

연료물성에 따른 경유 차량의 저온성능 영향 연구

장은정*,** · 김성우* · 민경일* · 박천규* · 하종한* · 이봉희**†

*한국석유관리원, **충북대학교

(2015년 3월 10일 접수, 2015년 6월 2일 수정, 2015년 6월 4일 채택)

A Study on the cold weather performance for diesel vehicle as fuel properties

Eun-Jung Jang*,**, Sung-Woo Kim*, Kyung-Il Min*, Cheon-Kyu Park*, Jong-Han Ha*, Bong-Hee Lee**†

*Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, **Chungbuk National University

(Received 10 March 2015, Revised 2 June 2015, Accepted 4 June 2015)

요 약

저온에서 경유의 파라핀 왁스 생성 및 침전현상은 차량의 저온성능에 악영향을 준다. 본 연구에서는 경유에 바이오디젤, 등유, 저온특성첨가제를 혼합한 연료에 대해 연료조성에 따른 담점, 필터막힘점, 유동점 변화를 분석하였고, 경유의 저온특성에 따른 차량의 저온성능에 대해 평가하였다. 경유는 유동성향상 첨가제(WAFI)와 등유유분의 혼합량이 증가할수록 저온특성이 개선되었으며, 바이오디젤 혼합량이 증가할수록 저온특성이 악화되었다. WAFI는 필터막힘점 개선에, 등유유분은 담점 개선에 효과적이었다. 차량의 저온성능에 대하여 필터막힘점과 유동점의 영향성은 확인하였으나, 담점은 큰 영향이 없었다. 필터막힘점은 차량에 대해 저온에서의 운행가능 한계를 반영하였다.

주요어 : 경유, 담점, 필터막힘점, 유동점, 저온성능, 시동성, 주행성

Abstract - At low temperature, Wax build-up and settling can affect adversely the cold weather performance of the diesel vehicle. In this study, we test the cold properties of diesel by blending ratio of biodiesel, kerosene and WAFI. Also, we test the cold weather performance for diesel vehicle by fuel cold properties. Cold properties of diesel are improved by adding the WAFI, kerosene and get worse by adding the biodiesel. WAFI is effective to improve a cold filter plugging point(CFPP) and Kerosene is effective to improve a cloud point(CP). CFPP and pour point(PP) are related to cold weather performance of diesel vehicle but CP is unrelated. CFPP indicate a limit temperature of vehicle driving possibility.

Key words : diesel, cloud point(CP), cold filter plugging point(CFPP), pour point(PP), cold weather performance, Startability, Driveability

1. 서 론

저온에서 석유제품으로부터의 파라핀 왁스 생성 및 침전 현상은 오랫동안 지속되어온 석유산업분야의 난제이다. 경유(diesel)에서의 왁스란 연료 중의 n-파라

핀(통상 C₁₅ ~ C₃₀)사슬이 횡 방향으로 결합하여 200 μm 정도의 판상 마름모꼴 결정을 만들고 이것이 서로 부착하여 삼차원 그물구조를 형성하는 것을 말한다. 담점 이하로 연료의 온도가 떨어지면 생성되는 왁스 결정(wax crystal)은 얇은 판 모양으로 서로 겹치고(overlap), 엉겨 붙는(interlock) 경향이 있어 결국 연료를 겹쳐림 만들어 연료의 흐름을 저하시켜 차량에 저온 유동성 문제를 발생시킨다[1-4].

†To whom corresponding should be addressed.

Chungbuk National University
Tel : 043-261-2374 E-mail: bhlee@chungbuk.ac.kr

연료의 왁스 생성 및 저온 유동성과 관계된 품질항목으로는 담점, 필터막힘점, 유동점이 있으며, 일반적으로 담점, 저온필터막힘점, 유동점 순으로 온도가 낮아진다. 담점(CP, Cloud Point)은 연료의 구성성분 중 파라핀 성분이 왁스로 결정화되기 시작하는 온도를 말한다. 경유가 냉각되어 담점에 도달하면 외관상 구름처럼 뿌옇게 변하는데 이 단계에서는 석출된 왁스의 크기도 작고 양도 매우 적어 사용에는 거의 영향이 없으나, 지속적으로 담점 이하의 온도가 유지될 경우 석출된 왁스분이 연료시스템의 필터나 파이프 등을 막아 연료의 흐름에 지장을 주게 된다. 필터막힘점(CFPP, Cold Filter Plugging Point)은 왁스가 필터를 막아 연료공급에 장애를 일으키는 온도로서, 규정된 방법으로 시료를 냉각하면서 눈금 간격 45 μm 의 철망을 통하여 흡인 여과했을 때 시료 20mL의 여과시간이 60초를 넘었을 때의 온도 또는 시료가 철망 부착 여과기를 통과하지 않게 되었을 때의 온도이다. 유동점(PP, Pour Point)은 시료가 유동하는 최저온도로서 시료를 45 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열한 후, 연료를 교반하지 않고 규정된 방법으로 냉각했을 때 연료가 유동하지 않는 응고점보다 2.5 $^{\circ}\text{C}$ 높은 온도를 말한다. 연료유 온도가 유동점 이하로 떨어지면 굳어져 흐르지 않게 되어 저장, 수송, 취급에 지장을 주게 된다.

