

GTL연료의 배출가스 특성 연구

곽 순 철^{*1)} · 서 충 열¹⁾ · 강 대 일¹⁾ · 박 정 민¹⁾ · 임 윤 성¹⁾ · 황 춘 식¹⁾ · 엄 명 도¹⁾ · 김 종 춘¹⁾ ·
이 영 재²⁾ · 표 영 덕²⁾ · 정 충 섭³⁾ · 장 은 정³⁾

¹⁾국립환경과학원 교통환경연구소 · ²⁾한국에너지기술연구원 · ³⁾한국석유품질관리원

The Characteristics of Exhaust Gas Emissions with GTL Fuel

Soonchul Gwoak^{*1)} · Chungyul Seo¹⁾ · Daeil Kang¹⁾ · Jungmin Park¹⁾ · Yoonsung Yim¹⁾ ·
Chunsik Hwan¹⁾ · Myoungdo Eom¹⁾ · Jongchoon Kim¹⁾ · Youngjae Lee²⁾ ·
Youngdug Pyo²⁾ · Choongsub Jung³⁾ · Eunjung Jang³⁾

¹⁾Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research, Gyeongseo-dong,
Seo-gu, Incheon 404-707, Korea

²⁾Transportation Energy Research Team, Korea Institute of Energy Research, 71-2 Jang-dong, Yuseong-gu,
Daejeon 305-343, Korea

³⁾Research & Development Department, Korea Petroleum Quality Inspection Institute, 4665-5 Baekhyeon-dong, Bundang-gu,
Seongnam-si, Gyeonggi 463-420, Korea

(Received 11 September 2006 / Accepted 15 May 2007)

Abstract : GTL(Gas-to-Liquids) fuel technology was converted from the natural gas, coal and biomass into the diesel or kerosene by Fisher-Tropsch synthesis. GTL fuel have very good merits on high cetane number, low density, free sulfur, lower aromatics contents and no poly-aromatic hydrocarbons as well as the autoignition characteristics. These physical properties make it valuable as a diesel fuel with lower emissions than the conventional diesel fuel. Furthermore, GTL fuel can be use not to the engine any modification. Therefore, to evaluate emissions of GTL fuel, the tested diesel vehicles were fueled on blends of GTL fuel/ultra low sulfur diesel fuel(ULSD). And then, we found out that GTL fuel reduced regulated emissions(CO, NOx, HC, PM) compare with conventional diesel fuel.

Key words : GTL fuel(가스합성액화연료), Regulated emission(배출가스 규제물질), Ultra low sulfur diesel(초저유황경유)

1. 서 론

최근 우리나라를 포함한 OECD 가입국가에서는 에너지확보, 온실가스 저감, 대기환경 개선 등을 위하여 대체에너지 연구·개발에 많은 투자를 하고 있다. 이러한 대체에너지 중 앞으로 생산과 응용에 있어서 주목받고 있는 것이 GTL(Gas to Liquids)연료이다.

GTL 연료는 석탄, 천연가스, 바이오매스 등으로

부터 얻어질 수 있으며, 특히 천연가스로부터 생산된 GTL 연료는 품질이 매우 우수하다. 또한 천연가스의 매장량을 고려할 때에 대량생산이 가능한 장점을 가지고 있다. 이러한 GTL기술은 1926년 독일의 Franz Fisher와 Hans Tropsch에 의해 금속촉매를 사용하여 석유를 합성하도록 개발된 방법으로 제2차 세계대전중 독일에서 군용연료 제조 목적으로 시작되었다.

GTL 생산 단계는 3단계로 구성되어진다. 1단계는 합성가스 제조 공정으로 천연가스를 부분산화

*Corresponding author, E-mail: caleb@me.go.kr

시켜 CO+H₂의 합성가스를 제조하며, 2단계에서는 제조된 합성가스를 이용하여 증질 파라핀 왁스를 합성한다. 3단계에서는 2단계에서 합성된 증질파라핀 왁스를 크래킹 시킨 후 증류하여 증류온도에 따라 경유, 등유, 가솔린 등의 유종을 생산한다.¹⁾

