韓國大氣保全學會誌 第5卷 第1號
J KAPRA 5-1(1989) PP. 79~87

〈論 文〉

市內버스 煤煙防止를 위한 觸媒酸化濾過裝置의 實用化 硏究

-The Evaluation of Catalytic Trap Oxidizer on a City Bus

趙 康 來*, 金 良 均*, 嚴 明 道*, 金 鍾 春*
Kang-Rae Cho, Yang-Kyun Kim, Myung-Do Eom, Chong-Chun Kim

ABSTRACT

In order to reduce the smoke emission from the in-service city bus, this study was evaluated the particulate reduction efficiency and regeneration ability of the catalitic trap oxidizer (CTO) on the city bus (D0846HM engine) equipped with it.

Before the on-road CTO test, the laboratory test of CTO on engine test-bench was performed. Reduction efficiencies of smokes and particulates were 54 and 45%, and those of gaseous pollutants such as carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) were 90 and 60%.

In order to evaluate the regeneration ability of the CTO by the catalytic oxidation of trapped particulate, f ield test was performed on the in-service road.

The regeneration temperature was 350°C which was same with the exhaust temperature of city bus.

1. 緖 論

최근 디젤자동차의 煤煙이 인체에 유해할 뿐만 아니라 大氣를 크게 오염시킨다는 사실이 많은 연구결과 알려짐에 따라[1~3] 디젤매연을 감소시키기 위한 規制基準의 强化[4] 및 防止技術의 開發이 활발히 이루어지고 있다.[5, 6]

시내버스는 정체가 심한 도심을 주행하고 있기 때문에 停止稼動時間이 길고 잦은 加·減速 등으로 인하여 매연을 포함한 大氣汚染物質을 많이 배출하고 있을 뿐만 아니라 이들 大氣汚染物質은 우리인간의 코 높이에서 배출되고 또한 주거지에서 가장 가까운 곳에 배출되고 있어 더욱 관심의 대상이 되고 있다.

서울의 시내버스는 1988년 말 현재 8,300여대로서 일일총주행거리는 $2,807\times10^3$km이며 일일 연료사용량은 988kl로서 전체 자동차 연료 사용

* 國立環境硏究院 大氣硏究部(Air Quality Research Department, National Institute of Envirnmental Research)

량의 12% 이상을 소모하고 있어 오염물질 배출량도 많다. 즉 전체 자동차 오염물질 배출량중 입자상물질은 34%, 窒素酸化物(NOx)은 30%가 시내버스를 포함한 버스에서 배출되고 있다.[7]

大氣中 浮遊粉塵濃度를 증가시키는 粒子狀物質에 크게 기여하고 있는 시내버스의 煤煙을 저감시키기 위하여 지금까지 많은 연구가 수행되어 온 촉매산화매연여과장치를 서울에서 운행되고 있는 시내버스機關의 일종인 D0846HM機關이 장착된 리어엔진버스에 맞도록 설계제작하여 실험실적 및 실차에 적용시험을 실시하였으며 매연 및 가스상물질 저감에 좋은 결과를 얻었기에 여기에 소개하고자 한다.[7, 8]

2. 디젤粒子狀物質의 組成과 觸媒酸化濾過裝置의 特性

디젤자동차에서 많이 배출되는 粒子狀物質(particulate matter)은 그림1에서 볼 수 있는 바와 같이 固體炭素(solid carbon, black smoke, soot), 溶解性有機物(soluble organic fraction ; SOF), 黃酸鹽과 結合水 및 기타 金屬酸化物 등으로 구성되어 있다. SOF는 디젤기관의 운전조건에 따라 상이하나 디젤입자상물질중 10%에서 80%까지 이며 평균 25%정도이다[2]. 황산화물과 결합수는 경유중 黃含有量이 0.25~0.3%일때 0.1g/bhp-hr에 상당하는 입자상물질이 배출된다고 보고하고 있다[9]. 그리고 金屬酸化物 등의 배출은 경유의 添加劑나 윤활유등에 기인하며 윤활유의 종류 및 機關의 노화정도에 따라서도 다르다.

