

자동차의 배출가스 통제기술

지난2월19일, 20일 양일간 일본 KITAKYUSHU-UPRINCE HOTEL에서 한국, 일본 양국간의 환경관련공무원, 연구원, 학자들이 모여 환경기술 및 환경과학에 대한 제2회 한일 환경 심포지엄을 가졌다.

다음의 글은TRAFFIC SAFETY AND NUISANCE RESEARCH INSTITUTE의 MATSUO ODAKA씨가 강연한 자동차의 배출가스 통제기술을 요약한 것이다. (편집자주)

1. 소개

일본에서의 자동차 배출가스에 대한 법적조치는 1966년에 휘발유를 사용하는 중형 및 소형자동차에서 배출되는 일산화탄소를 규제함으로써 시작되었다. 그후로 자동차의 배기가스에 대한 규제대상이 확대되어 오늘날에는 일산화탄소와 탄화수소, 질소산화물, 매연등도 규제되고 있다.

배출가스에 대한 규제기준은 점차적으로 강화되어왔는데 특히 질소산화물(NOx)은 휘발유를 연료로 사용하는 차량에 관해서는 70%에서 90%로, 경유를 연료로 사용하는 차량에 대해서는 50%에서 70%로 규제치를 높였다. 그럼에도 불구하고 일본의 대기오염은 여전히 심각한 상태이다. 특히 대기중에 떠돌아 다니는 질소산화물과 미립자는 아주 심각한 상태에 처해 있다. 경유

자동차로부터 배출되는 가스는 대기를 오염시키는 주요 원인중 하나로 여겨지고 있다. 이와같은 이유로 경유자동차의 질소산화물 배출기준강화와 미립자에 관한 규제가 깊게 검토될 예정이다.

이러한 법적 규제조치들을 발단으로 여러가지 배출가스에 관한 통제기술이 발달되어 왔다. 이 보고서는 일본내에서의 배출가스 통제기술에 대한 현재의 상태와 앞으로의 경향에 대하여 기술하고 있다.

2. 배출가스 통제기술의 상황

(1) 휘발유 자동차

휘발유를 연료로 사용하는 승용차에 적용하고 있는 현재의 법적 규제조치는 1978년부터 시작되었다. 이러한 규제조치를 취하는 초기단계에 있어서는 배출가스를 통제하는 것만이 최우선 과제였으나 이로인해 엔진 성능이 저하되는 경우가 발생하였고 연료의 과다사용이 노출되었다. 하지만 최근의 시스템들은 기술의 향상으로 인해 상당히 낮은 정도의 배출수준을 유지하면서 1978년 이전의 배출가스 규제가 없던 때의 자동차보다도 더 좋은 엔진성능과 연료절약을 실현하고 있다.

근본적으로 질소산화물의 배출량을 줄인다는 것은 어려운 일이다. 배출가스를 감소시킨다는 기본적인 개념은 연소실의 질소산화물 발생량을 줄이고 엔진후처리부문에서 일산화탄소와 탄화수소를 산화시킨다는 것

이었다. 후처리촉매장치는 일산화탄소와 탄화수소를 감소시키고 매연을 발열장치(THERMAL PRACTOR)로 태워버려 배출가스를 감소시킨다. 특히 질소산화물의 감소를 위해서는 EGR(EXHAUST GAS RECIRCULATION)이 보편적으로 사용되어왔다. 이 방법에 있어서 가장중요한 것은 질소산화물의 발생과 관계가 깊은 연소온도가 최대로 올라가는 것을 줄이기 위해 연소실로 들어가는 배출가스의 일부분을 재순환시키는 것이다. 그렇지만 오늘날에는 이러한 전통적인시스템이 거의 사용되지 않고 있으며 삼원촉매장치(3W-CAT)가 가장 보편적으로 사용되고 있다. 이 시스템은 촉매 반응에 의해서 배출 기관내에 있는 질소산화물과 일산화탄소, 탄화수소를 동시에 정화시킨다. 이 반응은 공연비와의 폭이 아주 적을 때에만 가능하기 때문에 공연비율이 거의 일정하게 유지되기 위해서는 CLOSED LOOP A/F CONTROL SYSTEM이 필요하다.

