

## 대형디젤기관에서 GTL 연료 적용에 따른 기관성능 및 배출 가스 특성

백두성<sup>1\*</sup>

### Engine Performance and Emission Characteristics in A HD Diesel Engine by the Application of GTL Fuel

Doo-Sung Baik<sup>1\*</sup>

**요 약** 본 연구에서는 디젤기관의 친환경 대체연료인 GTL 연료 사용으로 인한 기관성능 및 배출가스의 특성을 알아보기 위하여 12,000cc급 대형디젤기관을 기관성능 모드에서 GTL 및 ULSD 연료를 사용하여 실험 분석하였으며 단일 모드를 사용하여 기관 속도 및 부하에 따른 배출가스 특성을 파악하였고, 최종적으로 2006년 현재 국내 규제시험 모드이고 유로Ⅳ 규제 모드인 ESC 모드를 사용하여 GTL 연료의 성능 및 배출가스의 배출 특성을 분석하여 현재 운행 중인 대형디젤기관으로의 적용 가능성을 검토 하였다.

**Abstract** In this research, engine performance and emission characteristics of a 12,000cc heavy duty diesel engine was investigated by the application of GTL and ULSD fuels. The test was conducted at several engine speeds and loads under a single mode and a ESC mode. GTL fuel proves that it can be applicable to vehicles without engine modification.

**Key Words** : Recreational vehicle(RV), GTL(Gas To Liquid), ESC, BMEP(Break Mean Effective Pressure)

### 1. 서 론

화석연료자원의 고갈이라는 문제와 원유가격의 급등에 따른 국제사회의 에너지 확보 문제 및 자동차에 의한 대기오염 문제는 신중연료에 대한 연구개발 및 시장으로 도입될 필요성을 유도하는 계기가 되었다. 이에 따라 선진화 하는 세계 추세에 맞추어 각국은 신 대체 연료기술 개발에 관한 중·장기적인 계획을 세워 추진 중이며 단기적으로 추진할 수 있는 시스템 기술 향상, 배출가스 제어기술 향상, 청정에너지 변환 등 환경 친화적인 분위기를 조성하기 위하여 많은 연구자들이 힘과 노력을 기울이고 있다. 그러므로 신 대체 에너지의 보급은 대기오염 뿐만 아니라 기술개발의 다변화와 에너지 보원측면에서 에너지, 교통 등 국가의 경제정책과 연계되어 매우 중요한 과제로 전망된다.

디젤기관은 가솔린기관에 비하여 고압축비화와 희박

연소가 용이하여 열효율 측면에서 보면 가솔린기관보다 유리하고 연료의 경제성, 내구성 등이 우수하여 대부분의 중·대형 상용차에 탑재되어 왔다. GTL(Gas To Liquid)은 석탄이나 천연가스의 CO의 수소화 반응에 의한 Fischer Tropsch 법으로 제조되는데 세탄가가 높아 압축착화가 가능하여 연소효율 면에서 유리한 디젤기관에 별다른 장치 개조 없이 사용가능하고 황과 방향족 성분이 거의 없어 유해 배출가스측면에서도 유리하다[1-5].

경제적인 측면에서 GTL은 아직 생산 단가가 비싸지만 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 청정연료에 대한 수요가 급증하리라 기대하고 있어 주요 석유 및 가스 기업들이 천연가스를 원료로 하는 GTL 기술이 상업화 될 경우 예상되는 제조비용은 공정효율 향상, 플랜트 설계의 최적화 등에 따라 생산 가격에 변동을 주겠지만 배럴당의 가격이 SASOL(\$24), Exxon(\$21), MossGas (\$28), Syntroleum (\$22.7) 등으로 발표되어 현재 급등한 원유가격(\$65) 과 비교해서 충분한 경쟁력이 있다고 평가 되어 현재 GTL에 대한 개발이 서둘러 진행 되고 있다[6].