이와같이 디젤입자상물질은 대부분 연소할 수 있는 물질이며 특히 탄화수소로 구성된 SOF는 觸媒에 의해서 쉽게 산화될 수 있다. 觸媒는 燃燒物質의 活性化 에너지를 높여 주므로서 쉽게 산화된다. 觸媒酸化濾過裝置(catalytic trap oxidizer ; CTO)는 디젤입자상물질을 여과재에 抱集하고 촉매에 의하여 活性化에너지를 높여 排氣溫度에 의해서 산화연소시키는 원리를 이용한 것이다. 여기에 사용한 촉매산화여과재는 아주 가는 스테인레스鋼線에 세라믹을 코팅하고 백금·파라듐과 같은 귀금속 촉매로 처리한후 원통형의 여과재를 만들어 디젤배기중에 포함된 입자상물질을 여과할 수 있도록 한 장치이다. 촉매산화여과장치는 粒子狀物質을 濾過抱集하는 단계(collection phase), 抱集한 입자상물질의 累積과 酸化가 平衡을 이루는 단계(balance phase) 및 累積된 입자상물질이 燃燒되는 단계(regeneration phase)로 구분된다.[10]

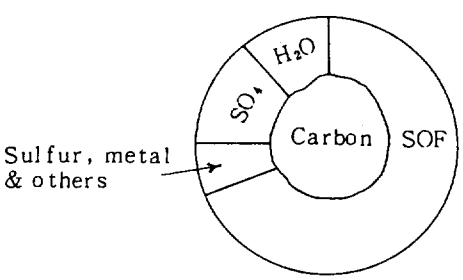

Fig. 1 Composition of diesel particulate emission

입자상물질의 포집을 여과재의 특성, 구조, 배기압력등에 의하여 상이 하나 설계시 포집효율을 고려하여 만든다. 배출가스중에는 일산화탄소(CO) 및 탄화수소(HC)가 포함되며 입자상물질중에도 高沸點炭化水素가 많이 포함되어 있으므로 입자상물질의 여과 및 누적기간중에 일부는 비교적 낮은 온도에서도 촉매산화되어 제거된다. 입자상물질이 계속 누적하게되면 排氣壓이 증가하게 되고 累積된 煤煙은 연소되어 재생됨과 동시에 배기압은 저하하게 된다.

再生시 필요한 온도는 촉매를 사용하지 않을 때는 550℃ 이상의 온도가 요구되나 촉매사용시는 350℃ 정도로 낮출수 있으며 排氣가스중 산소의 농도는 재생을 촉진시키는데 아주 중요한 인자이다. 재생을 위해서는 최소 3% 이상의 산소가 존재하여야 한다.[11, 12, 13]

3. 實驗裝置와 實驗方法

3.1 觸媒酸化濾過裝置

촉매산화여과재는 미국 JMC에서 제작하였고 우리나라의 시내버스에 적용할 수 있도록 그 크기 및 구조를 결정한 후 미국 Nelson사에서 캐닝(canning)을 하였다. CTO장치의 구조도는 그림 2와 같다.

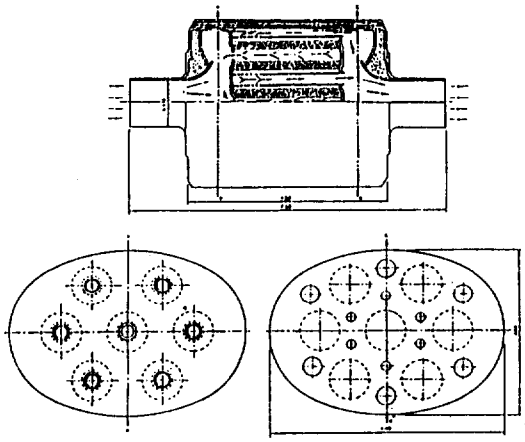

Fig. 2 Cross-section view of catalytic trap oxidzer

3.2 實驗裝置

CTO의 粒子狀物質濾過效率, 再生能力 및 機關性能에 미치는 영향등을 조사하고 가스상물질의 저감효율등을 알아보기 위하여 機關동력계상에서 그림 3과 같이 實驗裝置를 구성하였다.

