

디젤機關의 排出가스에 對한 小考

韓 英 出

〈國民大學 助教授〉

1. 머리 말

70年代初만 하여도 디젤機關의 排出가스에 대해서는 一般的으로 그렇게 問題時 認識되지 않았었다. 다만 우리들 感覺으로 黑煙이 나오니까 CO가 많겠고, 特有的 臭氣가 있으니 HC가 많지 않을까? 하는 정도 였었다. 또한 가솔린機關에 比하여 有害排出가스가 비교적 적기 때문에 그에 대한 研究도 눈에 띄게 進前하지 않았다.

公害의 先進國이라 말할 수 있는 美國·日本에서도 가솔린機關의 規制보다 5,6年 늦어, 캘리포니아州에서는 1973년에 提案하여 規制가 始作되었고 日本에서도 디젤機關의 本格的 汚染度 規制가 1975년부터 시작하였다. 그러나 最近 가솔린機關의 排出가스 公害問題의 解決對策이 極限에 達해 가고 있고, 都市人口의 大量集中化 및 輸送貨物車輛의 急增으로 디젤車輛(Bus, Truck 등)의 交通手段이 증대 일로에 있다. 이에 따라 디젤機關의 排出가스의 對策도 심각하게 되어 研究가 활발하게 이루어져 가고 있다.

따라서 本 小考에서는 디젤機關의 汚染物質 排出機構와 排出가스에 영향을 주는 諸要素 및 그 對策에 對하여 概括的으로 簡單히 살펴 보기로 한다.

2. 디젤機關의 汚染物質 排出機構

디젤機關에 있어서 燃燒는, 吸入壓縮으로 發生한 燃燒室內의 高溫高壓狀態(30~50氣壓, 500~900°C)의 空氣中에 燃料(輕油)가 노즐로부터 噴霧狀으로 噴射되어 自然着火됨으로 시작된다. 그 燃燒特徵으로는 다음 몇가지를 들 수 있다.

○ 燃燒는 燃料과 空氣의 比率이 크게 변화하는 不均一한 混合機中 不特定部分의 自然着火에 의하여 시작 進行된다.

○ 燃料의 微粒化, 蒸發 및 空氣와의 混合, 氣體流의 亂流, 熱放射등의 物理的 現象이 燃燒過程을 크게 좌우한다.

○ 過剩空氣가 燒燒 및 排出過程中 항상 存在한다.

○ 出力制御는 燃料噴射量만을 變化시켜 調整하므로 吸入空氣量은 一定하므로 燃空比(F/A)는 크게 변화한다.

이러한 燃燒특징에 따라 다음과 같은 汚染排出物이 不可避하다.

2.1. 排氣煙

排氣煙은 냄새가 나쁠 뿐만 아니라 디젤機關의 特有的 問題로 人體에 直接的인 害보다도 交通視野의 防害, 都市美觀上의 問題등의 感覺的인 公害로서 크게 대두된다.

디젤排氣煙은 白煙과 黑煙으로 나누어진다.

2.1.1 白煙

cold smoke 라고 불리우며 冷時 始動할 때 燃燒室의 低溫때문에 燃料가 그냥 그대로 또는 部分연소된 것이 液滴으로 되어 排出된 物質이 白色으로 보인 것이다. 白煙은 눈·코에 자극성을 갖지만 機關이 따뜻해지면 自然이 없어지므로 그다지 問題時되지 않는다. 또 着火性이 나쁜 燃料가 着火遲延으로 燃料가 充分히 燃燒되지 않고 排氣밸브로 새어 나오는 경우도 있다.

