

커먼레일 단기통 엔진에서 GTL 연료의 분사시기 변화에 따른 배출물 특성

김 병 준^{*1)} · 이 용 규 · 최 교 남 · 정 동 수²⁾ · 차 경 옥³⁾

명지대학교 대학원 기계공학과¹⁾ · 한국기계연구원²⁾ · 명지대학교 기계공학과³⁾

An Experimental Study on the Emission Characteristics of GTL Fuel with Injection Timings in CRDi Single Cylinder Engine

Byoungjun Kim^{*1)} · Yonggyu Lee · Kyonam Choi · Dongsoo Jeong²⁾ · Kyungok Cha³⁾

^{1,3)}Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Gyeonggi 449-728, Korea

²⁾Korea Institutes of Machinery & Materials(KIMM), 171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

(Received 23 September 2007 / Accepted 22 October 2007)

Abstract : Recently, alternative fuels are drawing more attentions due to the increasing need for lower emission characteristics and fuel consumption rate in automotive engines. The GTL(gas to liquid) is the one of most favored candidates. It has higher cetane number(more than 75) and almost negligible sulphur and aromatic contents. Therefore, enhanced emission characteristics are expected even in the application in diesel engines without any modification. In this study, the cylinder pressure and heat release, emission characteristics with fuel injection timings are compared between diesel and GTL fuel in the single cylinder diesel engine. Noticeable reduction in PM, THC and CO emission are observed due to lower sulphur and aromatic contents in GTL. Also, the ignition delay decreased due to higher cetane number of GTL, which slightly decreased the amount of NOx emissions. With the retards of main injection timing, NOx decreases more for the case of GTL, while the level of THC and CO emissions still remains lower than the case of diesel. Therefore, there is much room for the control of injection timing for NOx reduction without sacrificing THC and CO emissions. With the retards of main injection timing, Small size distribution of PM became larger and there amount increased. But from all conditions, size distribution of PM for the case GTL was lower than Diesel.

Key words : GTL(Gas To Liquid, GTL 연료), Emission characteristics(배기 특성), Heat release rate(열발생율), Single cylinder diesel engine(단기통 디젤 엔진), Ignition delay(점화지연), PM(Particulate Matter, 입자상 물질), CRDi(Common Rail Direct injection, 고압 직접분사방식)

1. 서론

디젤엔진은 가솔린엔진에 비해 열효율이 우수하여, CO₂ 저감측면에서 유리하다. 하지만 디젤엔진은 배기 배출물중 NOx, 입자상 물질(PM)과 같은 유해물질을 다량으로 포함하고 있는 단점이 있다. 이러한 유해물질은 엔진기술과 연료의 물성치를 개선하는 방법으로 저감시킬 수 있다. 이와 관련하여 자

동차 업계에서는 고압직분사 방식을 통하여 연료의 무화, 공기와 연료의 혼합율을 상승시켜 연소시 발생하는 유해물질을 저감시키고, EGR 방식과 SCR 시스템을 이용하여 NOx를 저감시켰다. 또 DPF를 이용하여 배출되는 PM을 저감시키는 기술을 개발하였고 대체연료를 사용하는 전기자동차, 천연가스 자동차, 하이브리드, 연료전지 등의 새로운 환경친화형 자동차들을 개발하여 배출되는 유해가스를 저감시키는데 노력하고 있다.¹⁻³⁾ 유해물질을 저감시키기

*Corresponding author, E-mail: jordanbj@naver.com

위하여 연료의 물성치를 개선하는 방법은 유황성분과 방향족 화합물의 함유량을 줄이고 세탄가를 높여 연료자체에서 유해물질을 생성시키는 성분을 줄여 원천 저감시키는 것이다.

연료의 물성치를 개선한 디젤연료의 대체 연료로는 DME (Dimethyl ether)와 바이오 디젤(Bio-Diesel), BTL(Biomass To Liquid), GTL(Gas To Liquid) 등이 많은 관심을 받고 있다. 그 중 천연가스로 제조되는 GTL(Gas to Liquid)연료는 디젤연료에 비해 세탄가가 높고, 유황함유율과 방향족 화합물이 적으며, 액체밀도와 끓는점 등이 디젤연료와 흡사한 특성을 지니고 있어 기존의 디젤엔진에 추가적인 개조 없이 적용이 용이하여, 디젤대체연료로서 주목받고 있다.⁴⁾ GTL연료는 디젤연료와 동일 수준의 출력 및 연비를 얻을 수 있으며 동시에 Soot와 PM은 저감된다는 장점이 있다.⁶⁻⁸⁾ 그러나, 유황함유율이 디젤연료보다 낮음으로 인해서 윤활성이 떨어지고 고무류와 반응성이 문제가 될 수 있지만, 윤활제를 첨가하거나 초저유황디젤연료와의 혼합을 통해 해결할 수 있다는 연구결과가 발표되고 있다.⁹⁾

본 연구는 나노 PM 원천저감의 연구의 일환으로 연소실에서 생성되는 유해 배기배출물을 저감시키기 위한 목적으로, GTL연료를 상용 디젤승용차량에 적용하였을 때 적용 가능한 연료 분사범위와 배기가스 저감을 최적화 시킬 수 있는 분사시기를 찾기 위해서, CRDi(Common Rail Direct Injection), DOHC(Double Over Head Camshaft) 방식의 단기통 디젤 엔진에서 연료 분사량, 분사압, 분사시기를 제어하였다. 이를 통하여 일반 디젤연료와 GTL연료의 분사시기 변화에 따른 NOx와 PM의 배출관계와 배기 배출물 특성, 연소특성 등을 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 단기통 엔진과 동력계, 배기 배출물 분석 장치, 데이터 취득부로 이루어진다. 전체적인 실험 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 단기통 엔진은 2.0L급 디젤엔진을 바탕으로 설계·제작하였으며, 배기량은 498cc, 자연흡입식(Naturally Aspirated), CRDi, DOHC 방식이다. 엔진의