대체연료로서 GTL은 상온에서 액상으로 취급이 용이하여, 기존의 주유 인프라를 그대로 사용할 수 있다. 또한 GTL 연료는 세탄가가 높고 방향족화합물과 황성분이 거의 없기 때문에 경유에 비하여 배출가스가 적게 배출된다.^{1,2,4,5)}

GTL연료의 생산 프로젝트는 세계 주요 메이저급 정유사인 쉘, 엑손모빌, 코노코필립스, 쉘브론텍사코, 사솔 등에 의해서 이루어지고 있으며, 카타르, 나이지리아 등 대규모 플랜트를 건설 중에 있거나 계획이 되어 있다. GTL연료의 대량생산은 2009년부터이며 2015년에는 세계 경유 시장의 약 7%를 차지할 것으로 예측하고 있다.^{3,4)}

본 연구에서는 계속되는 고유가 추세를 고려할 때 2009년 이후 GTL연료의 국내 도입이 예측되는 바 GTL연료의 배출가스 특성을 환경적인 측면에서 고찰하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시험 차량 및 연료

2.1.1 시험차량

시험 차량 선정은 엔진기술에 따른 차이를 알 수 있도록 커먼레일과 기계식 연료펌프 각 1대씩 배출가스 인증기간 이내인 차량을 선정하였으며, 선정된 차량의 제원은 Table 1에 나타내었다. 시험차량은 시험오차를 최소화하기 위해 차량의 연료기계통 중 연료 필터, 엔진오일 필터, 엔진오일, 에어

Table 1 Specification of test vehicle

Manufacture	Kia	Kia
Vehicle model	Carnival (I)	Carnival (II)
Model year	2002	2003
Mileage (km)	78,673	44,814
Injection system	Mechanical fuel injection pump	CRDI
Displacement (cm ³)	2,902	
Transmission type	5-speed automatic	

클리너 교체 및 타이어의 공기압을 재확인하여 사용하였다.

2.1.2 연료

배출가스 시험에 사용된 연료는 표준연료 및 희석용 연료로 시판중인 초저황경유(ULSD : Ultra Low Sulfur Diesel)를 사용하였으며, GTL은 쉘사의 말라시아 빈톨루 GTL공장에서 생산된 SMDS(Shell Middle Distillate Synthesis)를 사용하였다. GTL혼합연료는 ULSD80%와 GTL20%를 부피비로 정확하게 계량하여 혼합 제조한 GTL20을 사용하였다.

연료의 물성시험은 국제적으로 인증된 시험방법으로 분석하였으며, 각 연료별 분석결과는 Table 2에 나타내었다.

Table 2 The analysis of test fuel

Property	Method	ULSD	GTL20	GTL100	
Flash point (PM, °C)	KS M2010	59	62.0	98.0	
Pore point (°C)	KS M2016	-25.0	-20.0	-2.5	
D I S T. (°C)	IBP	ASTM D2887	163.0	169.2	206.5
	10%		202.0	208.0	241.5
	50%		274.5	280.0	302.5
	90%		336.0	338.0	347.0
	FBP		362.0	362.5	367.0
Density @ 15°C g/cm ³	KS M202	828.2	819.5	785.2	
CFPP (°C)	KS M2411	-17.0	-14.0	-2.5	
Vis. (40°C,mm ² /s)	KS M2014	2.805	2.934	3.549	
Sulfur (ppm)	KS M2077	17	16	9	
Cetane index	ISO 4264	56.1	61.8	91.7	
Aromatics (mass%)	Mono-	IP 391	11.0	8.8	trace
	Di-		0.3	0.2	0.0
	Poly-		trace	0.0	0.0
	Total		11.5	9.0	0.0

2.2 실험 장치 및 방법

2.2.1 차대동력계 및 배출가스 분석기

차대동력계는 직류동력계(MDD-48-108-200HP)로 관성휠(Interia Weight), 동력흡수계, 제어기(Controller)로 구성되어 있으며, 시험차량을 동력계의 롤러위에 올려 고정시킨 후 설정된 주행모드로 운행하게 되어 있으며, 동력계의 제원은 Table 3에 나타내었다. 배출가스 분석기는 Horiba사의 MEXA-

Table 3 Specification of chassis dynamometer

Items	Specifications
Model	DCE-80
Power absorption	40HP
Maximum inertia weight	3345kg
Maximum roll speed	150km/h
Roll size	21.97cm
Trim wheel(lb)	680kg

7200D를 사용하여 배출가스를 측정하였다.

