

## 일본 NEDO의 혁신적 차세대 저공해차 종합기술개발 성과보고

A Report of Comprehensive Technological Development of Innovative,  
Next-Generation, Low-Pollution Vehicles Part I



공준덕 리츠메이칸대학교  
Joondugk Gong, Ritsumeikan University

### 1. 서론

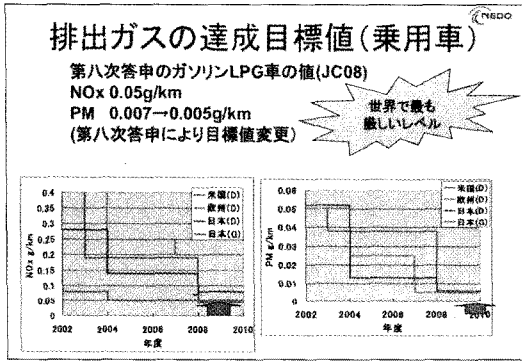
2009년 3월 17일 도쿄 국제 교류관 플라자 헤세이에서 NEDO 혁신적 차세대 저공해차 종합 기술개발 성과 보고회가 개최되었다. NEDO는 독립 행정법인 신 에너지 산업기술 종합 개발 기구를 의미하며, 일본의 산업기술과 에너지 환경 기술의 연구 개발 및 그 보급을 추진하는 일본 국내 최대 규모의 핵심적인 연구 개발 실시 기관이다.<sup>1)</sup> 일본의 산업 경쟁력의 원천이 되는 산업기술에 관하여 미래의 산업의 핵심이 되는 기술 발굴과 산업 경쟁력의 기반이 되는 중장기적인 프로젝트에서 실용화까지, 각 단계의 연구 개발을 산학관의 총력을 결집시키는 매니지먼트를 실시하여 신 기술의 시장화를 도모하고 있다. 특히, 신 에너지 및 에너지 절약 기술의 개발, 실증 시험, 도입 조성 등의 업무를 적극적으로 전개하고, 신 에너지의 이용 확대와 에너지 절약의 추진, 국내 사업으로부터 습득한 지견을 기본으로 해외에서의 기술 실증 등을 추진하여 에너지의 안정된 공급과 지구 환경 문제

해결에 공헌을 목적으로 하고 있다.

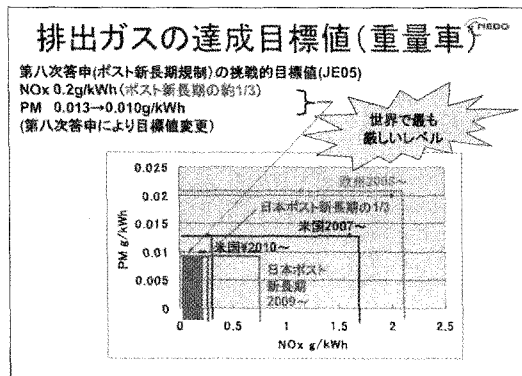
본 고에서는 2004년 8월 24일 ~ 2009년 3월 20일까지 진행되었던 혁신적 차세대 저공해차 종합 기술개발 성과 보고회의 내용 중 엔진의 연소 개선을 테마로 하는 연구 내용을 소개하며, 다음 회에서는 배기가스 후처리 시스템에 대해 소개할 예정이다.<sup>2)</sup>

### 2. 프로젝트의 전체 개요

이 프로젝트의 목적은 디젤 자동차의 환경면에 관한 염려의 불식과 대형 트럭 버스 배기가스 대책, 연비 성능이 뛰어난 디젤엔진 승용차의 환경 성능 개선, 유럽 각국과 미국에 대한 환경 대책 기술 경쟁력 강화, 지구 온난화 문제와 중장기적인 자원 제약에 대한 대응이다. 이러한 목적을 배경으로 배기가스 달성 목표치는 승용차 NOx : 0.05 g/km, PM : 0.005 g/km <그림 1>, 중량차 NOx : 0.2 g/kWh, PM : 0.010 g/kWh <그림 2>로, 세계에서 가장 엄격한 규제치가 설정되었다. 이러한 규제



〈그림 1〉 배기가스 달성 목표치 (승용차)