따라서 이번 연구에서는 자체 실험 결과를 통해 신중

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 기계정보공학부

\*백두성(dsbaik@kut.ac.kr)

연료에 대한 기술적인 기초 자료를 확보하여 대형디젤기관에서의 GTL연료의 사용 가능성을 분석하는 것을 주요 목적으로 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 시험 장치

#### 2.1.1 실험 기관

실험용 기관은 국내에서 생산, 제작되어 시내버스 및 대형트럭에 등에 많이 탑재하여 사용되고 있는 대형디젤기관을 대상으로 하여 실험을 수행 하였다. 이 엔진은 과급기(turbo-charger) 및 중간냉각기(intercooler)가 적용되어 있고 표 1은 실험 기관의 제원을 나타낸다.

표 1. 실험 기관 제원

| Items                            | Specifications |
|----------------------------------|----------------|
| Type                             | 6 Cylinder     |
| Fuel injection type              | DI             |
| Displacement(cc)                 | 11.149         |
| Cylinder × Bore(mm) × Stroke(mm) | 6 × 130 × 140  |
| Max power (ps/rpm)               | 290/2,000      |
| Max torque (kg.m/rpm)            | 110/1,200      |
| Injection timing                 | BTDC 11        |

#### 2.1.2 실험 연료

연료의 조성은 오염물질 배출 및 기관성능 특성과 밀접한 관련이 있기 때문에 각 연료별로 대기환경보전법에 의한 연료제조 기준항목과 석유사업법에 의한 품질기준항목에 대해서도 측정한다. 본 실험에 사용된 연료는 수도권대기 환경개선에 관한 특별법에 의거해 현재 국내에서 생산되어 2004년 10월부터 국내에 공급되는 ULSD(황 15ppm이하)와 GTL연료를 사용하였으며 표 2에서는 실험에 사용된 두 연료의 특성을 비교했다.

표 2. 연료( GTL, ULSD)의 성질

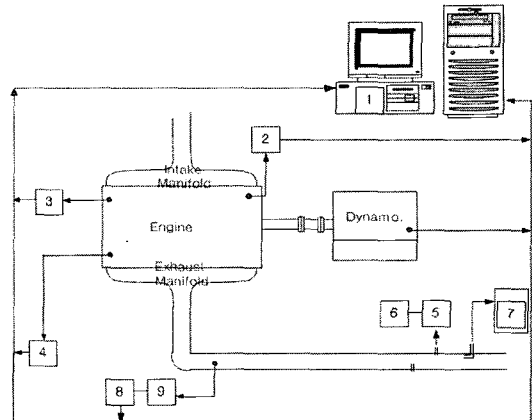
| Properties                   | GTL            | ULSD          |
|------------------------------|----------------|---------------|
| Chemical structure           | $C_nH_{2.13n}$ | $C_nH_{1.8n}$ |
| Liquid density ( $kg/m^3$ )  | 761.64         | 828.2         |
| Boiling point(K)             | 448-633        | 453-643       |
| Vapor pressure(kPa)          | <0.0001        |               |
| Flash point(K)               | 369            | 344           |
| Auto-ignition Temperature(K) | >493           | 523           |

|                                  |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|
| Cetane index                     | 91.7  | 56.1  |
| Kinematic viscosity ( $mm^2/s$ ) | 3.549 | 2.805 |
| Lower heating value(J/kg)        | 46533 | 43200 |
| Stoichiometric A/F               | 14.96 | 14.37 |
| Sulphur (ppm)                    | 0     | 12    |
| Aromatics(%)                     | <3    | 13    |

#### 2.1.3 측정 장치

##### (1) 기관 동력계

기관 엔진 동력계는 420Kw의 AC 동력계, 동력계제어장치(engine controller), 연료 온도 조절장치, 냉각수 온도 조절 장치, 윤활유 온도 조절 장치, 흡입 공기 유량계, 연료 유량계, 연료 유량계 등으로 구성되어 있으며, 그림 1은 실험 장치 구성도를 나타낸다.