2.1.2 黑煙

黑煙은 0.02~0.04 μ 정도의 微粒炭素粒子가 뭉쳐진 1~30 μ 의 媒煙(soot)인 것이다. 이 媒煙의

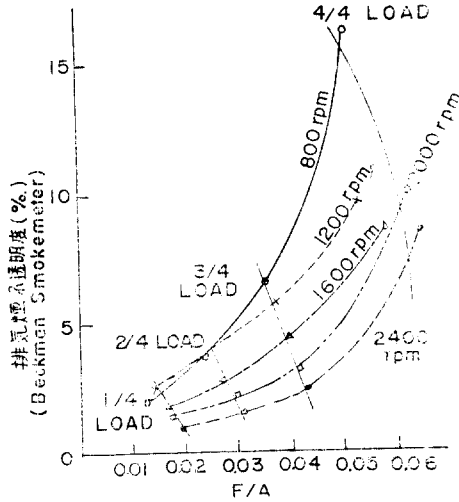


Fig. 1. 燃空比, 回轉數와 排氣煙濃도의 關係

燃燒室內에서의 發生機構는 복잡하다. 液滴의 燃燒에서 發生하는 煤煙은 氣體燃燒때 生成되는 것과 液滴에서 직접 煤煙으로 轉化하는 경우를 생각할 수 있다. 前者는 主로 輕油의 경우이고 重油는 後者의 경우이다. Fig. 1은 燃空比(F/A)와 排氣煙의 濃度關係를 回轉數를 파라메타로 하여 나타낸 것인데, 高速化할수록 排氣煙 濃도가 났다. 이것은 高速이 되면 空氣渦流가 強하게 되어 燃料과 空氣의 混合性이 좋게 되기때문이다.

黑煙은 또한 분사량의 過大, 분사時期의 不--定, 노즐의 不良, air cleaner의 막힘등의 원인

2.2. NO_x

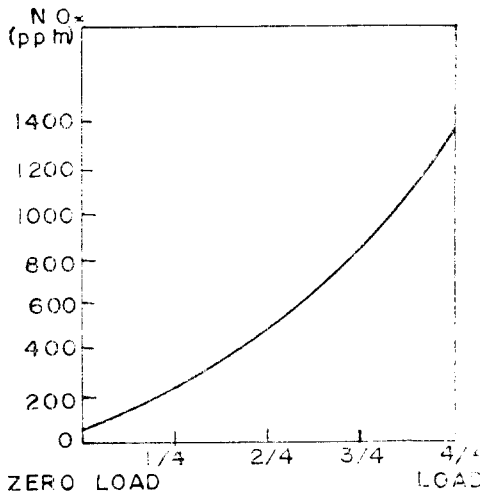


Fig. 2. 直接噴射 디젤機關의 負荷와 NO_x 排出量의 關係(Ricard 43/4×5 1/2 in. 2000 rpm)

으로도 생성된다.

디젤機關에서는 燃燒溫度가 局部的으로 높고 또 過剩空氣가 存在하기 때문에 Fig.2에 나타난 바와 같이 상당히 높은 NO_x 농도를 볼 수 있고 負荷의 증가와 더불어 증가한다.

한편 燃燒方式의 差에 의한 영향을 보면 Fig. 3과 같이 副燃燒室式인 경우에는 250ppm 정도에 대하여, 直接噴射 2 cycle, 直接噴射 4 Cycle의 順으로 增加하여 最高値는 4000ppm에 달할 때 도 있다.

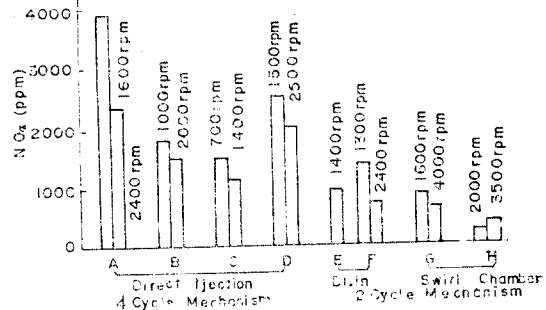


Fig. 3. 燃燒方式差에 의한 NO_x 排出量의 變化

2.3 CO

디젤機關은 항상 空氣過剩下에 運轉되기 때문에 本質的으로 排出 CO濃度는 電氣點化機關 보다 적다. 그 代表的인 값은 Table 1.과 같이 크게 문제시 되지 않고 있다.

