시내버스 매연저감기술

조 강래/국립환경연구원 자동차공해연구소 소장

1. 서 론

요즈음 서울을 비롯한 우리나라의 대도시에 있어서 자동차배출가스에 의한 대기오염이 점점 악화되어 가고 있다. 이는 최근 급격히 증가하는 자동차와 이로 인한 교통정체로 자동차로 부터 배출되는 오염물질량이 증가되고 있기 때문이다.

자동차로 부터 배출되는 오염물질은 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC), 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx)및 입자상물질(매연을 포함한 고비점 탄화수소등)을 들 수 있으며 가솔린자동차와 액화석유가스(LPG)를 연료로 사용하는 자동차 즉 택시는 CO, HC 및 NOx를 많이 배출하며, 디젤자동차는 입자상물질 및 NOx를 많이 배출한다. SOx는 연료중에 함유된 황의 연소에 의하여 배출되므로 경유를 연료로 사용하는 디젤자동차가 가솔린자동차보다 많이 배출되나 전체 SOx 배출량에 비하면 자동차가 차지하는 비율은 크지 않다.

우리나라는 1987년 7월 부터 가솔린 및 LPG 자동차에 대해서는 엄격한 배출가스 규제를 실시하여 삼원촉매장치를 부착 오염물질을 정화하고 있기 때문에 CO, HC 및 NOx는 기존 자동차에 비하여 대폭저감시킬수 있었다. 그러나 디젤자동차에 있어서는 배출가스 허용기준이 엄격하지 못하고 선진국에 비하여 배출가스 방지기술이 뒤떨어져 있기 때문에 디젤자동차로 부터 배출되는 오염물질이 문제시 되고 있다.

특히 우리나라는 디젤자동차의 보유비율이 43%로서 세계 어느 나라보다 높을뿐만 아니라 일일주행거리가 길고 과승, 과적, 과속등 사용조건이 가혹하기 때문에 매연등 입자상물질의 배출이 많아 시각적으로 불쾌할 뿐만 아니라 디젤배출가스 중에는 알데히드와 같은 악취물질을 많이 함유하고 있기 때문에 교통정체시 버스나 대형트럭 후미를 뒤 따르는 자동차 운전자는 불쾌한냄새 때문에 고통을 느끼게 된다.

시내버스는 전체 자동차 보유대수에 비하여 숫자는 적으나 일일 주행거리가 길고 주민의 생활공간인 도심 및 주택가를 주행하면서 많은 오염물질을 배출하고 있다. 즉 서울에서 운행되고 있는 시내버스는 약 8, 300여

대로서 일일평균 주행거리는 2, 805천km이며, 하루에 6290kg (2, 296톤/년)의 입자상물질을 배출하므로서 등록대수는 전체 자동차의 1%정도 이나 입자상물질 배출량은 24%나 된다.

이러한 시내버스는 일정한 버스노선을 정기적으로 운행하고 있는 대중교통수단으로서 일정 규모의 회사(대부분 시내버스 100대이상 보유)가 운영하며 잘 훈련된 정비요원을 확보하고 일정주기마다 비교적 양호한 상태로 정비 운영하고 있으나 출퇴근시 불가피한 과승과 운행시간에 쫓겨급가속, 감속 및 과속을 할수 밖에 없기 때문에 때로는 버스의 정격출력보다 출력을 높게 조절하므로서 매연을 과다 배출하고 있는 경우도 있다.

자가용버스나 일반트럭과는 달리 회사운영, 정비조건 구비, 일정구간 운행 및 요금을 징수하는 대중교통수단 등, 특수한 운영여건을 갖추고 있기 때문에 시내버스에 있어서는 보다 엄격한 매연방지기술의 적용이 가능하여 외국에 있어서도 보다 엄격한 배출가스허용기준을 적용하기도 하고, 운행중인 시내버스에 방지장치를 부착 운행하므로서 매연을 저감시키고 있다. 이와 같은 매연방지기술로서 현재 실용화하고 있거나 실용화가 가능한 기술은 기체연료(LPG 또는 CNG) 분사에 의한 매연방지기술, 매연여과기술, 연료전환기술 및 연료첨가제 사용등이 있다.

우리나라에서도 현재 문제시 되고 있는 시내버스의 매연을 저감시키기 위하여 가능한 매연방지기술의 적용을 위한 응용기술개발연구가 요구되여 그간 필자등에 의해 연구가 추진되었던 몇가지의 기술에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

2. 기체연료분사에 의한 매연저감기술

2.1 매연저감 이론

디젤기관의 연소는 단열압축에 의하여 경유의 자연발화온도 이상으로 가열된 압축공기중에 미세한 입자로 연료를 분사시켜 일어난다. 이때 연소속도는 온도와 산소농도차에 의하여 크게상이하다. 즉 저부하에서는 연소실내에 충분한 공기가 있으므로 연소 속도는 최대가 되나 부하가 증가하면 제한된 산소농도에 대한 연료의 연소는 경쟁적으로 되어 연소속도가 저하하는 경향이있다. 또한 연료가 충분히 미세한 입자로 되고 공기와 잘 혼합되어 확산된다 하더라도 연료의 입자는 먼저 증발하고나서 점화되므로 온도차와 함께 연료 공기 농도차는 불가피하여 주어진 시간내에 완전한 연소를 촉진시키기 위해서는 충분한 산소가 공급되어야 한다. 그러나 기관의 연소실은 정용적이므로 공기공급에 제한을 받는다.

디젤기관의 흡입공기에 가스상 보조연료의 증기를 공급하면 실린더내에서 압축되기전에 균일한 연료 공기의 혼합물이 만들어 지고 경유가 분사되면 점화된다. 이때 보조연료는 충분히 높은 자연발화온도를 가지며 충분히 묽은 혼합기체이므로 다른 수단에 의한 높은 에너지의 불꽃을 만나기 전에는 점화가 일어나지 않는다. 디젤연소실에 묽고 균일한 혼합기체가 존재하면 앞에서 설명한 디젤기관의 부하증가에 따라 일어나는 결점을 감소시킬수 있다.