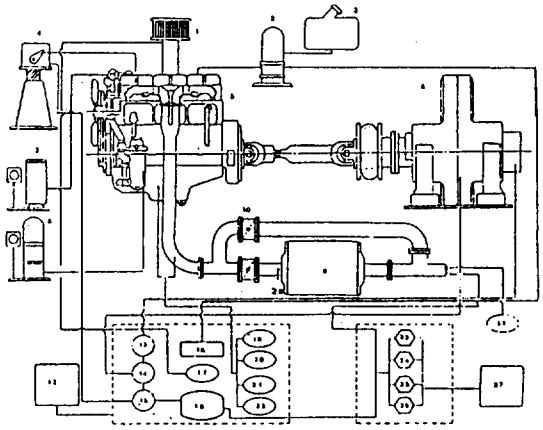

Fig. 3 Schematic diagram of diesel emission measuring apparatus

1. Laminar air flow meter	2. Fuel flow detector
3. Fuel tank	4. Throttle actuator
5. Test engine	6. Engine dynamometer
7. Cooling water controller	8. Lubrication oil controller
9. Catalytic trap oxidizer	10. By-pass valve
11. Smoke meter	12. Performance data recorder
13. Engine speed meter	14. Torque meter
15. Engine throttle meter	16. Fuel flow meter
17. Air flow meter	18. Auto mode controller
19. Cooling water temperature	20. Lubrication oil temperature
21. Exhaust gas temperature	22. Lubrication oil pressure
23. Total hydrocarbon analyzer	24. Carbon monoxide analyzer
25. Carbon dioxide analyzer	26. Nitrogen oxides analyzer
27. 6-Pen recorder	28. Pressure sensor

實驗裝置中 機關動力計는 電氣式으로서 日本 NISHISHIBA사의 NEDD-146H형이며 排出가스 分析器는 日本 HORIBA사의 MEXA8120D이다.

매연은 여지반사식스모크메타(일본 SOKKEN사 GSM-2)로 측정하였으며 粒子狀物質은 煙突用粉塵試料採取裝置(Stack Sampler, Nuteck-2010)를 사용하였다.

實驗用機關은 현재 우리나라에서 시내버스기관으로 많이 사용하고 있는 D0846HM機關(排氣量 7255cc, 定格出力 168馬力, 1979年型)을, 實驗用自動車는 D0846HM機關을 장착한 리어버스(RB520-5)를 사용하였다. 또한 實驗中 사용한 燃料는 시중에서 판매하고 있는 경유로서 黃含有量 0.351%, 세탄가 50인 경유를 사용하였다.

3.3 實驗方法

1) 實驗室的 實驗

① 性能實驗

CTO를 부착전후에 있어서 機關의 性能을 측정하기 위하여 機關의 回轉速度를 1000rpm ~2500rpm 사이에서 200rpm씩 증가시켜 가면서 全負荷에서의 토오크, 연료소비량, 매연농도, 배출가스농도, 배기압, 배기온도등을 측정하였다.

② 가스상 및 粒子狀物質 測定

CO, HC, NOx는 規制모드인 6모드 및 서울 시내버스의 實走行모드인 7모드를 사용하여 측정하고 입자상물질은 7모드를 사용하여 측정하였다.

③ 황산기(Sulfate, SO_4^{-2})측정

입자상물질 시료를 이소푸로필알콜에 녹여 이온크로마토그래프(미국 Dionex Corporation 2010i)로 분석하였다.

④ 입자상물질 누적 및 재생시험

CTO에 濾過累積된 입자상물질의 再生能力을 평가하기 위하여 수정 7모드(시내버스 실측모드의 각 모드 운전시간을 단축하여 배기가스 최고온도가 400℃를 넘지 않도록한 모드)를 사용하여 CTO에 매연을 누적시키고 재생상태를 평가하였다.

2) 實車試驗

시내버스에 CTO를 장착하고 배기매니폴드에서 CTO입구까지는 세라믹 울로 보온하고 주행기간중 CTO입구에서 배기가스 온도(Hioki Model 3412)와 배기압을 측정하였다. 시내버스 주행노선은 기자촌에서 옥수동을 운행하는 155번 버스 노선을 선정하였으며 이 노선의 주행패턴을 알아보기 위하여 주행패턴측정기(ONO SOKKI제)를 설치하여 차속(RP432-300 P/R)과 기관회전수(IP~295) 및 연료소비량(FP~214)을 측정하였다.

4. 結果 및 考察

4.1 煤煙 및 粒子狀物質 低減效率

CTO를 D0846HM機關에 장착하고 全負荷時 및 無負荷急加速時에 매연을 측정한 결과는 그림 4와 같으며 7모드에 의한 입자상물질 측정결과는 그림 5 및 표 1과 같다.

그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이 機關回轉數 1000rpm, 1500rpm 및 2500rpm에서 전부하로 운전시 매연저감 효율은 53%, 50% 및 58%였으며 무부하급가속시는 53%의 저감효율을 나타내었다.