1. Dynamometer controller
2. Throttle Actuator
3. Fuel temperature controller
4. Oil temperature controller
5. Exhaust gas analyzer
6. Pen recorder
7. Micro dilution tunnel
8. Pressure sensor
9. Temperature sensor

그림 1. 실험장치 구성도

##### (2) 배출가스분석장치

배출가스분석장치는 디젤기관의 배출가스 중 CO, THC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>를 분석 할 수 있는 장비로서 CO 및 CO<sub>2</sub>는 비분산적외선분석법(NDIR, Non Dispersive Infraed Rsorption), THC는 열식불꽃이온화검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NO<sub>x</sub>는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence Detector)을 사용한다. 표 3은 배출가스분석장치의 제원을 나타낸다.

표 3. 배출가스 분석장치의 제원

| Item                          | Specification   |                 |                       |                             |
|-------------------------------|---|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| Component                     | CO  | CO <sub>2</sub> | THC                   | NO <sub>x</sub>             |
| Measuring principle           | NDIR  | NDIR            | HFID                  | CLD                         |
| Measuring concentration range | 100, 500, 1000, 25000 ppm   | 1, 3%           | 50, 100, 250, 1000ppm | 50, 100, 250, 1000, 2500ppm |
| Repeatability                 | With ±1% of fuel scale per 8 hours (at ambient temperature difference of 5°C) |                 |                       |                             |
| Zero drift                    | With ±1% of fuel scale per 8 hours (at ambient temperature difference of 5°C) |                 |                       |                             |
| Span drift                    | With ±1% of fuel scale per 8 hours (at ambient temperature difference of 5°C) |                 |                       |                             |

(3) PM 시료채취장치 및 측정장치

대형경유엔진의 입자상물질을 측정하기위한 시료채취 장치로는 마이크로터널방식의 입자상물질 측정장치를 사용하였다. 이 장치는 디젤 기관에서 배출되는 배기가스 중 일부의 배기가스를 포집하여 테프론 코팅된 유리섬유 여지에 입자상물질을 포집하는 장치이며 PM 시료채취장치 및 측정 장치의 제원을 표 4에 나타내었다.

표 4. PM 시료채취장치 및 측정 장치의 제원

| Item                            | Specification                 |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Power supply                    | 3 × 380V / 50Hz               |
| Total power consumption         | 0 ~ 8kW                       |
| Sampling type                   | partial flow - Total sampling |
| Filter                          | teflon-coated glasfiber       |
| Dilution tunnel diameter        | 27mm                          |
| Exhaust sampling Probe diameter | 4mm                           |

2.2 실험 방법

2.2.1 단일 모드 실험

ULSD와 GTL연료의 연료 특성에 따른 기관의 BMEP 따른 연료 소비율의 변화 및 배기가스의 배출특성을 비교하기 위해 기관 부하율 1700rpm에서 각 BMEP의 4 개 측정 구간을 선정하여 0.4MPa, 0.7MPa, 1.0MPa 및 1.3MPa에서 CO, THC, NO<sub>x</sub> 및 PM의 결과를 비교, 분석하였다. 각 모드 운행 중 측정 조건은 엔진회전속도 고정 후 계산된 BMEP를 기준으로 토크를 고정 시키고 후 연료소비율, 흡입공기량, 배출가스 온도, 오일 및 배출가스의 압력 등 기관 및 주변장치의 전체적인 상태를 3분 이상 안정시킨 후 60초 동안의 측정 데이터를 수집, 산술평균하여 동력계 제어기에 저장하였다.

