

BTL 디젤 생산을 위한 F-T 디젤의 연료적 특성 연구

김재곤[†] · 전철환 · 임의순 · 정충섭 · 이상봉* · 이윤제* · 강명진*

[†]한국석유관리원 석유기술연구소, *한국화학연구원 석유대체기술연구센터
(2012년 8월 25일 접수 ; 2012년 9월 17일 수정 ; 2012년 9월 25일 채택)

A Study on Fuel Quality Characteristics of F-T Diesel for Production of BTL Diesel

Jae-Kon Kim[†] · Cheol-Hwan Jeon · Eui-Soon Yim · Choong-Sub Jung
Sang-Bong Lee* · Yun-Je Lee* · Myung-Jin Kang*

[†]*Petroleum Technology R&D Center, Korea Institute of Petroleum Management*

**Petroleum Displacement Technology Research Center,
Korea Research Institute of Chemical Technology*

(Received August 25, 2012 ; Revised September 17, 2012 ; Accepted September 25, 2012)

요약 : 최근 정부는 국가 온실가스를 효율적으로 감축시켜 국제적인 기후변화에 대응하기 위하여 여러 부문에서 기술개발을 진행 중에 있다. 이를 달성하기 위하여 정부는 화석연료를 대체하고 이산화탄소를 감축시키는 수단으로 바이오연료를 저탄소와 탄소중립자원으로 검토하고 있는 실정이다. 일반적으로, 목질계로부터 생산된 2세대 바이오연료는 수송부문에서 기존 화석연료를 대체하고 온실가스를 감축하는데 큰 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 정부는 목질계 기반 바이오매스 액화연료(biomass-to-liquid fuel)에 대해 파일럿 수준으로 기술개발 중에 있다. 따라서 본 연구에서는 바이오매스액화연료 생산을 위한 동일공정으로 합성된 F-T(Fischer-Tropsch) 디젤의 연료적 특성을 연구하였다. 합성 F-T 디젤은 자동차용 경유에 단독 또는 혼합하여 사용할 수 있는 장점으로 인해 자동차용 경유엔진에 사용될 수 있다. 그 이유는 합성 F-T 디젤이 자동차용 경유와 비슷한 물리적 특성을 가지기 때문이다. 본 연구에 사용된 F-T 디젤은 Fischer-Tropsch (F-T) 공정을 이용하여 저온(240°C)에서 철 촉매를 가지고 합성되었다. 합성 F-T 디젤은 n-파라핀과 iso-파라핀을 함유하고, 등유와 경유 성분을 가진 C₁₂~C₂₃₊ 분포로 이루어졌다. 합성 F-T 디젤은 합성 F-T 연료부터 증류를 통해 분리된 합성 F-T 디젤은 자동차용 경유에 비해 세탄가가 높으며, 방향족화합물은 매우 낮고, 황함량은 초저황(sulfur free) 수준으로 평가되었다. 또한 합성 F-T 디젤은 자동차용 경유와 비교하여 황과 방향족 화합물의 함량이 낮기 때문에 윤활성이 열악함을 보였다.

주제어 : 바이오매스 액화연료, 피셔-트롭시, 바이오연료, 연료품질, 경유.

[†]주저자 (E-mail : jkkim@kpetro.or.kr)

Abstract : In order to reduce the effects of greenhouse gas (GHG) emissions, the South Korean government has announced a special platform of technologies as part of an effort to minimize global climate change. To further this effort, the Korean government has pledged to increase low-carbon and carbon neutral resources for biofuel derived from biomass to replace fossil and to decrease levels of carbon dioxide. In general, second generation biofuel produced from woody biomass is expected to be an effective avenue for reducing fossil fuel consumption and greenhouse gas (GHG) emissions in road transport. It is important that under the new Korean initiative, pilot scale studies evolve practices to produce biomass-to-liquid (BTL) fuel. This study reports the quality characteristics of F-T(Fischer-Tropsch) diesel for production of BTL fuel. Synthetic F-Tdiesel fuel can be used in automotive diesel engines, pure or blended with automotive diesel, due to its similar physical properties to diesel. F-T diesel fuel was synthesized by Fischer-Tropsch (F-T) process with syngas(H_2/CO), Fe based catalyst in low temperature condition($240^\circ C$). Synthetic F-T diesel with diesel compositions after distillation process is consisted of $C_{12}\sim C_{23+}$ mixture as a kerosine, diesel compositions of n-paraffin and iso-paraffin compounds. Synthetic F-T diesel investigated a very high cetane number, low aromatic composition and sulfur free level compared to automotive diesel. Synthetic F-T diesel also show The wear scar of synthetic F-T diesel show poor lubricity due to low content of sulfur and aromatic compounds compared to automotive diesel.

