

디젤엔진의 超低 NOx化 技術

Technologies of NOx Reduction on Diesel Engine

박 정 규, 박 태 인, 최 준 섭
J. K. Park, T. I. Park, J. S. Choi



박 정 규

- 1967년 2월생
- 디젤엔진 연소 및 배기가스 특성연구
- 정회원, 한국기계연구원



박 태 인

- 1939년 2월생
- 디젤엔진 연소 및 배기가스 특성연구
- 정회원, 한국기계연구원



최 준 섭

- 1952년 5월생
- 열기관 및 열전달 연구 및 엔진 냉각시스템 기술개발
- 정회원, 한국기계연구원

강화되고 있다. 우리나라에서도 빠른 시일내에 선진국 수준으로 관련법을 대폭 강화할 예정이다.

디젤엔진으로부터 배출되는 유해물질에는 HC, CO, NOx 및 입자상물질(particulate)이 있지만 가솔린엔진에 비해서 희박연소이기 때문에 HC와 CO의 배출량은 적고 문제가 되는 것은 NOx와 Particulate이다. 그러나 NOx의 저감은 매연, 연비와 相反관계에 있기 때문에 일반적으로 低 NOx화를 꾀하려면 이제까지 중시해 왔던 연비향상을 목표로 하는 개발방향과 일치하지 않는 기술검토를 필요로 한다. 현재 제안되고 있는 저 NOx화 기술로는 다음과 같은 것이 있다. (1)연료분사시기 지연 (2)연소실형상 개조 (3)연료분사계 개선 (4)EGR (5)물에 멀존 (6)물분사등의 기술이 연구되고 있다.

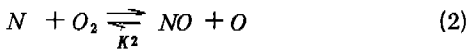
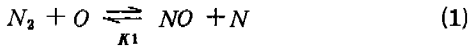
2. NOx의 생성메카니즘과 그 지배인자

디젤엔진에 있어서의 NOx 생성과정은 확산연소가 주체인 것으로부터, 以下에 서술한 Zeldovich 기구에 의한 NO 생성과 Prompt NO 생성에 기초한 것으로 생각된다.

고온시의 질소 N₂와 산소 O₂로부터 NO를 발생하는 기구는 Zeldovich 기구로 불리워지는 이하의 2개의 화학반응이 지배적이다.

1. 서 론

디젤기관은 열효율이 높고, 여러종류의 연료가 사용가능하고, 신뢰성이 높은 이점으로 자동차용 엔진 및 固定用 동력원으로서 使用數를 점점 넓혀 왔다. 그러나 최근들어 디젤엔진으로부터의 유해성분 배출은 큰 사회문제가 되어서 세계적으로 대기오염 방지법이



여기서, K_1, K_2 는 正反應時의 속도 정수 이고, 이하의 식으로 표시된다.

$$K_1 = 7 \times 10^{13} \exp(-75,500/RT) \quad (\text{cm}^3/\text{mols})$$

$$K_2 = 13.3 \times 10^9 \exp(-7,080/RT) \quad (\text{cm}^3/\text{mols})$$

단, T : 온 도(K)

R : 가스정수(=1,986 cal/mol K)

위의 화학反應식 (1), (2)에 의한 NO 의 主 成量은 동일차원(order)이다. 반응(1)의 속도 정수 K_1 은 온도의 의존성이 강하고, 온도와 함께 지수적으로 증대한다. 反應(2)의 속도정수 K_2 는 온도의 의존성은 매우 작지만 온도 상승에 의한 반응(1)이 촉진되면 질소원자 N 의 생성이 많게 되고, 따라서, 반응(2)에 있어서의 질소원자 N 가 증가하기 때문에, 반응(2)도 촉진되고, 일산화질소 NO 의 생성량이 많게 되므로, 결과적으로는 온도의 의존성이 강한 것이 된다.

연료가 연소하는 것에 의해 고온이 되고, 그 상태로 일정온도로 유지되면, 전기반응 (1), (2)에 있어서 정반응 및 역반응이 일어나고, 최후는 평형상태에 달한다. 이 때의 평형농도로 NO 생성량의 짐작이 가능하므로 매우 중요하고, 이제까지 이에 대해 많은 계산이 실시되어 왔다. 그림 1에 연료로서 C_8H_{18} 을 이용할 때의 평형농도 계산결과의 예를 나타낸다.

이 그림에서 ϕ 는 당량비로서, 공연비를 이론공연비로 나눈 값이다. 그러므로, 당량비 ϕ 가 1보다 큰 경우는 과농혼합기이고, ϕ 가 1보다 작은 경우는 희박혼합기이다. 일산화질소 NO 는 온도와 당량비에 강하게 의존하고 있는 것을 알았다. 즉, 온도상승에 따라서 일산화질소 NO 는 증가하고 있으며, 당량비가

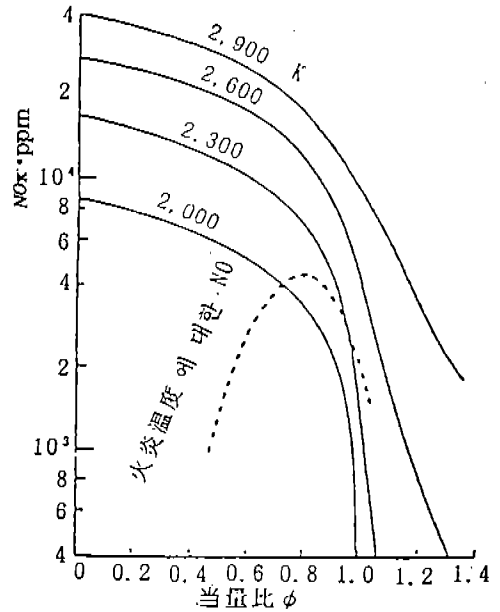


그림 1. NO_x 평형농도 (C_8H_{18} + 공기, 40기압)