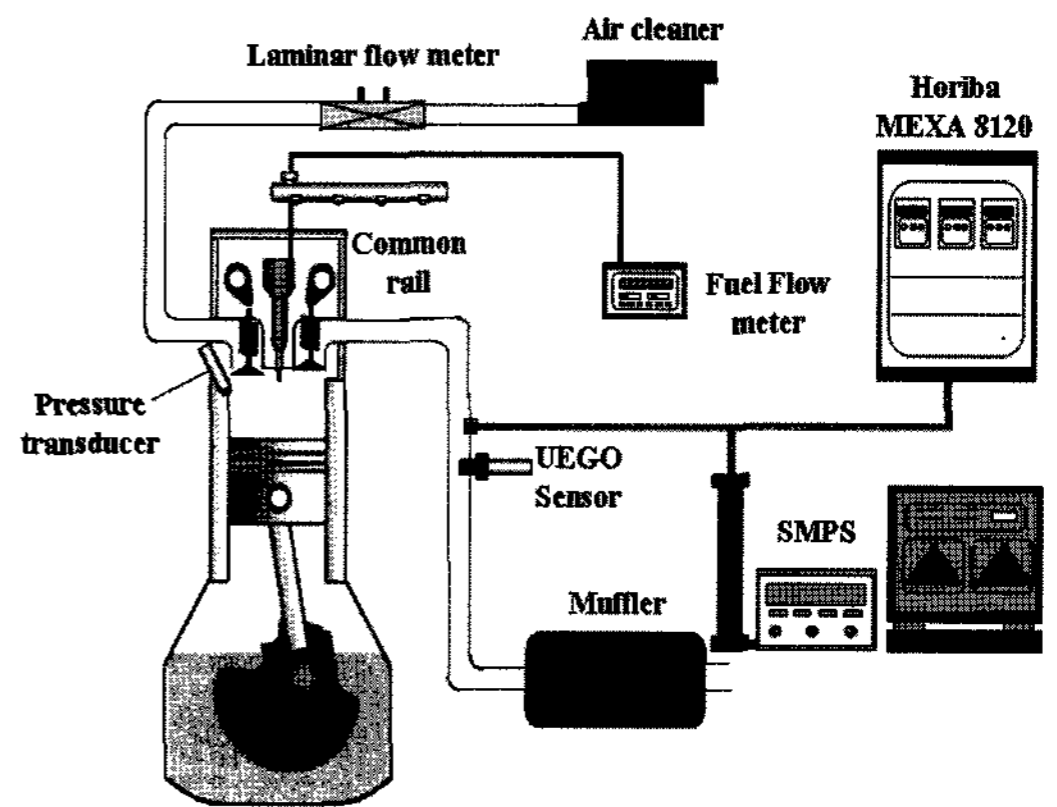


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specifications of test engine

| Items | | Specification | |
|-------------|-----------------------|---------------|------|
| General | Displacement Vol.(cc) | 498 | |
| | Bore × Stroke(mm) | 83 × 92 | |
| | Compression Ration | 17 | |
| | Intake system | NA | |
| Valve Train | Valve Timing | In | 7/43 |
| | | Ex | 52/6 |
| | Cam | DOHC | |
| Fuel System | Fuel Type | Diesel, GTL | |
| | Fuel supply system | CRDi | |

주요제원은 Table 1과 같다.

동력계는 SCHENCK사의 DC Dynamometer를 사용하였고, 연료 공급량, 분사시기, 커먼레일 분사압의 조절을 위해 컨트롤러를 별도로 제작하여 엔진의 운전 조건을 제어하였다. 배기가스의 분석을 위하여 배기분석기(HORIBA, MEXA-8120)를 사용하였으며, PM의 입자 크기별 분포를 측정하기 위해서 Grimm사의 SMPS를 사용하였고, DEKATI사의 Diluter를 사용하여 공기와 배기가스를 일정한 농도로 희석시켰다.

엔진의 회전속도, 흡입공기량과 공연비는 Rotary Encoder, Lamina flow meter, 광대역 산소센서(ETAS Lamina Meter LA4)를 설치하여 측정하였으며, 연소실 압력측정을 위하여 압력센서(KISTLER 6052C)를 사용하였다. 측정장비를 통해 측정된 데이터는 100사이클 단위로 저장하였으며, 압력센서를 통해서 얻어진 데이터는 해석 프로그램 이용하여 연소실 압력과 열발생율을 계산하였다.

2.1 실험조건 및 방법

본 연구에서 수행한 실험조건은 Table 2에 나타내었다. 엔진회전속도 1500 rpm, 도시평균유효압력 (IMEP, Indicated mean effective pressure) 4 bar와 6 bar 조건에서 실험을 수행하였고 각각의 운전 조건에서의 배출물이 최적이라고 판단되는 분사시기를 베이스 조건으로 하였다. 분사시기는 베이스 조건을 기준으로 파일럿 분사시기를 ±5 CA, ±10CA, 주 분사시기를 ±3 CA, ±6 CA로 변화시켰다. 주 분사의 연료분사량은 IMEP 4 bar와 6 bar를 기준으로 동일한 부하조건으로 제어하였다.

각각의 운전조건에서 엔진을 충분히 안정화 시킨 후 데이터를 취득하였으며, 연료온도는 판형열교환기를 이용하여 30°C ± 2°C로 유지하였고, 냉각수온도는 별도의 냉각수 컨트롤러를 이용하여 80°C ± 2°C로 유지시켰다. 배기가스는 배기포트 후단에 Probe를 고정시켜 일정 시간 Sampling 한 후에 배기 분석기를 통해 각 운전조건에서의 THC, CO, NOx를 비교하였다. PM의 입자 크기별 분포는 배기포트 후단에 Probe를 설치하여 SMPS를 통해서 측정하였다.

Table 2 Experimental conditions

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|--------|------------|
| Engine speed | 1500RPM | | |
| Fuel type | Diesel, GTL | | |
| Injection type | Single injection, Pilot injection | | |
| Engine load | IMEP of 4bar, 6bar | | |
| Injection pressure | 4bar | 45 MPa | |
| | 6bar | 55 MPa | |
| Base Injection Timing | 4bar | pilot | BTDC 25 CA |
| | | main | BTDC 3 CA |
| | 6bar | pilot | BTDC 30 CA |
| | | main | BTDC 3 CA |

3. 실험 결과

본 실험에서는 연구용 단기통 엔진에서 디젤연료와 대체연료인 GTL 연료를 Fig. 1의 실험 장치를 이용하여 연료 분사시기 변화가 기관의 성능과 배기 배출물 특성에 미치는 영향에 대해 비교 분석하였다.