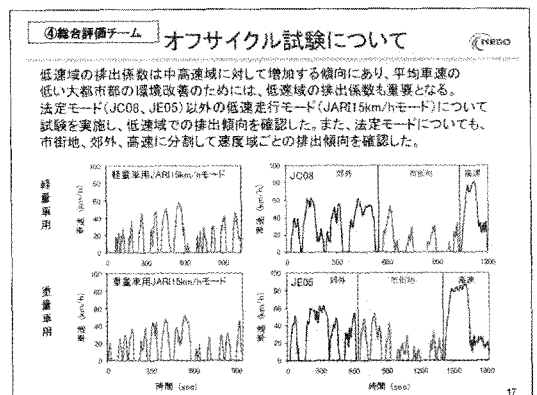


〈그림 2〉 배기가스 달성 목표치 (중량차)

치 목표로 연구 분야는 엔진 연소 개선, 신연료 (합성 경유), 배기가스의 후처리 기술, 종합 평가의 4분야로 나누어 설정되었다. 엔진 연소 개선 분야에 있어서 중량차 분야는 이스즈 중앙연구소와 산업기술 종합 연구소가 공동으로 예혼합 압축 착화 연소와 배열 회수형 컨버터, 신규 NOx 환원 촉매의 연구 개발을 목표로 참가하였다. 또한, 승용차 분야는 마쓰다 자동차, 토다 공업, 히로시마 대학교, 오이타 대학교가 제휴하여 예혼합 저온 연소와 분무 연소의 가시화 해석, 나노 입자를 이용한 신규 NOx 촉매의 개발에 착수했다. 신연료 분야는, 도요타 자동차, 히노 자동차, 쇼와켄 석유가 공동으로 GTL (Gas to Liquid) 연료 개발과 GTL에 적합한 엔진의 최적화를 시

도했다. 후처리 시스템의 중량차 분야는 히노 자동차와 토요하시 기술과학대학교에 의한 플라즈마 활용 요소 SCR 촉매의 연구 개발 그리고 닛산 디젤공업과 도쿄 자기(磁器) 주식회사, 와세다대학교가 제휴한 NOx와 PM 동시 저감 후처리 시스템 개발, SCR 촉매 반응과 PM산화 반응의 시뮬레이션에 의한 기초 해석을 대상으로 프로젝트에 참가 하였다. 후처리 시스템의 승용차 분야는 다이하츠 자동차와 지구환경 산업기술 연구기구에 의해 제안된 플라즈마 반응기에 의한 PM 제거 기술, 저자가 소속된 리츠메이칸대학교에 의해 개발한 고체 전해질을 이용한 NOx와 PM 동시 저감 수법인 ECR 시스템을 호리바 제작소와 공동으로 개발에 착수했다.

이 프로젝트의 또 하나의 특징은 세계에서 가장 엄격한 배기가스 달성 목표치 설정에 그치지 않고, 평균 차속이 낮은 대도시의 환경 개선도 시야에 포함하여, 일본의 법정 모드인 승용차 JC08모드, 중량차 JE05모드 이외에도 일본 자동차연구소(JARI)가 독자적으로 설정한 저속 주행 모드 JARI 15km/h 를 부가 하였다. 또한, JC08 모드와 JE05모드에 있어서 평균 차속을 기준으로 각 모드를 시가지, 교외, 고속으로 3등분하여 각 속도에 대한 배기가스의 배출 경향을 확인하는 등, 평가방법을 강화했다. 〈그림 3〉

