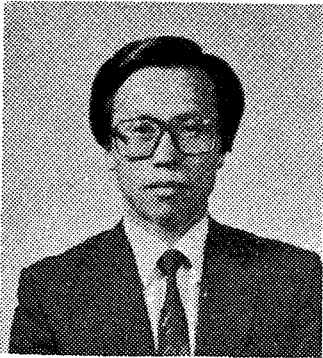


디젤自動車煤煙防止技術^②



국립환경연구원 자동차공해 담당관
技術士 조 강 래

3. 디젤자동차 매연 후처리 기술

디젤자동차에서 배출되는 매연(black smoke 또는 soot은 검게 보이는 탄소성분을 말하며 매연과 高沸點 탄화수소를 主成分으로 하는 粒子狀物質과는 구분되지만 여기서는 입자상물질을 편의상 매연으로 通稱한다)을 배기관을 통하여 대기중으로 배출하기 전에 적당한 방법으로 처리하여 제거하는 기술이 매연 後處理 기술이다. 매연을 제거하는 방법으로는 濾過法, 電氣集塵法, 遠心分離法, 吸收 또는 吸着法 등이 있다. 이들 방법은 모두 다 排氣管으로 배출되는 매연을 捕集한 후 일정한 간격으

로 제거처리하여야 한다. 일단 포집된 매연은 가장 안전한 방법으로 처리하기 위해서는 燃燒 또는 再利用하여야 하는데 運行中인 자동차에서 운전성능 및 燃費 등을 악화시키지 않고 효과적으로 처리하기는 쉬운 문제가 아니다.

일반적으로 煤煙處理裝置의 구비조건은 ①處理效率이 높고, ②재생 또는 처리가 容易하며 ③耐久度 및 信賴性이 있어야 하며 ④維持補修가 쉽고 ⑤설치 및 유지보수 비용이 적게 들며 ⑥燃費에 악영향을 미쳐서는 안되며 ⑦二次公害를 유발하지 않는 裝置이어야 한다.

매연처리장치가 실용화되기 위해서는 자동차 제조자가 이 장치를 그들이 생산하는 자동차에 裝着하여야 하고 구매자는 이 장치가 장착된 자동차를 사주어야 한다. 그러기 위해서는 기술적 및 상업적인 타당성이 있어야 한다.

여기서는 煤煙濾過裝置의 상업적 타당성에 대해서 살펴보고자 한다.

①濾過效率(filtration efficiency)

여과장치의 가장 중요한 목적은 생산이나 시험과정에 있어서 기준을 만족시키는데 충분한 여유를 가지고 기관으로부터 배출되는 매연을 濾過할 수 있어야 한다. 그러므로 濾過效率은 煤煙濾過裝置를 설계하는데 있어서 가장 중요한 요인이며 이는 디젤 기관으로부터 배출되는 매연량과 규제기준에 따라 결정될 것이나 최대 여과효율은 75~83%가 되어야 할 것이다.

②背壓 및 背壓增加率(black pressure and back pressure rise rate)

여과장치는 초기 背壓과 사용에 따른 背壓增加가 기관의 운전에 지장이 없어야 한다. 어느 정도의 背壓이면 만족할 수 있는지는 확실한 자료가 없으나 높은 背壓은 燃費가 악화되고 기관 성능이 나빠진다.

背壓의 증가는 배기가스를 여과장치를 통하여 밀어내는데 많은 힘을 요하며 따라서 자동차를 움직이는데는 필요한 힘의 손실을 가져 올 것이다. 주로 대형자동차에 사용하는 直接噴射式 디젤 기관에서는 背壓의 증가가 기관성능에 예민하게 작용하나 소형자동차에 많이 사용하는 間接噴射式 디젤 기관에서는 背壓의 증가는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 일반적으로 인정되고 있는 평균背壓은 基準背壓의 3~4배 이내 이어야 한다.