우리나라는 최근 혹한기의 기록적인 한파 및 급격한 기온변화로 인해 경유 차량의 저온 시동불량 및 주행성 문제가 발생하였다. 이러한 경유의 저온 유동성 문제에 대응하기 위하여 정부는 겨울철 기온변화에 따라 기간별로 겨울철 자동차용 경유의 저온 품질기준을 관리하고 있다. 산업통상자원부의 「석유제품의 품질기준과 검사방법 및 검사수수료에 관한 고시(산업통상자원부고시 제2014-71호)」에 따르면, 겨울철 자동차용 경유의 유동점 품질기준은 -17.5 $^{\circ}\text{C}$ 로서 생산·수입단계검사(10/1 ~ 3/31)와 유통단계검사(11/1 ~ 3/31)에 적용하고 있다. 또한, 혹한기(11/15 ~ 2/28)에는 생산·수입단계검사 및 유통단계검사(12/1 ~ 2/28) 모두 -23.0 $^{\circ}\text{C}$ 이하를 적용하고, 3월 16일부터 3월 31일까지 생산·수입 및 유통단계검사 모두 -12.5 $^{\circ}\text{C}$ 를 적용하고 있다. 필터막힘점 기준(-18 $^{\circ}\text{C}$ 이하)은 생산·수입단계 검사(11/15 ~ 2/15)에 적용하고 있다.

겨울철 경유의 품질기준을 만족시키기 위하여 계절에 맞게 베이스경유의 조성을 혼합하거나 연료에 적합한 첨가제를 사용하여 경유의 저온특성을 관리하고 있다. 동절기 경유 유분의 왁스생성 방지를 위한 방법

은 경질유분 혼합비율 확대 및 연료의 저온특성 향상을 위한 첨가제 사용 등이 있다.

경유의 저온특성 향상을 위한 첨가제로는 담점 강하제, 유동점 강하제, 유동성 향상제, 왁스 침전 방지제, 왁스 침전 방지 및 유동성 향상제 등이 있다[5]. 유동성 향상제(MDFI, middle distillate flow improver)란 기존의 평판모양의 왁스 결정을 보다 작고 바늘형태 등의 작고 삼차원적인 조밀한 결정구조로 변형시켜 필터막힘점 및 유동점을 효과적으로 낮추는 첨가제이다. 유동성 향상제는 왁스 결정을 변형시켜 엉겨 붙어 덩어리가 되려는 경향을 억제시키므로 차량필터 및 라인의 막힘 현상을 지연시키나, 연료탱크에 왁스분이 가라앉는 경향을 증가시켜 저장탱크 등에 채널링 현상(channeling effect)등이 발생할 수 있다. 왁스 침전 방지제(WASA, wax anti settling additives)는 왁스 결정의 입자 크기를 작게 하여 생성된 왁스분이 가라앉는 현상을 감소시키는 첨가제로서, 스토크스 법칙(stokes law)에 따르면 왁스 결정 크기를 1/10로 줄이면 침전 속도는 100배 감소한다. 왁스 침전 방지 및 유동성 향상제(WAFI, wax anti settling flow improver)는 왁스 침전 방지제(WASA)와 유동성 향상제(MDFI)를 혼합한 첨가제를 총칭한다. 왁스 침전 방지 및 유동성 향상제는 담점 이하의 온도에서 생성되는 왁스 결정의 크기를 미세화 시켜 탱크 내 침전을 방지하여, 대기온도 상승 시 왁스결정을 조기 용해 시켜줌으로써 저온사용가능 온도를 더욱 낮추는 역할을 한다. 유럽에서는 주로 유동성 향상제(MDFI)를 우리나라에서는 왁스 침전 방지 및 유동성 향상제(WAFI)를 주로 사용한다.