2.2.2 규제 모드 실험

현재 운행 중 대형디젤기관의 대체 연료로서의 가능성을 분석하기 위하여 실 도로 주행 패턴을 대표 할 수 있는 규제 모드 중 현행 우리나라의 중량 자동차 배출가스 규제시험모드이고 EUROIV 인증모드인 ND-13(ESC)모드를 사용하여 연료 변화에 따른 배출가스를 측정 분석하였고 해당모드에 대한 운전 조건은 그림 2에 나타낸다.

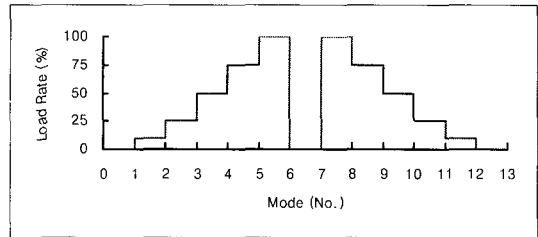


그림 2. ND-13 모드의 운전조건

3. 결과 및 고찰

3.1 단일 모드 실험

(1) 질소산화물(NOx)

NOx는 연소실 온도와 산소 농도가 높을수록 많이 발생되어 매연의 발생 메커니즘과는 서로 상반되는 관계를 가진다. 그림 3에서의 결과는 GTL과 ULSD 모두 BMEP가 0.4MPa에서 1.3MPa로 증가 할 수 록 배출되는 NOx의 양이 증가 하는 경향을 보이고 있으며, GTL이 ULSD에 비해 14.0%, 6.14%, 6.6%, 5.44% 순으로 저감되는 결과를 보였다. GTL연료가 ULSD에 비해 더 적은 NOx를 배출하는 이유는 GTL의 연료 특성상 미립화 및 신속한 착화로 인해 예혼합기간이 짧아져 연소시의 압력 상승과 열방출률 상승이 둔화되어 NOx의 감소를 초래한 것으로 판단된다.

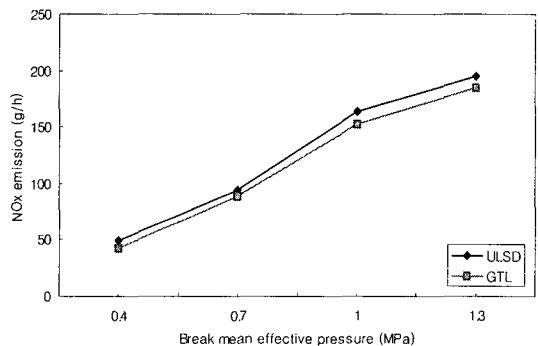


그림 3. 단일 모드 테스트에서의 NOx 배기가스 변화

(2) 일산화탄소(CO)

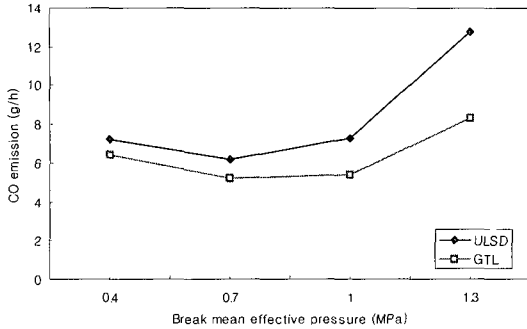


그림 4. 단일 모드 테스트에서의 CO 배기가스 변화

CO는 공기량이 불충분한 고부하 영역에서 많이 배출되는 경향을 나타낸다. 그림 4에서는 GTL과 ULSD 모두 BMEP가 증가함에 따라서 CO 배출량도 비례적으로 증가하는 결과를 보이며, 최대 BMEP지점에서 CO의 배출량이 급격히 증가 하는 이유는 기술한 바와 같이 고부하 영역에서의 공기의 공급량이 불충분하여 연소 조건의 악화로 인한 불완전연소가 주원인이 될 수 있다.