그러므로 매연여과장치의 사용에 있어서 背壓은 이 범위 이내이어야 하며 매연여과에 의한 背壓上昇이 濾過裝置 부착 이전의 背壓보다 3~4배 이상 상승하지 않도록 하여야 한다.

③耐久度

미국 EPA에서는 소형자동차의 배출가스 규제기준을 만족시킬 수 있는 耐久度を 50,000 mile로 정하고 있으므로 매연여과장치에 있어서도 최소 50,000mile까지는 수리없이 일반 유지보수만으로 정상적으로 작동하고 여과효율이 유지되어야 한다.

④信賴性(reliability)

여과장치와 이 장치의 조절을 위한 檢出器 및 조절 장치는 耐久度を 만족시키는 기간동안 정상적인 維持補修 이외의 결함이 있어서는 안된다.

⑤製作, 設置 및 유지보수비(cost of manufacture, installation and maintenance)

매연여과장치의 설치, 유지보수에 필요한 적절한 가격은 경유자동차의 燃料經濟性を 포함한 여러가지 여건에 기인하나 미국에 있어서는 소형자동차에 있어서 臺當 500 불을 초과해서는

안된다고 보고 있다. 그러나 이 값은 휘발유 자동차와 디젤자동차의 유지비, 배출가스 규제 기준 및 사회의 요구조건에 따라 크게 다를 것이다.

⑥安全性(safety)

여과장치의 파손, 재생장치 등의 연료누설 등에 의한 화재, 높은 背壓에 의한 자동차의 금지나 성능저하 등이 없어야 한다.

⑦환경에의 영향

여과장치를 장치함으로써 정상적인 자동차에서 발생하지 않는 오염물질이 배출되어서는 안된다. 즉 觸媒濾過酸化裝置에 의한 황산기의 발생, 세라믹 섬유를 여과재로 사용함으로써 석면의 배출 및 燃料 첨가제에 의한 유해한 중금속의 배출 등을 들 수 있다.

⑧중량과 부피(weight and bulk)

여과장치의 무게와 부피는 慣性質量의 증가에 따른 燃料經濟의 악화를 방지하기 위하여 또한 설치장소 등의 문제 때문에 가능한 작아야 한다. 디젤자동차에 있어서는 무게가 125lb 증가하면 燃費는 약 1mile/gallon이 감소한다고 한다.

⑨제작 및 조립의 容易(ease of manufacturing and system integration)

여과장치는 생산자동차에 쉽게 설치할 수 있어야 한다.

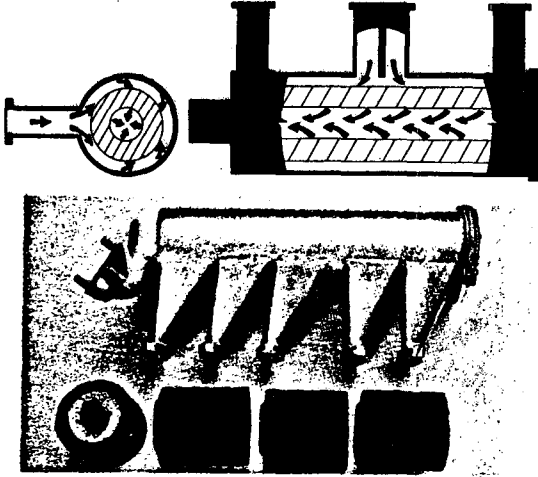
이상의 조건들을 고려하여 지금까지 많은 연구가 되어 실용화되고 있거나, 실용성이 높은 장치로서 Johnson Matthey社에서 발생한 觸媒酸化濾過裝置(Catalytic trap oxidizer, CTO), Corning Glass社에서 발생한 세라믹 여과장치(ceramic monolith trap)와 獨逸의 Mann & Hummel社에서 발생한 시리카-섬유제 여과장치(silica-fiber candle trap)가 있다.

3.1 酸化觸媒濾過裝置(Catalytic trap oxidizer, CTO)

이 장치는 Johnson-Matthey社에서 개발된 것으로서 <그림-1>에서 보는 바와 같이 한 개



이상의 원통형 여과재가 원통형 금속관 안에 들어있다.



