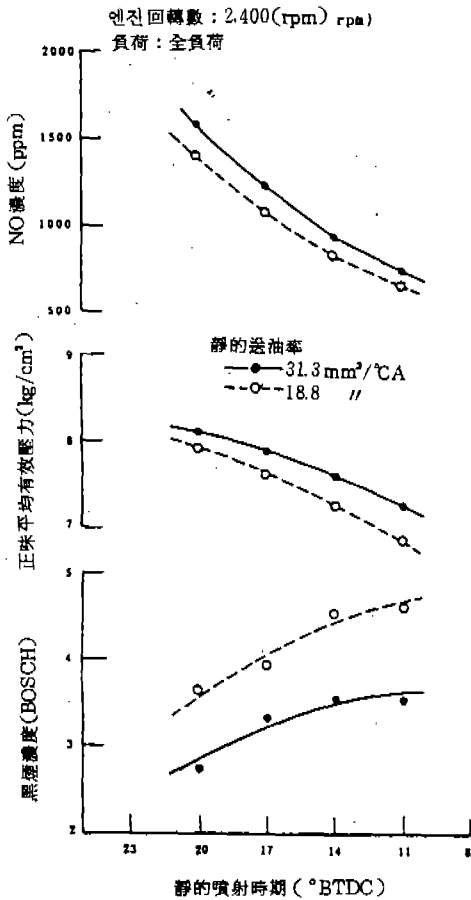


그림 19 噴射時期와 噴射率의 影響 <sup>18)</sup>

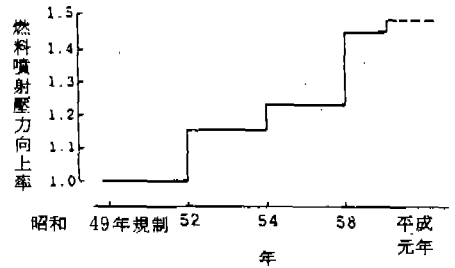


그림 20 噴射壓上昇의 經緯 <sup>19)</sup>

에 限度가 있다.

(2) 燃 燒 室 形 狀 的 改 良

피스톤 cavity의 形 狀, 值數 등을 檢 討 하여, swirl 이나 squish, 이들에 의한 亂 流 를 强 化 시켜 後 半 的 燃 燒 를 促 進 시켜, HC 나 soot 를 減 少 시킨다. 지 今 까 지 각 種 的 燃 燒 室 에 대 하 여 莫 大 한 實 驗 을 하 고 있 지 만, 그 結 果 로써 cavity의 入 口 를 絞 縮 한 reentrant 형 이 噴 射 時 期 를 늦 추 어 도, soot 가 增 加 하 거 나 연 비 가 나 빠 게 되 지 않 는 形 狀 임 을 알 았 다 (그 림 21, 22). 그 러 나 이 入 口 를 너 무 絞 縮 하 면 高 負 荷 時 에 lip 부 의 열 부 하 가 과 대 하 게 되 어 溶 損 하 는 우 려 가 있 다. 이 때 문 에 lip 부 에 약 간 의 throttle 을 設 置 한 形 狀 이 實 用 하 되 고 있 다. 이 같 은 燃 燒 室 에 서 는 燃 料 분 무 와 piston cavity 내 벽 의 關 係 위 치 가 중 요 하 고, 분 무 의 벽 충 들 은 霧 化 를 돕 는 경 우 도 있 고, 또 역 으

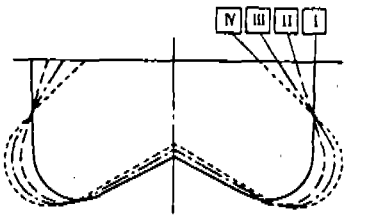
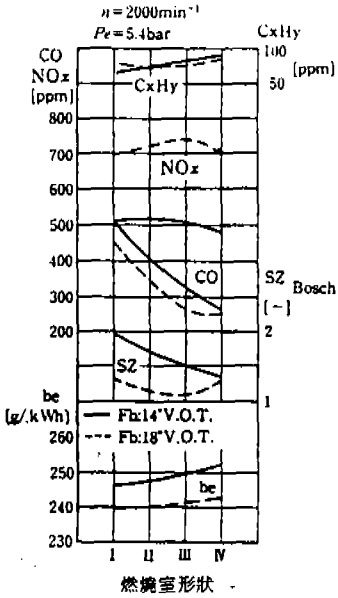
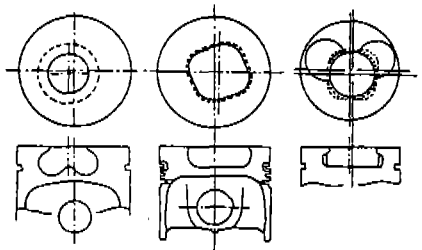


그림 21 燃燒室形狀과 排氣 gas<sup>8)</sup>



(a) reentrant (b) lip附着 (c) lip附着 비틀림형

그림 22 各種 燃燒室<sup>9)</sup>

로 나쁘게 하는 경우도 있다. TOYOTA 自動車の TRB 燃燒室은 이점을 고려한 新形狀이다(그림 23).