3.1 연료 분사량 측정

디젤연료와 GTL연료의 물성치의 차이가 실제 연료 분사계에서 분사량에 미치는 영향을 파악하기

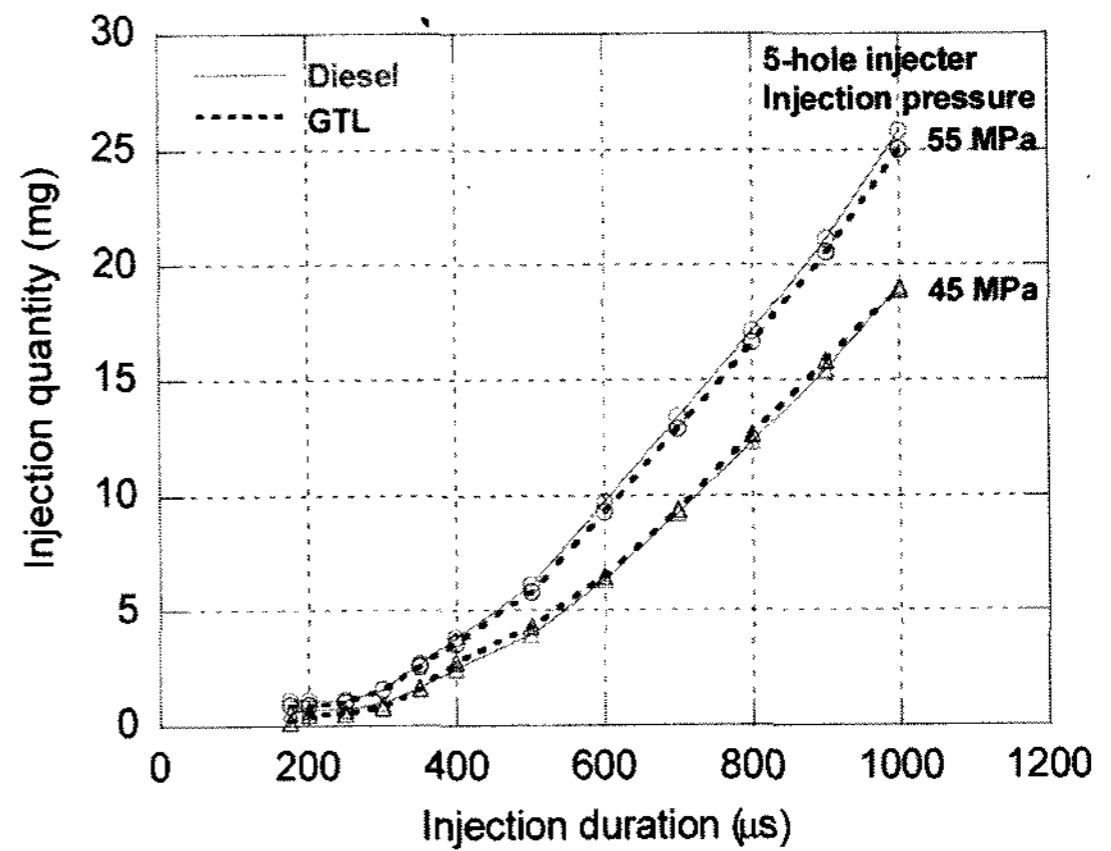


Fig. 2 Comparisons of injection amount with duration at injection pressure of 45 & 55 Mpa

위하여 단기통 디젤엔진의 운전 조건인 IMEP 4 bar와 6 bar에 해당하는 연료 분사압력, 즉 45 MPa와 55 MPa의 경우에 대하여 디젤연료와 GTL연료의 분사량을 측정비교한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 분사량 측정을 위해서 인젝터에서 분사되는 연료의 무게를 전자저울을 이용하여 측정하였고, 분사조건에 따라 100회 ~ 500회 분사된 평균분사량을 비교하였다. 식 (1)에 나타난 바와 같이 오리피스를 통과하는 유량은 유체의 밀도와 압력차에 의해서 결정된다.

$$\dot{m} = CD A \sqrt{2\rho\Delta P} \tag{1}$$

GTL연료는 디젤연료에 비해 밀도가 낮아 동일한 형상과 압력 구배의 오리피스를 통과할 때, 질량 유량이 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 GTL연료의 낮은 점성으로 인하여 마찰에 의한 영향이 감소하여 오리피스를 통과하는 유속은 상대적으로 크게 나타난다. 따라서 이러한 밀도차이와 점성차이에 의한 영향이 서로 상쇄되어 본 연구의 실험 운전조건에서는 디젤 연료와 GTL연료는 동일한 분사량을 나타내었다.

3.2 연소특성

엔진회전속도 1,500 rpm IMEP 4 bar와 6 bar 조건에서 주 분사시기를 고정하고 파일럿 분사시기의 변화에 따른 연소실 압력과 열발생율을 Fig. 3과 4에 나타내었다.