2.2.2 시험모드

배출가스 시험모드는 미국 CARB에서 개발한 FTP-75모드로서 대기환경보전법에서 규정하고 있는 제작자동차 배출가스 인증시험 모드인 CVS-75 모드를 사용하였으며, 배출가스규제물질인 CO, HC, NOx, PM을 측정·분석하였다. Photo. 1에 본 연구에서 사용한 차대동력계와 배출가스 시험 장면을 나타내었다.



Photo. 1 Overview of chassis dynamometer & test car

3. 결과 및 고찰

3.1 연료 물성

시험연료의 물성을 분석한 결과 Table 2에서와 같이 GTL20의 경우 전체 항목에서 ULSD의 분석값과 매우 유사한 결과를 나타내었다. 이러한 결과와 본 시험에서 사용한 GTL연료로 이미 내구시험 중인 쉘사의 시험결과⁶⁾를 고려할 때 국내에서도 GTL연료를 차량의 개조 없이 적용이 가능함을 알 수 있다.

연료의 분석결과 배출가스에 영향을 주는 주요

항목으로는 배출가스 저감에 도움이 되는 세탄값의 경우 GTL이 91.7, ULSD가 56.1을 나타내어 GTL이 ULSD에 비해 35정도 높은 값을 나타내었다. 밀도는 GTL이 785.2g/cm³, ULSD가 828.2g/cm³로 측정되어 GTL이 ULSD에 비해 43g/cm³가 낮은 값을 나타내었다. 배출가스의 주요증가 요인으로 작용하는 황 성분과 방향족 화합물은 GTL은 거의 검출되지 않았지만 ULSD는 황성분이 17ppm, 방향족 성분은 11.5% 함유량을 나타내었다. 이러한 GTL연료의 물성 분석 결과만으로도 GTL연료 사용에 따른 배출가스 저감을 예측할 수 있다.

3.2 배출 특성

3.2.1 배출특성

배출가스 시험은 차량별 및 연료별로 각각 평균 3회 이상 실시한 평균 배출가스 결과를 사용하였다.

GTL연료의 규제물질별 배출가스 특성은 Fig. 1, 2에서와 같이 기계식 연료펌프 연료펌프 차량과 커먼레일 차량 모두 ULSD대비 적게 배출되었다. 이러한 결과는 연료의 물성 분석결과에 의한 배출가스 예측과 동일한 결과를 나타냈다.

이러한 GTL연료의 배출가스 저감 요인은 GTL연료가 가지는 몇가지 특성 때문이다. 본 연구에서 사용한 GTL연료인 SMDS는 경유에 비해 착화지연이 짧고, 방향족이 없는 파라핀계열 연료로서의 H/C비율이 경유에 비해 높다. 이러한 효과는 배출가스 중 CO와 HC의 배출 저감요인으로 작용한다. 또한 GTL연료의 높은 세탄값은 HC와 NOx의 배출가스를 저감시키는 요인이 되며, PM의 저감은 GTL연료가 방향족 화합물과 황성분을 거의 함유하고 있지 않기 때문이다.^{7,8)}

연료별 배출가스의 총배출량은 Fig. 1, 2와 같이 기계식 연료펌프 차량의 경우 ULSD는 1.285g/km, GTL20은 1.098g/km, GTL100은 0.990g/km 배출되었으며, 커먼레일 차량의 경우는 ULSD는 1.164g/km, GTL20은 0.848g/km, GTL100은 0.819g/km 로 각각 배출되었다. 또한 총 배출량 중 NOx와 PM의 배출량은 총 배출량의 약 95%로 나타났다.