(3) 燃料噴射系의 改善

燃燒에 있어서 NO<sub>x</sub>를 制御하기 위해서는 最初의 噴射率을 가능한 한 낮게 억제하고, 後半의 噴射率을 높게 하여 soot의 생성을 억제

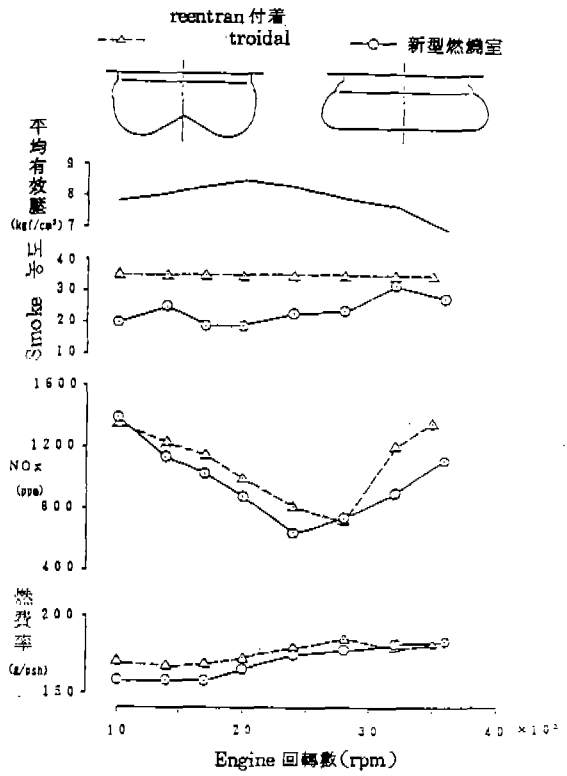
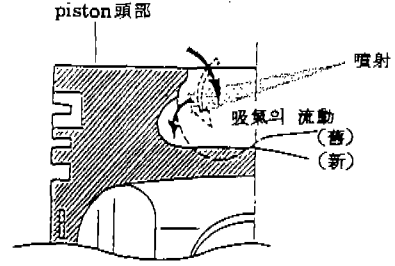
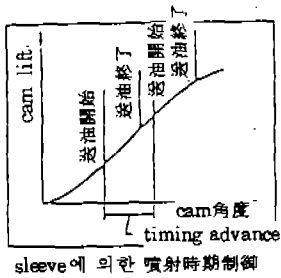
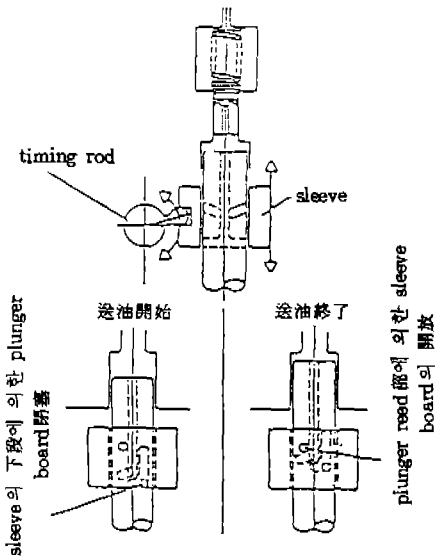
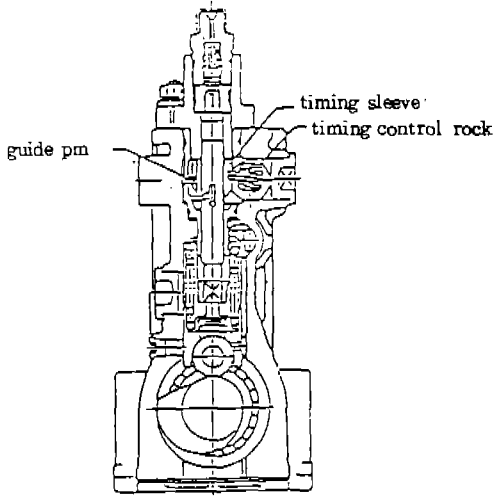
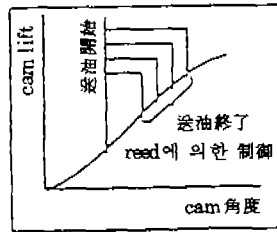