〈그림-1〉 산화촉매 여과장치

이 여과재는 스테인레스강선에 세라믹을 코팅한 후 백금계 촉매로 처리한 것을 그림과 같이 만들었다. 배기가스는 여과재의 밖으로부터 원형운동을 하면서 안쪽으로 흘러들어 갈 때 매연은 여과재에 여과된다. 여과재는 밖에서부터 안쪽으로 갈수록 조밀하게 만들어져 있다. 이 장치는 여과재에 촉매가 처리되어 있는 것으로서 휘발유 자동차의 촉매장치와 같이 배기가스에 함유된 일산화탄소 및 탄화수소를 산화시킨다. 이 때에 디젤자동차의 악취물질도 산화되며 매연 중에 함유되어 있는 각종 高沸點炭化水素가 산화되고 이 때 배기가스 온도가 올라가 매연이 燃燒된다.

1) CTO의 설계

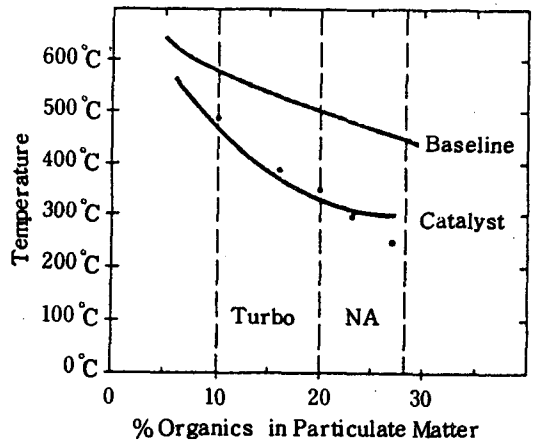
디젤자동차 입자상물질 低減裝置의 설계에 영향을 미치는 주요한 인자는 기관 배기량, 기관형태 및 배기가스 온도이다. 디젤 자동차의 배기량은 같은 크기의 휘발유 차량보다 4~10 배나 가스 흐름이 많기 때문에 디젤 자동차에 사용하는 촉매의 크기는 휘발유자동차보다 커야 한다.

여과재는 스테인레스강선으로 만든 것으로<그

림-1>에서 볼 수 있는 바와 같이 線形의 흐름을 이루도록 만들어졌으며, 이 여과재는 최대의 表面積을 가지면서 배기가스 흐름의 妨害를 최소로 하도록 되어 있다. 이 여과재는 배기가스 매니폴드에 설치하여 배기가스 온도를 최대한 이용할 수 있도록 기관에 가능한 가까이 설치하는 것이 좋으나 기관에 따라서는 騒音器 대신에 이 촉매여과장치를 설치할 수 있다.

일반적으로 2사이클 기관의 배기가스 온도는 낮으므로 배기매니폴드 改造形을 사용하며 4사이클 대형기관은 배기가스 온도가 높으므로 騒音器 대신 사용할 수 있다. 여과재의 밀도는 CTO의 여과특성을 맞추기 위하여 조절할 수 있다. 메시필터(mesh filter)를 만드는 선의 比表面積(S/V)은 장치의 여과 특성에 따라 촉매 장치는 自然噴射機關(naturally aspirated engine)으로부터 배출되는 입자상물질을 산화시키기 위한 온도는 약 350℃가 되어야 한다.

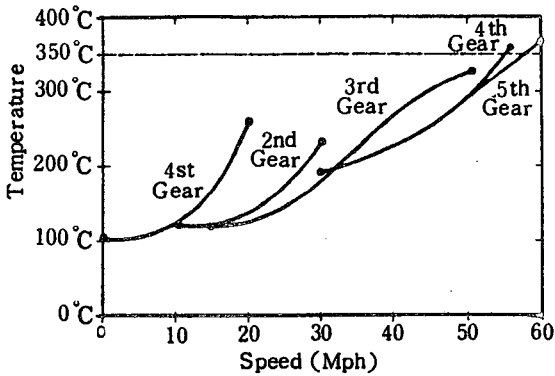
〈그림-2〉는 탄화수소의 함유량 및 촉매 유무



〈그림-2〉 입자상 물질 점화온도

에 따른 粒子狀物質의 點火溫度를 나타낸 것이다. 이 온도는 디젤자동차 기관의 작동범위의 高負荷 조건에서의 온도이다.