Keywords : BTL(Biomass-To-Liquid,), F-T (Fischer-Tropsch), Biofuel, Fuel Quality, Diesel.

1. 서론

최근 석유자원 고갈과 기후변화 문제가 지속 성장사회 실현에 주 장애요인으로 대두됨에 따라 이에 효과적으로 대응하기 위한 수단으로써 재생에너지의 중요성이 부각 되고 있다[1-7]. 이러한 배경에서 정부는 국가에너지기본계획을 통하여 2030년까지 탈 화석에너지화를 위해 석유의존도 33%, 신·재생에너지 보급률 11% 목표를 수립하고 이를 달성하기 위한 에너지 정책을 추진하고 있다. 2010년 신재생에너지 소비현황을 보면 6,856천 TOE로 전체 1차 에너지 소비(262,609천 TOE) 대비 2.61%를 차지하고 있다[8]. 2010년 보급된 신재생에너지 중 폐기물이 70.92%로 절대적이며, 다음으로 수력(11.56%), 바이오(11.01%) 순으로 이었다. 이러한 신재생에너지 보급 확대를 위해 수송부문에서 바이오에너지의 확대가 필요한 상황에 있다. 이러한 재생에너지 중 바이오매스로부터 생산되는 바이

오에너지는 타 재생에너지의 적용이 불가능한 수송 부문에서 직접 적용 가능하여 석유 에너지의 직접 대체 효과가 높다는 장점이 있다. 이러한 석유대체 가능한 바이오에너지에는 바이오디젤, 바이오에탄올, 바이오가스, 바이오부탄올 그리고 BTL 등이 있다[3]. 기존 바이오디젤은 식물성 기름만을 원료로 사용하는데 비해 BTL은 모든 종류의 바이오매스를 원료로 사용하므로 원료 제한이 없다는 장점이 있다.

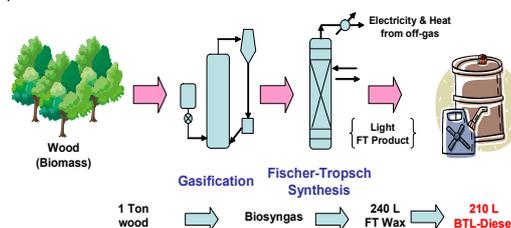


Fig. 1. Production Process of BTL diesel.

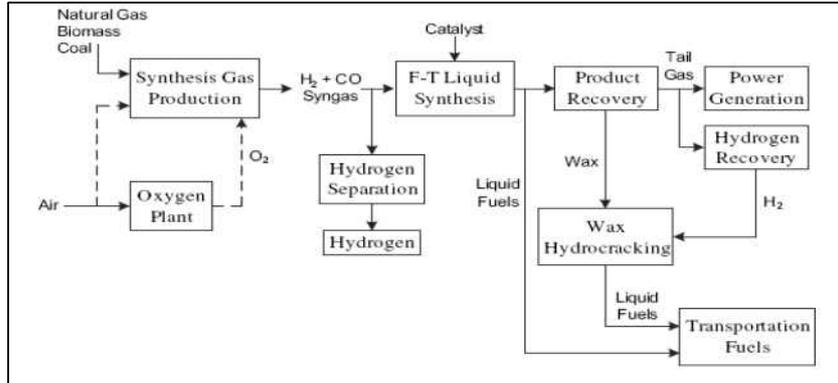


Fig. 2. Scheme of F-T technology.

이러한 장점으로 2세대 바이오디젤로 불리는 BTL은 섬유소계 바이오매스를 열분해하여 합성가스로 전환한 후 가스 정제 및 F-T (Fischer-Tropsch) 합성에 의해 생산된다(Fig. 1). 이 기술은 연구단계에서 상용화 단계로 전환되고 있지만, 이미 상용화된 석탄 가스화에 의한 액상연료 생산 기술의 연장선상에 있는 것으로 평가된다[9-11].