BMEP가 증가함에 따라 GTL과 ULSD 연료 사용에서의 CO 배출량은 10.67%, 16.0%, 26.5%, 34.72%로 저감되었다. 이는 GTL연료의 높은 세탄지수에 의한 착화 조건의 향상 등 연소 조건의 상승에 기인한 것으로 판단된다.

(3) 탄화수소(THC)

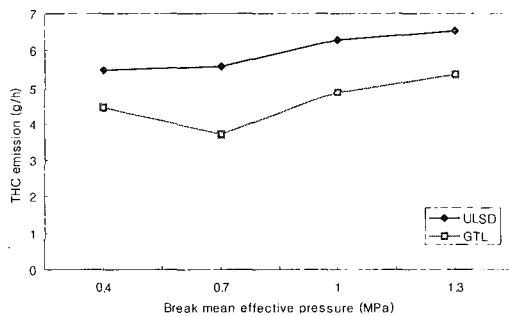


그림 5. 단일 모드 테스트에서의 THC 배기가스 변화

그림 5에서는 GTL과 ULSD 모두 BMEP가 0.4MPa에서 1.3MPa로 증가할수록 배출되는 THC의 양이 증가하는 경향을 보였으며, 각 부하별 배출량은 GTL이 ULSD에 비해 18.61%, 32.95%, 22.16%, 17.93% 감소하였다. 이는 GTL의 세탄가 향상에 따른 착화지연기간의 단축으로 착화성이 향상되어 전체 연소 효율이 높아지게 되었음을 알 수 있다. BMEP의 증가분에 비해 배출되는 THC

의 증가비가 크지 않은 이유는 실린더 벽면 가까이에서의 연소온도 저하로 인해 생성되는 HC가 양이 줄었기 때문이다.

(4) 입자상 물질(PM)

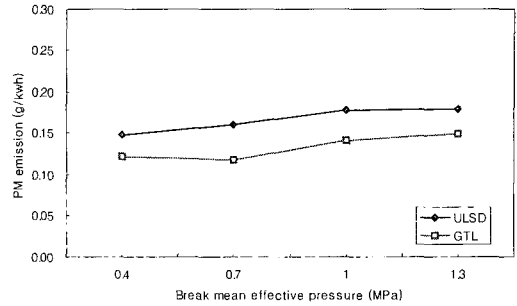


그림 6. 단일 모드 테스트에서의 입자상물질 (PM) 변화

그림 6은 GTL과 ULSD사용에 따른 PM배출량의 차이를 나타낸 것이다. PM의 경우에는 GTL연료의 배출량이 전 영역에서 18.2%, 26.3%, 21.25%, 17.9% 순으로 감소하는 경향을 나타내었다. PM은 매연과 HC화합물, 황산화물 등으로 구성되어 있는데 연소 시 국부적으로 농후한 영역에서 생성되며 실린더 벽면에서의 온도 손실로 인한 미연탄화수소에 의해서도 생성된다. 실험 결과 GTL이 ULSD에 비해 PM배출량이 적은 것은 연료 내에 PAHs와 황함유량이 거의 없어 PM의 구성 성분인 sulfate와 HC 배출량이 줄어든 것과 더불어 연료의 특성상 세탄가가 높아 연소 조건의 개선으로 인한 매연 감소가 전체 PM(Total PM)의 감소에 영향을 미친 것으로 판단된다.

(5) 연료 소비율(g/kWh)

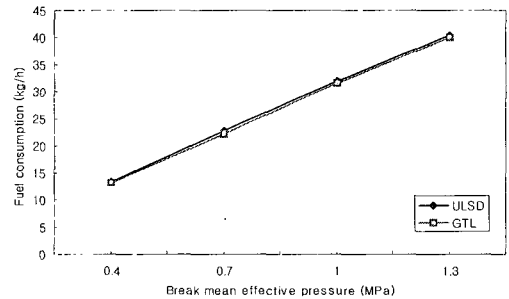


그림 7. 단일 모드 테스트에서의 연료소비량의 변화

그림 7에서는 BMEP별 연소소비량의 차이를 나타낸 것이다. 각 모드별로 GTL이 ULSD에 비해 1.5%, 1.9%, 1.8%, 1.2% 감소하는 경향을 보였으나 그 감소량이 2%