흡입공기에 혼합된 보조연료는 압축가열되므로 일부가 예비연소반응이 일어나 압축공기의 온도를 증가시킬 수 있다. 또한 이 반응은 자유기를 생성하므로 연료의 화학적 반응성을 증가시킨다. 이러한 영향은 분사된 연료의 점화를 촉진시키고 기관에서 요구되는 세탄가를 줄일 수 있다. 이러한 조건하에서는 연소가 상사점 가까이에서 거의 완료되어 짧은 기간중에 비교적 높은 압력을 나타내므로 출력과 열효율이 높아지고 매연 및 질소산화물이 저감되며 연소실내에서 침전물의 퇴적이 감소된다.

압축점화기관 즉 디젤기관에 사용되는 연료는 점화와 연소에 대한 시간이 아주 중요하다. 즉, 점화가 조금만 지연되어도 많은 매연이 배출되며 성능이 저하된다.

디젤기관에 보조연료를 사용하여 매연을 감소시키기 위해서는 옥탄가가 높은 연료를 기체상으로 하여 흡입공기와 혼합시켜 실린더에 공급한 후 압축시키고 세탄가가 높은 경유를 보통방법으로 분사시켜 자연발화시킨다. 보조연료로 사용할 수 있는 연료는 옥탄가가 높은 연료로서 액화천연가스(LNG) 또는 압축천연가스(CNG), LPG, 수소, 합성가스, 암모니아와 같은 기체연료와, 가솔린, 메타놀, 에타놀과 같은 쉽게 기화할 수 있는 연료등을 들수 있다.

이러한 보조연료는 그림1에서 볼수 있는 바와 같이 고부하영역에서 일정량(LPG인 경우 약30%, CNG인 경우 약80%)을 경유대신 흡입공기를 통해 공급하므로서 출력의 손실없이 매연을 감소시킬수 있다.

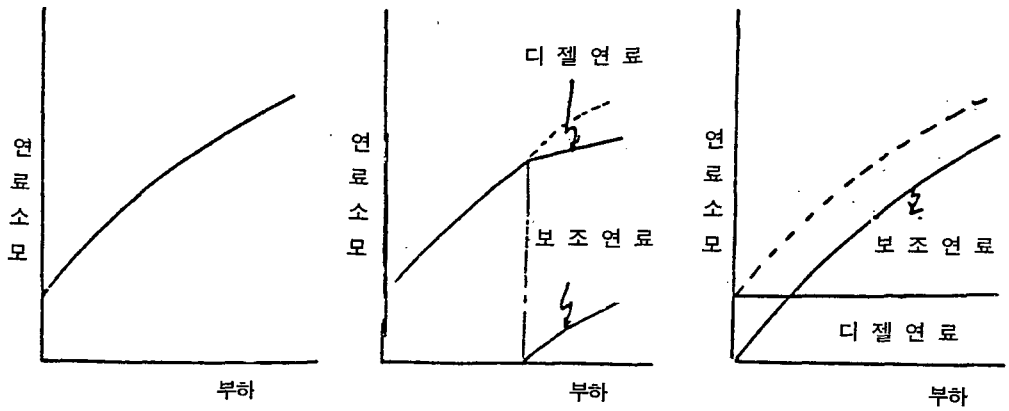


그림 1. 디젤자동차의 기체연료 사용방법

2.2 기체연료 분사장치의 개요

기존의 디젤기관을 크게 개조하지 않고 간단한 개조에 의해 연료의 일부를 기체연료로 전환하여 매연을 저감시키는 장치를 Dual Fuel System이라 한다. 이 장치는 운행중인 자동차에 적용할수 있을뿐만 아니라 제작자동차에 대해서도 기존시설을 그대로 활용하면서 매연이 적게 배출되는 디젤자동차를 생산할 수 있을 것이다. 이러한 장치는 현재 오스트리아의 비엔나, 프랑스 낭시, 일본 동경, 오사카, 대만 카나다 등지에서 실용화하고 있거나 실용화를 위한 주행실험을 하고 있으며 우리나라에 있어서도 필자등이 시내버스에 장착하여 실용화시험을 실시한 바 있다.

기체 연료를 디젤기관에 도입하여 혼합연소시키는 방법은 크게 두가지로 구분된다. 즉, 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 기체연료를 보조연료(supplementary fueling)로 사용하는 방법과 기체연료를 주연료로 사용하고 경유를 점화원으로 사용하는 pilot fuel injection방법이 있다.

보조연료 방법에는 기체연료를 기관의 흡기부압에 의해 기관의 흡입공기에 혼합하여 공급하는 fumigation방법과 기관의 운전 조건에 따라 일정량의 기체연료를 실린더에 주입하는 injection이 있다. 비엔나, 낭시에서 실용화하고 있고 대만, 우리나라에서 실용화시험중에 있는 장치는 흡기부압에 의한 fumigation방법이며 오사카에서 실용화시험중에 있는 것은 injection방법이다. 그리고 카나다에서 실용화시험중에 있는 것은 CNG를 연료로 하는 pilot fuel injection 방법으로서 100%부하에서 CNG85%이상 공급하고 있다.

필자등이 우리나라에서 실용화시험을 실시한바 있는 장치의 구조 개략도는 그림 2와 같다.

그림 2에서 볼수 있는 바와 같이 기존 디젤기관의 연료분사 펌프를 조절하여 경유가 최대 연료공급량의 70%정도가 공급되도록하고 저감된 30%정도의 경유에 해당하는 에너지는 LPG공급장치를 통하여 흡입공기에 공급된 LPG에 의하여 공급되도록 설계된 장치이다. ①의 LPG탱크에 액체상태로 저장된 LPG는 ②의 LPG밸브가 열리면 ③의 기화기(vaporizer)에 공급되는데 이 기화기는 기관 냉각수에 의하여 가열되어 액체상태의 LPG가 기체상태로 된다. 기체상태의 LPG는 ④의 LPG유량 제어기에 의하여 기관의 운전조건에 따라 유량이 조절된다. 이 유량의 조절은 ⑦의 기관회전속도와 ⑧의 액셀페달위치검지기(TPS)의 신호를 받아 ⑥의 전자조절장치(ECM)가 적당량의 유량을 계산하고 의LPG 유량제어기의 가스통로를 저절하므로서 ④의 벤튜리에 요구량의 LPG를 공급한다.