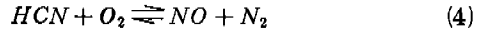
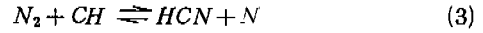
작은 만큼 그 영향은 크게 되고 있다. 온도가 일정한 경우에는 당량비가 크게됨에 따라서 일산화질소 NO 는 감소하고 있고, 특히 당량비가 1에 근접하고 그리고 1보다도 크게된 만큼 일산화질소 NO 의 저감량이 크게 되고 있다. 이상에 의해서, 일산화질소 NO 생성은 당량비가 큰 경우는 당량비, 다시 말해서 산소농도에 의존성이 크고, 당량비가 작은 경우는 연소온도의 의존성이 큰 것을 알았다. 같은 그림에서, 단열화염온도에 대한 일산화질소 NO 의 평형농도를 파선으로 표시했다. 여기서 단열화염온도는 연료와 공기를 혼합해서 연소시킬 때에 발생하는 전열량이 그 연소가스 자신의 가열, 팽창, 조성의 변화에 소비됐을 때의 온도이다.

이 경우 당량비 $\phi = 0.8$ 근처에서 일산화질소 NO 가 최대로 되고, 이것보다 큰 경우나 작은 경우에는 일산화질소 NO 는 감소하고 있다. 당량비가 크게 되면 산소가 부족하게 되고 당량비가 작게 되면 공기의 과잉에 따른 열용량 증대하기 때문에 화염온도가 저하하고 일산화질소 NO 는 감소하는 것으로 생각

된다. 그림 2에 디젤엔진(직분식)에서의 실측 결과를 표시한다. 당량비 $\phi = 0.7$ 에서 질소산화물 NO_x 배출물량이 최대치로 나타나고 있고 앞의 계산결과와 경향이 거의 일치하고 있다.

이제까지 서술해온 화학평형에서 얻은 지식과 정보에 의하면 엔진에 있어서 일산화질소 NO 의 발생경향을 정성적으로 설명하기에는 도움이 되지만 정량적으로는 불충분하다. 그 원인으로서 앞에서 설명한 평형상태에 달하는데는 상당한 시간을 요하기 때문이고, 속도적으로 일산화질소 NO 의 생성량을 구하는 시도가 실시되어 왔다. 그림 3에 그의 일 예를 표시하지만 연소온도가 동일해도 연소지속 시간이 짧으면 일산화질소 NO 의 생성량이 감소하는 것을 알 수 있다.

다음에 탄화수소가 연소할 때, 중간적으로 생기는 탄화수소 라디칼은 예를 들면 CH 가 공기중의 질소와 반응해서 생성된다. Prompt NO 에 대해서 서술한다. 화학반응식은 아래와 같다.



반응(3)에서 중간생성물 시안 HCN 이 생성되고, 이 시안 HCN 은, 공기중의 산소 O_2 와 반응해서, 일산화질소 NO 가 생성된다. 반응(3), (4)는 압력 및 공연비의 의존도가 크고, 온도, 연소유지시간의 영향은 작다고 말해진다. Prompt NO 에 대해서는 아직 미해명의 점이 많지만 디젤엔진의 연소와 같이 확산연소 주체의 경우, 꼭 고려해 놓을 필요가 있다고 생각된다.

이상, 일산화질소 NO 의 생성기구 및 그의 생성지배인자에 대해서 검토해 왔다. 요약하면 일산화질소 NO 의 생성을 지배하는 인자는 연소온도, 산소농도 및 연소지속 시간이 다. 일산화질소 NO 를 저감하기 위해서는 연소온도(화염온도)의 저감, 과농 또는 과희박 혼합기 연소, 연소지속시간 단축이 중요하다.

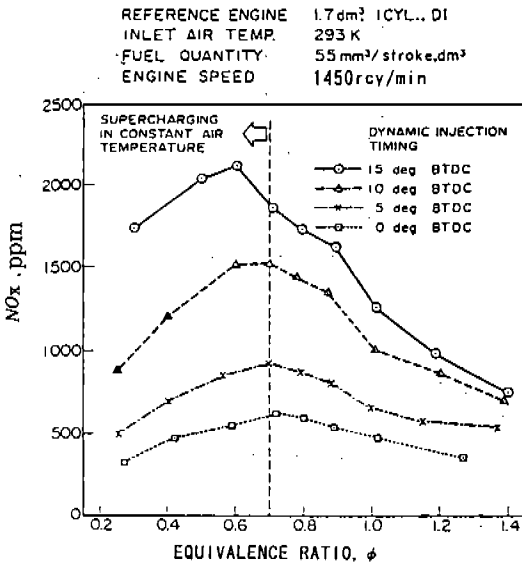


그림 2. 당량비에 의한 NO_x 생성 (직분식 디젤기관)