〈그림-3〉은 5단 기어를 가진 NA기관에 대한 속도와 배기가스 온도를 나타낸 것이다. 배기가스 온도는 배기가스매니폴드로부터 약 60



〈그림-3〉 배기가스 온도와 차속
(2.0ℓ, 5 speed diesel)

cm 떨어진 배기관에서 측정된 온도이다.

〈표-6〉 CTO의 미량 유해물질 제거 효과

Emission	mg/min	
	Baseline	CTO
Ammonia	66.0	3.2
Phenols	68.0	7.5
Formaldehyde	18.0	0.0
Methylethyl Ketone	14.0	0.0
Benzaldehyde	7.5	0.8
Acetaldehyde	5.3	0.0
Acetone	1.0	0.0
Isobutylaldehyde	4.3	0.0
Crotonaldehyde	1.4	0.0
Hexanaldehyde	1.4	0.0
Benzene	9.0	0.1
Toluene	4.3	0.0

〈표-6〉은 微量 악취물질에 대한 CTO의 제거효율을 나타낸 것이다. CTO는 디젤자동차 배기가스 중의 일산화탄소(CO) 및 가스狀 炭水素(HC)도 산화시킨다.

〈그림-4〉는 CTO를 裝着한 Perkins 4.2ℓ 기관의 배출가스를 측정된 것으로 배출가스 온도 및 負荷에 따라 CO 및 HC의 제거효율을 나타낸 것이다.

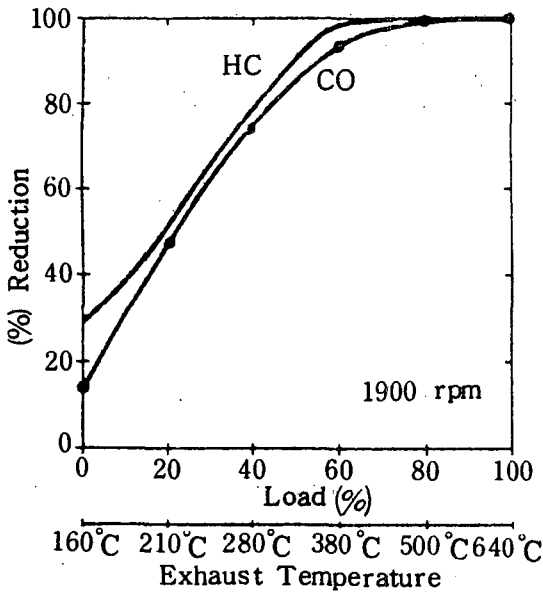
자동차가 작동하는 대부분의 시간은 배기가스 온도가 350°C 이하이며, 입자상물질의 酸化를 위해서는 촉매가 필요하게 된다. 배기가스 온도가 350°C이하에서는 촉매필터는 입자상물질을 포집보관하며 낮은 속도에서는 이 상태가 계속 된다.

2) 觸媒作用

CTO의 觸媒는 몇 가지 기능을 가진다. 첫째 목적은 炭素性 입자물질을 燃焼시키는 낮은 온도의 제공이며 온도가 증가함에 따라 축적된 입자상물질로부터 배출되는 휘발성 물질을 촉매학적으로 산화시키는 기능이다. 이 성질은 芳香族 炭化水素와 관련된 심한 악취물질을 제거할 수 있다.