BTL 연료는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 F-T 기술에 의해 합성가스 H₂/CO의 일정비율에 의해 합성되고 있는 실정이다[12-13]. 따라서 F-T 디젤의 증류범위에 따라 연료적 특성이 매우 달리 나타나고 있다. 이러한 F-T 기술 기반의 바이오매스로 만들어진 합성가스에 의해 합성된 BTL 연료는 기존 화석연료 대비 배출가스 저감 효과와 온실가스 저감 등의 큰 효과가 있는 것을 알려지고 있으며, 세계 각국에서 기술개발에 박차를 가하고 있는 실정이다[14].

따라서 본 연구에서는 국내에서 추진되고 있는 BTL 연료생산 기술의 기반으로 적용되고 있는 F-T 디젤의 연료적 특성을 연구하였다.

2. 실험

2.1. F-T 연료 합성 공정

F-T 디젤은 일반적으로 i) 합성가스(syngas) 생성 ii) F-T 촉매 반응 iii) 후처리 과정 등의 3 단계 공정으로 이루어진다. 이 중에서 F-T 반응공정은 저온과 고온 상태에서 F-T 연료를 합

성할 수 있다. 현재까지 개발된 F-T합성 반응기는 4가지 종류로 순환 유동층 반응기(circulating fluidized bed reactor), 유동층 반응기(fluidized bed reactor), 다관식 고정층 반응기(tubular fixed bed reactor)와 슬러리상 반응기(slurry phase reactor) 등이 있으며, 반응기 형태에 따라 반응특성이 다르므로 합성가스의 조성 과 최종반응물의 종류에 따라 적절하게 선택하여야 한다. 일반적으로 고온 F-T 반응공정은 철(Fe) 기반 촉매를 사용하여 300°C ~ 350°C 범위에서 이루어진다. 고온 반응공정은 보다 저분자량 탄화수소를 선택적으로 합성할 수 있으며, 이러한 탄화수소류는 전형적으로 큰 가지사슬을 형성하고 있다. 또한 고온 반응공정은 이차반응에 의해 케톤류와 방향족 화합물을 수반할 수도 있다. 따라서 이러한 고온 F-T 반응공정은 전형적으로 휘발유 형태의 탄화수소 연료 합성에 적당한 것으로 알려지고 있다[15]. 반면 저온 F-T 반응공정은 철(Fe) 또는 구리(Cu) 기반 촉매에 의해 200°C ~ 240°C 범위에서 이루어지고 있다. 저온 반응공정은 보다 고분자량 탄화수소를 선택적으로 합성할 수 있는데 이러한 탄화수소류는 전형적 왁스(waxes) 성분을 형성하고 있다. 왜냐면 방향족 화합물은 저온에서 낮게 형성되며, 그 생성물은 비교적 선형 알칸류의 혼합물을 형성하기 때문이다. 대부분의 알칸류는 375°C 이상에서 일반적인 경유의 증류상상 범위를 벗어나며, 경유로 사용하기 위해서는 적당한 분해공정(cracking)을 통해야만 한다. 이러한 생성물은 분해공정 후에 경유 성분의 80%

정도를 차지하고 있다[11]. F-T 합성반응에서는 주로 선형 파라핀계열이 형성되지만 부반응에서 이중결합 형태인 C_nH_{2n} 의 α -올레핀이나 알코올도 부산물로 만들어진다. 또한 바람직하지 않은 부반응으로 합성가스를 메탄으로 되돌리는 메탄화 반응과 촉매의 활성을 저하시키는 탄소침적 반응이 일어날 수 있다. F-T 합성반응에 의한 생성물은 1차 생성물도 있고, 주로 α -olefins인 1차 생성물이 재흡착해 이성질화 탄소체인성장 등의 반응으로부터 생겨난 2차적인 생성물들도 있다. 탄화수소 생성물들은 주로 곧은 사슬의 파라핀이 생성되는데 가지친 탄화수소화합물은 그 생성이 입체적인 장애에 의해서 방해받기 때문이다(Fig. 3)[10].