그림 23 TRB 燃燒室(TOYOTA)<sup>20)</sup>

할 必要가 있다. 이 때문에 負荷에 따라 cam의 위치를 바꾸어 噴射率을 變化시키는 方法, prestroke법(그림 24, 25), 2단 스프링 噴射 valve(그림 26, 27) 등의 技術이 導入되었다. 또 噴射率을 增大시키기 위해서는 plunger徑을 짧게하거나 cam의 形狀을 變更한다. 이렇게 하여 噴射壓力은 재래의 50 MPa로부터 100 MPa로 上昇하고 있다(그림 20, 28, 29). 噴射壓의 增大는 噴射管 및 펌프에 cavitat-



sleeve에 의한 噴射時期制御



reed control rod에 의한 噴射量制御

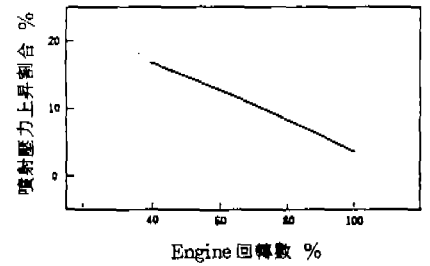
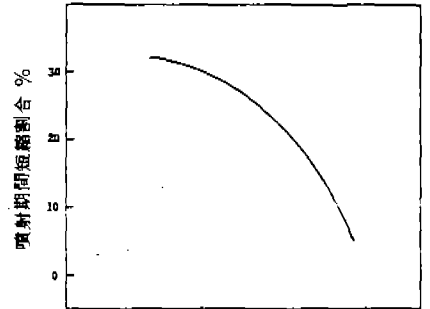
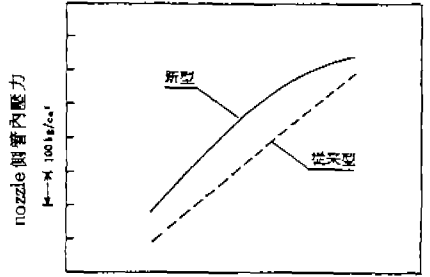


그림 25. Prestroke의 効果<sup>21)</sup>

그림 24. Prestroke 噴射 pump<sup>21)</sup>

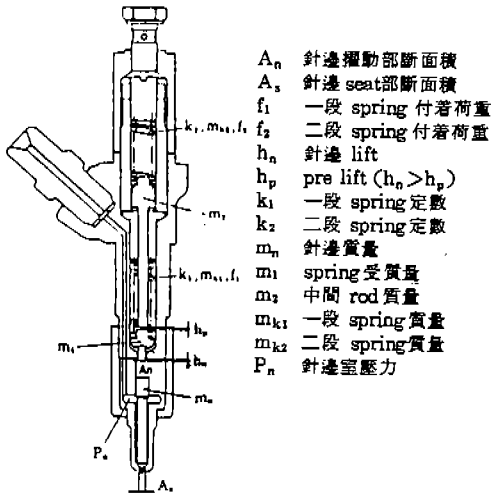


그림 26. 2段 spring nozzle의 概要圖 <sup>22)</sup>

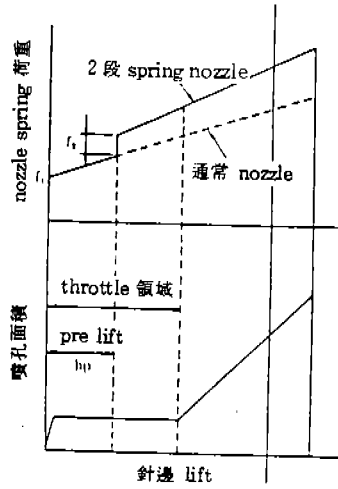


그림 27. 2段 spring nozzle의 噴射特徵 <sup>22)</sup>

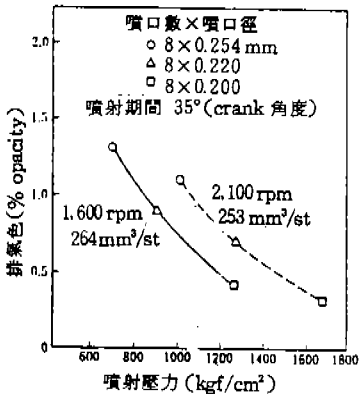


그림 28. 噴射壓과 排氣黑鉛濃度 <sup>7)</sup>

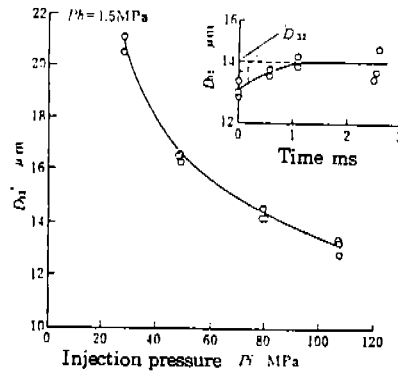


그림 29. 噴射壓과 噴霧의 souter 平均粒徑 <sup>7)</sup>

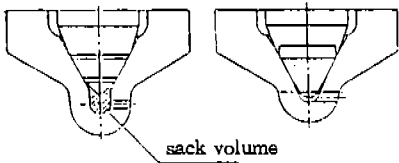
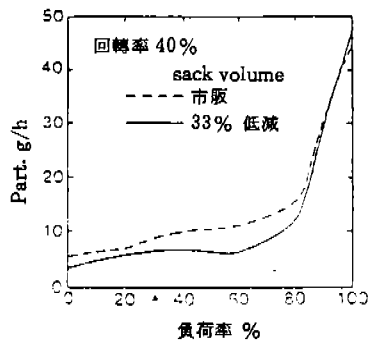