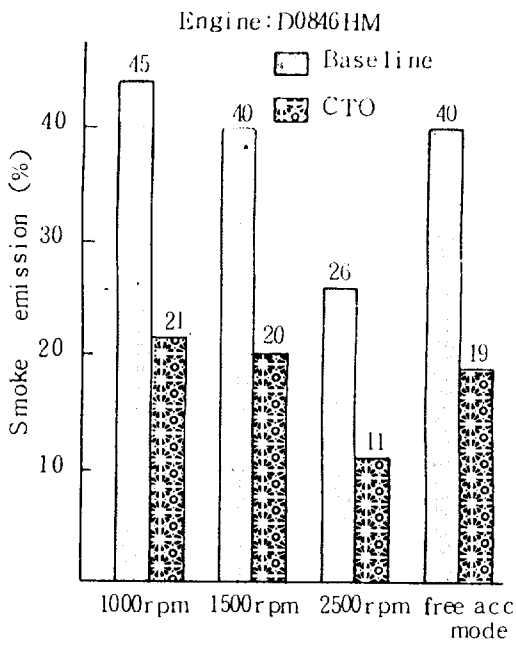

Fig. 4 Smoke emission with and without CTO by full load and free acceleration

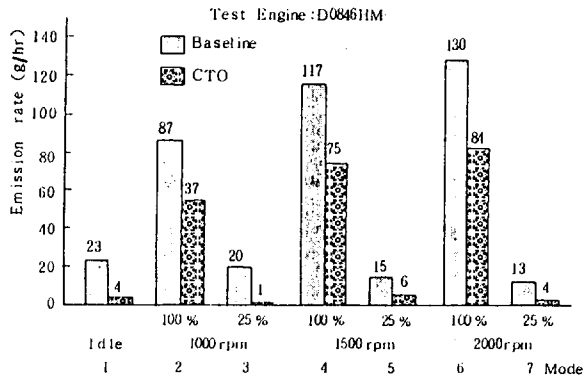

Fig. 5 Particulate emisson with and without CTO

Table 1. Gaseous pollutant emission by 6mode and 7mode

Mode	Test Condition	Unit	Pollutant			
			CO	HC	NOx	Particulate
6Mode	Baseline	ppm	750	120	700	-
	CTO	ppm	81	43	590	-
	Reduction Rate	%	89.2	64.2	15.7	-
7Mode	Baseline	g/b·hp-hr	5.09	0.37	6.08	1.10
	CTO	g/b·hp-hr	0.46	0.15	5.89	0.61
	Reduction Rate	%	90.9	59.5	3.1	44.8

한편 매연을 포함한 입자상물질의 저감효율은 그림 5 및 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 7모드 시험결과 45%의 저감을 나타내었으며 각 모드별로는 저부하시 입자상물질의 저감효율이 높고 고부하시 저감효율이 낮다. 고부하시 저감효율이 낮은 이유중의 하나는 입자상물질의 포집시 황산염이 포집되어 전체입자상물질의 무게에 크게 영향을 미치기 때문으로 사료된다.

4.2 가스상물질 저감효율

CTO의 사용에 따른 가스상물질의 저감효율을 6모드 및 7모드에 의하여 측정한 결과는 표 1 및 그림 6과 같다.

표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 6모드 시험결과 CO 89.2%, HC 64.2% 및 NOx 15.7%의 저감

효과가 있었으며 7모드시험결과에서는 CO 90.9%, HC 59.5% 및 NOx 3.1%의 저감효과가 있었다. 7모드시험시 각 모드별 가스상물질의 저감효과는 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 아이들링 및 저부하(25% 부하)에서는 CO 및 HC의 저감율이 낮고 고부하(100%)에서는 CO 및 HC의 저감율이 아주 높음을 볼 수 있다. 이는 高負荷에서 排氣가스溫度가 높기 때문에 촉매의 活性이 높아 쉽게 산화되기 때문이다.