2.2. F-T 디젤의 연료적 특성

F-T 디젤 연료는 일반적으로 초저유황 특성을 지니고 있다. 그것은 합성가스 생성공정에서 황성분이 거의 모두 제거되기 때문이다. 그러나

이런 특성은 F-T 디젤의 윤활성(lubricity)을 저하시키고 있다. 또한 다환방향족이 극히 낮은 F-T 디젤도 초저유황 상태에서 윤활성을 저하시키고 있다. 따라서 이런 문제를 해결하기 위해서 상용 윤활성 향상제를 첨가하고 있다. 또한 F-T 디젤의 연료로 사용하기 위해 극복해야 할 문제점으로 지적되고 있는 것은 열악한 저온 특성이다. 이는 F-T 디젤에 함유되어 있는 높은 n-파라핀 성분 때문이다. 그러나 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 Sasol사에서 도입하고 있는 hydroisomerization 공정이 필요하다.

Table 1은 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 ASTM D5453과 D2622 시험방법에 의해 얻은 F-T 연료의 주요 물성을 보여 주고 있다. 특히 저온 F-T 디젤은 세탄가 74 이상이며, 황 함유량 10 ppm으로 초저유황 수준이고 총 방향족 화합물도 극히 낮은 정도를 보이고 있다[11].

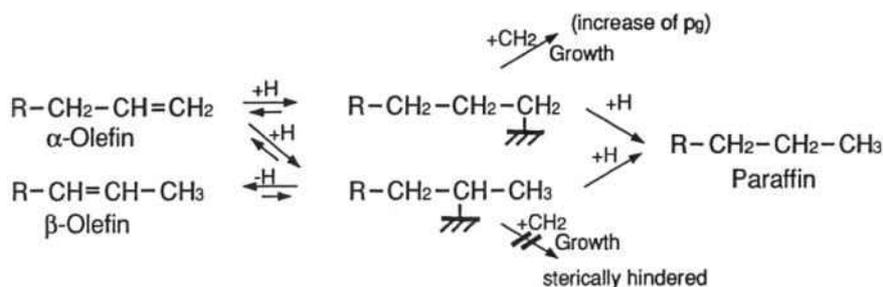


Fig. 3. Production pathway of F-T fuel.

Table 1. Range of Properties for F-T Diesel in USA[11]

Property	ASTM method	Low temp. F-T	High temp. F-T
Density, 15°C	D4052	0.7695-0.7905	0.8007-0.8042
Distillation, °C	D86		
IBP ¹⁾		159-210	230
10%		181-260	235
50%		244-300	254
90%		327-334	323
FBP ²⁾		338-358	361
Cetane number	D613	>74	48.9-51.4
Sulfur, ppm	D5453	0-10	0-10
Total aromatics (wt.%)	D5186	0.1-2.68	9.18-10.1

¹⁾ IBP : Initial boiling point

²⁾ FBP : Final boiling point

2.3. F-T 디젤의 합성

F-T 연료유로부터 분리된 F-T 디젤 연료는 0.1 배럴/일 규모의 BTL 생산을 위한 공정을 위하여 실험실에 최적화된 조건을 사용하였다. 사용된 반응가스는 $H_2/CO = 1$ 조건으로 촉매는 $FeCu/Al_2O_3$ 을 사용하여 실험실 수준에서 저온 (240°C) F-T 반응조건으로 F-T 연료를 합성하였다. 또한 합성된 F-T 연료는 왁스분을 제거하고 최적화된 F-T 디젤을 얻기 위해 증류하였다. F-T 연료로부터 57 °C ~ 167 °C분포의 F-T 휘발유분을 분리하고 나머지 유분을 F-T 디젤 유분으로 분리하였다.

2.4. F-T 디젤의 연료특성 분석

F-T 연료유로부터 분리된 F-T 디젤의 연료적 품질특성에 대한 분석은 Table 1과 같이 국내 자동차용 경유 품질기준에 제시된 실험방법에 따라 9개 항목을 분석하였다[15]. F-T 연료유로부터 분리된 F-T 디젤은 기체 가스크로마토그래피 (Gas chromatography(GC)), 밀도, 황분, 다고리방향족, 총방향족 함량 및 저온특성 (저온필터막힘점, 유동점, 담점), 윤활성 그리고 세탄가 등을 분석하여 연료적 특성을 살펴 보았다. 한편, 분리 정제된 F-T 디젤의 조성분석을 위해 GC (Agilent 6890N)를 이용하였으며, 검출기는 FID(350 °C)를 사용하고, inlet 온도는 140 °C(split ratio 300:1), 사용된 칼럼은 HP-1 (methyl Siloxane 10 m×100 μm)이고, 이동상 기체는 헬륨(0.4 ml/min)을 사용하고, 오븐온도는 40 °C(5 min)(30 °C/min), 100 °C(1 min)(30 °C/min), 50 °C(0 min)(30 °C/min), 200 °C(1 min)(30 °C/min), 140 °C(0 min)(30 °C/min), 290 °C(2 min) 순으로 조정되었다. 합성 F-T 디젤의 윤활성은 PCS instrument사의 HFRR (High frequency reciprocating rig)를 사용하였으며, KS M ISO 12156 방법에 따라 시료 2 mL를 60 °C에서 75분 동안 50 Hz의 주파수와 200 g의 하중을 이용하여 금속원판(PCS Instrument사의 지름 1 cm 원판)과 시험구(PCS Instrument사의 외경 6 mm 금속구)를 왕복마찰에 의해 시험구에 생성된 마모흔(MWSD, Mean Wear Scar Diameter)을 현미경(MEJI