미만으로 미소하여 두 연료는 동일 BMEP에서 동일한 연료 소모량을 나타내었다. 이는 GTL의 저위발열량(J/kg)이 약 7% 높게 나타나지만 실제 실험에 사용된 기관은 인젝터의 분사량 및 분사시기 등 연소 효율에 영향을 미칠 수 있는 여러 조건들이 ULSD의 연소 특성에 맞게 설계된 기관이기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 규제 모드 실험

본 실험 에서는 현재 운행 중인 디젤기관으로의 GTL 적용 가능성을 판단하기 위하여 현재 운행 중 차량의 기관에 별도의 기관개량이나 장치의 개조 없이 GTL과 ULSD 사용에 따른 성능 및 배출가스의 특성을 알아보았다.

#### 3.2.1 기관 성능 특성

그림 8은 동일 기관에 의한 이종 연료 사용에 따른 출력 및 연료 소비율 및 토크를 비교한 결과 GTL연료를 사용할 시 ULSD를 사용할 때 비해 최대 출력은 3.82% 감소하고 평균 출력은 약 7.37%의 감소하는 경향을 보였다. 출력의 감소 요인은 연료 밀도 차에 의한 실제 분사되는 연료의 질량의 차이에 있다고 할 수 있다. 연료소비율은 최대 토크 지점에서 2.5% 감소하였고 평균적으로 1.34% 감소하는 경향을 보여 연료 소비율의 변화는 나타나지 않았음을 알 수 있다. 최대 토크 구간인 1200rpm대에서는 9.75%의 높은 토크 감소를 나타내었는데 이는 최대 토크 구간에서 연료의 밀도 및 발열량, 세탄가 등 연료성상에 의한 차이가 극대화되었기 때문으로 판단된다. 단일 모드 실험 결과를 바탕으로 기존 엔진에 GTL 연료를 사용할 시에는 이에 맞는 분사량 및 분사시기의 조정이 필요한 것으로 생각된다.