카나다 AFS international사 및 SPI에서 Mer-

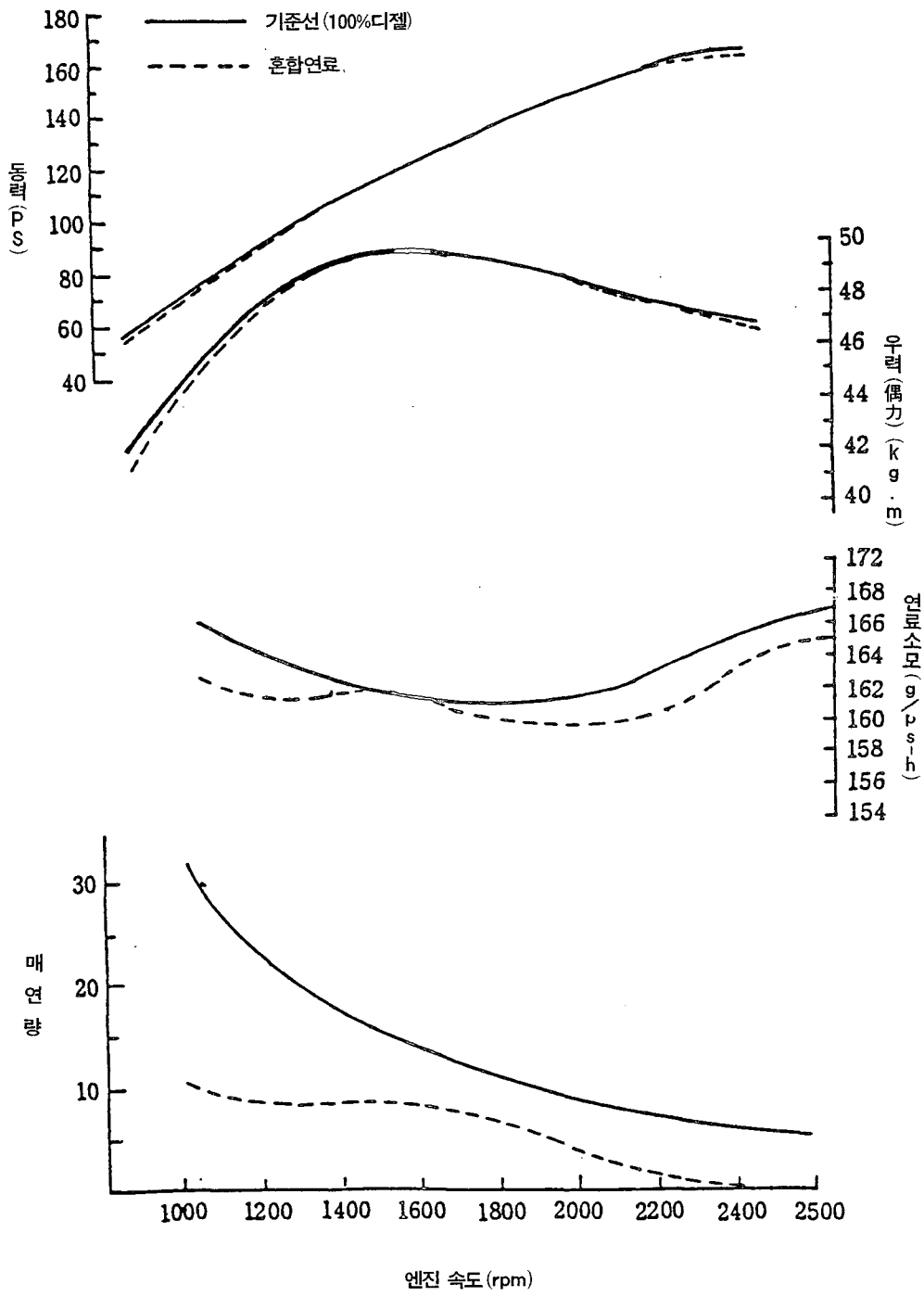


그림 4. LPG 혼소장치에 의한 디젤기관 성능특성

공급하므로서 출력손실을 보상하였다. 이렇게 되면 필연적으로 매연절감율이 감소되나 시험용 시내버스의 추적조사 결과 시각적으로 느끼는 매연절감율은 현저히 나타났다.

본장치의 고장이 발생할 수 있는 주요부품은 기관의 회전수 측정부, TPS(Throttle Position Sensor : 액셀페달을 밟을 때 연료분사펌프의 연료공급유량을 조절하는 레버의 각도를 측정하는 센서) 및 LPG유량을 조절하는 스텝모터와 전자조절장치(ECM)이다. 여기서 특히 기계적인 고장이 자주일어날수 있는 요인은 회전수 측정센서의 연결부가 연료분사펌프 회전축에 기계적으로 연결되어 있기 때문에 편심등의 사유로 자주 파손되어 비접촉식인 전자식구조로 교체하므로서 해소시킬 수 있었으나, TPS 및 스텝모터 등과 함께 내구도가 충분히 검토되어야 할 부분이었다.

본 장치의 실용화시험시 도출된 기술적인 문제점은 기 설명한 바와 같이 기관회전속도측정부의 고장과 기타 부품의 내구도가 요구되었으나 여기서 사용한 모든 부품이 수입된 부품이며 이 장치의 국내 제작기술의 미개발 등으로 전문적인 기술이 부족하여 원활한 아프터서비스가 이루어지지 않았고 다음과 같은 기술외적인 문제점이 있어 본 장치의 실용화를 위해서는 보완되어야 할 많은 문제점이 남아 있다고 보며, 이러한 문제점은 우리나라의 기술로 충분히 보완될 수 있다고 본다.