또 燃料의 性狀의 影響은 가솔린機關과 같이 거의 없다고 해도 좋다.

Table 1. 디젤機關排氣中의 代表的 CO濃度(單位 %)

| 機 關 | 空 回 轉 | | 部分負荷 | | 全 負 荷 | |
|-----|-------|--------|------|--------|-------|--------|
| | 測定值 | 標準化補整值 | 測定值 | 標準化補整值 | 測定值 | 標準化補整值 |
| A | 0.01 | 0.17 | 0.01 | 0.04 | 0.08 | 0.22 |
| B | 0.02 | 0.12 | 0.04 | 0.09 | 0.26 | 0.56 |
| C | 0.07 | 0.78 | 0.02 | 0.66 | 0.03 | 0.06 |

2.4 HC

디젤機關의 代表的 炭化水素 排出濃度는 Table 2.와 같이 標準化(Normalize)한 데이터에서는 低速低負荷 즉 희박한 混合狀態에서 높은 炭化水素 濃도가 되어 있다. 그러나 직접측정치에서는 가솔린 機關보다 약간 적은 값을 가

□ 解 說

지고 있다.

Table 2. 디젤기관 배기중의 代表的 炭化水素濃度 (單位 ppm)

| 機 關 | 空 回 轉 | | 部 分 負 荷 | | 全 負 荷 | |
|-----|-------|-------------|---------|-------------|-------|-------------|
| | 測 定 值 | 標 準 化 補 整 值 | 測 定 值 | 標 準 化 補 整 值 | 測 定 值 | 標 準 化 補 整 值 |
| A | 290 | 4,890 | 370 | 1,360 | 550 | 1,500 |
| B | 180 | 1,050 | 210 | 590 | 150 | 320 |
| C | 290 | 3,250 | 250 | 710 | 170 | 330 |

燃料性狀이 배기 HC 에 미치는 영향은 機關의 構造 및 運轉狀態에 比하여 적다. 이것은 연료의 化學的 性質보다는 연료의 噴霧狀態·蒸發·混合등의 物理的 因子가 훨씬 支配的 影響을 연소에 대하여 가지고 있기 때문이다.

그러나 低 octane 價 및 低沸點化연료가 炭化水素排氣가 많다. 특히 디젤기관에서는 空回轉時나 始動時의 排氣가스는 강한 자극성을 가지고 있는데 이것은 炭化水素의 部分산화에 의하여 生成된 Aldehyde 類 때문인 것이다.

2.5 臭 氣

디젤기관의 臭氣는 다른 汚染物質보다도 훨씬 사람에게 不快感을 주고 있다. 이 臭氣의 本質이 不明確하여 뚜렷한 測定, 對策등이 困難한 現實이다. 惡臭에 關聯되는 것으로는 炭化水素, Carbonyl 이외에 유기化合物, 高分子 Carbonyl 分解하여 生成된 活性 또는 不安定한 化合物, 질소등으로 생각되어 진다.

機關 및 運轉變數와 惡臭와의 關係는 어느 形式의 機關에도 空回轉 및 空回轉으로 부터 急加速할 때 더욱 심하다.

燃料組成과 臭氣와의 關聯은 거의 認定되지 않고 있다.

3. 디젤기관의 排氣가스에 影響을 주는 諸要素

디젤기관의 排氣가스에 影響을 주는 제반 요소를 간단히 나타내면 Fig. 4 와 같다.