그림 30. low sack volume nozzle과 그 効果 <sup>23)</sup>



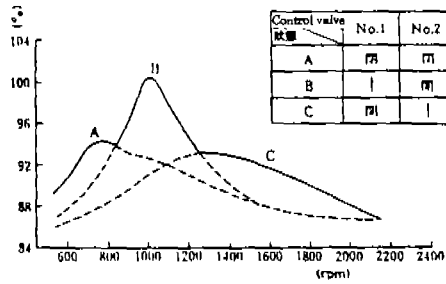
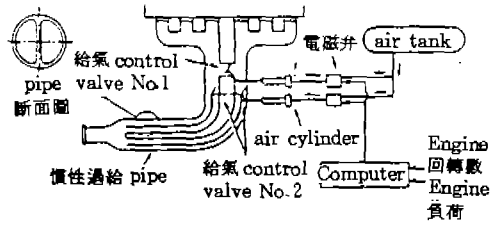


그림 31 慣性過給의 例(日野)<sup>24)</sup>

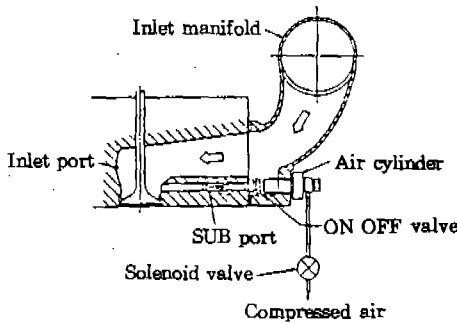


그림 32 Swirl control 機械<sup>25)</sup>

ion erosion을 일으켜, 그 對策이 必要하다. 2차噴射 등의 不整噴射를 저감시키기 위해서는 噴射펌프 토출valve의 되돌림效果를 調節하는 damping valve나 等壓 valve가 採用되었다. 또 노즐 끝부분의 sack volume을 減少시켜 HC를 억제하고 있다(그림 30).

噴射時期를 어느 정도까지 遲延시키면 始動이 곤란하게 된다. 이 때문에 始動時만 進角시키는 方法도 採擇하고 있다.

(4) 吸氣系의 改善

排氣黑鉛을 저감시키기 위하여, 저속부터 高速까지 體積효율을 增大시키고, swirl強度를 最適化하기 위한 方法으로써 各種의 吸氣制御

方式이 고안되었다. 저속과 高速에서 吸氣管의 유효길이를 바꾸어 慣性效果를 이용하는 方法은 특히 저속시의 吸氣量을 增大시키고 있다(그림 31). ISUZU自動車는 吸氣port에 小口徑의 subport를 設置하여, 저속시에는 이 port를 열어 高速의 공기가 실린더에 噴出함으로써, swirl을 강하게 하고 있다. 高速時에는 subport를 닫는다(그림 32).

4. 3 터보 과급기

터보과급은 高速高負荷運轉時의 黑鉛저감에 效果가 있지만 저속시에는 그 效果가 없다. 이 때문에 저속에 있어서 과급압을 올리고 高速에서의 임의의 과급압 이상으로 給氣

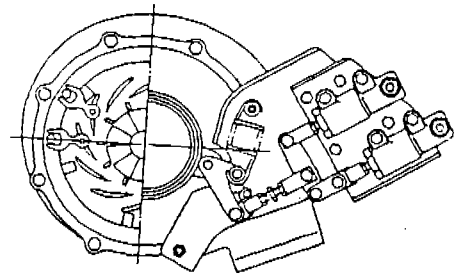


그림 33 可變容量型 turbo chamber<sup>25)</sup>



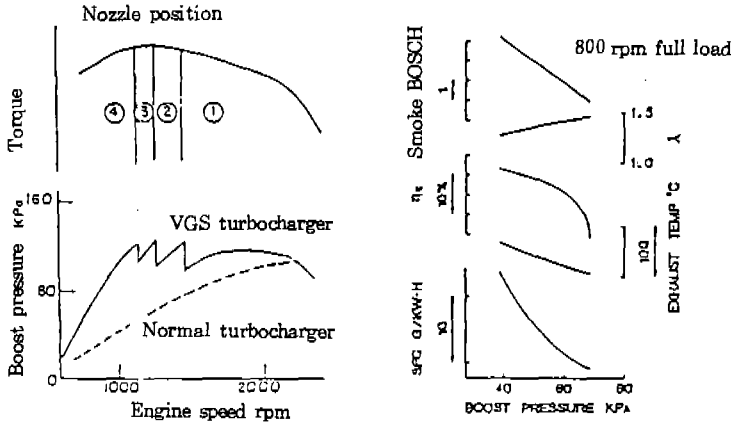


그림 34 VGT의 作動域과 效果<sup>25)</sup>

또는 排氣를 흘려보내는 방식(waste gate법)이 採擇되고 있다. 또 大型기관에서는 速度變化에 따라서 터빈 노즐의 vane의 방향(流路面積)을 바꾸어 터빈을 항상 최량의 效率로 運轉하는 가변용량형(VGT)도 採用되고 있다(그림 33, 34).