이 시스템은 EGR과 같은 다른 시스템의 설치가 가능해 엔진성능이 떨어지는 것을 방지할 수 있고 엔진 디자인의 유연성을 높이는 등의 많은 이점을 갖고 있다. 현재 이 시스템의 정화 성능은90% 혹은 그 이상이다. 현재 사용되고 있는 대부분의 휘발유 자동차에는 EGR이 삼원촉매장치와 함께 정착되어 사용되고 있다. 이외에도 대체적으로 사용될 수 있는 시스템으로는 일산화탄소 및 탄화수소, 질소산화물의 감소를 위해 초창기부터 일부 모델에 사용되어온 희박연소시스템(LEAN BURN SYSTEM)이 있는데 이 장치는 삼원촉매장치의 성능이 개선됨에 따라 점차 사용되지 않고있다. 그러나 최근에는 새로운 희박연소장치가 개발되었다. 이 시스템은 희박혼합기센서를 갖추고 있고 연료분사를 조정, 적절한 수준을 유지함으로써 실린더내의 연료가 희박한 부분의 공연비를 조정하여 연료를 분사하여 연료의 소비량을 감소시키고 동시에 가스의 배출량도 줄일수 있도록 되어있다. 이러한 것들이 연료의 효율성을 높이고 배출가스를 줄이기 위한 새로운 방법으로서 주목하게 되었다. 이와같은 삼원촉매장치, 정밀엔진 조절방법과 같은 배기장치에서의 후처리기술 발전에 의하여 오늘날 휘발유를 연료로 하는 승용차에서 배출되는 가스를 통제하는기술은 크게 향상되었다. 반면에 휘발유를 연료로 사용하는 트럭과 사용차량들은 아직도

대부분이 산화촉매장치(CCO)와EGR을 사용하고 있는 상태이다. 하지만 차량 총중량(GVW)이 2.5ton이하인 중형 및 소형차량에는 삼원촉매장치의 사용이 늘고있다.

(2) 경유 자동차

경유엔진은 공기의 흡입력이 적은 실린더내의 희박(LEAN)지역에서 작동되기 때문에 일산화탄소와 탄화수소의 배출량이 비교적 적은 편이다. 그래서 배출가스의 통제를 위한 노력도 질소산화물과 매연에 집중되어 있다. 3W-CAT는 LEAN REGION OPERATION으로인해 경유엔진에는 적용되지 않기 때문에 실린더내에서 배기가스를 최소화하기 위한 연소조절이 질소산화물을 줄이는 유일한 방법으로 보여진다. 이러한 목적으로 연료의 분사시기를 늦추는 방법이 이용된다. 이 조치만으로는 매연의 증가를 줄일 수가 없기 때문에 엔진의 형상구조변경이 동시에 행해지고 있다. 연료분사시기의 조정에도 불구하고 승용차부문에서의 EGR 사용은 증가추세에 있어 현재 GVW가 1.25ton이거나 그 이상인 승용차에서는 60%이상이 EGR을 사용하고 있다.

연료분사시기의 지연과 엔진의 형상구조가 일반적으로 이용되고 있기 때문에 현재 중형 및 대형 차량에는 EGR을 장착하지 못하고있다. 엔진 형상구조 변경의 취지는 연소실의 구조변경과, 연료분사 시스템 및 인터쿨러가 달린 터보차저의 기능을 최상으로 하지는 것이다. 전자조절식 연료분사 시스템의 이용은 전자통제 기술의 발달에 따라 더욱 늘어나고 있다.

3. 향후 배출가스 통제기술에 관한 전망

(3) 휘발유 자동차

중형 및 대형차량을 위해 앞으로 삼원촉매장치와 EGR이 더욱 개량되고 보편화될 것이다. 승용차를 위해 개발된 기술을 적용하려면 상기 차량들이 자주 부하가 걸리기 때문에 부하를 받으므로 발생하는 내구성 및 정화성능, 운행력 저하와 같은 문제를 해결하기 위한 지속적인 노력이 요구된다.