우리나라의 시내버스 주행조건은 외국의 도시 시내버스 주행조건에 비하여 가혹하다. 즉 출퇴근 시간대의 과승, 운행시간을 맞추기 위한 무리한 운전, 잦은 정차, 발차 및 많은 언덕길등 외국에 비하여 운전기사들이 정상적인 운전을 하기에는 무리한 조건이다. 그러므로 운전자들이 힘이 좋고 발진가속성이 좋은 자동차를 요구하게 되고 이러한 조건을 충족시킬수 있다면 매연의 배출이 증가된다 하더라도 출력증가를 선호하게 된다. 또한 대부분 외국의 공영체제에 의한 시내버스 운영과는 달리 개인회사에 의한 시내버스 운영은 영리우선이기 때문에 경쟁노선에서의 경쟁적인 운행은 매연방지장치의 부착 등에 의한 매연의 감소는 금전적인 부담일뿐만 아니라 감수해야 할 여러가지 불편한 점이 많기 때문에 경영자의 자발적인 참여와 노력이 부족하고 운전기사나 정비사의 협조 또한 미흡한 실정이다.

특히 시내버스 회사의 연료공급은 자체주유소를 보유하고 있기 때문에 주유시 불편이 없으나 LPG공급시는 1일 1회 LPG충전소까지 시내버스를 운전하여 LPG를 충전해야 하기 때문에 시간적으로나 육체적으로 경유만을 사용하는 버스기사보다 불편하여 불평의 소지가 되고 방지장치의 사용을 기피하게 된다.

이러한 여건하에서 LPG 혼소장치의 실용화를 위해서는 우선 장치의 국산화가 이루어져야 하며 시내버스 제작회사, 시내버스회사 등 관련업체의 적극적인 협조와 참여가 있어야 할 것으로 본다.

3. 입자상물질 여과기술

디젤자동차의 입자상물질이 천식, 기관지염 및 폐기종과 같은 만성적인 폐질병에 영향을 미치며 발암을 일으킬 수 있는 가능성이 있다는 것이 많은 연구결과 밝혀지고 도시의 부유분진 농도를 증가시켜 가시거리를 짧게 하고 건물등 재산을 오염시키기 때문에 디젤자동차의 매연을 저감시켜야 한다는 필요성이 강조되어 미국에서는 디젤입자상물질의 허용기준을 표 1과 같이 제정하게 되었고 단계적인 기준강화를 설정하게 되므로 미국을 비롯한 각국에서는 디젤자동차 입자상물질 저감기술개발에 박차를 가하여 오늘날 디젤입자상물질 후처리기술인 여과기술은 실용화 단계에 까지 왔다.

표 1에서 승용차 및 소형트럭에 대한 캘리포니아 규제를 보면 1989년부터 0.08g/mile로 엄격한 규제를 실시하고 있다.

현재 이 규제치를 만족시키기 위하여 일부 자동차회사(벤즈자동차등)에서는 입자상물질 여과장치를 부착한 자동차를 개발 캘리포니아주의 인증검사를 획득한 바 있으나, 최근 미국의 디젤승용차에 대한 선호도의 격감으로 수요가 적고 내구도등 기술상의 약간의 문제점이 있어 거의 판매되고 있지 않은 실정이나 향후 석유가의 급등과 기타 여건의 변화로 디젤승용차의 수요가 증가하면 기술상의 문제는 해결될수 있으리라고 본다. 한편 대형디젤자동차에 대한 기준은 1991년부터 입자상물질 기준이 0.6g/b.hp-hr에서 0.25g/b.hp-hr로 강화하기로 되어 있다. 입자상물질 0.25g/b.hp-hr의 기준은 후처리장치를 부착하지 않아도 엔진의 개량(EM : engine modification), 연료품질개선(황함유량

cedes OM-352 디젤기관에 적용하기 위하여 개발한 Duel fuel retrofit kit의 장치구성도는 그림 3과 같다.

위에서 소개한 두가지 장치외에 사용연료, 연료공급 방식에 따라 상이한 장치가 있을수 있으며 최근 기체연료의 인젝터개발과 가솔린자동차에 적용하고 있는 전자조절 장치 및 센서기술을 디젤자동차에 이용하게 되면 더욱 성능이 우수한 dual fuel system이 개발되리라 본다.