3.1 F/A 의 影響

Fig. 5 는 F/A 와 NO 生成 및 燃料消費率의 關係를 나타낸 것이다. 일반적으로는 연료분사량을 調節하여 그 變化를 나타내는 것이 보통이다 여기에서도 同一한 機關에서 空氣量을 조절했을 때를 나타냈다. 한, turbo charge 로 過給할 때는 노즐분사徑과 분사펌프의 plunger 徑을 變化시켰다.

디젤연소의 복잡성의 一例로 過給할 경우를 고려하면, 공기밀도의 증가에 의한 연료분사의 微細化·도달거리의 변화·空氣渦流의 증가등에 의한 變化가 있고 全 F/A 의 構成變化에 의한 最適 F/A 가 차지하는 體積이 증대된다. 이것은 No 의 피크를 나타내는 F/A 의 변화로부터 추정 示출된다.

또 산소농도의 변화에 의한 着火遲延의 差를

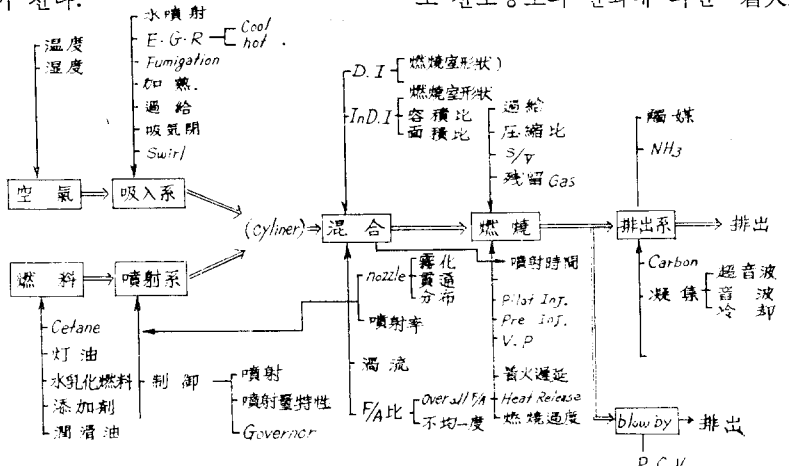


Fig. 4. 디젤기관의 排氣가스에 影響을 주는 諸要素

일으키고着火時期를 同一하게 하여도 熱放射(heatrelease)의 패턴이 다르게 된다.

한편, 部分負荷에서 吸氣를 줄이면 筒內잔류가스는 증가하여 NO 대책으로 유효하게 보이나 着火時期가 크게 늦어 HC가 증가하여 實用的이 못된다.

단, 그 사이클에서는 吸氣를 줄인 만큼 잔류가스가 남기 때문에 HC에는 조금 有効的이라 하겠다.

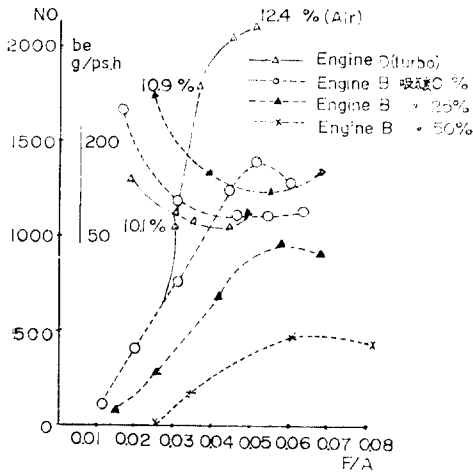


Fig. 5. F/A와 NO의關係

3.2 燃燒室 形狀의 영향

No排出에는 연소실의 영향이 지배적이다. 副燃燒室에서는 二段연소가 이루어져 F/A의 過濃인 副室에서 着火하여 잇달아 온도가 낮은 主연소실에서 연소가 일어나기 때문이다.

따라서 副室 容積比가 큰 渦流室式 연소실이 豫燃燒室式보다 낮은 NO濃도가 發生된다. 그러나 極히 低負荷로 되면 부연소실내 F/A가 최적에 가깝게 되므로 直接분사식보다 NO농도가 크게 되는 경향이 있다. 소형 와류실식에는 S/V이 크기 때문에 HC가 많기도 하다.