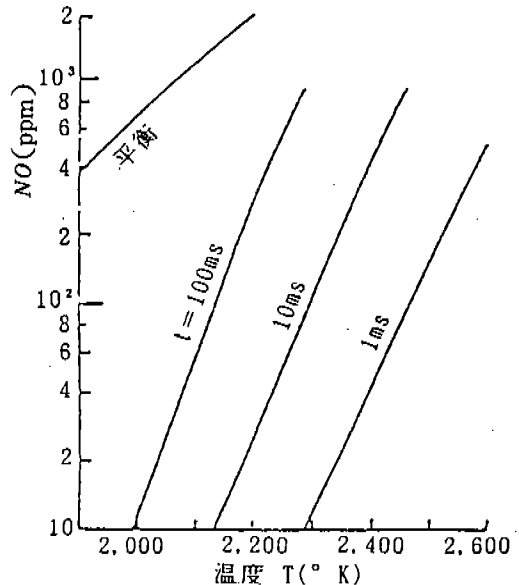


그림 3. 연소지속시간 t 와 NO 생성량

3. 低 NO_x化 技術 현황

3.1 연료분사시기 지연

연소초기의 충격적인 열발생을 억제시켜, NO_x를 저감시키는 방법으로서 현재 가장 넓게 이용되고 있는 기술이 연료분사시기의 지연이다. 그림 4는 그의 一例를 보여준다. 그림으로부터 분사시기지연에 의해서 NO_x는 대폭으로 저감 가능하지만 연비와 매연농도의 악화가 뚜렷하고 실제 운전에서는 분사시기 지연에 한계가 있음을 알 수 있다.

또, 중형고속디젤기관에서는 Kawakami 등은 실험 및 시뮬레이션 계산을 행하여 소형고속으로부터 중형 고속까지의 수개의 기관에 있어서 연료분사시기를 변화시킬 때의 O₂, 13% NO_x 및 기관성능의 변화를 조사했다. 그림 5는 연료분사시기를 변화시킬 때의 열발생 및 실린더내 가스온도 비교를 보여주고 있다. 결과들로부터 연료분사시기를 지연시키면 주연소시기가 상사점보다 늦어져서 팽창행정에 의한 실린더내 가스온도의 저하의 영향을 받고, 더욱이 연소가스의 고온 지속시간도 감소하여 팽창행정에서의 NO_x 생성이 동결되기 때문에 NO_x 생성이 제어됨을 알 수 있다. 그러나 크게 지연시킬 경우 연비가 아주 악화하기 때문에 연료분사시기 지연에 의한 NO_x 저감대책에 대하여서는 한계가 존재한다. 그러나, 이들 미립자 농도나 배기온도를 개선하면, 더욱 NO_x를 저감하는 것을 알 수 있다.

3.2 연소실 개량

3.2.1 直 噴 式

엔진제원의 적정화를 위하여, 흡기포트 형상에 의해서 발생하는 흡기의 난류나 특수한 형태의 연소실에 의해 생성되는 난류 등에 의한 연소의 개선이 시도되고 있으며 이들의 공기유동에 대해서도 연구되고 있다.

大聖등은 기관성능이나 배기에 영향을 주는 연소실내의 공기유동을 연구하고 있다. 연소실형상으로는, 종래는 淺皿型(STD)와 深皿

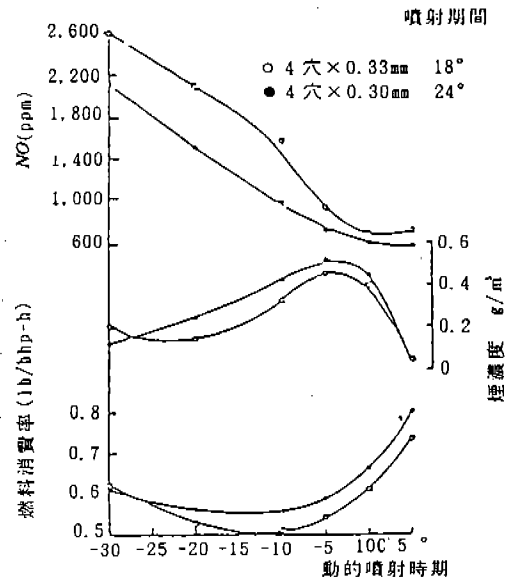


그림 4. 연료분사시의 영향

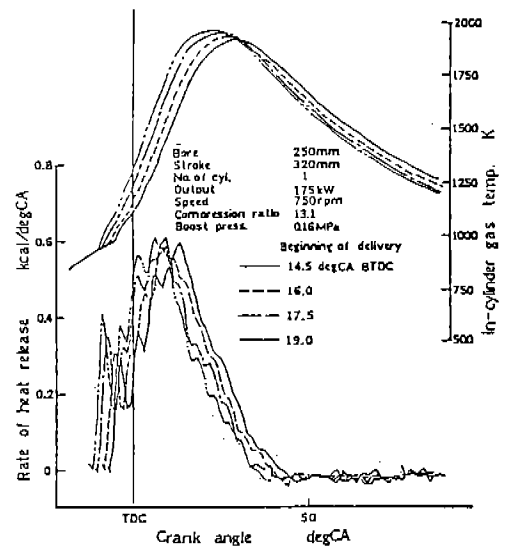


그림 5. 연료 분사시기와 열발생 및 가스온도

型(Dep)의 Toroidal 형, 燃燒口緣部の 교축 구조로 반경방향의 스퀴시류의 중대를 피한 re-entrant 형(R40과 R60) 등에 대해서 기관 성능을 비교하고 있다. 그림 7은 연소실 STD와 R40에서의 유속을 비교하고 있으며 re-entrant형 R40이, 상사점 전 60도 이후, 스퀴시와 스월이 같이 강하게 되는 경향을