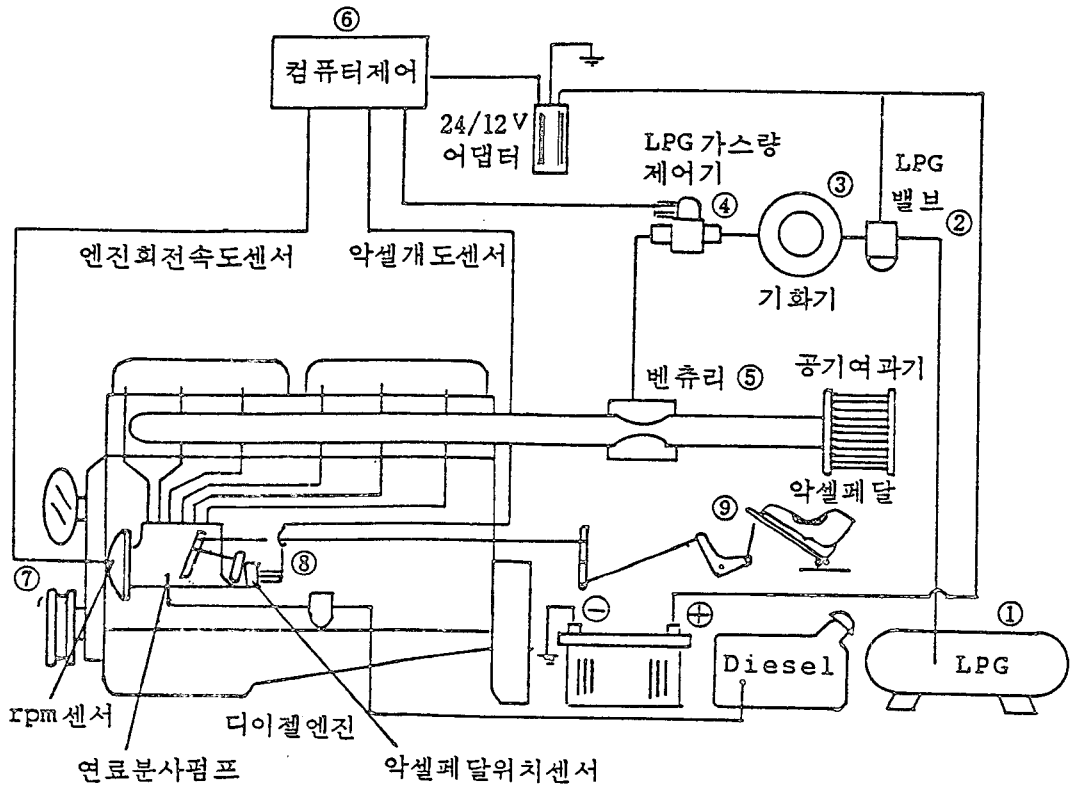


그림 2. LPG 혼소장치의 구성도

2.3 기체연료분사에 의한 기관성능 및 매연저감 효율

기체연료를 보조연료로 사용하는 디젤기관에 있어서의 경유를 기체연료로 대체할수 있는 양은 기관의 압축비와 기체연료의 옥탄가에 따라 상이하다. 즉, 기관의 압축비를 조정하지 않는한 LPG는 20-30%정도가 적합하며 옥탄가가 높은 CNG는 더 많은 경유량을 대체할 수 있다.

필자등이 그간 우리나라의 시내버스에 많이 사용하고 있는 DO846HM기관을 대상으로 없이 경유를 LPG로 대체할 수 있는 양은 30%정도 였으며 LPG량이 많을 때는 녹킹이 일어나는 경우가 있었다. LPG 분사장치를 DO846HM기관에 설치하여 기관동력계상에서 측정한 기관의 성능은 그림 4와 같다.

그림 4에서 기체연료의 공급조건은 경유를 시험기관의 최대토오크를 얻을수 있는 기관 회전수인 1600rpm에서 최대연료 사용량의 70%경유가 공급될수 있도록 경유 분사펌프의 출력조절스크류를 조절하고 100%경유 사용시와 같은 출력을 얻을 수 있을 때까지 LPG를 공급하였다. 그림에서 볼수 있는 바와 같이 약30%의 LPG를 공급하므로서 출력에는 큰 손상없이 매연을 평균 65%(30%-93%) 저감시킬수 있었으며 연료소비량은 에너지기준으로 평균 2.4% 저감되었다.

본 장치의 실차적용시험을 위하여 본 장치를 DO846

HM기관을 장착한 시내버스에 설치하고 실제 시내버스노선에 투입 실용화시험을 실시하였다. 시험조건은 기관동력계상에서 실시한 바와 같은 조건으로 조절하여 운행한 결과 발진가속시를 제외하고는 매연저감율이 양호하였으나, 발진가속성이 떨어지고 전반적으로 출력이 부족하다는 운전기사들의 불만이 있었다. 이는 본 장치의 시험조건은 시험기관의 정상출력상태(경유분사펌프의 규정유량으로 조절한 상태)에서 사용 경유의 30%를 LPG로 대체 사용하도록 하므로서 매연을 저감하려고 시도 하였으나 시험에 사용한 시내버스의 대부분이 실제 정격출력 보다 연료유량을 10-20%정도 상향조정하여 운행하고 있었다.

그렇기 때문에 정상출력상태로 운행하면 출력의 저하가 실제로 10-20% 저하되는 결과를 초래한다. 그러므로 이러한 문제점을 해소하기 위하여 경유 70% : LPG 30%로 조절후 다시 경유를 5-10%정도 더