직접분사는 연료의 경제성·내구성등 많은 利點이 있으나 NO에 關한限 不利한 것이다.

3.3 噴射時期의 영향

분사시기가 늦어지면 着火遲延이 줄어들고 豫

混合燃燒가 減少한다.

이는 溫度가 低下한 평창행정에서 연소분이 증가되기 때문이다.

Fig. 6과 같이 현저한 NO 低下가 나타난다.

또한 여러가지 대책효과를 判斷할 경우 點火時期의 變化를 고려하지 않으면 효과판정이 行해될 수 없다.

그러나, 이는 出力연소 성능에도 큰 영향이 있고 低負荷에서도 연소온도의 저하에 의한 HC의

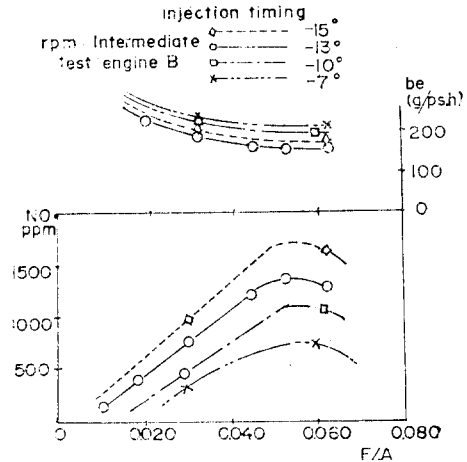


Fig. 6. 噴射時期에 의한 NO와 be變化

증가, 直噴에서는 擴散연소의 증가에 의한 흑연의 증가를 동반하므로 實容的으로는 한계가 있다.

3.4 燃燒噴射率의 영향

디젤연소는 연소분사율에 의하여 制御되기 때문에 出力燃費性能·燃燒音·排氣黑煙등에 지배적인 영향을 미친다.

Fig. 7은 직접분사의 동일기관에서 분사펌프의 plunger 從단을 변화시켜 분사율을 약 80% 低下시켰을 때의 결과이다.

供試機關은 渦流가 強하므로 性能의 惡化는 없었다. 渦流가 弱한 機關에서는 큰 惡化를 가져온다.

3.5 壓縮比의 영향

Fig. 8은 압축비 변화의 영향을 나타낸 것이

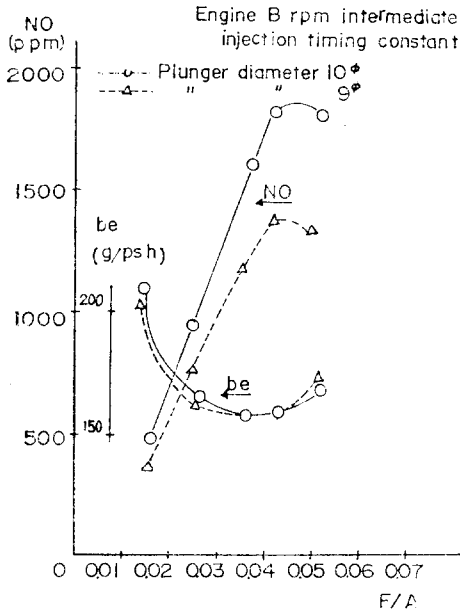


Fig. 7. 燃燒噴射率의 영향

다. 압축비를 저하시키면 압축온도의 저하에 의하여着火遲延이增加하여着火時期에 영향을 미친다. 또 低負荷에서는 完全燃燒가 일어나지 않아 未燃燃料에 의한 HC의 排出이 증가하여 Blue Smoke 를 排出한다.