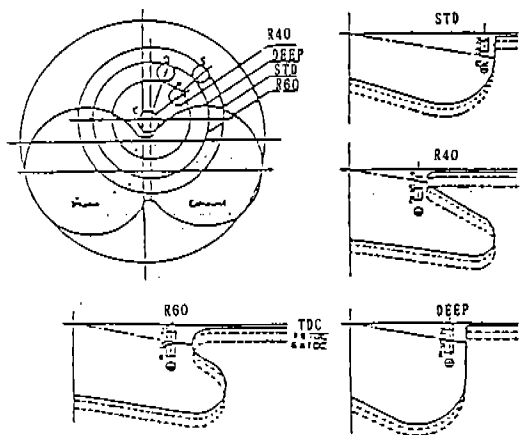


그림 6. 연소실내의 유속측정 위치

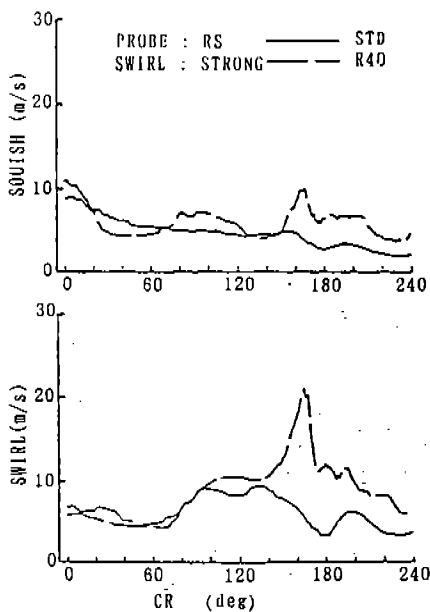


그림 7. 유속의 비교

보여준다. re-entrant 형의 확산 연소시기의 연소촉진효과가 NO_x 저감을 목적으로 한 연료분사시기의 지연時 연료소비율이나 Soot 를 억제하는 요인이 된다고 보고 있다.

高橋(Takahashi) 등은 Cogeneration 시스템 용 디젤엔진의 고효율 열회수 기술의 연구개발중에서 toroidal 형과 re-entrant 형의 연소실 및 연료분사계의 要素諸元(분사방향 정확

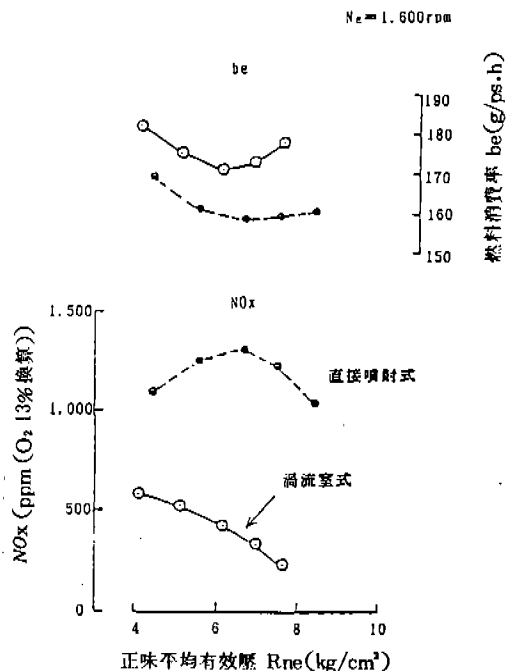


그림 8. 부실식 연소

도, 분사공 직경, 분사공수)의 영향을 확인하고, 이들의 최적화를 꾀하고 있다. 이들 2 종류의 연소실에 있어서 NO_x 와 흑연에 대한 분사공경의 개선효과는 반대경향을 보이고 있다. 최근에는 연소의 후기에 연소실내에서 난류를 생성시킨 것과 같은 연소방식이 주목되고 있다. 그러나 연소실내에서의 공기유동이나 이들의 연소촉진의 효과 등의 예측기술이 충분히 확립되어 있지 않기 때문에 연소실형상 변경시 특히 연료분무와의 매칭시험의 실시가 필요하다.

3.2.2 副室式

부실식 디젤엔진은 직분식에 비해서 NO_x 발생이 작다는 것을 잘 알려져 있다. 그림 8 은 직접분사식과 부실식과의 연료소비율, NO_x 농도의 비교의 일례를 보여준다. 부실식은 직접분사식에 비교해서 NO_x 농도는 1/2 ~ 1/3 이지만, 연료소비율은 약 10% 악화되고 있다.

부실식 연소실 개량에 있어서는 압축비, 부실과 주실의 연락공 면적비 및 용적비, 부실형상 glowplug 의 위치, 피스톤 형상 등이 중

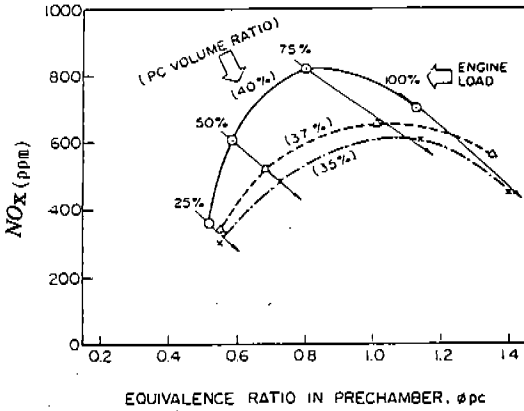


그림 9. NOx 생성에 미치는 부실용적비 효과 (2350 rpm)