백금은 처음에는 酸化觸媒로 사용하였기 때문에 SO₂를 SO₃로 산화시켜 黃含有量이 많은 경우를 사용하는 자동차에는 SO₃ 배출이 문제시 된다. SO₃는 대기중에서 수분과 反應하면 황산(H₂SO₄)이 된다. 그러나 특수하게 개량된 백금촉매는 黃을 함유한 경우의 黃酸化合物의 배출을 억제할 수 있다.

〈표-7〉은 온도에 따라 촉매장치의 SO₂ 變



〈그림-4〉 가스상 물질 저감율
(CTO부착 perkins 4.2ℓ기관)

〈표-7〉 SO₂ 전환율

Temperature °C	Conventional Catalyst	Initial CTO	LTD* CTO	Proposed HD* CTD
100	2	2	1	1
200	10	9	3	2
300	15	18	3	2
400	30	26	7	3
500	48	30	10	6
600	61	45	18	8

에서는 입자상 물질의 파괴가 포집보다 빨리 일어나며 濾過 포집된 입자상 물질이 燃燒되어 필터장치가 깨끗이 되고 背壓이 감소된다. 입자상 물질 트랩이 이들 각각의 모드에서 소요되는 시간의 양은 자동차의 운전모드나 均衡溫度(balance temperature)의 函數이다.

각각 상이한 촉매 또는 非촉매 트랩에 대한 균형온도를 Oser 와 Thoms 가 측정 한 것을 보면 다음과 같다.

세라믹 필터 : 553 °C

換率을 50 시간동안 시험한 결과를 나타낸 것이다. 이 표에서 볼 수 있는 바와 같이 Johnson Matthey社에서 개발한 특수 촉매장치는 SO₃의 생성을 크게 억제할 수 있다.

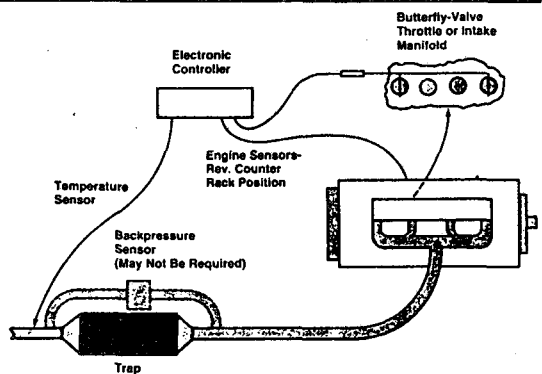
3) CTO작동

CTO는 다음 3 가지 모드에 의해서 작동한다.

○ 粒子狀物質 捕集(Collection phase) : 이 모드에서는 입자상 물질이 포집되며 시간이 지나 감에 따라 背壓이 증가한다. 이 모드에서는 온도가 낮기 때문에 포집된 입자상 물질의 제거를 위한 산화는 일어나지 않으나 CO 및 HC는 산화될 수 있다.

○ 平衡點(balance point) : 이 모드는 입자상 물질의 포집과 산화가 평형을 이루는 點으로 필터의 捕集効率 및 입자상 물질 點火溫度에 따라 다르다. 이 모드에서는 시간에 따라 背壓이 일정하게 유지된다.