(2) 경유 자동차

위에서 언급했던 바와 같이 경유 자동차의 배출기준에 맞추기 위해서는 질소산화물과 미립자의 배출량을

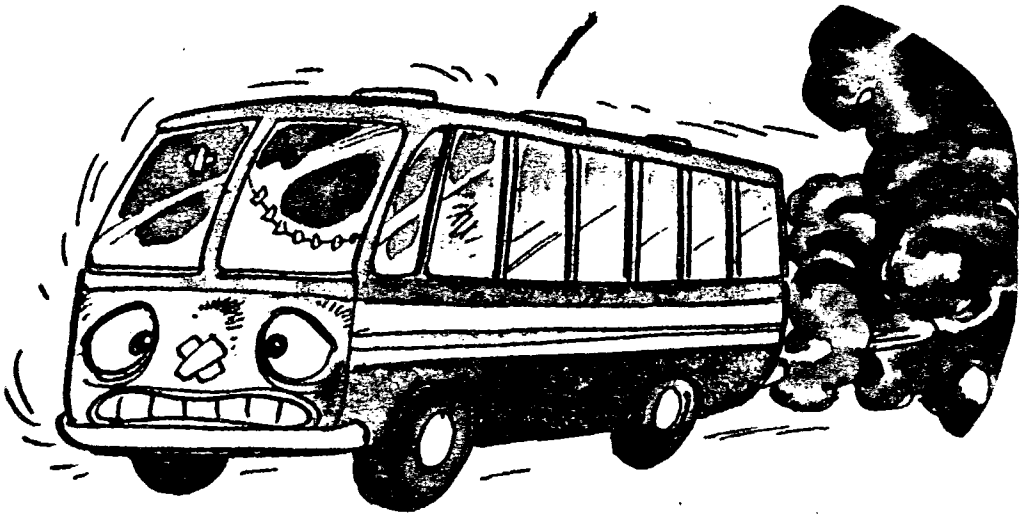
좀더 효과적으로 감소시켜야 하며 경유를 사용하는 차량의 배출가스를 통제하기 위한 연구는 이 두 요소에 초점을 맞추어야 한다. 하지만 질소산화물을 감소시킨다는 것은 미립자의 배출량을 늘리는 원인이 되는 것이다. 경유차량의 배출가스를 통제하는데 있어서의 난점은 바로 이것이다.

• 질소산화물의 통제기술

연료분사시기를 지나치게 늦추는 것은 매연을 급격히 증가시키고 현재까지 연구되어져서 사용하고 있는 분사시기가 적절하다는 생각을 갖게한다. 그래서 다른 방도로써 EGR을 중형 및 대형차량에 광범위하게 적용할 예정이다. 비록 EGR이 질소산화물의 배출감소에 상당히 효과적이긴 하지만 몇가지 불이익한 점을 갖고 있다. 부하가 적을시에 효과적인 질소산화물의 배출감소를 위해서는 EGR률(RECIRCULATION GAS FLOW RATE)이 높아야 한다. 반면에 EGR률이 높으면 미립자와 매연의 배출량이 많아지며 엔진성능을 떨어뜨리고 특히 부하가 많을시에는 연비를 떨어뜨리는

원인이 된다. 즉 부하가 많을시에는 EGR의 사용이 실용적이지 않다는 것을 의미한다. 이러한 차량들이 자주 부하가 많이 걸리는 지역에서 운행되기 때문에, 질소산화물의 배출량을 효과적으로 감소시키고 다른 오염물질들의 배출을 줄이기 위해서는 EGR시스템의 정확한 조절기능이 요구된다. 엔진이 재순환가스의 매연과 황산기에 의해서 부식되는것과 마모의 속도가 가속화될 것이라는 점도 지적되어진다.

반면에 NH_3 와 같은 촉매제에 의한 배출가스 방지장치의 질소산화물 감소방안도 연구중에 있다. 하지만 자동차엔진의 조작은 시시각각으로 변하기 때문에 그 시스템의 관리와 배출가스 정화처리, 촉매의 내구성, 전체 시스템의 원활한 작동 등의 문제와 같은 실제적인 적용에는 많은 어려움이 따른다. 질소산화물의 배출감소를 위한 또 다른 방법으로는 워터 인젝션, 이중연료 분사장치, 대체연료 등이 고려되고 있기는 하지만 이러한 방법들이 실제로 엔진에 적용되기까지는 많은 시간이 소요되어야 할 것이다.