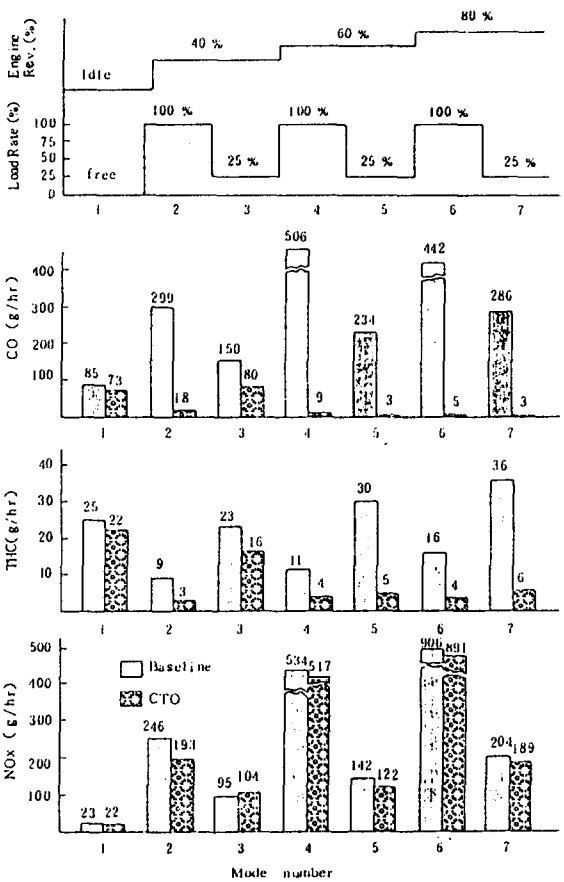

Fig. 6 Diesel exhaust gas test result by 7 mode with and without CTO system (Engine : D0846HM)

4.3 SO_2의 SO_4^{-2} 전환율

경유중 黃化合物은 디젤기관에서 연소시 아황산가스(SO_2)의 형태로 대부분 배출되며 기관의 형태나 운전조건에 따라 상이하나 1~6%는 황산염의 형태로 배출된다. 地域的인 大氣組成이나 온도에 따라 다르나 SO_2의 25~75%는 대기중에서 다시 산화되어 황산암모늄과 같은 입자상물질로 轉換된다고 한다.[14, 15]

디젤기관의 배기관에 CTO와 같은 촉매장치를 부착하면 SO_2의 SO_4^{-2}로의 轉換率은 촉진되어 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 最大負荷로 운전되어 배기가스온도가 높은 4모드 및 6모드에서는 황산기의 배출이 急增함을 알 수 있다.

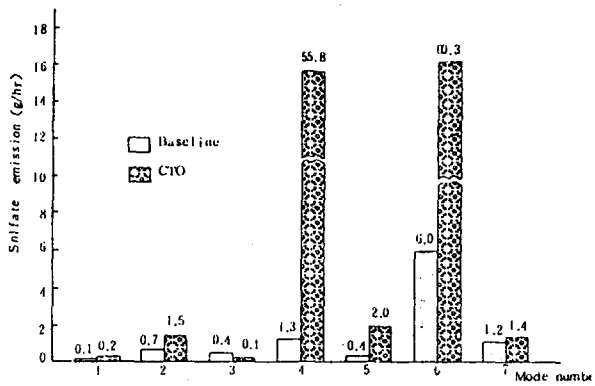

Fig. 7 Sulfate emission with and without CTO

4.4 機關의 性能

機關回轉速度를 1,000rpm에서 2,500rpm까지 200rpm씩 증가시켜 가면서 全負荷 운전시 煤煙排出濃度, 排氣壓力 및 排出가스 濃度를 測定한 結果를 그림 8 및 그림 9에 나타내었다.

그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 매연은 전체

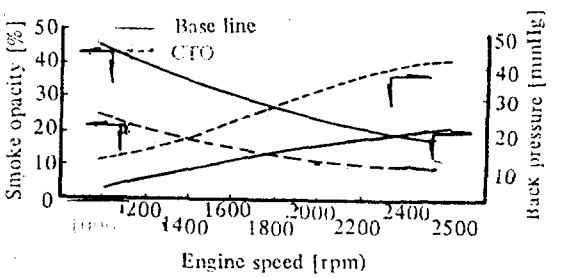

Fig. 8 Smoke emission and back pressure variation with and without CTO system according to engine speed at full load. (Engine : D0846HM)

적으로 50%이상 감소되었으며 背壓 은 機關回轉數의 增加에 따라 增加하여 最大 rpm(2,500 rpm)에서는 40mmHg(544mmH_2O) 이상이 되었다. 그러나 이 정도의 背壓增加는 엔진의 性能에 영향을 미치지 않으며(제조회사의 권장 背壓은 1,000mmH_2O 이하임) 出力 및 에너지消費效率에 미치는 영향은 없었다.

가스상물질은 그림 9에서 볼 수 있는 바와 같이 CO 및 HC는 대폭감소 하였으나 NOx는 거의 변화가 없었다.