○ 再生時期(regeneration phase) : 이 모드



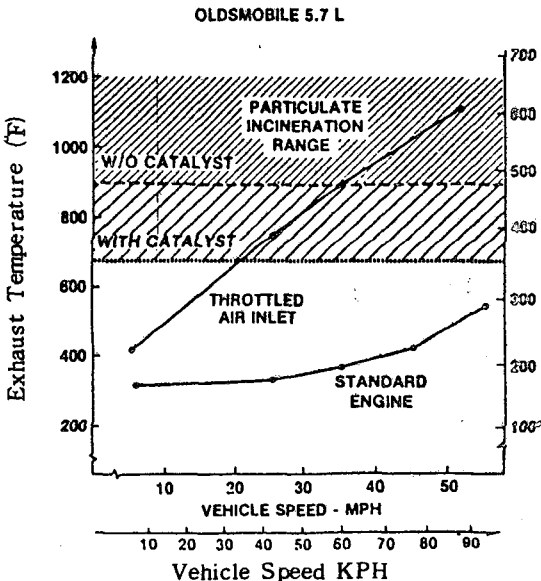
〈그림-5〉 CTO 장치 구성

일반금속 촉매를 입힌 세라믹 필터 : 468℃
 귀금속 촉매를 입힌 세라믹 필터 : 520℃
 귀금속 촉매 CTO : 320℃

4) CTO장치구성

CTO장치는 <그림-5>에서 보는 바와같이 트랩, 電子調節裝置 및 트랩의 입자상 물질은 재생하기 위하여 배기가스중 CO 및 HC량을 증가시키기 위한 吸入 매니폴드의 나비형 밸브 (butterfly valve)로 구성되어 있다.

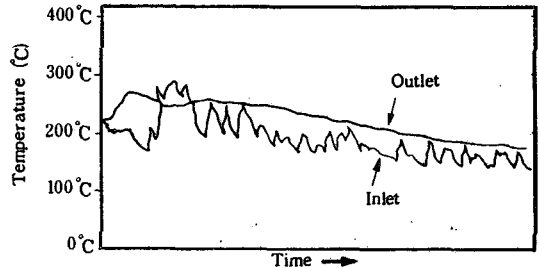
이 장치는 다른 장치에 비하여 구조가 간단하고 背壓이 적게 걸리며, 재생조작이 간단할 뿐만 아니라 일산화탄소나 탄화수소까지도 저감시키는 장점이 있다. 재생을 위해서 배기가스 온도를 높이기 위한 조치만 하면 된다. 그러나 이 장치의 결점은 촉매로 귀금속을 사용하기 때문에 필터장치의 비용이 많이 들며 특히 배출가스량이 대형자동차에 대해서는 많은 비용이 소요된다. 吸氣의 드로틀링에 의해 배기가스 온도를 높일 때와 標準機關의 연속과 배기가스 온도의 관계를 보면 <그림-6>과 같다.



<그림-6> 배기가스온도에 대한 흡입스트링 효과

5) 소형 디젤자동차에 CTO應用 過給機가 부착된 2.4ℓ Fiat 131세단에 CTO JMB/11형을 장치하여 배기가스 저감성능을 EPA의 자금에 의해 SWRI(south west research institute)에서 실험하였다.

실험방법은 10분간 온도조절된 실내에서 방치한 후 4단기어에서 64km/h로 1시간 운전하고 LA-4 모드에 의해 운전후 백에 試料를 採取分析하였다. 이 실험시 배기가스 온도는<그림-7>과 같으며 온도는 때때로 300℃에 도달하였다.



<그림-7> Hot Start LA-4Cycle에 의한 온도 측정

NYCC(New York City Cycle) 모드는 아이들링 시간이 많은 도시의 저속 모드이며 짧고 급격한 가속모드를 포함한다. 이 모드의 촉매 입구 온도는 200℃이하였다. FTP(Federal test procedure) 모드는 중간온도의 모드이며 때때로 배출가스 온도가 300℃에 도달하고 고속도로 燃費모드(highway fuel economy cycle)는 고속모드로서 배출가스 온도가 350~400℃에 도달하였다. <表-8>에 3개의 代表모드와 85km/h의 定速모드에서 CTO의 배출가스 저감율을 측정하여 나타내었다.

이 표에서 볼 수 있는 바와같이 모든 모드에서 오염물질이 감소하였으며 다만 입자상물질·연소시 높은 온도 때문에 질소산화물이 약간 증가하였다.

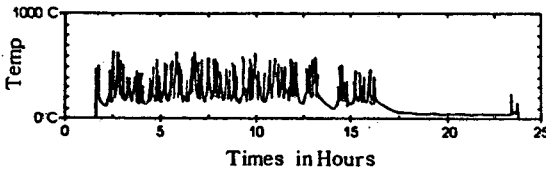
CTO장치는 (JMB) Volkswagen Rabbit 에 설치하여 50,000 mile 시험을 1982년도에完了하였으며 만족할만한 결과를 얻었다.