일반적으로 과급을 하면 給氣溫度가 올라가기 때문에 NOx는 增大하지만 出力도 增加하기 때문에 일량當의 NOx 排出率은 그리 변하지 않는다. NOx를 낮추기 위해서는 給氣 냉각기(intercooler)를 이용한다.

IDI 엔진에 대하여 MAZDA는 PWS過給方式(BBC사의 Comprex 過給氣)를 採用했는데 이것은 排氣의 혼입에 의한 내부 EGR의 效果가 期待된다.

## 5. 金후의 排氣가스對策技術의 動向

### 5.1 가솔린차

가솔린엔진의 對策이 金후에도 3元觸媒 시스템이 그 주류인 것임에는 變化가 없지만 乘用車의 高速·高性能化에 따라 觸媒에 대한 要求가 兪중 엄하게 된다. 또 中·重量트럭에도 3元觸媒가 使用될 것으로 예상되어 觸媒의 熱耐久性의 向上은 必要不可缺한 요청일 것이다. 現在 觸媒擔體의 材料와 더불어, 觸媒 貴金屬과 다른 成分과의 組合에 대하여 研究되고 있다.

가솔린차의 연비저감은 省에너지의 觀點으로부터도, 또 地球溫暖化의 原因인 二酸化炭素의 저감의 觀點으로부터도 必要한 요청이다. 이 때문에 여러가지의 방식의 超稀薄混合氣 燃燒(lean burn)가 研究되고 있다. 이 경우, 이상적으로는 觸媒裝置에 의존하지 않고도 排氣規制를 達成하는 것이 바람직하지만 觸媒를 必要로 할 경우에는 酸素가 存在하는 雰圍氣에서 還元反應을 하도록 하는 觸媒가 必要하다. 高壓縮比, 저연비의 期待가 되는 層狀給氣엔진에 있어서도 같은 觸媒가 必要하다. 또 이들의 엔진에서는 排氣溫度가 낮기 때문에 觸媒에는 저온활성의 向上도 要求된다.

### 5.2 디젤엔진

日本의 環境濃度の 現狀으로부터는, 汚染에 대하여 가장 寄與도가 높은 디젤트럭류의 NOx와 particulate를 兪중 엄하게 規制할 必要가 있는것이 認定되고 있다. 특히, DI엔진에 대한 NOx저감의 요청이 극히 강하다. 나아가 對美輸出을 계속하기 위해서는 美國의 嚴格한 PM의 規制에 적합시키지 않으면 안된다.

對策의 方向으로서는 지금까지와 마찬가지로 初期의 燃燒率을 억제하고, 主燃燒를 急速하게 끝나게 하기 위하여, 高壓噴射, 高噴射率化의 方法이 研究되고 있다. intercooler 附着 터보過給도 하나의 兪력한 手段으로, 1991년의 HDT의 規制에 적합하게 할 수 있는

가능성을 가진 것으로 보고 있다. 그러나 그 후의 PM의 嚴格한 規制에 대해서는 아직까지 그 展望이 確實치 않고, 輕·中量車와 같이 particulate trap(DPT)가 必要한 것으로 생각한다.

(1) 高壓噴射와 高噴射效率

高壓噴射는 燃料분부의 미립화를 돕고 공기와 燃料의 混合을 促進하는 同時에, 高噴射率化에 의하여 燃焼를 早期에 종료시킨다. 新燃焼시스템 研究所(ACE)에서는 高壓噴射의 궁극의 效果를 얻기 위해서 300 MPa의 高壓噴射 펌프를 특별히 製作하여 實驗하고 있다. 도중의 結果에 의하면, 高壓噴射의 方向은 確實히 NO<sub>x</sub>와 PM의 兩者를 同時에 저감시킬 수 있는 方法임을 제시하고 있다. 實用的으로는 100~150 MPa의 噴射壓에서 여러가지 實驗되었지만, 이 정도의 高壓에서도 噴射系의 발본적 再考가 必要하여, 새롭게 unit injector의 開發이 進行되고 있다(그림 35, 36). 또 高壓噴射에 대해서는 從來의 燃焼室形狀