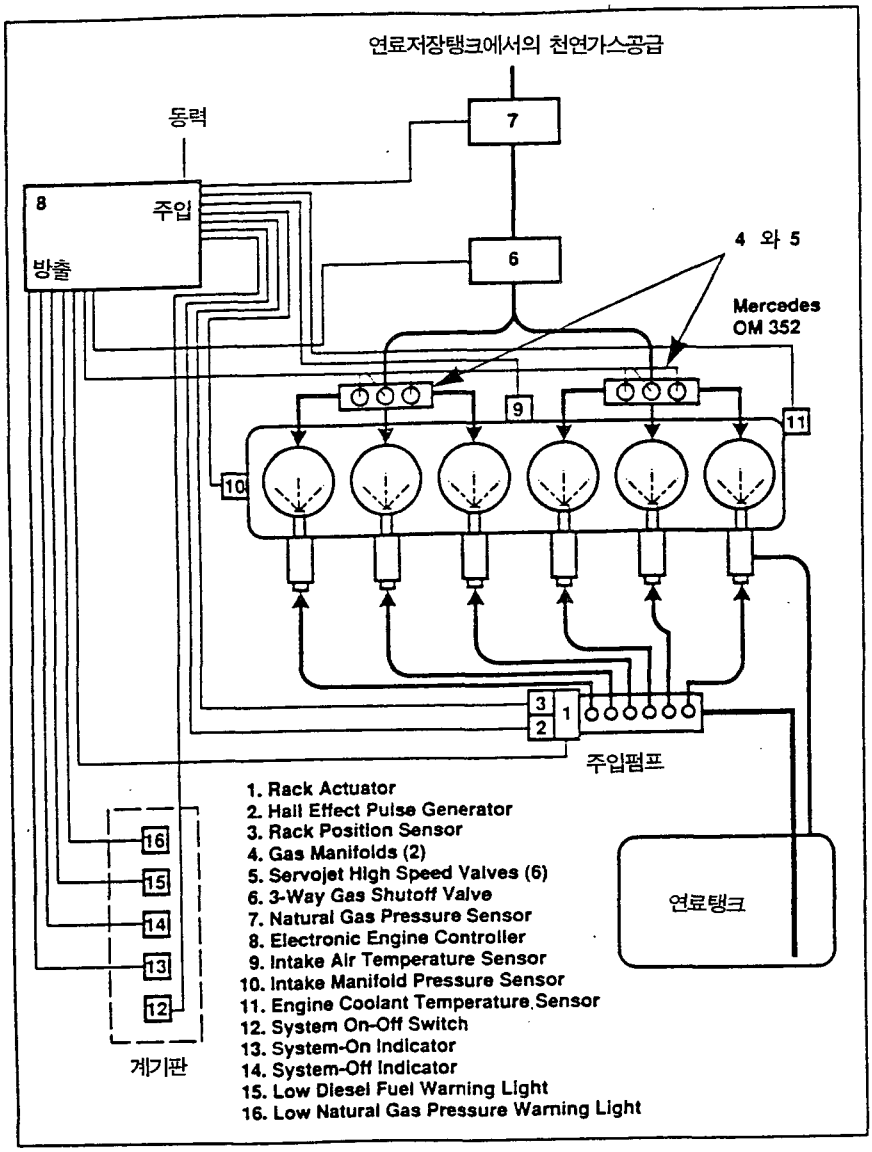


그림 3. 이중연료 역류접합장치

적용년도	승 용 차	소 형 트 럭	대형 자동차	시 내 버 스
1982-1986	0.6 g/mile	0.6 g/mile	-	-
1987 이후	0.2 g/mile	0.26 g/mile	-	-
1989 이후	(0.08 g/mile)	(0.08 g/mile)		-
1988-1990	-	-	0.6 g/b.hp-hr	0.6 g/b.hp-hr
1991-1993	-	-	0.25 g/b.hp-hr	0.1 g/b.hp-hr
1994 이후	-	-	0.1 g/b.hp-hr	0.1 g/b.hp-hr

( )는 California 기준

표1. 디젤자동차 입자상물질 허용기준

0.05%이하)을 통하여 만족시키거나 필요시는 입자상물질 중 유기물질인 고비점탄화수소(SOF : Soluble organic fraction)를 제거시키기 위하여 산화촉매장치를 사용하는 등의 기술이 적용될 것이며 이러한 기술에 의한 규제기준의 만족이 어렵다면 디젤자동차는 메타놀자동차나 천연가스자동차등 대체연료를 사용하는 자동차로 전환될 것이다.

입자상물질을 0.1g/b.hp-hr까지 저감시키기 위한 계획은 시내버스에 있어서는 1991년 규제가 일단 대형 디젤트럭과 같이 1994년으로 연기할 계획이나 1994년 기준을 연기하거나 완화할 것 같지는 않다. 왜냐하면 현재 미국의 로스앤젤레스를 비롯한 많은 대도시에 있어서 광화학스모그가 환경기준치를 계속 초과하고 있으며 디젤입자상물질에 의한 대기중 부유분진 농도가 높고 시민들의 깨끗한 환경에 대한 욕구가 점점 증대해 나가기 때문이다. 이와같은 여건에서 미국을 비롯한 자동차공업 선진국에서는 디젤자동차 입자상물질 저감기술을 1980년 초반부터 활발한 연구를 실시하여 후처리기술인 입자상물질 여과기술이 실용화 단계에 이르렀으며 우리나라에서도 필자등이 1986년부터 이 분야에 관심을 갖고 자료조사 및 일부 장치에 대한 실용화 가능성을 연구한바 있기에 여기에 소개하고자 한다.

디젤 입자상물질 여과기술은 디젤기관으로부터 배출되는 입자상물질을 여과기를 통하여 여과하는 기술과 여과된 입자상물질을 무해한 물질로 처리하는 기술 및 이러한 기술을 적용한 장치가 기관의 운전조건 및 여과장치의 조건에 따라 자동적으로 작동될수 있도록 전자적으로 조절하는 전자조절기술로 구분할수 있다.

디젤 입자상물질을 여과하는 것은 오늘날의 기술로 어려울 것이 없다. 재료의 선택에 따라 90%이상 까지도 여과할 수 있다. 이러한 여과재료로서는 벌집형 세라믹(momolithic ceramic), 세라믹폼(ceramic foam), 세라믹 섬유매트(mat like ceramic fiber), 와이어메쉬(wire mesh)등의 다양한 종류가 있으나 현재 가장 많이 응용되고 있는 여과재료는 벌집형 세라믹이다. 이는 가솔린 자동차의 촉매장치에 사용하는 세라믹과 같은 모양의 것으로 벌집모양의 구멍을 서로 번갈아서 막고 세라믹벽은 가스만을 통과시키고 입자상 물질은 여과되게 만든 것이다.

여과된 입자상물질을 무해한 물질로 제거시키는 것은 입자상물질(탄소와 고비점 탄화수소로 대부분이 550이상의 온도에서 탈수있는 물질임)을 일정온도 이상으로 가열연소시켜 탄산가스와 물로 변화시키는 것이다. 입자상물질을 연소시키기 위해서는 최소 550이상의 온도로 가열해 주어야 하나 촉매등에 의하여 입자상물질의 연소온도를 낮추어 주면 이 이하의 온도에서도 연소된다. 즉 백금, 파라듐과 같은 귀금속 촉매를 사용하거나 구리, 납, 망간등 중금속을 사용하면 입자상물질의 연소온도를 대폭 낮출수 있다.

일반적으로 여과된 입자상물질의 재생기술은 여과기에 의해 여과된 입자상물질을 일정주기(입자상물질이 여과기 표면에 축적되므로 인한 배기압이 증가하여 기관에 악영향을 주지않을 정도의 주기)경유버너 등으로 강제적으로 연소시키는 기술, 세라믹과 같은 여과재에 산화촉매처리를 하고 여기에 여과된 입자상물질의 연소온도를 낮춰 자동차용 축전지에서 공급되는 보조히

타의 도움을 받아 기관의 배기가스 온도에 의해 연소시키는 기술, 경유에 촉매역할을 하는 금속(망간, 세륨, 리튬과 같은 금속의 유기화합물)을 첨가하여 연소시키므로서 입자상물질과 촉매금속이 함께 여과재와 여과되므로서 촉매반응에 의해 연소온도를 낮추고 여과재에 촉매처리한 것과 같은 효과를 얻는 기술, 여과재에 촉매처리를 하거나 경유에 첨가제를 첨가하여 입자상물질을 여과하고 기관의 쓰로트링등의 기술에 의하여 배기가스 온도를 높여 배기열에 의하여 여과된 입자상물질을 연소시키는 기술이 현재 많이 연구되고 있으며 일부 실용화되고 있다.