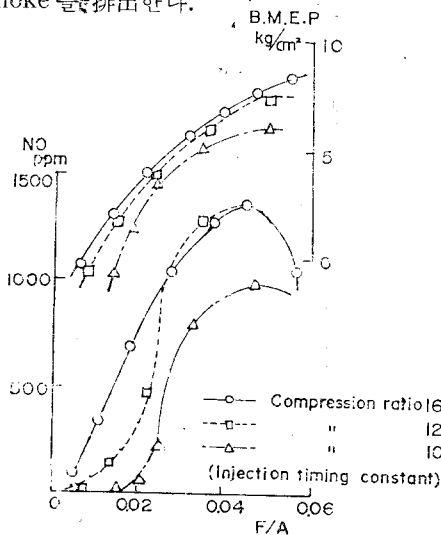


Fig. 8. 壓縮比의 영향

이 대책으로는 흡기를 가열하면 解決된다. 그러나 Turbo 과급을 행하면 동등한 效果가 얻어 지지만 低負荷·低回轉時에는 過給不足이 問題時된다.

3.6 吸入空氣 및 燃料에 의한 영향

出力·黑煙 등이 吸入空氣의 條件에 따라 變化하는 것은 既知의 사실이고 NO는 水噴射의 效果에서 추정되어 吸入空氣中에 포함된 溫度에 의하여 큰 영향을 받는다.

한편 燃料의 cetane 價가 다른 燃料에 대하여 排出가스의 變化를 조사한 결과, 燃料은 분사시기와 더불어 고려해야 하므로 cetane 價의 差, 燃料의 組成 등이 着火遲延에 영향을 준다. 기타 흑煙 防止劑로 각종 燃料첨가제(바륨系)가 첨가되는데 이도 排出가스에 영향을 주게 된다.

4. 디젤機關의 排出가스 對策

디젤機關은 항상 空氣 過剩의 運轉을 하기 문에 가솔린기관에 비하여 Fig. 9와 같이 CO 및 HC의 排出量은 많지 않으나 NO_x 와 排氣黑煙이 크게 問題時되고 있다. 이에 대한 對策을 概括的으로 略述하면 다음과 같다.

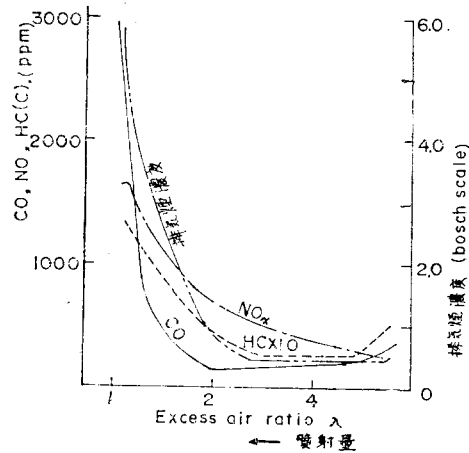


Fig. 9. 디젤機關의 排出가스 組成傾向

4.1 NO_x 對策

現在 NO_x에 대한 대책으로 考慮實行되고 있는 方法은 Table-3과 같다. 이 중에서 空燃比 調整은 機關에 本質上 容許하지 않도록 하여야 한다.

배기촉매 Converter는 배기가 산화상태(과잉

Table 3. 디젤기관의 배기 NO_x 抑制方法

| 機關改良方式 | 排氣二次處理方式 |
|--------------------|---|
| (1) 給氣側에 排氣가스의 再循環 | (1) 觸媒 Converter |
| (2) 空燃費調整 | (2) NO _x 의 水, Alkali등에 의한 吸收 |
| (3) 燃料噴射時期遲延 | (3) 排氣가스의 熱分解 |
| (4) 壓縮比低下 | (4) 排氣가스를 斷熱 膨脹시켜 水滴에 氣를 吸着시킨다. |
| (5) 吸氣溫度低下 | |
| (6) 膨脹行程에서의 急冷防止 | |
| (7) 燃室形式變更 | |
| (8) 水噴射에 의한 燃室溫度低下 | |
| (9) 燃料添加劑 | |

산소가 많아 CO가 적다)이기 때문에 CO發生器라도 부착해서 환원상태로 하지 않으면 곤란하다.