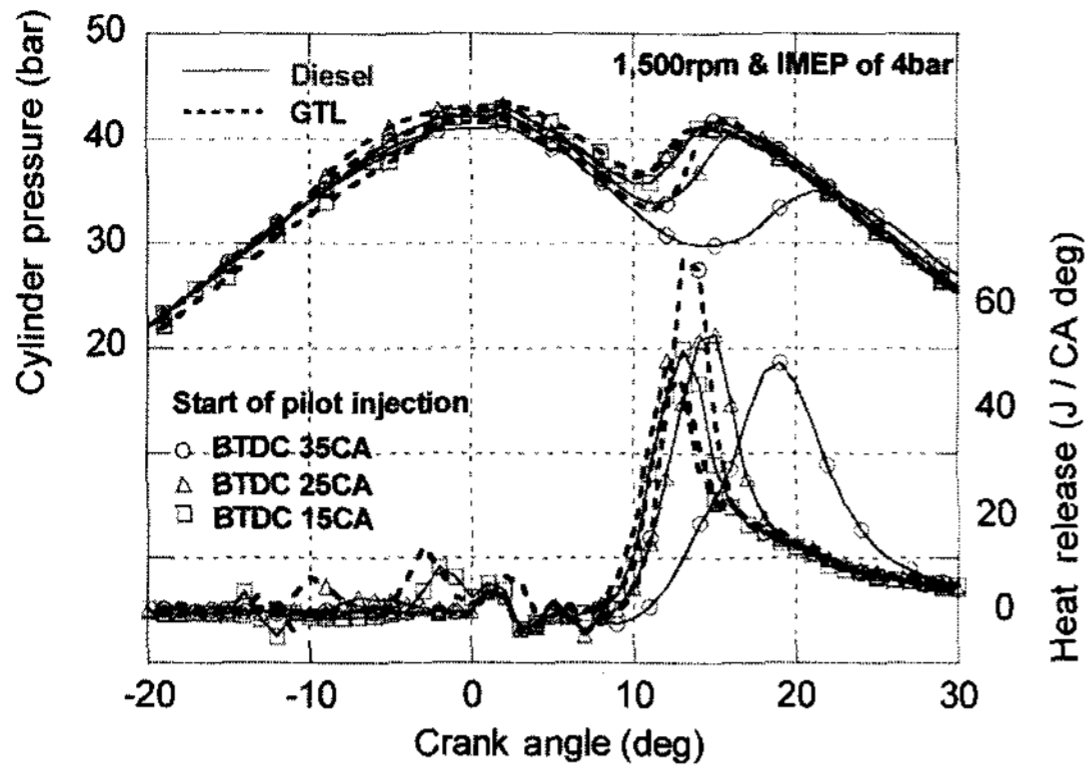


Fig. 3 Comparisons of cylinder pressures with pilot injection timings at the engine speed of 1500 rpm and IMEP of 4 bar

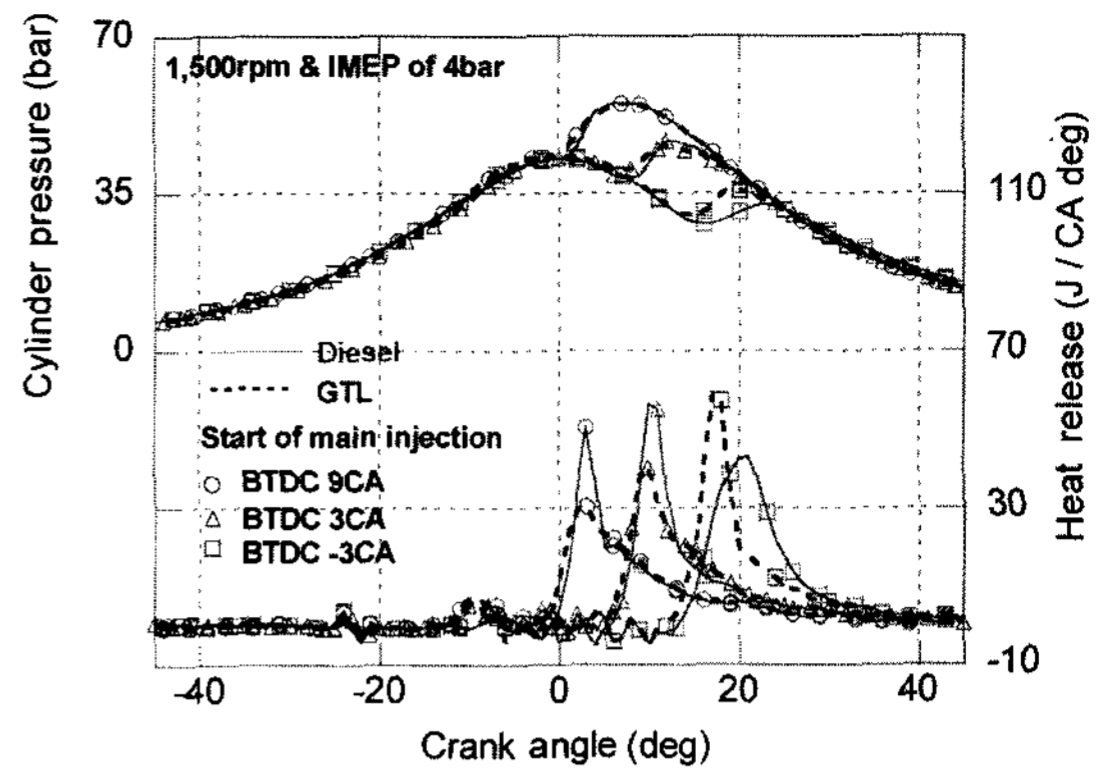


Fig. 5 Comparisons of cylinder pressures with main injection timings at the engine speed of 1500 rpm and IMEP of 4 bar

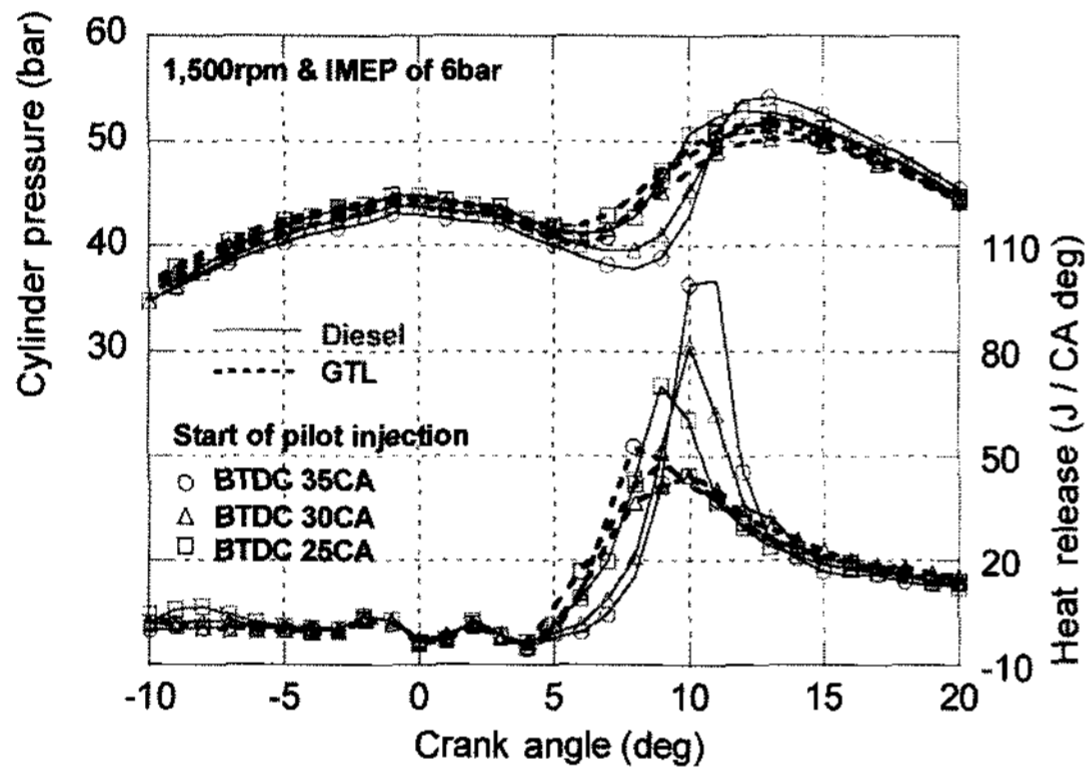


Fig. 4 Comparisons of cylinder pressures with pilot injection timings at the engine speed of 1500 rpm and IMEP of 6 bar