필자등이 우리나라의 시내버스에 적용할수 있는 입자상물질 여과기술을 개발하기 위한 타당성 조사를 실시한 장치는 산화촉매여과장치(CTO : Catalytic trap Oxidizer)와 경유버너에 의해 재생하는 세라믹여과장치였으며 이들 여과장치에 대한 연구결과를 간단히 소개하고자 한다.

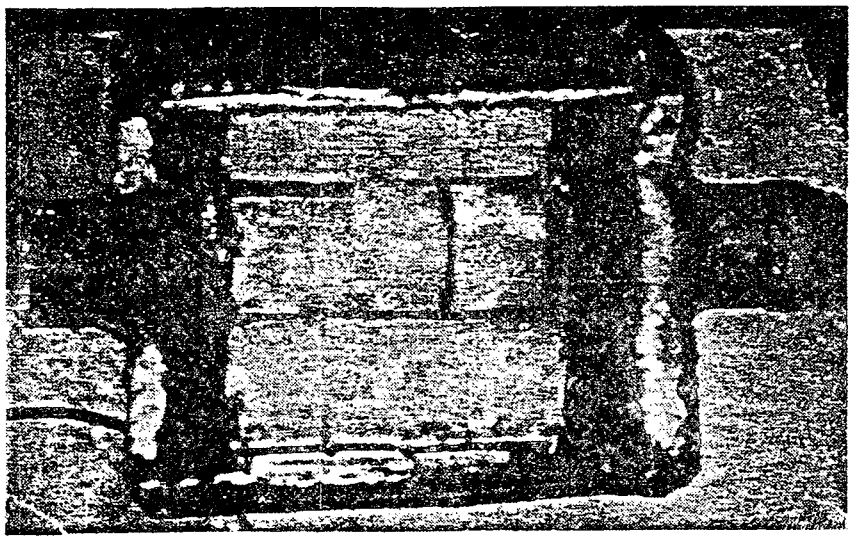


그림5. CTO장치의 여과장치 내부구조도

3.1 산화촉매 여과장치(CTO)

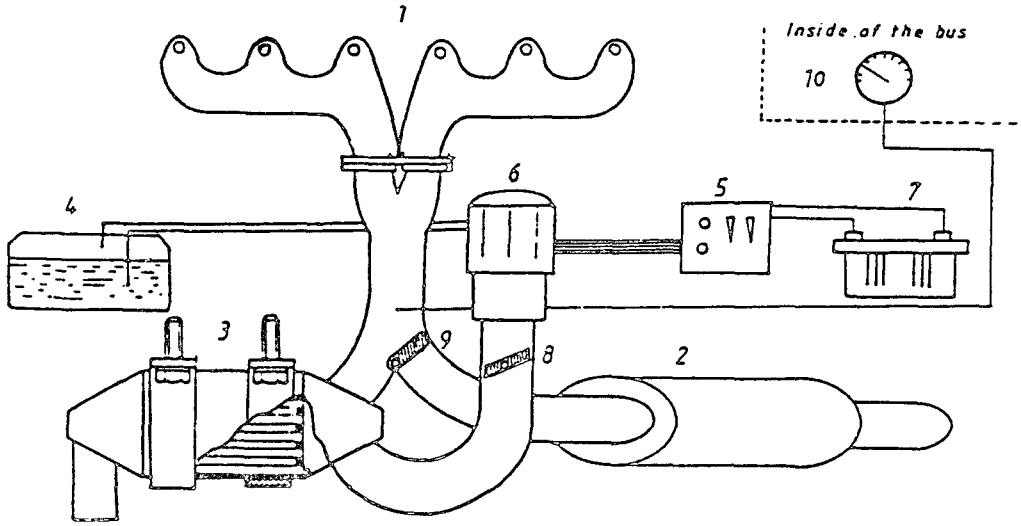
CTO는 미국의 Johnson Matthey사이에 개발한 것으로 스테인레스와이어에 세라믹처리를 하고 이 위에 귀금속(백금계)촉매를 처리한후 그림 5에서 볼수 있는 바와 같은 원통형 여과재로 만들어 입자상물질을 여과하고 촉매에 의해 연소온도를 낮추므로서 배기가스 온도에 의해 재생될수 있도록 한 것이다.

이 장치의 재생온도는 350-400정도로 실제 서울시내버스의 주행노선에서의 배기가스온도에 의하여 입자상물질여과 및 재생이 이루어 졌다. 이 장치의 매연 저감율은 54%, 입자상물질 저감율은 45%였으며 일산화탄소 및 탄화수소는 90%및 60%의 저감율을 나타내었다. 이 장치는 매연저감율은 높지 않으나 디젤자동차의 악취의 원인이 탄화수소를 60%이상 저감시킬 수 있었다.

3.2 세라믹 여과장치

미국 Corning Glass사에서 제조한 필터(285.8mm x 304.8mm)를 세라믹 매트와 스테인레스 강판을 사용하여 캐닝하고 카나다 ORTECH international 연구소에서 장치를 구성 입자상물질 여과 및 재생조건을 설정하고 필자등이 서울 시내버스용 기관 및 주행조건에 의한 매연여과 재생시험을 실시하여 보았다.

본 장치의 구성은 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 하루종일 운행하면서 입자상물질을 여과하고 저녁 운행이 끝난후 주차시 간단한 스위치 조작에 의해 여과된 입자상물질을 경유버너에 의해 연소 제거시키고 다음날 아침 다시 깨끗한 여과재로 입자상물질을 여과하는 구조로 하였다. 그러나 본래의 시도와는 달리 서울시내버스가 주행시 입자상물질의 여과량이 설계치 보다 훨씬 많아 하루 두번 이상의 재생조작이 요구되었



1. 배출관
2. 소음장치
3. 디젤 여과기
4. 연료 탱크
5. 버너 조절기 조정장치
6. 디젤 버너
7. 건전지(12v)
8. 밸브(Burner ON)
9. 전환 밸브
10. 압력계

그림 6. 세라믹 여과장치의 구성도

으며 경유버너에 의한 재생시에 있어서도 일정량 이상이 여과축적되면 여과재의 배압에 의해 버너의 연소조건이 나빠 축적된 입자상물질의 연소가 불충분하고 다음 입자상물질 여과 및 재생조작에 영향을 주어 연소가 일어나지 않는 등의 문제점이 발생되었다. 그리하여 기관동력계상에서의 입자상물질의 여과 및 연소조건 설정을 위한 기초조사를 하였다. 본 장치의 실험에서는 입자상물질 여과 효율은 80%이상으로서 입자상물질 제거는 거의 완벽하게 이루어 졌으나 여과된 입자상물질의 재생기술이 문제시 되었다.