3.2.2 배출가스 저감율

ULSD 대비 GTL연료의 배출가스 저감율은 Fig. 3

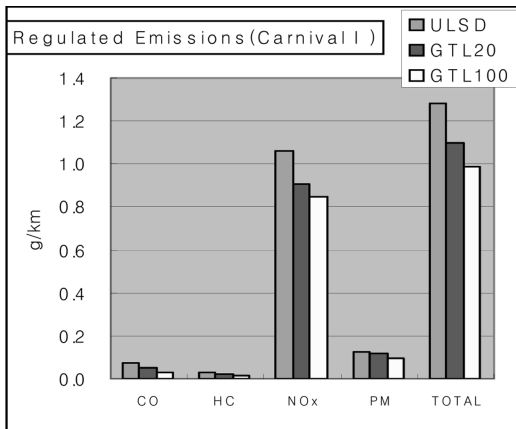


Fig. 1 Emissions by CVS-75 mode(Carnival I)

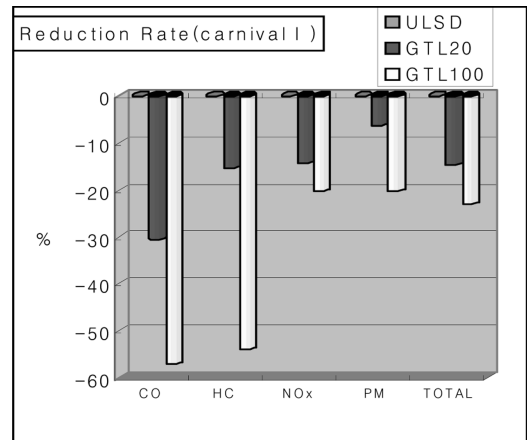


Fig. 3 Emissions reduction rate of GTL compared to ULSD by light-duty vehicles(Carnival I)

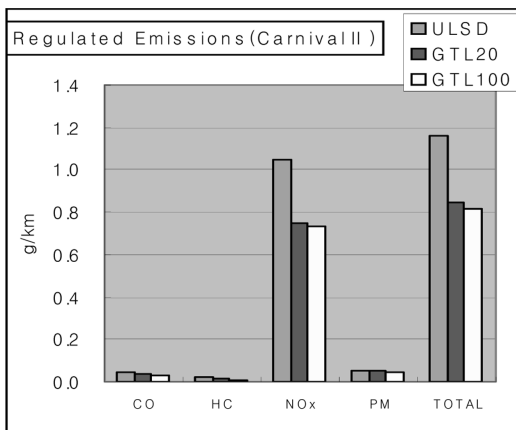


Fig. 2 Emissions by CVS-75 mode(Carnival II)

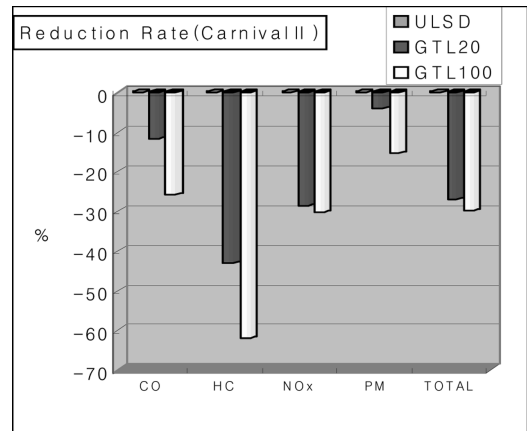


Fig. 4 Emissions reduction rate of GTL compared to ULSD by light-duty vehicles(Carnival II)

과 같이 기계식 연료펌프 차량인 Carnival(I)은 CO는 ULSD대비 31~57%, THC는 15~54%, NOx는 14~20%, PM은 6~20% 저감되었고, 커먼레일 차량인 Carnival(II)는 평균 배출가스 저감율이 CO는 12~26%, THC는 43~62%, NOx는 29~30%, PM은 4~15% 저감되었다.

NOx와 PM은 Fig. 3, 4와 같이 CO와 HC에 비해 저감율은 상대적으로 낮지만 Fig. 1, 2에서 나타난 것과 같이 배출량 기준으로는 총 배출량의 약95% (NOx : 90%, PM : 5%)를 차지한다. 따라서 경유차량의 경우 NOx와 PM의 저감은 전체 배출가스의 저감에 결정적인 영향을 주게 되며, GTL연료는 배출가스 중 NOx와 PM 모두 저감시키는 효과를 나타내어 경유차량의 배출가스 저감에 매우 효과적인 것으로 나타났다.