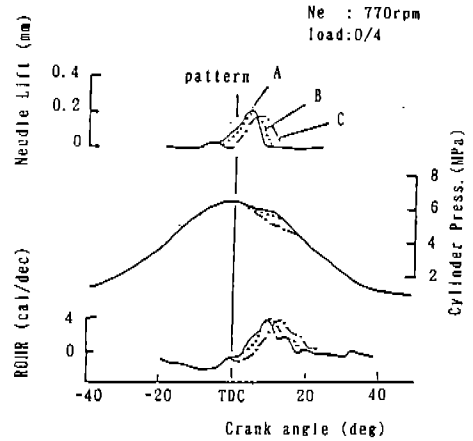


그림 12. 파이롯트 분사 패턴의 예

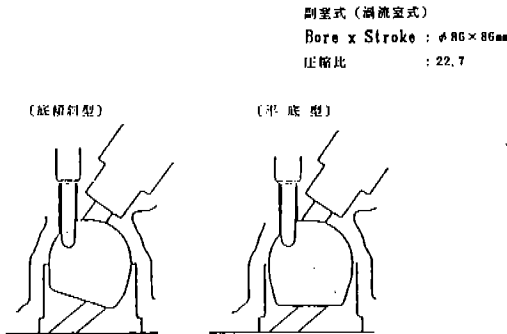


그림 10. 실험엔진의 와류실 형상

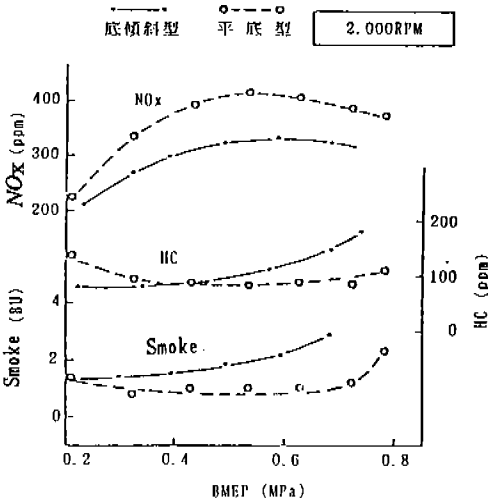


그림 11. 연소실 형상의 차이에 의한 emission 에의 영향

요 파라미터이다. 이하에서는 몇가지 예를 소개한다. 우선 부실용적비의 효과에 대해서 검토한다. 日野자동차공업(株)에서 조사한 결과인 그림 9에서 볼 수 있듯이, 실용적비를 40%로부터 37.35%로 작게 함에 따라서 NOx 농도는 저감하고 있다. 이것은 부실 용적비를 작게 하면 부실내에서 점점 과농 혼합기 연소로 되어서 NOx 농도의 관점에서 유리하게 된다. 부실 용적비를 작게 했을 경우, 부실내에서의 연소에 따른 주실내의 연소를 어떻게 촉진할까가 중요한 과제가 된다고 생각된다.

다음에 부실형상의 개선에 의해 NOx 농도를 저감한 예를 소개한다. 마쯔다(株)에서는 그림 10에 나타난 부실식(와류실식) 연소실에 있어서 부실형상(부실밑바닥면 형상) 개선에 의해 NOx 농도를 저감하고 있다. 그림 11에 시험결과를 표시했지만, 부실바닥면 형상을 평저형으로부터 저경사형으로 하는 것에 의해 NOx 농도를 저감하고 있다. 매연 및 HC는 고부하역에서 악화하는 경향이 있다.

3.3 연료분사계의 개선

연료분사계의 개선에 의한 NOx 농도를 저감한 예를 소개한다. 디젤기에서는 고속 전자밸브를 파이롯트 분사를 실시해서 NOx 의 저감을 시험하고 있다. 파이롯트 분사의 패

턴 및 연소특성을 그림 12에 또 배기가스 특성을 그림 13에 표시한다(와류실식 디젤엔진 사용). 파이롯트 분사에 의해서 저 NO_x 농도 영역에서의 HC , CO 의 개선, 따라서 연소개선을 꾀하고 NO 농도 저감시의 문제점을 해결하려고 하고 있다.

3.4 EGR

현재 NO_x 저감의 유효한 수단으로서 엔진의 중·저부하에서 EGR가 사용되고 있다. EGR은 가솔린엔진의 경우와 같이 배기가스의 일부를 연소실에 순환시키는 것에 의해서 연소온도를 낮추어 NO_x 를 저감하는 것이다. 그림 14는 중속부분 부하역에 관한 EGR 과 NO_x 레벨, 미립자에 의한 오염도 및 연비의 변화율을 표시한다. EGR을 하지 않은 경우 3/4 및 1/4 부하를 기초로 하여 그때의 연료분사량을 일정하게 유지시키면서 EGR을 행한 결과를 표시한다. EGR율을 증대함에 따라서 NO_x 레벨은 저감하며 고부하측에서