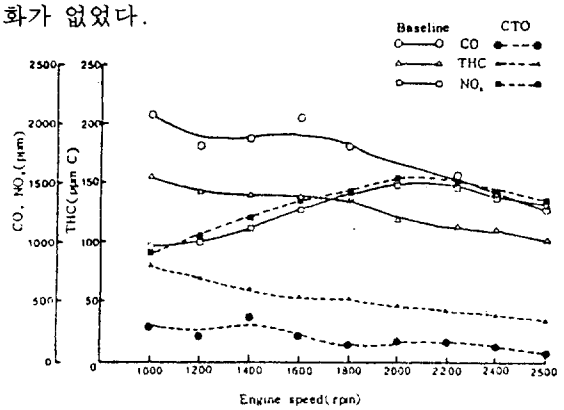

Fig. 9 Gaseous emission trend with and without CTO system according to engine rpm at full load

디젤機關은 가솔린機關과는 달리 空氣가 충분한 상태로 운전되기 때문에 CO 및 HC의 촉매에 의한 산화는 비교적 잘 일어난다. 全負荷에서 배기가스중 산소농도를 측정한 결과 1,000rpm에서 8~10%, 1,500rpm에서 6.5~7.5%, 2,000rpm에서 5~6.5%로서 모든 rpm에서 3% 이상의 산소농도를 유지하고 있어 입자상물질의 산화에는 충분한 산소가 함유되어 있었다.

4.5 煤煙濾過累積 및 再生試驗

CTO의 再生能力을 評價하기 위하여 7모드의 주행시간을 수정하여 배기温度가 400℃를 넘지 않도록 하여 계속 운전하면서 매연을 여과누적시켰다. 연속하여 20시간 이상을 운전하였으나 背壓은 2,000rpm, 最大負荷에서 550mmH_2O 이하로 나타내었으며 출력의 손실은 없었다. 즉 본 연구에 사용한 CTO는 입자상물질을 350℃~400℃에서 산화연소시킬 수 있다고 보았다.

4.6 實車走行試驗

1) 走行路線의 走行패턴 分析

試驗走行路線은 기자촌에서 서대문, 을지로를 거쳐 옥수동에 이르는 노선으로서 무악재 및 금호동 고갯길과 도심주행구간이 포함된 노선이다.

實車走行試驗은 CTO를 장착하고 승객을 태운 상태로 정상적인 주행을 하면서 車速, 機關回轉數 및 악셀페달 위치를 측정하여 표 2 및 3과 같은 결과를 얻었다. 표2에서 볼 수 있는 바와 같이 평균차속은 22.8km/h로서 비교적 양호한 교통소통을 나타내었으나 가속이 29.8%, 감속이 18.8%로서 잦은 가감속이 있었음을 알 수 있다. 또한 표 3에서 볼 수 있는 바와 같이 시내버스의 機關回轉速度와 負荷分布를 보면 아이들링 31.2%, 2,000rpm(80%) 25.7% 및 2,500rpm (100%) 22.6%로서 높은 회전속도에서 운전되고

Table 2. Summary of driving pattern analysis for city bus in Seoul

Average Speed (km/h)	4Mode (%) ID	AC	DC	CR	Average Acc. Rate (kph/sec)	Average Dec. Rate (kph/sec)
22.8	27.2	29.8	18.8	24.2	2.3	3.4

* ID: Idling
AC: Acceleration
DC: Deceleration
CR: Cruise

Table 3. Engine speed-torque matrix analysis result of a test city bus in Seoul

Torque (%)	Engine Speed(%) Idle	40	60	80	100	Total
0	31.2					31.2
0- 2		4.1	5.8	9.3	6.9	25.1
2- 25		1.0	1.1	2.3	3.0	7.4
25- 50		0.6	0.6	1.5	1.4	4.1
50- 75		0.1	0.2	0.2	0.3	0.8
75-100		1.7	5.3	12.4	11.0	30.4
Total	31.2	7.5	13.0	25.7	22.6	100.0

있으며 負荷도 아이들링을 포함한 2% 이하의 低負荷에서 56.3%, 75%이상 高負荷에서 30.4%로 운전되고 있음을 알 수 있다.

2) 實車走行時 排氣温度 및 背壓

CTO의 粒子狀物質濾過 및 再生에 있어 가장 중요한 인자는 排氣温度 및 背壓이다. 本 研究에서 사용한 시내버스의 實走行路線에서의 排出가스温度및 背壓의 연속측정결과는 그림 10과 같으며 排出가스温度의 分布比率은 그림 11과 같다.