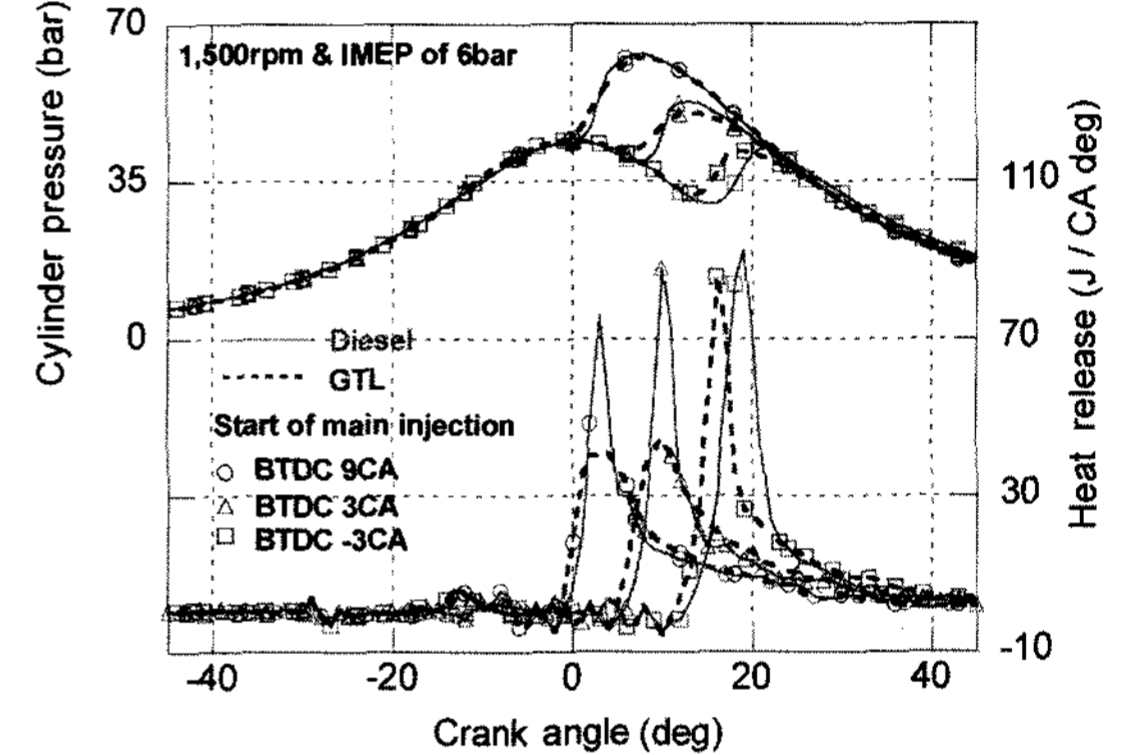


Fig. 6 Comparisons of cylinder pressures with main injection timings at the engine speed of 1500 rpm and IMEP of 6 bar

과일럿 분사시기를 변화시켰을 때 GTL 연료의 경우 연소실 압력은 과일럿 분사에 상관없이 주 분사에 의한 압력상승의 차이가 작게 나타났다. 반면 디젤연료의 경우 연소실 압력은 과일럿 분사시기에 따라 주 분사에 의한 압력상승의 차이가 크게 변하는 것이 나타났다. 이러한 이유는 GTL 연료가 디젤 연료에 비해 연료가 분무되었을 때 낮은 점성과 밀도로 인하여 무화가 더 잘 일어나고, 연소실의 온도와 압력에 대해 상대적으로 덜 민감하며 세탄가가 높아 자발화가 더 잘 일어나 디젤연료에 비해 점화 지연이 짧기 때문인 것으로 생각된다.

엔진회전속도 1,500 rpm IMEP 4 bar와 6 bar 조건에서 과일럿 분사시기를 고정하고 주 분사시기 변화에 따른 연소실 압력과 열발생률은 Fig. 5와 6에

나타내었다. 연소실 압력의 경우 GTL 연료가 디젤 연료보다 다소 빠르게 압력 상승이 일어나고 최고 압력은 GTL 연료가 디젤연료보다 조금 낮게 나타난다. 이것은 GTL 연료의 높은 세탄가로 인하여 점화 지연시간이 짧아 예혼합 연소구간이 감소하여 열발생률 곡선의 최고값이 낮아지는 것에서 기인한 것이다.¹¹⁾ 주 분사시기가 지각 될수록 디젤연료의 점화지연시간은 GTL 연료에 비해 길어지고 압력상승이 늦게 일어난다. 동일 분사조건일 경우 GTL 연료가 점화지연시간이 짧아 먼저 연소가 일어나지만 연소가 끝나는 시점은 디젤연료와 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 초기 점화 지연 기간과 최대 열발생률의 감소, 그리고 긴 연소기간은 NOx 배출량의 저감에 기여할 것으로 판단된다.

3.3 배출물 특성

엔진회전속도 1,500 rpm, IMEP 4bar 조건에서 일반 디젤연료와 GTL연료를 이용하여 주 분사시기를 고정하고 파일럿 분사시기를 변화시켰을 때 디젤연료의 기준 분사시기를 기준으로 하여 배출물 특성을 Fig. 7에 나타내었다. THC와 CO의 경우 파일럿 분사시기 지각에 따라 감소하는 경향이 나타났다. 디젤연료의 베이스 조건을 기준으로 분사시기가 진각 되었을 때 디젤연료는 THC와 CO가 각각 113%의 증가를 보이고 GTL연료는 THC는 10%, CO는 33%의 증가를 보인다. 실제 GTL 연료의 경우 GTL 연료의 베이스를 기준으로 하면 THC와 CO는 68%와 112%의 증가를 보인다. CO의 경우 상대적인 증가량은 디젤연료와 비슷하지만 GTL연료의 베이스 조건의 수치가 디젤연료에 비해 적기 때문에 실제 증가하는 절대량은 GTL연료가 적게 나타난다. 따라서 GTL연료가 파일럿 분사시기 변화에 대한 THC, CO 배출물 특성이 상대적으로 덜 민감하게 나타남을 알 수 있다. 파일럿 분사시기를 진각 시켰을 때 THC와 CO가 증가하는 것은 연료 분사량 증가에 따른 불완전연소에서 기인한 것이며, GTL연료의 경우 높은 세탄가로 인하여 점화지연시간이 짧기 때문에 THC와 CO의 증가량은 적게 나타났다.