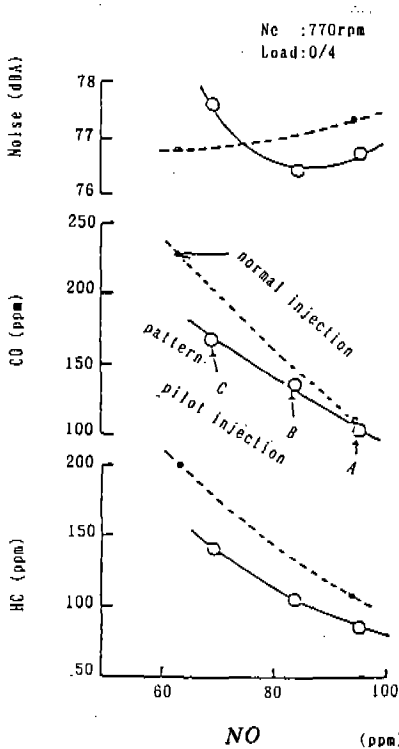


그림 13. 분사패턴이 기관성능에 미치는 영향

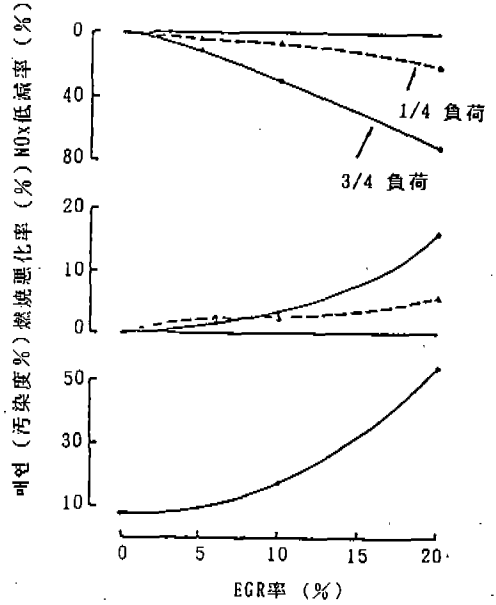


그림 14. EGR에 의한 엔진성능, 배기가스에의 영향

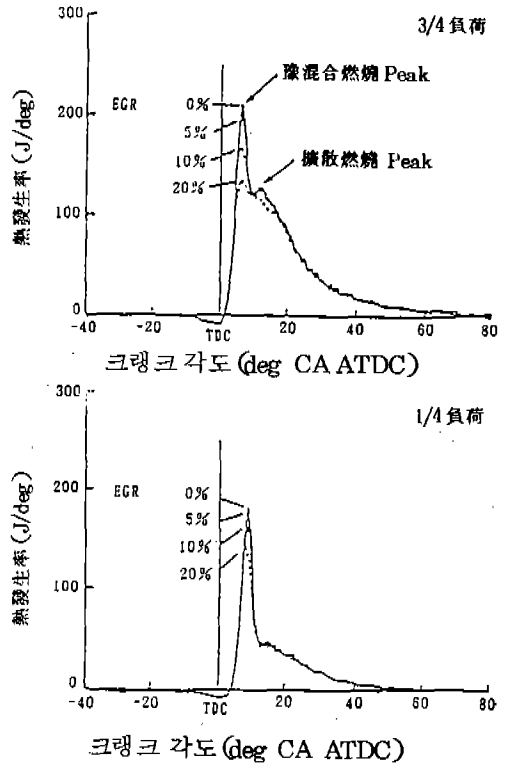


그림 15. EGR의 발생율에의 영향

의 저감율이 높다. 한편 미립자 및 연비는 EGR 을 증대함에 따라서 대폭으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 15 는, EGR 율을 변화시켰을 때의 열발생율의 변화를 나타낸다. 3/4 부하에 있어서 예혼합연소의 착화지연이 다소 감소하고, 예혼합연소의 최대치가, EGR 율을 증대와 함께 저감하고 있다. 확산연소는, 그 연소초기 다소 저하하고 있는 것의 그 양은 적고, 연소가 꽤 진행된 시점에서는, EGR 율에 의한 차는 거의 나타나지 않고 있다. EGR 에 의해 착화지연이 다소 감소하고, 예혼합연소의 발생이 약간 빨라지고 있는 것을 알 수 있지만, 1/4 부하에서는 EGR 에 의하여 예혼합연소의 최대치가 감소하고 있다.

그림 16 은, 연소시기와 착화지연의 변화상을 표시한다. EGR 율이 증대함에 따라서, 연소시간이 증가하고, 이때문에 연비가 악화했다고 생각될 수 있다. 또 착화지연도 다소 감소하고 있고, 예혼합연소의 최대치가 감소한 요인으로 되고 있다. 이들로부터, EGR 에 의한 연소특성으로서, 예혼합연소의 최대치가 감소하여 NOx 가 저감하는 한편, 확산연소의 변화는 적다. 그러나 착화지연은 감소하고 연소시간이 증가하여 연비의 악화의 한 요인으로 되고 있음을 알 수 있다.

범용적분식인 안마 디젤엔진을 사용하여 분사시기 지연과 EGR 의 相關시험을 행하고 있다. 그림 17 에 범용엔진에서의 표준 연료분사시기 25 BTDC 를 3도 지연시킨 경우의 변화상향을 보여준다. 이 그림에서 알 수 있듯이 EGR 율을 행하지 않고 연료분사시기를 3도 지연시킨 것으로만 NOx 가 28%나 저감된 것을 알 수 있다. 또 EGR 율을 조합시킨 경우에는 지연시키지 않은 경우와 비교하여서 NOx 농도의 저감율은 약간이나마 저하하지만 EGR 효과는 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 이로부터 연료 분사시기를 지연하면 EGR 효과는 저하하지만 NOx 가 더욱 저하하기 때문에 종합적으로는 분사시기 지연과 EGR 의 조합은 NOx 저감기술로서 유효하다고 할 수 있다. 그렇지만 분사시기를 지연하면, EGR 율을 증대