필자등이 조사연구에 착수하였던 1985년도만 하더라도 디젤 후처리기술의 개발은 아직 초보단계였으나 오늘날은 여과된 입자상물질의 재생기술이 앞에서 설명한 바와 같이 완전자동조절에 의한 버너연소기술, 촉매처리하거나 첨가제에 의한 연소온도를 낮추고 보조히터와 배기온도에 의한 재생기술등 실용화 가능한 기술의 개발이 많이 이룩된 단계이다.

앞으로 새로 개발되어 실용화 단계에 있는 기술을 도입하여 우리나라의 시내버스에 적용할 수 있는 응용기술개발이 이룩되고 나아가서 국산화 기술개발이 이루어져야만 할 것이다. 이러한 기술개발을 위하여 필자등은 금년 9월부터 과학기술처의 특정개발연구과제로 시내버스 입자상물질 여과기술의 개발에 대한 연구를 계속할 예정이다.

본 연구에서는 현재 외국에서 실용화하고 있는 여과장치를 도입 우리나라 시내버스에 적용할 수 있도록 응용기술을 개발하고 나아가서는 지금까지 연구해온 경험을 바탕으로 하여 재생기술 및 전자조절기술의 국산화를 위한 연구를 수행 할 계획이다.

4. 기타 디젤 입자상물질 방지기술

기체연료 혼합연소기술이나 입자상물질 여과기술은 디젤기관의 본체를 그대로 두고 약간의 기관개조나 부품의 부착에 의해 매연을 저감시킬수 있는 기술이나 100% 메타놀이나 천연가스로 연료를 전환하므로서 입자상물질을 대폭 저감시킬 수 있는 기술은 기관의 연소방법을 압축점화 방법에서 강제 스파크 점화방법으로 바꾸고 알데히드, 일산화탄소, 탄화수소 등의 오염물질처리를 위한 촉매장치 사용등 기관개량이 수반되어야 하므로 그 응용기술이 용이하지 않다. 그러므로 이

러한 100%연료전환기술은 자동차 제작사, 자동차기관 제작사, 자동차부품 제작사 및 연구기관이 공동으로 참여하여 장기적인 계획을 수립 체계적으로 추진해 나가야 할 것이다.

디젤자동차의 입자상물질을 저감시키기 위한 기술은 지금까지 설명한 기관개량기술과 후처리 기술뿐만 아니라 연료의 품질개선이 뒤따라야 한다. 즉 입자상물질 후처리기술의 목적달성을 위해서는 경유중 황의 함유량이 0. 05%이하로 저감되어야 하며 세탄가, 90% 유출온도, 방향족 탄화수소의 함유량등이 적절히 유지되어야하며 세정제와 같은 첨가제를 사용하므로서 디젤기관내의 침전물 축적에 의한 연료분사 조건을 악화시키는 등의 부작용이 없어야 할 것이다.

5. 결　　론

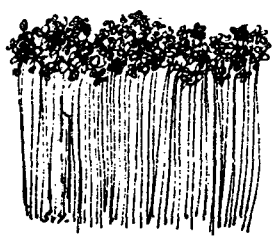
대도시의 대기오염에 큰 영향을 미치고 있는 것은 자동차 배출가스이며 그중에서도 디젤자동차의 매연은 우리의 건강을 위협하고 대기의 질을 크게 악화시키고 있어 시급히 해결하여야 할 과제중의 하나이다.

우리나라의 디젤자동차 배출가스 방지기술은 가솔린 자동차에 비하여 낙후되어 있을 뿐만 아니라 선진국에 있어서도 '80년대에 들어와 활발한 연구끝에 개발한 신기술이기 때문에 기술의 이전이 용이하지 않다고 본다.

우리나라의 디젤자동차 보유비율이 선진국에 비하여 월등히 높고 디젤자동차로 부터 배출되는 매연을 비롯한 오염물이 대기를 크게 오염시키고 있기 때문에 디젤자동차 보유비율을 줄이기 위한 대책으로 소형디젤자동차의 가솔린이나 LPG화를 추진하고 있다.

디젤자동차는 도심주행에 있어서 연료경제성이 좋고 대형자동차에서 요구하는 성능이 우수하기 때문에 공해저감만을 위해서 가솔린이나 LPG화 하기에는 어려움이 많다고 본다. 특히 최근 국제 석유가의 불안과 가격상승은 에너지 경제측면에서 재고되어야 하기 때문에 디젤자동차의 대기오염에 대한 문제점은 배출가스 방지시술의 개발로 해결해 나가야 할 것이다.

디젤자동차에서 특히 문제시되고 있는 매연을 줄이기 위한 기술개발이란 그렇게 용이한 일은 아니라고 본다. 그러나 자동차 제작사 부품회사 및 연구기관이 서로 협력하여 지속적으로 연구해 나가면 불가능한 일 또한 아니라고 본다.

앞으로 디젤자동차에서도 가솔린 자동차와 같이 검은 연기가 전연 나오지 않는 자동차가 도심을 운행할 수 있도록 기술개발에 노력해야 할 것이다. 우선 시내버스 만이라도 깨끗한 자동차의 출현을 고대하면서 자동차회사, 부품회사 및 연구기관의 분발을 촉구해 본다. *

(이 자료는 한국자동차공업협회가 지난 9월7일 주최한 「저공해 자동차 기술세미나」자료에 수록했던 것을 발췌 · 게재한 것입니다.)