Table 4는 위의 對策方法中 一部를 擇하여 실험한 결과를 나타낸 것이다.

Table 4. NO_x 抑制方法的 比較

| 抑制 方法 | 抑制效果 | 他性能에의 영향 | 設備費 | 保守性 | 作業性 |
|------------------|--|--------------------------|-----|-----|-----|
| 排氣再循環 (混合率15%) | 負荷에 關係없이 效果大 (NO _x 는 1/2-1/3로 減少) | 3/4以下 負荷에서 馬力 CC%에의 영향 小 | 小 | 容易 | 輕 |
| 吸氣壓力調整 (-60mmHg) | 4/4負荷에서 效果大, 他는 效果小 | 3/4이하의 부하에서 영향 小 | 없음 | 容易 | 輕 |
| 噴射時期調節 (6度 遲延) | 一般的으로 效果小 | 一般的으로 영향小 | 없음 | 없음 | 없음 |

條件: 水冷4cycle 豫燃室式 디젤機關 70×75mm의 單氣筒, 3HP, 1500rpm No_x 排出 濃度 180~540ppm.

4.2 排氣煙 對策

항상 공기과잉으로 運轉하는 디젤기관에서는 整備를 잘하면 눈에 띄게 黑煙이 나오지 않는 것이 보통이다.

그러나 使用中에 aircleaner가 막히거나, 분사노즐이 不良하거나, 出力이 떨어지고 長期間 사용한 기관에서 과잉연료를 보내어 무리한 출력을 내려고 할 때 黑煙을 發生한다. 따라서 항

상 정비를 게을리 하지 않고 무리하게 運轉하지 않는 것이 흑연방지의 지름길이다.

黑煙을 적극적으로 防止하는 方法으로는 物理的으로 Carbon 粒子를 포착한 여과방식이 尠해지고 있으나 가격 및 취급상의 문제로 아직 實用성이 尠박한 실정이다. 이와같이 設備面에서의 改良외에 연료에 添加劑를 넣어 黑煙을 抑制하는 方法이 研究行해지고 있다. 첨가제에는 두가지가 있어 하나는 界面活性劑의 淸淨作用으로 噴射系流의 더러워짐을 방지하여 흑연 發生을 억제하는 것이고 다른 하나는 バリウム系첨가제를 사용하는 것이다. バリウム계 化合物로서는 탄산 バリウム·수산화 バリウム·나프텐 バリ움등을 小量 (0.5~1.0g バリ움/1l 燃料) 넣어 即効性이 있다.

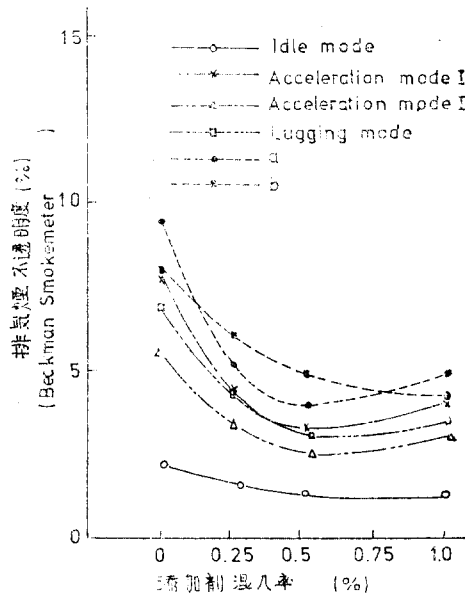


Fig. 10. 添加劑混入에 의한 排氣煙濃度

Fig. 10는 美國의 Federal Register을 기준으로 運轉한 結果를 나타낸 것이다.