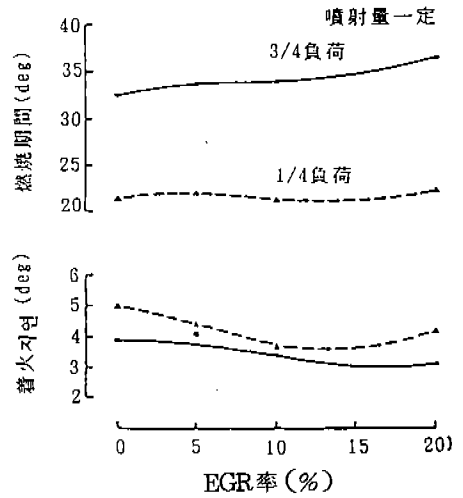


그림 16. 연소시기와 착화지연의 변화

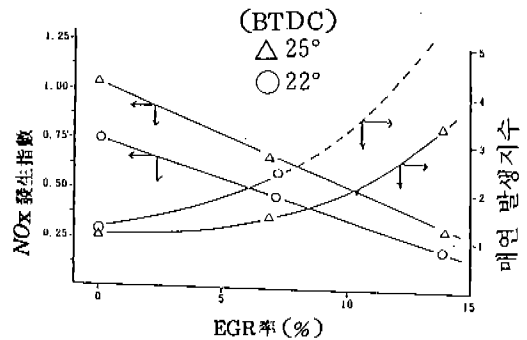


그림 17. EGR 율과 NOx 및 매연농도의 관계

함에 따라서, 미립자 농도가 급증하기 때문에, 이의 대책이 필요하다.

그러나, 순환배기가스중에 포함되어 있는 카본과 기타성분의 영향에 의해 엔진의 흡기계가 오손되고 다량의 침전물이 일어나면 엔진성능이 저하하고 연소실 부품의 마모를 촉진시킨다. 또 순환 배기가스중 카본이 윤활유중에 혼입하여 윤활유를 녹이고, 윤활유중의 마모방지제의 효과를 억제해서, 엔진 부식 마모를 촉진시키기 때문에 EGR 율을 크게 증대하는 것은 불가능하다. 日産(Nissan) 자동차(주)에서는 엔진 윤활유중에 카본이 혼입하는 과정을 해석했다. EGR 율을 행한 경우에, 윤활

유에 흡입하는 카본으로서, 연소에 의해서 생성되어 blow-by 가스에 의해 운반되는 것과 EGR에 의해서 연소실에 들어가는 것의 2가지가 고려될 수 있다. 그림 18은 엔진 윤활유에 혼합한 총 카본량을 100으로서 실린더 벽면막을 통하여 엔진 윤활유에 혼합하는 연소가스에 의한 카본 및 순환배기가스에 의한 카본과 blow-by 가스에 의한 카본의 각 분담율을 표시한다. 이것으로부터 blow-by 가스에 의한 카본 혼합량은 EGR율이 40%에도 3% 정도로 적고, 반면에 EGR율이 증대함에 따라 순환배기 가스에 의한 카본의 각 분담율을 표시한다. 이것으로부터 blow-by 가스에 의한 카본 혼합량은 EGR율이 40%에서도 3% 정도로 적고, 반면에 EGR율이 증대함에 따라 순환배기 가스에 의한 카본혼합비율이 급증하고 EGR율이 40%에서 전체의 50%를 차지하는 것을 알 수 있다.

EGR을 실용화하기 위해서는 엔진에 장애를 준다고 생각될 수 있는 순환 배기가스중의 미립자를 적극 제거해야 한다. 따라서, 미립자 포집, 소각효율이 높고, 수명이 길고 값싼 장치를 개발함과 동시에 엔진부하율 등을 측정하여 순환배기량을 필요 최소한도로 自動可變 제어하는 기구의 개발이 요망된다. NOx의 저감을 보다 효과적으로 하기 위하여, 급기 냉각장치를 설치하여 순환배기 가스를 냉각하는 경우에는 내구성이 있는 콤팩트한 냉각

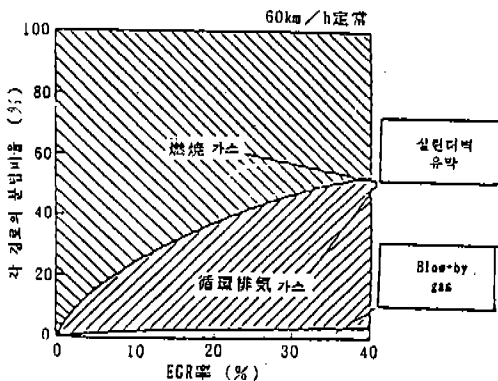


그림 18. 윤활유에의 카본 혼합경로의 영향

장치를 개발하는 등, 신 EGR 시스템을 확립할 필요가 있다.

3.5 水 emulsion 연료

村山 등, Mollenhauer 등, 石田 등은 소형 고속디젤기관에서의 물 에멀전 연료에 의한 NOx 저감효과에 대하여 보고하고 있다. 村山 등은 에멀전에 함유된 수분히 급격히 증발되는 것에 의해서 연소역에서의 온도 강하 등에 의해서 NOx 저감이 가능함과 동시에 분무속의 공기가 말려들어 오는 것이 강화되는 것에 의해서 미립자의 발생도 억제할 수 있다고 보고하고 있다.

또 중속 디젤기관에 대해서는 Nagai 등이 대형 2사이클 기관에 대해서는 Schoubye 등이 같은 보고를 하고 있다. Nagai 등은 물에 밀존 연료의 시험결과 예들 그림 19와 같이 도시하고, 저부하시의 연소의 안정성으로부터 제한을 받기 때문에 30%정도를 한계로 하며 이때의 NOx 저감효과를 약 20%로 되어있다.