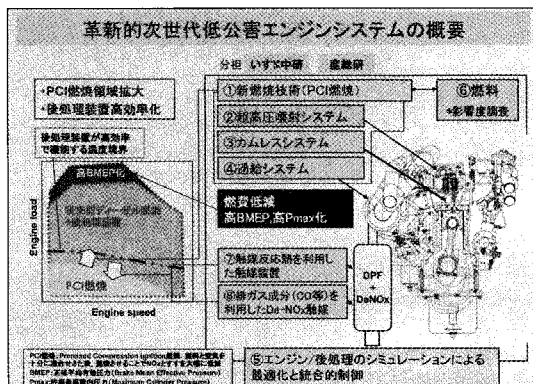


〈그림 3〉 오프 사이클 주행 모드

### 3. 실시자 보고 - 연소 개선 (엔진)과 후처리 분야

#### 3-1. 초고도 연소 제어 엔진 시스템의 연구 개발과 에너지 절약형 NOx 변환 장치의 연구 개발

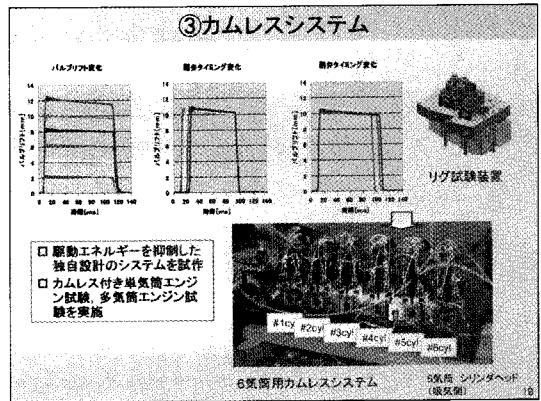
이 연구는 이스즈 자동차의 이스즈 중앙연구소와 산업 기술 종합연구소에 의해 행해졌다. 연구 개발 내용은 디젤 엔진의 듀얼 모드 연소, 연료 성장을 주체로 한 신연소에 의한 배기가스의 대폭적인 저감과 고BMEP (Brake Mean Effective Pressure), 고평창비화에 의한 저연비화를 도모하고, 배기가스 정화 장치로서는 연비 악화각적인 De-NOx 촉매와 열회수 컨버터 개발하여 달성 목표치에 도전했다. 이 연구의 개요는 <그림 4>와 같이 초고압 분사 시스템, 캠레스 시스템, 다단 과급 시스템을 독자적인 제어 기술에 의한 PCI 연소의 실현에 큰 의미가 있다. 특히, 분사 노즐의 미세경(微細徑)과 다분공, 분무 압력 300 MPa를 실현하여 종래의 디젤 연소에서는 NOx와 PM의 트레이드 오프가 개선되지만, 일본공업규격의 경유를 연료로 사용했을 경우, PCI에 의한 운전 영역이 제한되며, 이로 인해 PCI 연소에 적합한 연료를 제한하는 등, 현 단계로는 PCI 연소의 과제를 극복하지 못했다. 그러나 <그림 5>와 같이 프로트 타입에 불과하지만, 6 기동용 캠레스 시스템과 3단 과급 시스템의 개발,



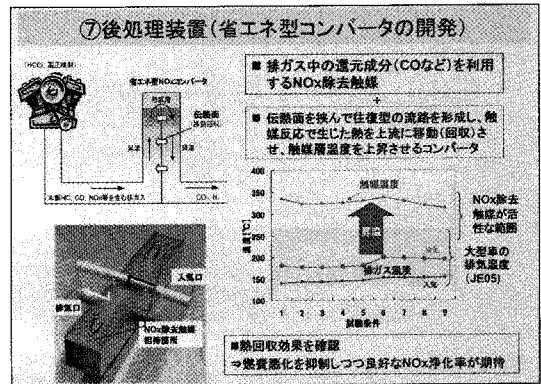
<그림 4> 혁신적 차세대 저공해 엔진 시스템의 개요

원활한 제어 기술, 토탈 엔진 시뮬레이션의 높은 성능은 큰 주목을 받았다. 촉매 장치에 관해서는 종래의 SCR 시스템과 큰 차이는 없지만, 종래보다 저온 영역에서 작동이 가능한 WO<sub>3</sub>과 Ba를 첨가한 Ir/SiO 촉매개발에 머물렀다. 또한, 배기 가스중의 환원 성분을 이용한 NOx 제거 촉매와 열회수 컨버터를 혼용한 후처리 장치도 제안되었지만 <그림 6>, 실현 단계까지 이르지 못하고, 최종 평가에는 사용되지 않았다.