3.2.3 최적혼합율

GTL연료를 운행차량에 적용시 GTL연료가 기존의 경유에 비해 생산비용이 높기 때문에 순수한 GTL을 사용하는 것보다 기존의 경유와 GTL을 최적 혼합 비율로 혼합하여 사용하는 것이 경제적이다.

최적혼합율을 구하기 위해 본 연구에서 얻은 결과인 ULSD, GTL20, GTL100의 배출가스 저감율을 기초로 각 혼합율을 구간별로 비례적으로 배출가스 저감율을 계산하여 도식함으로써 예측할 수 있었다.

배출가스 저감율 직선성은 Fig. 5에서와 같이 GTL20과 GTL100의 저감율을 비교할 때 커먼레일인 경우에는 GTL20까지 직선성이 나타났으며, 기

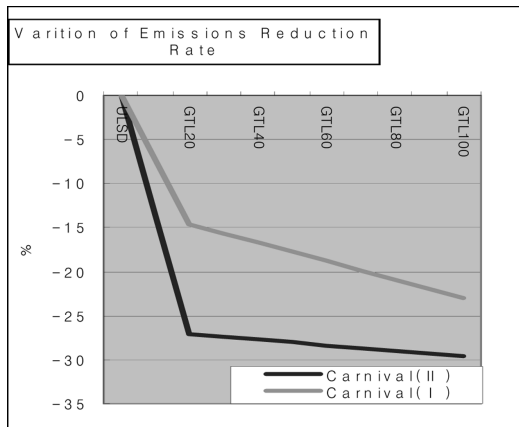


Fig. 5 Variation of Emission reduction rate of GTL fuel

계식인 경우에는 GTL20% 이상 까지도 직선성이 있음을 예측 할 수 있다. 이는 엔진별 직선성의 차이는 있으나 GTL혼합율이 20% 정도 구간에서 최적혼합율이 존재함을 예측할 수 있다. 따라서 GTL 혼합비율이 20% 이상인 경우에는 GTL의 비율을 증가하여도 배출가스 저감효과는 크지 않을 것으로 예측된다. 특히 엔진별로는 커먼레일식 차량의 경우에 이러한 현상이 두드러지게 나타났다. 따라서 GTL의 최적 혼합비율은 커먼레일 엔진의 경우는 $20 \pm \alpha\%$, 기계식엔진인 경우에는 $30 \pm \alpha\%$ 가 가장 경제적인 저감효과를 나타낼 것으로 예측된다.

3.2.4 엔진기술별 배출가스 저감효율

엔진기술별 배출가스 저감효율은 Fig. 6, 7에서와 같이 CO에서는 기계식 연료펌프 차량의 배출가스 저감율이 높았으나, HC와 NOx, PM에서는 커먼레일 차량의 저감효율이 보다 높게 나타났다.

엔진기술의 발달에 따른 배출가스 저감효과는 기존 연료인 경유에서와 마찬가지로 GTL연료에서도 동일한 효과를 나타내어, 전자분사 방식을 적용한 자동차가 기계식 연료펌프 자동차 보다 배출가스가 적게 배출되는 것으로 나타났다. 따라서 기계식 연료펌프 차량이 점차 사라지고 이미 양산되고 있는 커먼레일 차량이 늘어날수록 배출가스 저감효과는 더 있을 것으로 생각된다.

GTL연료를 사용하여 엔진의 내구성을 평가하는 데는 많은 시간이 요구되어 본 연구에서는 수행하지 않고 외국의 실증 자료를 참고 하였다.⁶⁾ 앞에서

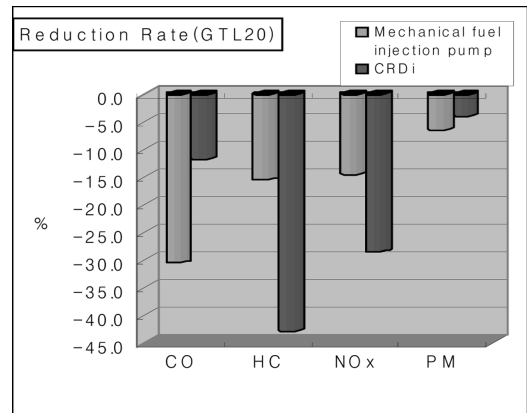


Fig. 6 Emissions reduction rate of CRDi compared with mechanical fuel injection pump engine in GTL20