물 에밀존 연료는, 분사시기 지연 등의 연소 개선과 비교해서 연비를 악화시키지 않는다

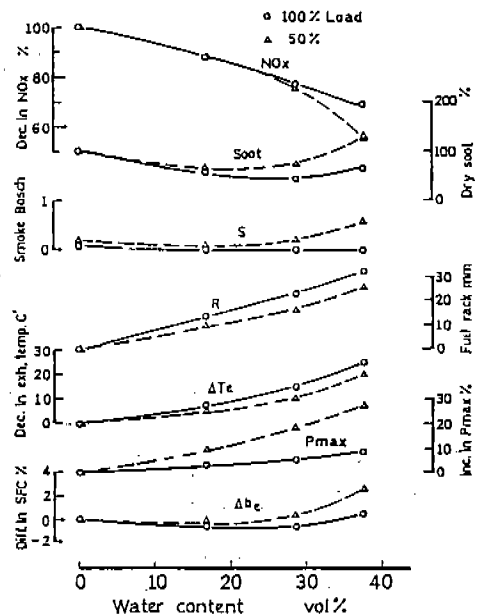


그림 19. 에밀존 연료의 물첨가율과 NOx 및 엔진성능과의 관계

는 이점은 있으나 연료분사계 등의 용량 및 강도를 향상시키기 위한 개조, 연료분사계통, 피스톤 라이나 등의 부식, 내구성의 문제가 있고, 실용화에 대하여서는 아직 실증연구 단계로 생각되어 진다.

3.6 물 분사

齊藤(sato) 등은 흡기 매니폴드內에 물을 분사시켜 NO_x 의 저감효과를 확인하는 실험을 실시하여, 연료에 대하여 중량 비율 30% 물로서 약 20%의 NO_x 저감효과가 있다고

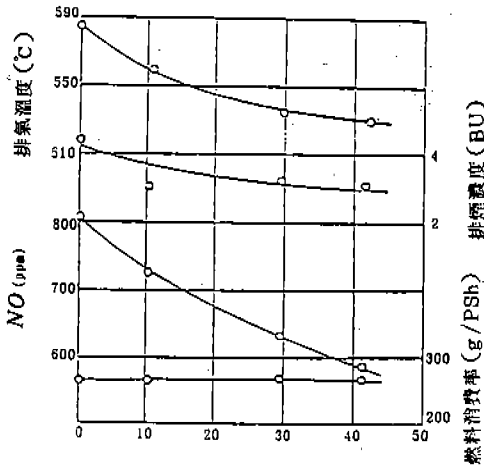


그림 20. 물분사의 효과

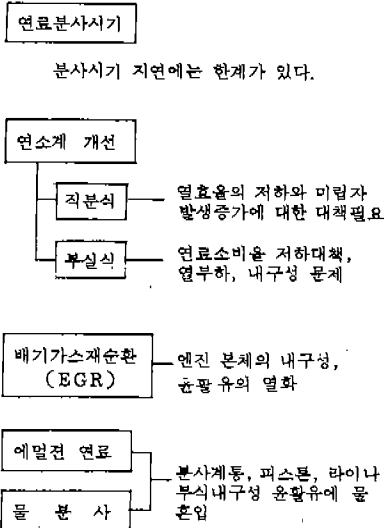


그림 21. 저 NO_x 화 기술의 과제

보고하고 있고, 그림 20은 그 결과를 보여준다. 여기에서, 30%의 물첨가에서는 소 가스량의 증가는 겨우 1~2%, 물의 증발열에 의한 발열량의 저하도 2~3%에 지나지 않기 때문에 국소적인 연소역의 온도 저하가 원인이 되어 NO_x 가 저감하고 있다. 그러나, 물분사를 실시하면 위에서 이야기한 것 같이 피스톤링, 라이나 및 흡 배기 밸브의 부식, 마모나 윤활유의 물의 혼입, 조기열화 등이 문제로 된다.

4. 저 NO_x 화 기술의 과제

저 NO_x 화 기술에 대하여서 과제를 정리하면 그림 21에 표시한것 같다. 즉 분사시 지연에 의하여, NO_x 는 저감되지만, 연비나 미립자 농도의 악화가 뚜렷하기 때문에, 분사시 지연에는 한계가 있다. 직분식엔진에서는, 어떻게 NO_x 를 낮출까? 또 그때의 열효율의 저하와 미립자의 발생 증가를 어떻게 대처할까, 어떻게 최적화를 행할 것인가가 문제이다. 한편, 부실식엔진에서는 어디까지 연소비율을 낮추는 것이 가능할까? 나아가 실린더 헤드 등에 열부하의 높은 부분의 내구성 향상이 과제이다. EGR에서는 엔진 본체의 내구성 및 윤활유의 열화(劣化)가 과제로 된다. 에멀전 연료, 물 분사에 대하여서는 분사장치 및 엔진본체의 내구성이 과제로 된다.

참 고 문 헌

1. 디젤엔진의 超低 NO_x 화에 관한 조사보고서 (1992), 일본석유산업 활성화센터, PEC-89T 14.
2. Kwakami, M. 18th CIMAC, 1986~6, D 27.
3. 大聖 등, 日本機械學會 論文集 B 52, (479), 2768 (昭 61~7).
4. 高橋 등, PEC, 第3回 技術開發研究發表會 講演要旨集, 60 (平 1~10).
5. T. Suzuki, K. Usami (Hino Motors

- Ltd.) ; SAE paper 760213.
6. 松岡 등, 日本 第6回 內燃機關合同 심포지움, 1987. 1.
 7. 菊池 등, (디젤 機器), 日本 第6回 內燃機關 合同 심포지움, 1987. 1.
 8. 鹽崎 등, 日本自動車技術協會 講演前刷集 1989 ~ 10.
 9. Nagai, T. SAE paper 891917.
 10. 齊藤 등, 日本自動車技術 論文集, No. 7, 1974.