NOx의 경우 GTL연료와 디젤연료 모두 파일럿 분사시기 진각과 지각 모두 증가하는 경향이 나타났다. 파일럿 분사시기가 진각 되었을 때 연소실 온도와 압력이 상대적으로 낮아 자발화가 일어나지

못하여 파일럿 분사의 영향이 적게 나타난다. 이로 인하여 점화지연시간이 길어지고 예혼합 연소구간이 증가하는 것이 NOx 증가의 원인으로 판단된다. 반대로 파일럿 분사시기가 지각되면 주 분사시기와의 간격이 감소하여 점화지연시간이 짧아지고 연소실 온도는 상대적으로 상승하게 된다. 이로 인하여 주 분사와 함께 자발화가 일어나 급격한 압력상승을 일으키고 최대 열발생율이 증가하는 것이 NOx 증가의 원인으로 판단된다. 이를 통하여 본 운전조건에서 NOx 배출 특성 측면에서 파일럿 분사시기 BTDC 35 CA에서 BTDC 15 CA 사이에 최적의 분사시기가 있음을 알 수 있다.

엔진회전속도 1,500 rpm, IMEP 4 bar 조건에서 디젤연료와 GTL연료를 이용하여 파일럿 분사시기를 고정하고 주 분사의 분사시기를 변화시켰을 때 디젤연료의 기준 분사시기를 기준으로 하여 배출물 특성을 Fig. 8에 나타내었다. THC와 CO의 경우 주 분사시기 지각에 따라 증가하는 경향이 나타났다. 각각 연료의 베이스를 기준으로 THC와 CO의 경우 주 분사시기 지각에 따라 상대적인 증가량은 비슷하지만 실제 배출되는 양은 GTL 연료가 디젤연료에 비해 40% 적게 배출된다. Fig. 8에 나타난 것처럼 디젤연료의 베이스 조건을 기준으로 한다면 GTL연료의 변화는 디젤연료에 비해 적게 나타난다. THC와 CO의 양이 감소하는 이유는 분사시기가 진각 될수록 공기와 연료가 충분히 혼합되어 Mixing이 향상되고 GTL연료의 적은 방향족성분에 의하여 디젤

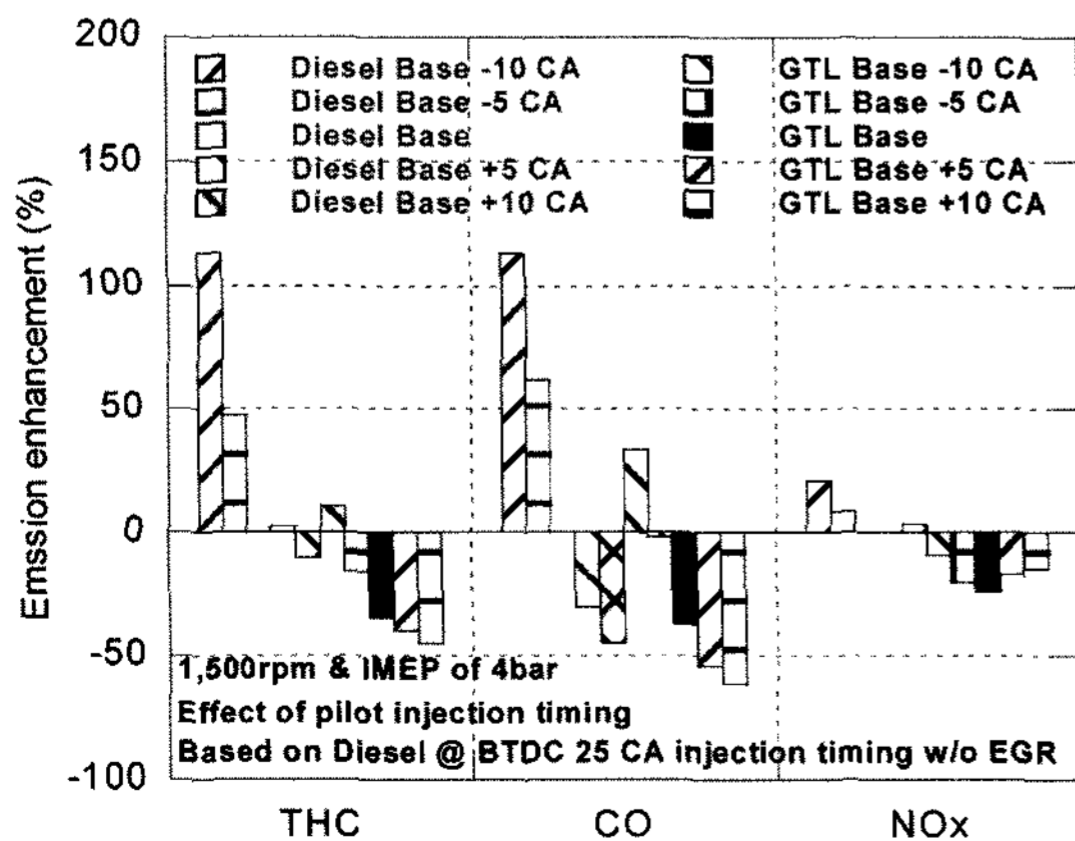


Fig. 7 Comparisons of emission characteristic with Pilot injection timings based on Diesel fuel at base condition