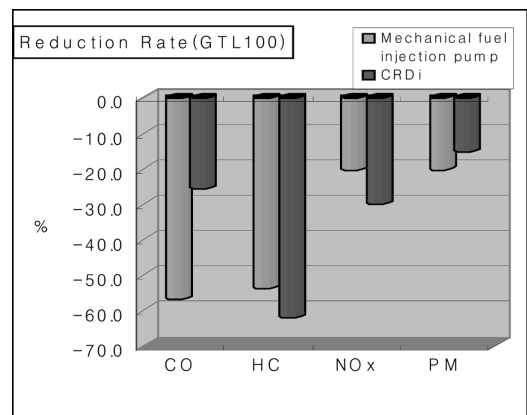


Fig. 7 Emissions reduction rate of CRDi compared with mechanical fuel injection pump engine in GTL100

언급한 바와 같이 외국에서는 이미 엔진의 개조없이 제작차나 운행차에 바로 적용하여도 전혀 문제가 없는 것으로 나타나 있으며, 물론 국내적용에 있어서는 문제가 없을 것으로 사료되나 확대보급 차원에서 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

운행중인 경유차에 초저유황경유와 GTL연료를 경유와 혼합 또는 전용으로 사용하여 배출가스 특성 시험을 하여본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) GTL연료의 혼합비에 따른 주요 물성을 분석한 결과 GTL20의 경우 기존 경유인 ULSD의 특성

과 거의 유사한 결과를 나타내어 운행중인 차량에 적용이 가능함을 알 수 있었다.

- 2) GTL 연료의 배출가스 저감효과는 파라핀연료 특성으로 인한 높은 H/C 비율, 낮은 밀도, 방향족 화합물과 황성분을 거의 함유하지 않은 것과 GTL의 높은 세탄값 때문인 것으로 알 수 있었다.
- 3) 경유에 GTL 연료의 혼합 비율이 증가 할수록 배출가스 저감율도 따라서 증가하였다.
- 4) 경유엔진 배출가스의 95%를 차지하는 NO_x와 PM을 GTL 연료는 동시에 저감 시키는 친환경 연료임을 확인 할 수 있었다.
- 5) GTL 연료의 운행차 적용시 최적혼합비율은 기계식인 경우에는 30% 전후, 커먼레일인 경우에는 20% 전후로 나타났다.
- 6) GTL 연료의 배출가스 저감율은 기계식 연료분사 펌프 방식보다 전자분사 펌프방식이 보다 높은 저감율을 나타내었다.

References

- 1) R. H. Clark and J. F. Unsworth, "The Performance of Diesel Fuel Manufactured by the Shell Middle Distillate Synthesis Process," Processings of 2nd Int. Colloquim, Fuel, Tech. Akad. Esslingen, Ostfildern, Germany, 1999.
- 2) S. C. Gwoak, C. Y. Seo, D. E. Kang, J. M. Park, Y. S. Yim and C. S. Hwang, "The Characteristics of Exhaust Emissions with GTL Fuel," Fall Conference Proceedings, KSAE, pp.717-720, 2005.
- 3) <http://www.globalinsight.com>
- 4) National Institute of Environmental Research, The Characteristics of the Exhaust Gas Emission by Fuel Types(I), NIER, pp.25-30, 2005.
- 5) The Report of National Institute of Environmental Research, The Characteristics of the Exhaust Gas Emission by Fuel Types(I), NIER, pp.437-445, 2005.
- 6) <http://www.shell.com/>
- 7) P. Schaberg, J. Botha, M. Schnell, H. O. Hermann, N. Peiz and R. Maly, "Emissions Performance of GTL Diesel Fuel and Blends with Optimized Engine Calibrations," SAE 2005-01-2187, 2005.
- 8) K. Kitano, I. Sakata and R. Clark, "Effects of GTL Fuel Properties on Di Diesel Combustion," SAE 2005-01-3763, 2005.