TECHNO사의 Infinity1)을 사용하여 측정하였다. 또한 방향족화합물 분석은 영린기기사 Acme 9000를 사용하였으며, 검출기는 RI(Refractive index)를 사용하고, 사용된 칼럼은 Macherey-Nagel (4.6 mm I.D × 250 mm NH_2 3 μm)이며, 이동상 용매는 n-heptane으로 용매유속 0.9 mL/min 이었으며, 시료를 10 μL 주입하여 60분간 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합성 F-T 디젤의 GC에 의한 조성 분석

합성 후 F-T 디젤은 GC 분석을 통하여 일반적인 성분을 자동차용 경유와 조성을 비교하였다. Fig. 4는 일반적인 자동차용 경유의 GC 조성 분석이며, Fig. 5는 증류 전 합성된 F-T 연료의 GC 분석을 보여주고 있다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 자동차용 경유의 증류성상 조건으로 57 °C ~ 167 °C 비점 범위에서 분리된 유분을 GC로 분석한 결과 전형적인 휘발유분으로 판명되었다. 또한 Fig. 7은 합성 F-T 연료로부터 휘발유분을 분리하고 남은 유분을 GC로 분석한 결과, 일반적인 등유와 경유 성상을 지닌 것으로 분석되었다. 결론적으로 합성 후 F-T 연료는 약 50% 정도의 휘발유 성분과 50%의 등유, 디젤 성분을 포함하고 있다. 따라서 본 연구에서 합성된 F-T 연료에서 휘발유 성분을 증류에 의해 분리하여 일반 자동차용 경유와 품질을 비교하였다. Fig. 6은 F-T 연료로부터 57°C ~ 160°C 범위에서 증류하여 얻은 휘발유 성분의 GC 분석한 결과를 보여주고 있다. 또한 Fig. 7은 증류 분리된 합성 F-T 디젤의 GC 분석 크로마토그램으로 등유성분과 $C_{12} \sim C_{23}$ 분포의 탄화수소 성분으로 구성되어 있음을 알 수 있다. GC 분석 시 크로마토그램이 단일피크는 n-파라핀, 다중피크는 iso-파라핀으로 분석되어 정량한 결과, n-파라핀 성분이 iso-파라핀 성분보다 많음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 사용된 F-T 디젤 합성공정의 촉매와 반응조건으로 n-파라핀이 iso-파라핀 보다 선택적으로 우세하게 형성 때문이다.

Table 1. The Property and Test Method Used in This Study[15]

Property	Quality standard	Test method
Density@15°C (kg/m ³)	max. 0 (winter :max. -17.5)	KS M 2016
Sulfur (mg/kg)	-	KS M 2016
Polyaromatics (wt.%)	max. 10	KS M ISO 8754
Total aromatics (wt.%)	min. 52 ²⁾	KS M ISO 5165
Cold Filter Plugging Point(CFPP) (°C)	max. -18	KS M 2411
Pour point(PP) (°C)	max. 400	KS M ISO 12156-1/ CEC-F-06-A
Cloud point(CP) (°C)	815 ~835	KS M 2002
Lubricity, HFRR wear scar diam @60 °C (μm)	max. 5	KS M 2456
Cetane number (IQT) ¹⁾	max. 30	KS M 2456

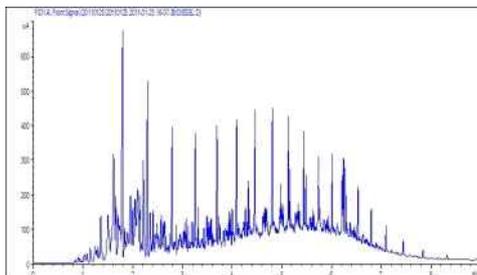
¹⁾ IQT : Ignition Quality Tester²⁾ winter(Nov.15~Feb.28) : min.48

Fig. 4. GC chromatogram of automotivediesel .