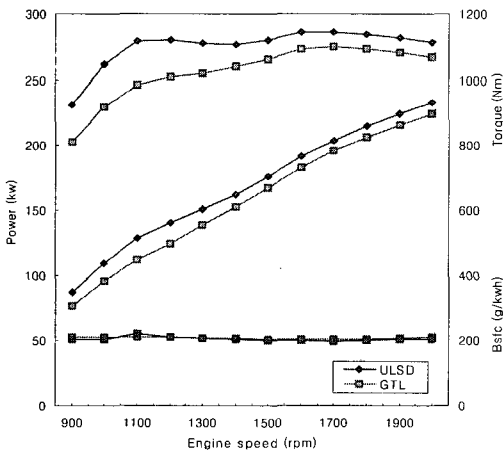


그림 8. Diescl와 GTL를 적용시 기관성능의 비교

#### 3.2.2 배출 가스

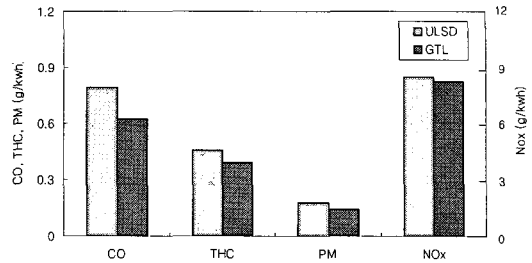


그림 9. ESC 모드에서 배기량 (CO, THC, PM, NOx)의 비교

국내 운행 중인 대형디젤기관의 대체연료 적용에 따른 배출가스양을 비교하기 위하여 실제 주행의 대표성을 지닌 ESC 모드로 실험하였고, 실험결과 GTL연료는 ULSD에 비해 CO 20.88%, THC 14.86% 및 PM 19.54% 감소시켜 배출 하였고, NOx는 3.39%정도만 감소하여 배출하였다. 온실가스인 CO<sub>2</sub> 또한 6.67%의 저감율을 보였으며 GTL연료 적용 시 전체 배출가스 양을 다소 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 현재 운행 중인 차량에 별도의 엔진 개량 없이 GTL을 적용할 경우 2006년 기준 국내 대형 디젤기관의 배출가스 허용기준인 NO<sub>x</sub> 3.5g/kwh와 PM 0.02g/kwh를 만족시키기 위해서는 추가적인 후처리 장치의 사용이 불가피하다고 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 운행 중인 대형디젤 차량의 GTL 연료 사용 가능성을 검토하기 위하여 GTL과 ULSD의 배출가스 및 연비를 측정하여 각 연료의 연소 특성을 비교 분석하였으며 기관적용 특성을 알아보기 위하여 출력, 토크 및 연료소비율 등의 성능 특성과, 규제물질인 CO, HC, NO<sub>x</sub> 및 PM등과 지구온난화 물질인 CO<sub>2</sub>에 대해서도 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동일 BMEP에서 실시한 단일 모드 실험에서는 GTL과 ULSD의 연료소비율은 차이가 거의 없었으며, 배출가스의 배출량은 GTL이 ULSD에 비해 CO, THC, NO<sub>x</sub> 및 PM 모두 20% 이상 감소됨을 알 수 있었다.
2. GTL은 ULSD에 비하여 출력 및 토크가 약간 감소하였다. 이는 연료의 밀도, 발열량 및 세탄가 등 연료성상 차이에 의한 것으로 확인되었다.
3. 국내 대형 디젤기관 규제 모드인 ND-13모드의 실험결과 GTL이 ULSD보다 CO, THC 및 PM은 약 15%이상 저감 하였으며 CO<sub>2</sub>도 6%정도 감소하였으나, NO<sub>x</sub>는

약 3%만 감소됨을 알 수 있었다.

4. GTL은 ULSD보다 기관 성능 및 배출가스 특성으로 보아 기관개량 없이도 현재 운행 중 차량에 대한 적용 가능성이 높은 연료임을 재확인하였다.

- [5] Koji Kitano, et al., "Effects of GTL Fuel Properties on DI Diesel Combustion", SAE 2005-01-3763, 2005.  
[6] 백두성, "차세대 액체연료의 기술전망", 기계저널, Vol. 46, No. 9, pp.15-17, 2006.

### 참고문헌

- [1] 정동수, "GTL(Gas to Liquid) 초정정 디젤 대체연료의 등장", 자동차공학회지 26-3, pp.31-34, 2004.  
[2] Mitsuharu Oguma and Shiichi Goto, "Experimental Study of Direct Injection Diesel Engine Fueled with Types of Gas To Liquid (GTL)", SAE 2002-01-2691, 2002.  
[3] L. A. Teresa, E. Leslie. "Fuel Property, Emission Test, and Operability Results from a fleet of Class 6 Vehicles Operation on Gas-To-Liquid Fuel and Catalyzed Diesel Particle Filters", SAE 2004-01-2959, 2004.  
[4] P. Schaberg, et al., "Emissions Performances of GTL Diesel Fuel and Blends with Optimized Engine Calibrations", SAE 2005-01-2187, 2005.

### 백 두 성(Doo-Sung Baik)

[정회원]



- 1983년 2월 : 국민대학교 기계공학과 (공학사)
- 1991년 3월 : Univ. of Cincinnati 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 5월 : Wichita State Univ. 항공우주공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기계정보공학부 대우교수

<관심분야>

에너지와 환경, 자동차환경기술, 대체에너지기관, 미세열유체, 항공기추진시스템, 초음속공기역학