• 미립자 및 매연감소기술

미립자의 통제를 위해 UNIT INJECTOR에 의해 150Mpa까지 올라가는 고압분사시스템과 인터쿨러를 포함한 터보차저, 연료분사장치 조절을 위한 전자장치 및 FINE CERAMIC등과 같은 신소재로 연소장치의 재료

를 대체하는 방안 등이 연구되고 있다. 이 모든것들은 연료분사의 특성이나 연소현상을 개선시킴으로써 실린더내의 미립자형성을 감소시키기 위한 것이다. 그러나 미립자의 배출량이 감소되더라도 앞으로 강화될 법적 규제를 뛰어넘을 수 있을 것 같지 않으며 설사 그것이

가능하다고 해도 엔진출력과 연비에 영향을 미치게 될 것은 분명한 일이다. 이러한 단점을 개선하기 위해서 배기가스 배출장치의 사후처리 문제 역시 연구중이다. 특히 최근 몇년간의 미립자 트랩(TRAP)을 실용화시키기 위한 연구가 활발하게 진행중이다. 이 시스템에서는 배출가스가 구멍이 많거나 혹은 섬유조직과 같은 형태로 된 세라믹 필터를 통과하게 되고 이때 미립자가 이 필터에 걸리게 되는 것이다. 이 방법은 다른 방법보다 상당히 효과가 높으며, 여러 모양과 방법의 시스템이 연구중이다. 위와 같은 여과 작용을 위해서는 미립자의 지속적인 혹은 주기적인 제거를 위한 개량된 트랩이 필요하며 이 반응이 일어나기 위해서는 트랩이 적어도 섭씨500도 정도의 고온에서 견딜 수 있어야 한다. 그러나 과부하시를 제외하고는 배출가스온도가 이 정도까지 올라가지는 않는다.

이런 연유로 고온반응서에 견딜 수 있는 촉매제를 이용하여 미립자를 없애거나 또는 버너나 전자히터에 의한 강제점화방식으로 미립자를 연소시키는 방안이 연구중이다. 하지만 고열에서 견딜수 있는 내구성과 개량된 트랩의 기계적인 내구성 및 안전도는 아직 만족할만한 수준은 아니어서 대부분의 트랩이 과열에 의해 녹거나 깨지고 만다. 그것은 아직도 풀어야 할 과제로 남아있다. 매연의 형성이 연료 속의 유험함유량과 깊은 관계가 있다는 것은 다 알려진 사실이다. 즉 유험의 함유량이 적으면 매연의 배출량도 감소되는 것이다. 그렇다면 미립자를 효과적으로 통제하기 위해서는 엔진자체를 개량하는 것 이외에도 연료내의 유험함유량을 낮

추는 방안이 강구되어야 할 것이다. 이것은 매연을 감소시키기 때문에 EGR의 설치에 있어서도 큰 이점으로 작용하리라 본다.

최근 미국에서는 저유험연료(0.05%이하)를 사용한다는 가정에서 NAVISTER사가 1994년도 미국의 규제 기준치(0.1g/bhp-hr)에 적합한, 미립자의 배출량이 적은 엔진시스템을 내놓았다. 배출되는 탄화수소와 용해성 탄화수소는 전자통제 방식의 UNIT INJECTOR를 이용하는 것으로 이 시스템내의 CCO에 의해서 산화되며 연료소비는 급격히 감소된다. 만일 엔진내부에서 매연형성이 가능한 한 낮게 조정된다면 이 시스템은 촉매만을 사용하는 것으로 가능할 것이다.

4. 결론

자동차배출가스의 법적규제는 일본내에서의 자동차배출가스 감소기술을 발전시켜왔다. 규제가 일찍부터 시행된 가솔린차량의 경우 배출가스가 급격히 감소하게 된 것은 주로 삼원촉매장치의 발달로 인한 것이다.

경유를 사용하는 차량의 경우 질소산화물과 미립자의 감소가 동시에 요구되고 있는데 이것은 기술적으로 상당히 어려운 요구조건으로 신기술의 개발이 요망된다. 반면에 지구가 온난화되고 있다는 관점에서 CO₂이 외에도 메탄(CH₄)과 N₂O와 같은 배기가스에 대한 관심도 높아져가고 있다. 앞으로는 이러한 문제에 관한 연구도 요구될 것이다.*

(이자료는 「자동차회보」 90년5월호에서 발췌, 게재한 것입니다.)