그림 중 a는 가속도 I, 가속도 II를 읽은 층에서 높은 값 45 data의 平均値이고, b는 定速 15 data의 平均인 것이다.

(Federal Register는 이 a, b 값을 採用했다.)

4.3 觸媒컨버터 (Converter)

디젤기관에 있어서 촉매컨버터 방식에 의한

排氣가스 淨化는 가솔린機關과 같은 方法으로 研究되고 있다.

Fig. 10은 日本 三菱社의 酸化促進 Catalzer의 斷面圖로서 大型 muffler와 같은 外形의 축매 Cell을 가지고 그 材質은 耐熱性·耐久性이 뛰어난 stainless steel로 되어 있다.

그 內部에는 微粒狀의 直徑이 약 2~4mm 정도的 Al_2O_3 로 싸여, 그 多孔性의 表面에 白金을 塗金한 pellet로 충전되어 있다. 디젤排氣는 260°

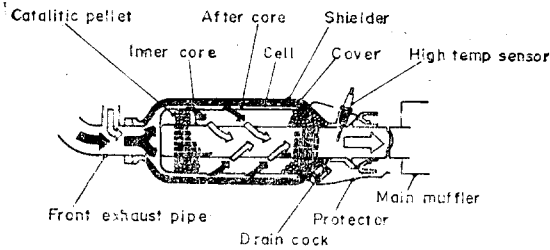


Fig. 11. Catalyzer의 斷面(三菱車)

C~430°C로 加熱된 축매층을 통과하여 CO, HC, aldehyde 등을 산화시킨다.

Carbon과 重質炭化水素의 附着에 의해 活性이 떨어진 축매는 650°C에서 再生하여 침적물을 소각시킨다. 이로서 다시 사용할 수 있게끔 된다.

5. 맺는 말

以上에서 考察한 바와 같이 가솔린機關의 排氣가스 解決策은 上限線인 最大의 開發에 達했으므로 今後의 問題는 디젤機關에 대한 研究開發이 뒤따라야 하겠다.

디젤機關의 主된 汚染物質은 排氣煙, NO_x ,

HC, CO, 臭氣 등이고 이의 發生 諸要因은 F/A, 燃燒室形狀, 噴射時期, 燃燒噴射率, 壓縮比, 吸入空氣 및 燃料등의 영향을 받는다.

끝으로 디젤機關의 排出汚染物質에 對한 對策을 簡略하게 綜合하면 다음과 같다.

- ① 燃燒噴射後의 蒸發 및 燃燒過程을 制御하여 燃燒時의 煤煙 發生을 抑制한다.
- ② 燃料의 噴射量을 制限하여 濃厚한 排氣煙이 生成되지 않도록 한다. 이것은 出力限界를 낮게 抑制하게 된다.
- ③ 過給하여 空氣過剩率을 크게하여 排氣煙 농도를 낮은 상태에서 出力을 增大시킨다.
- ④ 燃料에 添加劑를 넣어서 煤煙의 發生 및 排出를 減少시킨다.
- ⑤ 觸媒컨버터를 使用하여 排出가스를 酸化促進한다.

參 考 文 獻

- (1) 小林: 自動車의 排氣淨化裝置とその整備 1978.
- (2) 齊藤外 2人: 自動車排出가스低減의 軌跡 1976.
- (3) 柳原: 自動車公害とその對策技術 193.
- (4) 村木: 柴油機關における 排出가스對策의 現狀 1974.
- (5) 出口外 2人: 自動車排가스公害 1971.
- (6) 金 野: 自動車技術 Vol. 31, 1977, -12
- (7) 森 : 自動車技術 Vol. 32, 1978-6
- (8) 林 洋: 內燃機關 Vol. 17, NO. 209 1978-5
- (9) Teaneck N.J.: Automotive Emission Control and Tune-up procedues, 1975.
- (10) Hurn R.W. Airpollution and Compression Ignition Engine, 1969.