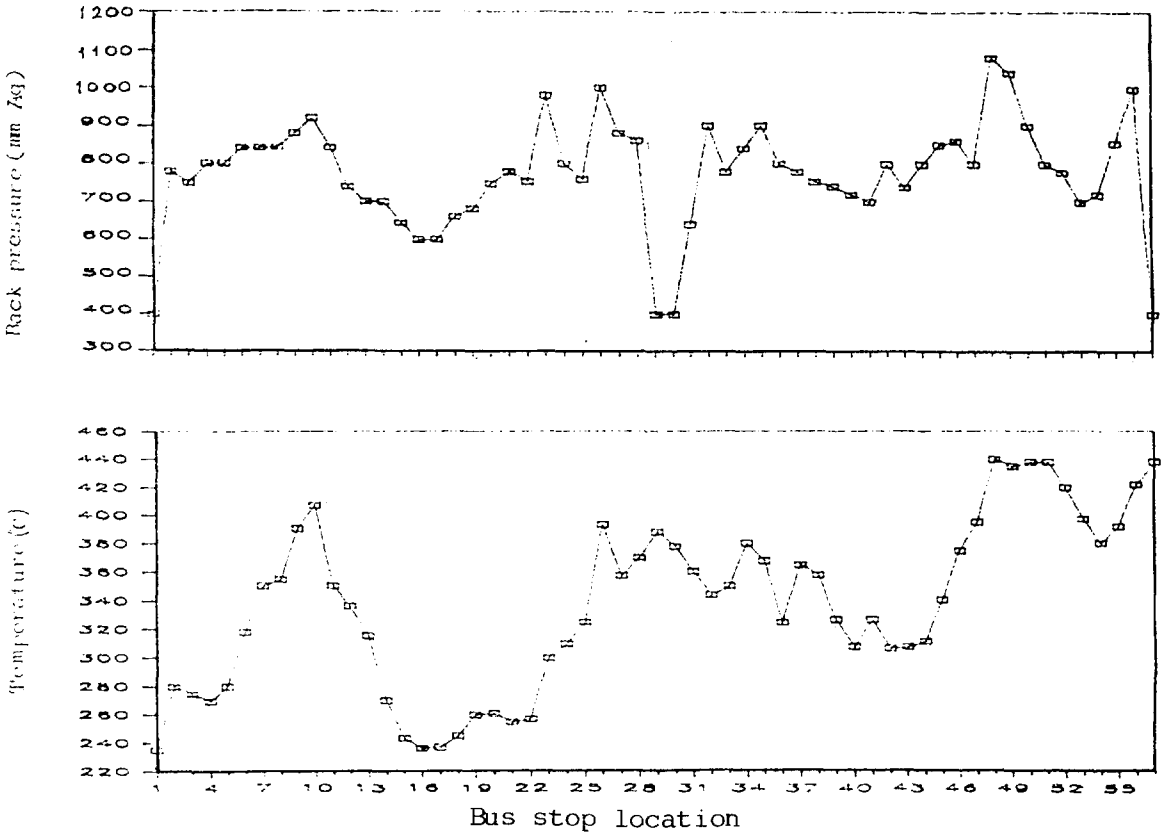

Fig. 10 Exhaust gas temperature and back pressure during actual bus service

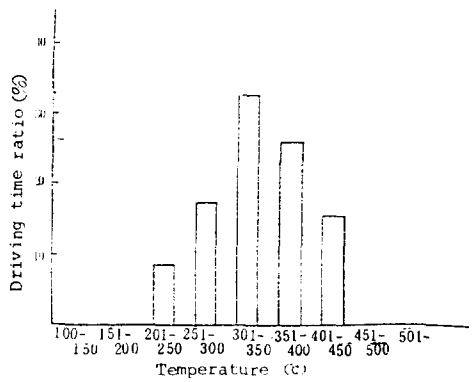

Fig. 11 Exhaust gas temperature distribution for actual running condition with CTO system

그림 10및11에서 볼 수 있는 바와 같이 排出가스温度는 최고 440℃까지 상승하였으며 입자상물질의 再生이 가능한 温度범위인 350℃ 이상이 43%로서 비교적 높은 온도를 유지하였다. 또한 背壓은 전구간에서 1,100mmH_2O를 넘지 않았으며 대부분이 機關製造會社에서 권장하고 있는 1,000mmH_2O이 하였다.

3) 走行性能 및 粒子狀物質 再生

CTO를 장착한 시험자동차의 주행시 기관의 성능에는 문제점을 발견할 수 없었으며 주행시 여과된 입자상물질은 일부 연소되었으며 미연소

된 입자는 누적되어 배압이 증가되었으나 背壓 1,000mmH_2O 정도에서 再生이 일어나 정상상태로 되었으며 3,000km 주행기간동안 매연누적, 재생이 반복되었다.

누적된 매연의 再生시에는 初期의 白煙(white smoke)이 다소 발생되었으나 기타 다른 문제점은 발견할 수 없었다.