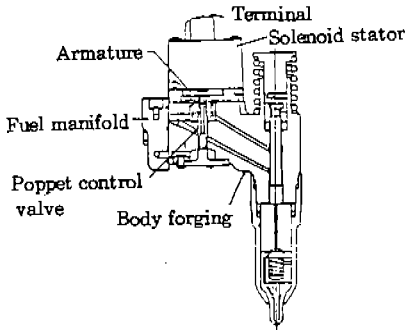


그림 35. DDEC II unit injector의 概要圖<sup>7)</sup>

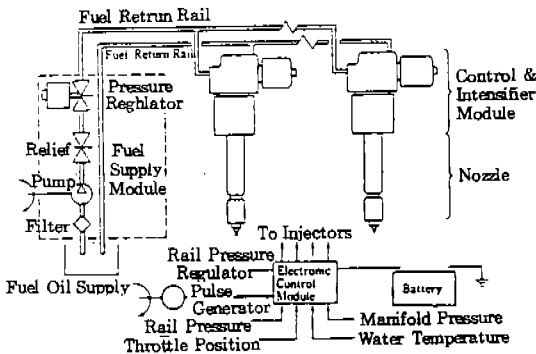


그림 36 蓄壓式 unit injector (BKM)<sup>7)</sup>

이 반드시 적합하다고는 할 수 없고 이들의 再考도 아울러 必要하게 되었다.

(2) Particulate trap

Trap filter에는 여러가지의 形式이 檢討되어 왔지만, wall through형의 하니콤 세라믹 필터가 捕集率上에서도 最적으로 보인다(그림 37). 포집율은 60~70%가 必要하다. trap은 어느정도 입자를 포집하면 눈이 막히기 때문에 배압이 增加하고, 엔진의 出力을 低下시키기 때문에 적당한 간격을 두고 포집한 입자를 再燃焼하여 trap을 再生할 必要가 있다. 그렇지만 soot는 着火하기 어렵고, 再燃焼하기 위해서는 trap入口의 排氣溫度를 550~600℃로 할 必要가 있다(그림 40). 그러나 디젤차 주행에서는 登坂이나 高速주행시에만 이 溫度로 되기 때문에, 着火에는 특별한 方法을 취하지 않으면 안된다. 排氣의 溫度를 올리는 方法으로서, 吸氣를 交縮하는 方

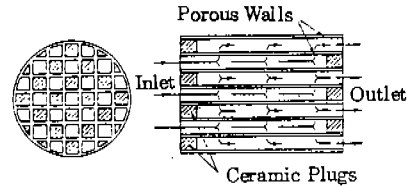


그림 37 디젤 particulate filter의 構造 model<sup>26)</sup>

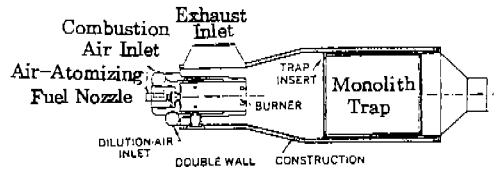


그림 38 Bunter/trap. assembly의 斷面圖<sup>26)</sup>

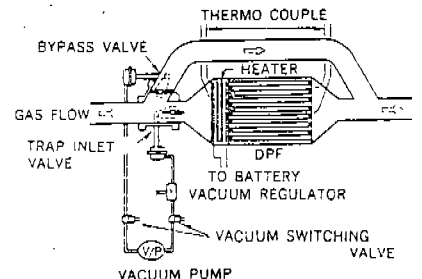
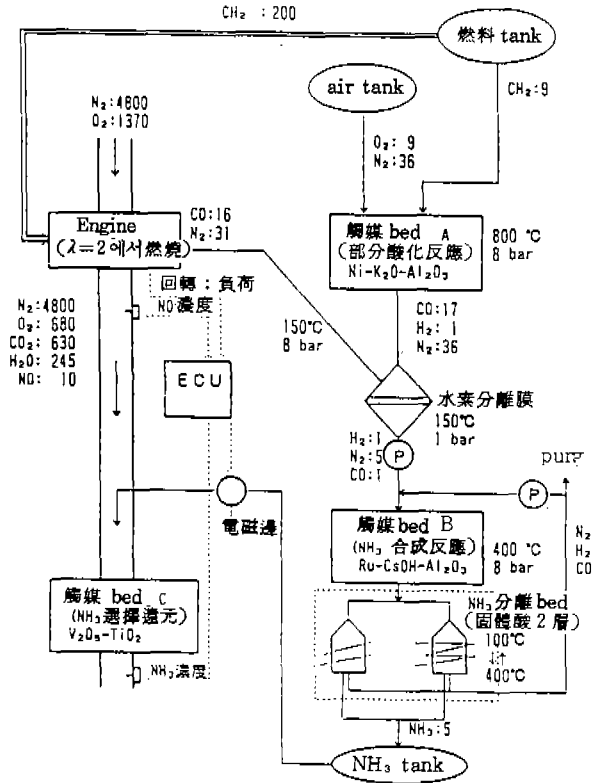