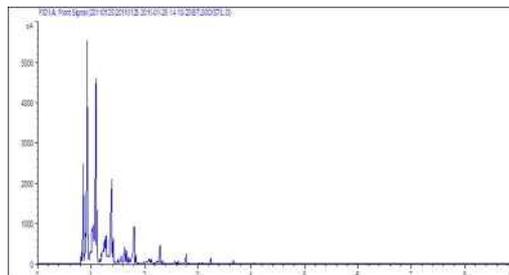


Fig. 6. GC chromatogram of gasoline portions in F-T fuel after distillation.

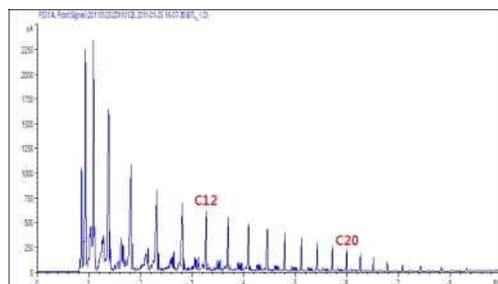


Fig. 5. GC chromatogram of F-T fuel before distillation.

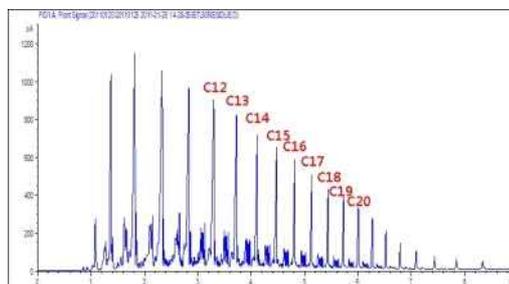


Fig. 7. GC chromatogram of diesel portions in F-T fuel after distillation.

Table 2. Quality Characteristics of F-T Diesel and Automotive Diesel

Property	Automotive diesel	F-T diesel
Polyaromatics (wt.%)	1.04	0.10
Total aromatics (wt.%)	19.32	4.44
Sulfur (mg/kg)	4.90	0.14
Density@15°C (kg/m ³)	824.6	765.5
Lubricity, HFRR wear scar diam@60 (μm)	328	727
Cold Filter Plugging Point(CFPP) (°C)	-19.0	-10.0
Pour point(PP) (°C)	-32.0	-14.0
Cloud point(CP) (°C)	-6.0	4.0
Cetane number (IQT) ¹⁾	56	75

¹⁾ IQT : Ignition Quality Tester

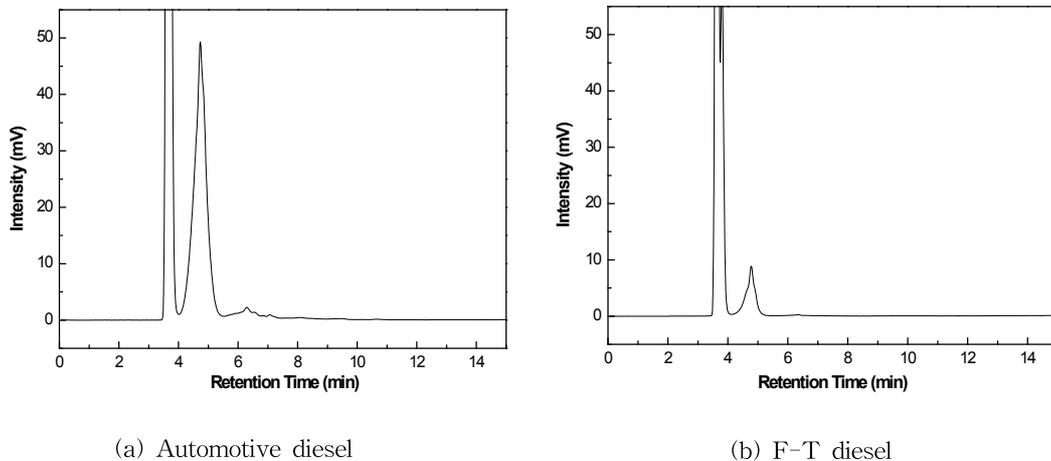


Fig. 8. HPLC chromatogram for aromatic product in automotivediesel and F-T diesel .