CTO에 대한 지금까지 實車走行試驗을 실시한 연구결과를 보면 Enga등[14]은 로스앤젤레스에서 운행하는 시내버스에 CTO를 장착하여 30,000마일 累積走行試驗을 실시한 결과 특별한 부가장치 없이 입자상물질을 재생시킬 수 있었다. Rudolf 등[15]은 네델란드의 시내버스에 적용하여 30,000 km 누적주행시험을 실시하였으며 Pellegrin은[16] 남캘리포니아의 버스에 적용하였고 Hickman 등[17]은 영국의 시내버스에 적용하여 65,000마일 누적주행시험을 실시하였다.

그리고 McCormick 등[18]은 필라델피아 시내버스에, Newman등[19]은 미국의 Tucsun시의 시내버스에 적용하여 40,000마일 누적주행시험을 실시한 바 있다.

5. 結　論

촉매산화여과장치를 D0846HM 機關을 장착한 시내버스에 적용하기 위하여 機關動力計상에서 제반 性能實驗 및 實車走行試驗 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

① 煤煙의 低減率은 54%였고 粒子狀物質 低減率은 45%였다.

② 가스상물질은 CO 90%, HC 60%가저감되었으며 NOx는 다소 저감되었다.

③ 아황산가스가 黃酸鹽으로 轉換하는 率은 7모드시험결과 CTO 사용전 보다 10배나 증가하였다.

④ 實走行路線에서 3,000km 累積走行試驗을 실시한 결과 자체 배출가스 온도에 의하여 여과된 粒子狀物質이 再生되었으며 再生시 약간의 白煙이 發生하였고 기타 機關의 성능에는 큰 문제가 없었다.

〈본 논문은 과학기술처의 특정개발연구비로 수행되었음〉 (원고접수 '89.3.20)

參 考 文 獻

1. Walsh M.P., (1985), Toxic Pollutants from Motor vehicles, Oct.
2. Vernon T. J.M. Lents, and G.L. C. Lagher, (1985), Diesel Emissions Their Formation, Impact and Recommendation for Control, Colorado State. Department of Health, Dec.
3. Laurette L. Hoover-Siegel, (1980), GMR Studies Diesel Health Effects Research. General Motors Research Laboratories. Vol.15, No.5.
4. Mobile source emission standards summary. U.S EPA. (1985).
5. Walsh, M.P., (1985), Worldwide trends of diesel particulate regulation and the development status of diesel particulate control technologies, Oct.
6. Weaver C., (1983), Trap-oxidizer technology for light-duty diesel vehicles : status, prospects and current issues, SAE paper 831713.
7. 金良均 外(1988.9), 輕油自動車 汚染物質 低減對策에 關한 研究(最終報告書), 科學技術處.
8. 金良均外(1987), 輕油自動車 汚染物質 低減對策에 關한 研究(II), 科學技術處
9. N.J. Khatri, J.H. Johnson and D.G. Leddy, The Characterization of the Hydrocarbon and Sulfate Fractions of Diesel Particulate Matter.
10. Becker. E.R. (1985), Catalytic Trap oxidizers for Diesel Particulate Emission Control, Johnson, Matthey Inc.
11. E. Koberstein et al(1983), Catalytically Activated Diesel Exhaust Filters-Engine Test Methods and Results, SAE Paper 830081.
12. E. Koberstein et al(1985), Catalytic Automotive Exhaust Purification The European

Situation 1985, SAE Paper 852094.
13. B. Engler, et al(1986), Catalytically Activated Diesel Particulate Traps-New Development and Applications, SAE Paper 860007.
14. B.E. Enga, J.F. Plakosh, A.E.R. Budd and C. Jaffray.(1985), The evaluation of catalyst particulate control on buses, SAE paper, 850146.
15. Rudolf C. Rijkeboer, Joep A.N.van Ling, and Jouke van der Weide(1986), The catalytic trap oxidizer on a city bus : A duty demonstration program, SAE paper 860134.
16. V. Pellegrin, (1986), The retrofitting of a catalytic trap oxidizer to a metropolitan transit coach, SAE paper 860135.
17. Hickman. A.J.(1986), Performance and durability of a catalyst trap oxidizer installed on a city bus for 65,000 miles of revenue service,SAE paper 860138.
18. McCormick. J. H, Enga B.E. and Cunningham J.(1986), Revenue service evaluation of CTO performance on an RTS2 bus in center city philadelphia, SAE paper 860139.
19. Newman Joel L. and Enga B.E.(1986), Practical application of CTO's to a GM city bus 6V92T engine, A real life investigation, SAE paper 860140.