그림 39 電氣 heater 취부 particulate trap system의 概要圖<sup>27)</sup>

법이 있지만 저속·저부하에서는 효과가 없다. 이 때문에 배기管系에 별도로 burner를設置하고, 燃料를 태워 排氣의 溫度를 올리는 방법이나(그림 38), trap의 가스유입측에 전열선을設置하여 點火 燃焼시키는 방법 등이 試圖되고 있다(그림 39). 이와같은 방법으로 適切한 再生이 되면 미립자의 90%가 저감되고, 8만km까지 주행할 수 있다는 예도 보고되고 있다. 그러나 이 再生時期를 決定하기 어렵고 입자의 堆積量이 너무 많으면, 再燃焼시 trap의 溫度가 너무 올라가 재질을 破損하고 만다. 또, soot는 trap중심부에 많이 付着하나, 주변에는 付着하기 어렵다. 이 때문에 燃焼하면 중앙부와 주변부의 사이에 溫度차를 發生시켜 열응력에 의해 균열이 發生된다. trap은 最適조건을 決定하는 制御條件과 trap의 耐久性, 信賴性이 중요한 課題로 되고 있다.

Soot의 着火溫度를 낮추는 또 한가지 手段으로서, 觸媒를 이용하는 방법이 있다. trap材에 直接觸媒를 擔持시키면 가솔린차의 排氣觸媒와 같은 방법으로 된다. 단, 觸媒를 이용하여도 soot의 着火溫度는 350℃의 정도까지만 내려가기 때문에 再燃焼시키는 方式를 併用하지 않으면 안된다. 再生을 용이하게 하고, 再生에 필요하는 時間을 短縮하기 위해서는 觸媒를 使用하는 것이 必須條件으로 생각된다. 觸媒效果가 있는 金屬을 少量燃料



各成分의 flow (단위: g/psh)

그림 41 脫硝 system의 concept 29)

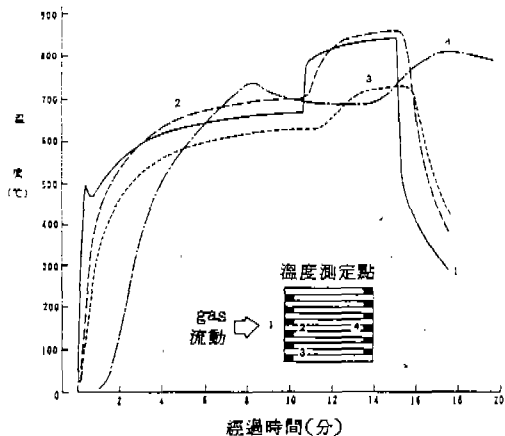


그림 40 再燃焼時의 溫度 28)

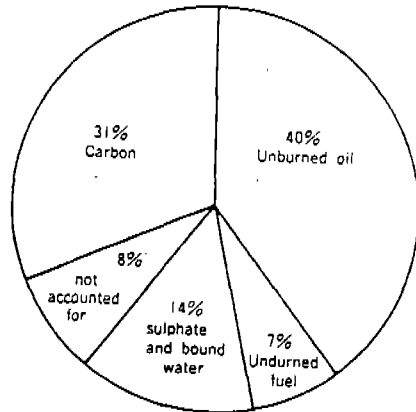
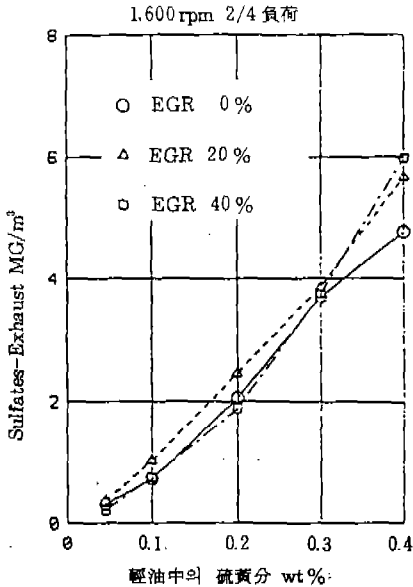


그림 42 直接噴射式 디젤기관으로부터 Trans-30) ient Test중에 排出된 particulate成分

에 添加하고, trap에 付着한 soot의 着火溫度를 낮추는 것도 試圖되고 있지만, 燃焼후 添加劑의 金屬灰가 trap에 堆積하여 눈막힘에 原因으로 된다.



31) 그림 43 燃料中の硫黃分과 sulphate의排出

觸媒에 貴金屬을 使用했을 때에는, 燃料中の 硫黃이 觸媒에 의하여 sulphate로 變換되어 排出된다(그림 42). 이것은 有害할 뿐 아니라, PM으로서 評價되기 때문에 trap의 效果가 低下한다(그림 43). 경우에 따라서는 trap에 의하여 PM이 增加하는 것도 있다. 따라서, 觸媒 trap를 使用하기 위해서는 燃料中の 硫黃分을 낮게 억제할 必要가 있다. 現在 日本에서는 輕油中の 硫黃分을 0.05%까지 낮출 것을 檢査하고 있다.