이 연구 프로젝트의 최종 평가에 사용한 엔진의 제원을 <그림 7>, 평가결과를 <그림 8>에 나타낸다. <그림 7>과 같이 NOx와 PM의 목표치는 달성하지만, SCR 시스

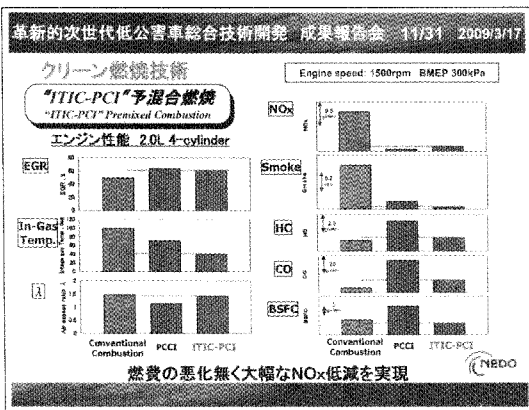


<그림 5> 프로트 타입 캠레스 시스템



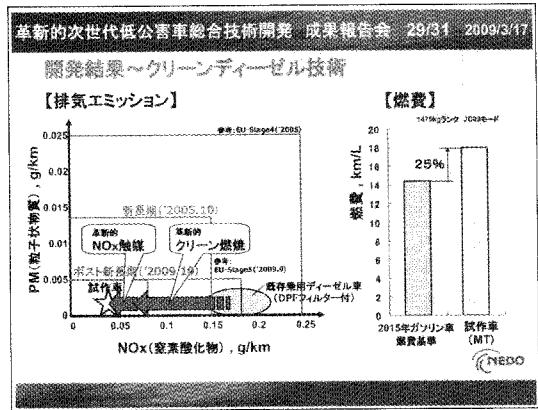
<그림 6> 후처리 장치

희박 혼합기와 대량의 EGR를 실현함으로써 연소의 저온화가 가능하게 되어, 디젤 연소에 의한 CO/HC, Soot, NOx의 각 생성 영역을 회피하는 것에 성공하였다. 또한 종래의 디젤 연소, 기존의 PCCI 연소와 비교하여, 연비의 희생없이, 배기가스의 규제 물질이 큰 폭으로 저감되었다 (그림 11). 그리고, 새롭게 개발된 NOx 촉매의 큰 특징은 (그림 12)에 나타내듯이 5-10 nm의 싱글 나노 사이즈의 촉매를 중공(中空) 삼차원 구조로 형성하여, 반응 활성점의 증가와 안정성, 백금 사용량 저감이 실현됨과 동시에 내열성과 촉매의 성능이 향상되었다.

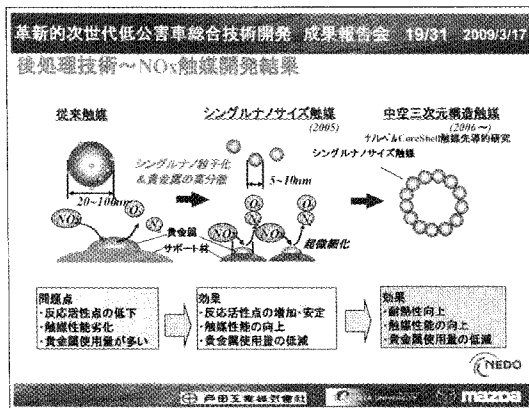


〈그림 11〉 예혼합 연소에 의한 배기가스 특성

이 연구의 최종 평가 결과를 (그림 13)에 나타낸다. 그림과 같이 EURO 4 대응 디젤 엔진을 기준으로 했을 경우, 시차차(試作車)의 NEDO 목표치의 대부분을 엔진 연소 기술에 의해 달성된 것에 큰 의의가 있다. 그리고, 새로운 NOx 촉매에 의해 JC08 모드에서 NOx가 0.03g/km, PM 0.002g/km를 실현함과 동시에, 같은 배기량의 가솔린엔진과 비교하여 25%의 연비 향상을 달성하였다. 그반면, 실용화를 상징했을 경우, ITIC-PCI의 예혼합 연소에 의한 소음과 진동, 촉매의 내구성 확립이 향후의 과제로 제기되었다.