3.2. F-T 디젤의 연료적 특성

Table 2는 분리 합성 F-T 디젤은 밀도, 황분, 다고리방향족 함량, 저온필터막힘점, 유동점, 담점 및 윤활성 등을 자동차용 경유와 비교하였다. Fig. 8은 자동차용 경유와 F-T 디젤의 방향족 화합물을 HPLC로 분석한 크로마토그램이다. Fig. 8에서처럼, 합성 F-T 디젤의 다고리 방향족 화합물은 *mono*-방향족(머무름 시간 4.8분대)과 *di*-방향족(머무름 시간 6.4분대)은 크게 감소하였으며, *tri*+방향족은 함유하지 않았다. 즉,

F-T 디젤의 다고리화합물은 0.1 wt.%로 자동차용 경유(1.04 wt.%) 9.6% 수준으로 감소함을 알 수 있다. 또한 F-T 디젤의 황함량은 0.14 mg/kg으로 거의 sulfur free 수준으로 자동차용 경유(4.9 mg/kg)보다 훨씬 낮다. 한편, F-T 디젤의 밀도는 765.5 kg/m³로 자동차용 경유(824.6 kg/m³)보다 낮았는데, 그 이유는 상대적으로 자동차용 경유보다 황과 방향족 화합물의 함량이 낮기 때문이다.

따라서 F-T 디젤은 황과 방향족 화합물이 자

동차용 경유에 비해 낮기 때문에 이로 인해 윤활성은 열악한 것으로 분석되었다. 즉, Fig. 9에서 자동차용 경유의 HFRR 마모흔은 328 μm 이며, F-T 디젤의 HFRR 마모흔은 727 μm 으로 열악하였다. 따라서 이러한 F-T 디젤의 윤활성을 향상시키기 위해서는 바이오디젤 같은 윤활성 향상제를 첨가하여 사용할 필요성이 제기되고 있다.



(a) Automotive diesel



(b) F-T diesel

Fig. 9. A wear scar diameter by high frequency reciprocating rig lubricity test(HFRR) of automotive diesel and F-T diesel.

한편, F-T 디젤의 저온특성(저온필터막힘점, 유동점, 담점)을 보면 높은 *n*-파라핀의 함유로 인해 자동차경유 대비 열악한 것으로 나타났다. 따라서 이러한 F-T 디젤은 일반 경유와 혼합하여 사용하거나, 유동점 향상제 등을 첨가하여 사용할 필요가 있다. 그러나 F-T 디젤은 세탄가가 75로 기존 자동차 경유(56)보다 월등히 우수함을 보여주고 있다. 이는 F-T 디젤이 *n*-파

라핀을 많이 함유하고 있기 때문이다. 높은 세탄가를 가진 연료는 일반적으로 배출가스 중 NO_x 를 감소시키는 데 크게 영향을 주고 있는 것으로 알려지고 있다. 즉, 기존 차량에 적용할 경우 세탄가 10이 증가할 경우 5% NO_x 감소 효과를 보이는 것으로 보고하고 있다[17].

따라서 국내에서 추진되고 있는 BTL 연료생산 기술의 기반으로 적용되고 있는 F-T 디젤의 차량연료로서 사용하기 위해서는 열악한 저온특성과 윤활성 등의 보완 및 경유 혼합 시 품질관리 방안 검토가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 해외에서 적용되고 있는 F-T 디젤의 물성과 국내에서 개발되고 있는 BTL 연료 생산기반 기술의 기초되고 있는 F-T 디젤의 연료적 특성을 연구했다. 따라서 F-T 연료 유로부터 분리 정제된 F-T 디젤의 차량 연료 사용을 위한 연료적 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. F-T 연료는 반응가스 $\text{H}_2/\text{CO} = 1$ 의 조건으로 촉매는 $\text{Fe-Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 을 사용하여 실험실 수준에서 저온(240°C) F-T 반응조건으로 F-T 연료를 합성하였다.
2. 자동차용 경유에 혼합하여 사용 가능한 F-T 디젤을 얻기 위하여 합성된 F-T 연료를 증류하여 50%의 휘발유 성분을 제거하고, 본 연구에 사용된 합성 F-T 디젤을 50% 비율로 얻었다. 합성 F-T 디젤은 탄소수 $\text{C}_{12} \sim \text{C}_{23}$ 분포의 탄화수소화합물 성분으로 구성되어 있었으며, 특히 파라핀 성분은 *n*-파라핀이 *iso*-파라핀 보다 많았다.
3. F-T 디젤의 황함량은 0.14 mg/kg으로 거의 sulfur free 수준으로 자동차용 경유(4.9 mg/kg)보다 낮았다. 또한 세탄가는 75로 기존 자동차 경유(56)보다 월등히 우수함을 보여주고 있는데 이는 합성 F-T 디젤이 *n*-파라핀을 많이 함유하고 있기 때문이다.
4. 반면, 합성 F-T 디젤은 황 함량과 방향족