(3) 脫硝裝置

發展用 등의 定置形 디젤엔진에서는, 排氣中の NOx를 저감하기 위하여 일부에서 脫硝裝置가 使用되고 있다(그림 41). 그러나 自動車 엔진에서는 過度運轉을 고려하지 않으면 안되는 점으로부터 지금까지 그다지 研究되지 않았다. NOx 規制가 엄하게 됨과 同時に 脫硝裝置도 對象으로 거론하게 되었다. 환원제로는 通常 암모니아가 이용되지만, 이것에 대신하는 무해의 物質이 탐구되고 있다. 감속을 포함한 過度運轉에서는 역시 一定量의 암모니아가 反應되지 않고 排出되어 2차공해의

원인이 된다. 最近 zeolite에 金屬觸媒를 擔持한 것이 주목되고 있다. 新燃焼 시스템 研究所에서는 輕油를 觸媒에 의해, H<sub>2</sub>O와 CO로 分解하고 H<sub>2</sub>와 공기中の N<sub>2</sub>로부터 再次 觸媒에 의하여 암모니아를 合成하고, 이것에 의해 排氣의 脫硝을 피할려고 하는 시스템이 研究되고 있다.

(4) 기타方法

Soot를 減少시키기 위하여 燃焼 後半에 실린더내에 적극적으로 亂流를 強化시키는 方法이 몇가지 檢査되고 있다. 또 噴射燃料를 피스톤 top부에 設置한 돌기부에 衝突시켜 霧化를 좋게하고 공기와의 混合을 돕는 方式도 研究되고 있다.

LPG나 메탄올 또는 가솔린 등 기화성이 좋은 燃料를 吸氣에 混合한다. 소위 fumigation方式은 高負荷에서만 適用하면 soot의 저감에 效果가 있다.

6. 結 語

가솔린차의 排氣對策은 3元觸媒 시스템의 開發에 의하여 CO, HC, NOx의 3成分을 극히 낮은 레벨로 저감하고 있다. 금후는 엔진의 高性能화에 對處하여 觸媒의 熱耐久性, 信賴性의 向上을 피하지 않으면 안된다. 또, 燃料經濟를 皮하기 위한 lean burn 또는 層狀給氣엔진에서도 適用할 수 있는 觸媒의 開發도 必要할 것이다.

디젤엔진의 排氣對策에서는 高壓噴射가 NOx와 particulate 등의 양자를 同時に 저감시키는 方法으로서 金후 한층 開發研究에 힘이 投與될 것이다. 그러나 한편으로서는 美國의 嚴格한 particulate 規制에 對處하기 위해서는 trap의 採用이 必須不可缺로 이 시스템의 開發도 促進될 것이다. 그러나, 상당한 時間을 요할 것으로 본다.

\* 번역·편집 : 최규훈, 김창현(기아산업 기술센터)

## 参 考 文 献

1. 磯村定夫外, マツダ技報 No. 7 (1989), pp. 46-51.
2. 渡邊治男外, トヨタ技術 37-1(1987), pp. 49-58.
3. 水野信孝外, トヨタ技術 37-1(1987), pp. 39-48.
4. 船曳正起, 自動車技術, 43-4(1989), p. 14.
5. 増田剛司外, 日産技報 No. 24 (1988), pp. 62-69.
6. 玉野, 大西, 自動車技術, 43-4(1989), p. 5.
7. 茂森政外, 自動車技術, 42-1(1988), p. 28.
8. 環境廳資料.
9. 齋藤孟, 機械の研究 39-10(1987), p. 1097.
10. 中島那彦, 三菱自動車 Technical view No. 1(1988), pp. 67-76.
11. 環境廳: 自動車公害防止技術 第10次報告 (1987), p. 60.
12. 寺沼, 多賀, 日産技報 No. 21(1985), p. 97.
13. 環境廳, 自動車公害防止技術 第8次報告 (1986), p. 28.
14. 大西孝則外, トヨタ技術 38-2(1988), p. 196.
15. 環境廳: 自動車公害防止技術 第9次報告 (1987), p. 60.
16. 環境廳: 自動車公害防止技術 第7次報告 (1985), p. 75.
17. 環境廳: 自動車公害防止技術 第6次報告 (1984).
18. 環境廳: 自動車公害防止技術 第1次報告 (1979).
19. 環境廳資料.
20. 渡邊昇, トヨタ技術 38-2(1988), p. 204.
21. 環境廳資料(1988).
22. 山内博文外, マツダ技報 No. 7(1989), p. 71.
23. 環境廳資料.
24. 江口展司外, 日野技報 34(1985), p. 62. 35(1986), p. 35.
25. 北山門也, 内燃機関 26-12(1987).
26. M. Arai et al.: SAE Paper 870012 (1987).
27. J. Scott Macdonald, et. al.: SAE Paper 880006(1988).
28. 新井, 松沼, いすゞ技報 No. 80(1988), p. 116.
29. 新燃焼システム研究所資料(1989).
30. 下田正敏外, 日野技報 37(1988), p. 15.
31. 環境廳資料(1989).