〈표-8〉 평균 오염물질 저감율

Test	HC	CO	NO _x	Particulate
3 Bag FTP	60 %	73 %	- 3 %	72 %
HFET	75 %	84 %	- 5 %	46 %
NYCC	76 %	76 %	- 7 %	69 %
85km/H Steady State	96 %	88 %	- 11 %	27 %

6) 대형 디젤자동차에 CTO應用

장기간 낮은 배기가스 온도에서 운전되는 소형 디젤자동차에 비하여 트럭이나 버스와 같은 대형 디젤자동차의 배출가스 온도는 자주 높은 온도에 도달한다. 〈그림-8〉에 버스의 배출가스 온도 기록 결과를 나타내었다.



〈그림-8〉 버너의 배출가스 온도 측정

대형 경유자동차는 운전시간의 최소 25% 이상이 보조수단없이 濾過捕集된 입자상 물질을 재생시킬 수 있는 상태에서 운전되고 있다. CTO의 대형 경유자동차에 대한 실험은 로스

엔젤레스, 필라델피아, Tucson과 같은 미국의 도시에서 실험하고 있을 뿐만 아니라 유럽의 Munich, Cologne, Rotterdam 및 Upsala와 같은 도시에서도 실험하고 있다. Rudolf C. Rijkeboer, et al.(1986)은 Netherland의 Rotterdam市の 시내 버스에 CTO를 裝着하고 30,000km 시험을 실시하였으며 계속 시험중에 있다. V. Pellegrim(1986)은 캘리포니아의 운행중인 버스에 CTO를 장착하여 실험중에 있으며 A. J. Hickman et al.(1986)은 영국의 시내버스에 CTO를 장착하여 65,000 mile 시험을 하였다.

한편 J.H. McCormick et al.(1986) 및 J.L. Newman 및 B.E. Enga(1986)는 필라델피아 및 Tucson市에서 시내버스에 CTO를 장착하여 시험한 결과 전반적으로 좋은 결과를 얻었다. <다음호에 계속>

주소 변경시는 꼭 알려주십시오.

회원·회원사·명예회원 및 협회보나 명예회원보를
 받아보시는 여러분께선 주소변경이 있을 경우 전화나
 서면으로 본협회 홍보부에 알려 주십시오.
 서울시 중구 남대문로 4가 45 대한상의 12층
 (지방의 경우 본협회지부에 연락)

환경관리기술사 국가기술자격검정 대비세미나개최

기간: 1987. 2. 21 ~ 1987. 4. 11 (매주 토: 15:00~18:00 일: 10:00~16:00)

분야및과목: 대기관리 및 수질관리 해당항목

강의내용: 출제기준의 기본이론 및 과년도 출제문제의 예상문제 해설

수강접수: 1987. 2. 18일까지 본 연수원에 서신 및 전화(778-5526, 779-2818~9) 접수

강의장소: 본 연수원 특별강의실

* 본 연수원은 수년간 국내 유일한 환경관리 기술사 국가기술자격 검정 대비를 개최하여 많은 기술사를 배출하였음.

한국 공해 관리 연수원

1. 검정시행일자

회 별	원서접수	필기시험	필기시험예정자 발표 (예정)	구비서류 제 출	경력심사 발표(예정)	면접시험	합격자발표 (예정)
29	3. 19~ 3. 23	4. 26~ 5. 2	6. 1.	6. 8~ 6. 10	6. 29.	7. 13~ 7. 21	8. 4.

2. 시험과목

분 야	대 기 관 리	수 질 관 리
시험과목	대기오염의 현상과 계획, 관리, 방지 및 측정기술에 관한 사항	폐수 및 폐기물의 처리, 토양 하천 및 해양 오염, 기타 환경오염의 현상과 계획 및 관리, 방지에 관한 사항

우리모두 에너지절약

- 대중교통 이용하기
- 가까운거리는 걸어다니기
- 한집 한등끄기