〈그림 13〉 최종 평가 결과



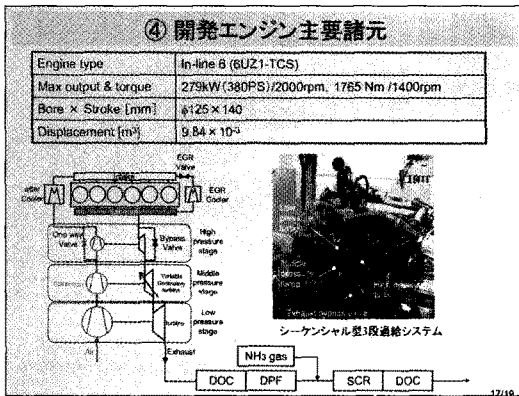
〈그림 12〉 새로운 NOx 촉매

다음 회에는 NEDO의 혁신적 차세대 저공해차 종합 기술개발 성과 보고회의 배기가스 후처리 시스템 분야를 소개할 예정이다.

〈참고문헌〉

- 1) <http://www.nedo.go.jp/>
- 2) NEDO 혁신적 차세대 저공해차 종합 기술개발 성과 보고회 (클린 디젤 프로젝트) 자료

(공준덕 Postdoctoral Fellow : dugka@se.ritsumeai.ac.jp)



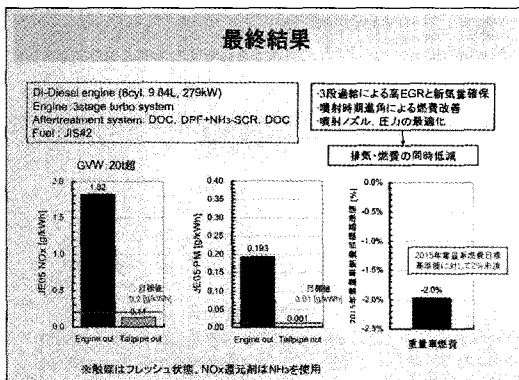
〈그림 7〉 개발 엔진의 중요 제원

탐의 NOx 환원제로서 암모니아 가스가 사용된 것과 최종 평가에 신폴 촉매를 사용하는 등, 신뢰성과 내구성, 코스트의 양립, 실용화에는 많은 과제가 제기되었다.

3-2. 신연소 방식의 연구 개발 및 연료의 최적화 및 혁신적 후처리 시스템의 연구 개발/초저에미션 고효율 승용 디젤 엔진의 연구 개발 및 나노테크놀로지를 응용한 고성능 배기가스 정화용 촉매의 연구 개발

긴 연구테마에 나타나듯이 예혼합 연소 기술과 신촉매의 연구개발에 마츠다 자동차를 중심으로, 토다 공업 주식회사, 히로시마 대학교, 오이타 대학교가 공동으로 참가했다. 각 개발 항목은 〈그림 9〉에 나타내듯이, 새로운 과급 방식과 군분공(群噴孔) 노즐에 의한 ITIC-PCI (Intake Temperature and Injection controlled Premixed Compression Ignition)라고 불리는 예혼합 연소의 실현과 싱글 나노 사이즈 촉매를 이용한 NOx 흡장 환원 촉매 개발이 키 포인트이다. 이 연구에 의한 새로운 연소 기술과 고도의 제어 기술의 실현은 부정할 수 없는 사실이지만 엔진의 배기량과 촉매의 방식을 생략하면, 3-1과 같은 연구 내용으로 느껴졌다.

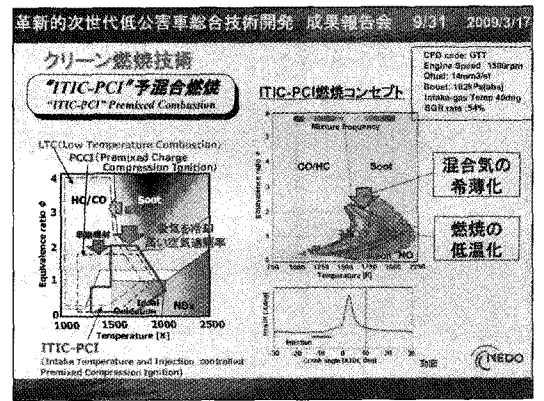
ITIC-PCI의 예혼합 연소는 〈그림 10〉에 나타내듯이,



〈그림 8〉 최종 평가 결과



〈그림 9〉 클린 디젤 기술



〈그림 10〉 ITIC-PCI의 예혼합 연소