화합물 함량이 낮아 윤활성이 열악하였고, *n*-파라핀성분 많아 일반 자동차용 경유 대비 저온특성(저온필터막힘점, 유동점, 담점)이 떨어지는 특성을 보여 주었다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부에서 시행한 2010년도 에너지-자원 기술개발사업의 일환으로 “바이오매스로부터 F-T 합성원료 생산/이용 기술개발” 과제를 통해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. J. -K. Kim, E. S. Yim and C-. S. Jung, Study on Comparison of Global Biofuels Mandates Policy in Transport Sector, *New & Renewable Energy*, **7**(4), 18 (2011).
2. J. -K. Kim, E. S. Yim, C. H. Jeon, C-. S. Jung and B. H. Han, *Int. J. Automotive Technology*, **13**(2), 293 (2011).
3. J. O. Beserra Carioca. Biofuels : Problems, Challenges and Perspectives, *Biotechnol. J*, **5**, 260 (2010).
4. C. Felix, M. Emily, M. Jan and E. Ottmar. Climate Policies for Road Transport Revised (I) : Evaluation of the Current Framework, *Energy Policy*, **39**, 2396 (2011).
5. R. E. H. Sims, W. Mabee, J. N. Saddler and M. Taylor, An Overview of Second Generation Biofuel Technologies, *Bioresour. Technol*, **101**, 1570 (2010).
6. S. K. Hoekman, Biofuels in the US- Challenge and Opportunities, *Renewable Energy*, **34**, 14 (2010).
7. S. N. Naik, V. V.Goud, P. K. Rout and A. K Dalai, Production of First and Second Generation Biofuels : A Comprehensive Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 578 (2010).
8. Overview of New and Renewable Energy in Korea. <http://www.energy.or.kr/knrec/14/KNREC140500asp>.
9. E. D. Mark. Fischer-Tropsch Reactions and the Environment, *App. Catal. A*, **189**,185 (1999).
10. E. D. Mark. Fischer-Tropsch Reactions Process : 1950-2000", *Catal. Today*, **71**, 319 (2000).
11. T. L. Alleman, Robert. M. Fischer-Tropsch Diesel Fuels-Properties and Exhaust Emissions: A Literature Review, *SAE*, 2003-01-0763.
12. S. S. Gil, A. Tsolakis, K. D. Dearn and J. Rodríguez-Fernández. Combustion Characteristics and Emission of Fischer-Tropsch Diesel Fuels in IC Engines, *Prog Energ Combust*, **33**, 233 (2007).
13. D. Leckel. Diesel Production from Fischer-Tropsch: the Past, the Present, and New Concepts, *Energy Fuel*, **23**, 2342 (2009).
14. V. F. Alexander, M. Franziska, and K. Martin, Analysis and Evaluation of Technical and Economic Potentials of BtL-fuels, *Chem. Eng. Technol*, **31**(5), 755 (2008).
15. E. D. Mark. Practical and Theoretical Aspects of the Catalytic Fischer-Tropsch Process, *App. Catal. A*, **138**, 319 (1996).
16. Fuel Quality Standards for Diesel in Korea. *KoreaInstituteofPetroleumManagement*, <http://www.kpetro.or.kr/sub.jsp?MenuID=m2as402>.
17. I. Ryan, W. Thomas, B. J. Dodge, Lee. G, and C. Olikara. The Effects of Fuel Properties on Emission from a 2.5gm NOx Heavy-Duty Diesel Engine, *SAE Technical Paper*, 982491 (1998).