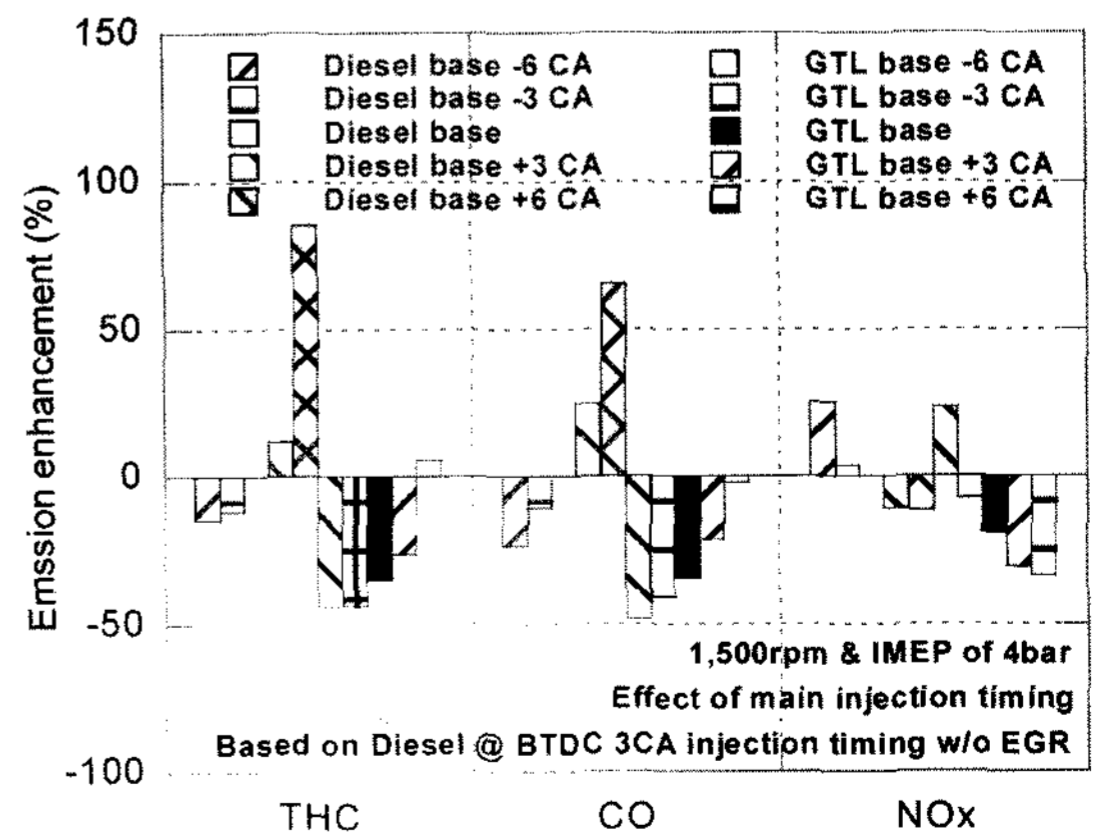


Fig. 8 Comparisons of emission characteristic with Main injection timings based on Diesel fuel at base condition

연료에 비해 THC와 CO가 적게 배출된다. NOx의 경우, 주 분사시기 지각에 따라 감소하는 경향이 나타났다. 각각 연료의 베이스를 기준으로 분사시기 지각의 따른 NOx의 상대적인 감소량은 GTL연료와 디젤연료가 비슷하지만 실제 배출되는 양은 GTL연료가 디젤연료에 비해 20% 적게 배출된다. 분사시기가 지각 되었을 때 예혼합 연소구간은 짧아지고 확산연소가 일어나는 구간이 길어지며, Fig. 5에서 나타난 것처럼 최고압력이 낮아지는 것이 NOx 발생 저감에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

GTL연료의 경우 분사시기를 변화시켰을 때 디젤연료에 비해 THC와 CO의 증가폭이 적고, NOx의 감소폭은 더 크기 때문에 GTL연료가 디젤경유에 비해 분사시기를 변화시킬 수 있는 제어범위가 더 넓고 이를 통하여 얻을 수 있는 배출물 향상 효과가 더 큰 것으로 판단된다.

3.4 입자상 물질(PM) 특성

NOx와 PM의 배출특성은 Trade off 관계를 가지고 있다. 연소가 시작될 때 예혼합 연소구간이 길어지는 경우 연소실 온도가 상승하여 NOx가 증가하는 반면 PM의 생성은 줄어들게 된다. 반대로 예혼합 연소가 짧게 일어나고 확산연소가 길게 지속된다면 연료가 분사되어 공기와 혼합하기 전에 연소가 시작되므로 PM의 생성이 늘어나게 된다. 따라서 상대적으로 NOx의 양은 줄어들게 된다.

Fig. 9는 주 분사시기 변화에 따른 PM의 입자 크기별 분포를 측정된 것이다. GTL연료와 디젤연료 모두 분사시기 지각에 따라 최대 수밀도, 즉 가장 많이 배출되는 입자의 크기가 증가한다. GTL연료의 경우 디젤연료에 비해 BTDC 3 CA, 6 CA 조건에서는 전 영역에서 PM 입자가 적게 배출되고, BTDC 9 CA 조건에서는 30 nm 이상의 입자들이 적게 배출되며, 디젤연료의 경우 수밀도가 높은 입자의 크기가 GTL연료에 비해 크기 때문에 배출물을 질량기준으로 환산하였을 경우 GTL연료의 배출량이 적게 나타난다.

GTL연료는 적은 유황함유율과 높은 세탄가로 인하여 디젤연료에 비해 분사시기를 변화시킨 전 영역에서 적게 배출되었다.

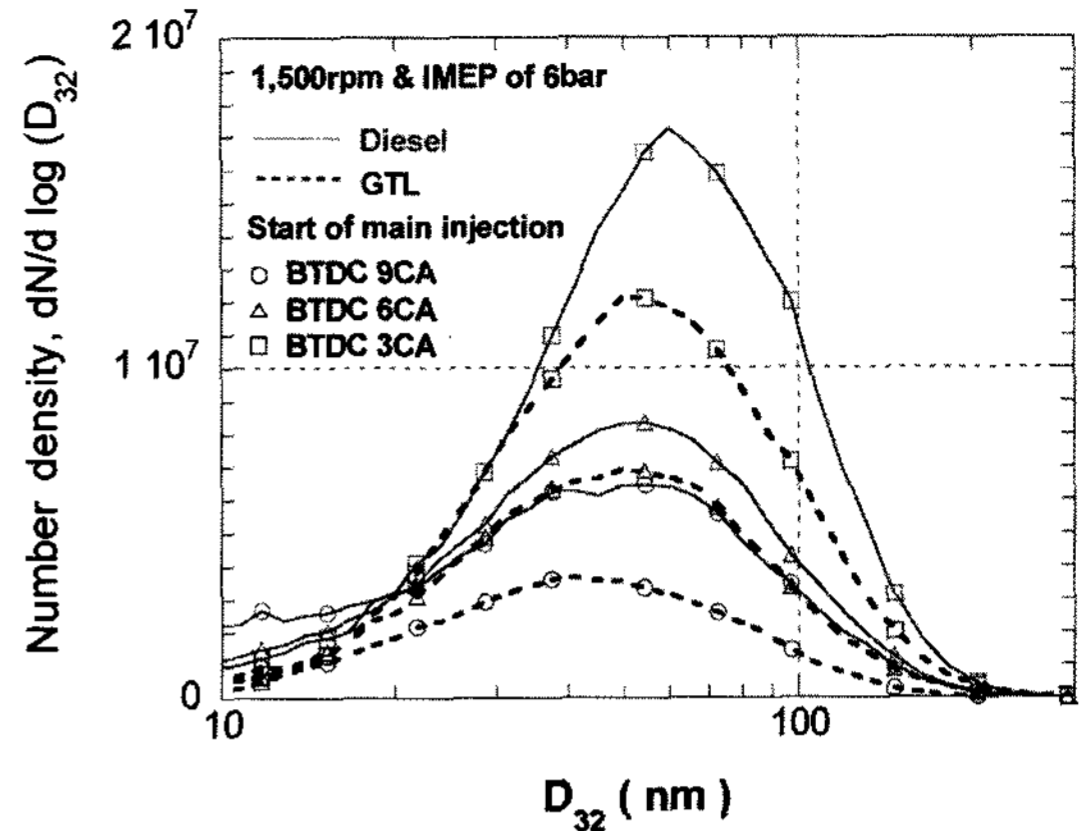


Fig. 9 Effect of main injection timing in particulate matter

앞서 설명한 Fig. 8의 NOx 배출특성과 연관하여 생각하면 GTL 연료는 디젤연료에 비해 분사시기를 변화시켰을 때 NOx의 저감율은 크고 PM은 적게 배출되었다. NOx와 PM의 배출특성으로 인하여 동시에 저감시키는 것은 어렵지만 디젤연료의 배출량보다 GTL연료의 NOx 배출량이 분사시기를 변화시킨 전 구간에서 적기 때문에 GTL연료의 분사시기 변화를 통해서 PM 배출량을 저감시킬 수 있다고 판단된다.

4. 결론

단기통 커먼레일 디젤엔진으로 1,500 rpm IMEP 4 bar와 1,500 rpm IMEP 6 bar의 운전조건에서 GTL연료와 디젤경유를 이용하여 분사시기 변화에 따른 배기배출물과 연소실 압력, 열발생율의 특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) GTL연료와 디젤경유를 동일 분사압으로 분사하였을 때 GTL의 낮은 점성으로 마찰이 감소하여 분사량이 증가하지만 낮은 밀도에 의한 영향과 상쇄되어 디젤연료와 비슷한 분사량을 보인다.
- 2) GTL 연료의 높은 세탄가로 인하여 주 분사시기를 지각 시켰을 때 디젤연료와의 점화지연시간의 차이가 증가했으며, 파일럿 분사시기를 지각 시켰을 때 주 분사에서 점화지연의 변화가 디젤연료의 경우 더 크게 나타났다. 그리고 GTL연료의 짧은 점화지연시간으로 인하여 예혼합 연소구간이 짧아져 최대 열발생율이 낮고 연소실

최고압력이 낮게 나타났다.

- 3) GTL 연료의 경우 주 분사시기를 지각시켰을 때 NO_x의 저감효과는 디젤연료에 비해 크게 나타났다. THC와 CO는 디젤연료에 비해 적은 증가폭을 나타냈다. 하지만 THC와 CO의 경우 분사시기를 변화시킨 전 구간에서 디젤연료보다 적게 배출되었다. 따라서 GTL연료는 분사시기를 변화시켜 NO_x를 저감시킬 수 있는 범위가 넓고 저감율이 큰 것으로 나타났다.
- 4) 분사시기가 진각 될 수록 수밀도가 높은 입자의 크기가 증가한다. 하지만 분사시기를 변화시킨 전 조건에서 GTL연료의 PM 배출량은 디젤연료에 비해 적게 나타났다. 분사시기 변화에 따른 GTL연료의 NO_x 배출량이 디젤연료보다 적게 나타나므로 GTL연료의 분사시기 변화를 통해서 PM 배출량을 저감시킬 수 있다고 판단된다.

References

- 1) S. Al Gore, Earth in the Balance, 小衫隆驛地球の淀, Diamond, p.109, 1992.
- 2) Y.-C. Han, "Automobile Fuels and Pollution for the 21th Century," Journal of KSAE, Vol.24, No.5, pp.74-80, 2002.
- 3) L. L. Stavinoha, E. S. Alfaro, H. H. Dobbs, Jr. L. A. Villahermosa and J. B. Heywood, "Alternative Fuels: Gas to Liquids as Potential 21th Century Truck Fuels," SAE 2000-01-3422, 2000.
- 4) S. W. Lee, "Research Trends of New-Fuels (GTL, DME & Biomass) in Japan," Auto Journal, KSAE, Vol.26, No.3, pp.39-43, 2004.
- 5) M. H. McMillian and M. Gautam, "Consideration for Fischer-Tropsch Derived Liquid Fuels as a Fuel Injection Emission Control Parameter," SAE 982489, 1998.
- 6) M. Oguma, S. Goto, K. Oyama, K. Sugiyama and M. Mori, "The Possibility of Gas to Liquid(GTL) as a Fuel of Direct Injection Diesel Engine," SAE 2002-01-1706, 2002.
- 7) M. Oguma, S. Goto, M. Konno, K. Sugiyama and M. Mori, "Experimental Study of Direct Injection Diesel Engine Fueled with Two Types of Gas To Liquid(GTL)," SAE 2002-01-2691, 2002.
- 8) S. Goto, M. Oguma, K. Kinoshita and R. Wakasa, "Research and Development of New-Fuel (DME-GTL) Engine System," 自動車技術, Vol.57, No.2, 2003.
- 9) G. Lepperhoff, S. Pischinger and H. Busch, S. Keppeler, P. Schaberg and M. Schnell, "Potential of Synthetic Fuels in Combustion Systems for HSDI Diesel Engines," SAE 2006-01-0232, 2006.
- 10) M. Fukumoto, M. Oguma and S. Goto, "Experimental Investigation of Lubricity Improvement of Gas-to-liquid (GTL) Fuels with Additives for Low Sulphur Diesel Fuel," SAE 2003-01-1948, 2003.
- 11) K. Kitano, I. Sakata, and R. Clark, "Effects of GTL Fuel Properties on DI Diesel Combustion," SAE 2005-01-3763, 2005.