바이오디젤(BD, biodiesel)을 혼합·사용하면서부터 경유의 저온특성은 더욱 중요해 졌다. 현재 국내에서 판매되고 있는 경유에는 2.0 부피%의 바이오디젤이 포함되어 있으며, 올해 7월부터 신재생에너지 연료 혼합의무화 제도(RFS, renewable fuel standard)가 시행되면 2.5 부피%에서 점차 그 혼합비율이 확대될 예정이다. 바이오디젤은 기존 석유제품인 경유를 대체할 수 있는 친환경적인 연료로 알려져 있지만 경유 대비 저온특성이 열악하다. 바이오디젤의 구성성분인 지방산 메틸에스테르(FAME, fatty acid methyl ester) 종류 및 함량에 따라 연료의 저온특성이 달라지는데, 팔미트산 메틸에스테르(palmitic acid methyl ester)나 스테아르산 메틸에스테르(stearic acid methyl ester)와 같은 포화 지방산이 많을수록 저온특성은 열악하고,

리놀레익산 메틸에스테르(linoleic acid methyl ester) 나 리놀레닉산 메틸에스테르(linolenic acid methyl ester) 와 같은 불포화 지방산이 많을수록 저온특성이 좋다. 바이오디젤은 비점범위가 좁고 포화탄화수소 함량이 높은 에스테르 물질이므로 기존의 저온유동성 향상제 기술로 저온특성을 해결하는데 많은 어려움이 있어 바이오디젤을 경유에 혼합·사용함에 따라 연료성상에 적합한 저온 유동성 향상제 선택은 더욱 어려워졌다[5-23].

본 연구에서는 바이오디젤, 등유유분 및 첨가제 혼합에 따른 연료의 저온특성 변화를 측정하였고, 연료의 저온특성에 따른 실제 차량에서의 시동성 및 주행성을 평가하였다.

2. 실험

2-1. 평가시료

본 연구에서 사용된 흑한기용 베이스경유(첨가제 무첨가), 저온특성 향상제(WAFI), 등유유분은 정유사로부터 공급받았으며, 폐식용유, 동물성유지, 팜유 유래 바이오디젤은 바이오디젤 생산업체로부터 공급받았다.

2-2. 실험용 차량

연료 저온특성에 따른 저온 시동성 및 주행성 평가를 위하여 사용한 차량은 정유사의 소비자 고충 발생 차량 중 흑한기 소비자 민원이 많았던 차종을 중심으로

로 스포츠 유틸리티 차량(SUV, sports utility vehicle), 승합차(van), 화물차(truck)에 대하여 시험을 실시하였다. Table 1에 저온성능 평가용 시험차량의 제원을 나타내었다.

2-3. 시험장치 및 시험방법

연료의 저온특성 평가를 위하여 담점과 유동점은 KS M 2016 방법에 의해 TANAKA사의 MPC-602를 이용하여 측정하였다. 4 mL의 시료를 용기에 채운 뒤 45℃로 가온한 후, 분당 2.5℃의 속도로 냉각하면서 시료 내에 파라핀 왁스와 고체상이 형성되기 시작하는 담점을 측정한 뒤, 온도를 더 낮추어 시료가 유동하지 않는 유동점을 측정하였다.

필터막힘점은 KS M 2411 방법에 준하여 ISL사의 FPP 5Gs를 이용하여 측정하였다. 50mL의 시료를 유리셀에 채운 뒤, 40℃로 가온한 후, 분당 1℃의 속도로 냉각시키면서 1.96 kPa 압력을 통해 필터(45μm sieve)를 통과시켜 흡입과 자유낙하의 속도가 60초를 넘는 온도를 CFPP로 판정하였다.

연료의 저온특성에 따른 차량의 저온성능을 시험하기 위하여 저온환경 챔버와 저온용 차대동력계 장비를 사용하였다. 저온환경 챔버는 고·저온을 조절할 수 있는 시설로 -40℃에서 60℃까지 시험할 수 있다. 또한 차대동력계는 single roll로 125ps, 최대속도 160km/h, 최대부하 3,000kg을 가지고 있다. 이러한 시험장치의 전체 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

차량 저온성능 시험방법은 유럽공동체협의회(CEC,

Table 1. Test vehicle specification

Item	Vehicle A (SUV)	Vehicle B (van)	Vehicle C (truck)
Fuel supply type	Common Rail Direct inject(CRDi)	Common Rail Direct inject(CRDi)	Common Rail Direct inject(CRDi)
Fuel pressure (bar)	1,800	1,600	1,600
Displacement (cc)	2,199	2,497	2,497
Fuel pump position	Static pressure	Negative pressure	Negative pressure
Fuel filter position	engine room	engine room	the bottom of driver' seat
Fuel filter heater	Equipped	Equipped	Equipped
Fuel filter type	paper	paper	paper
Fuel filter surface area (cm ²)	1,700	1,700	1,700
Fuel filter mesh size & efficiency	5μm, 95%	5μm, 95%	5μm, 95%
model	2011	2011	2012
Emission regulation	EURO-V	EURO-IV	EURO-IV

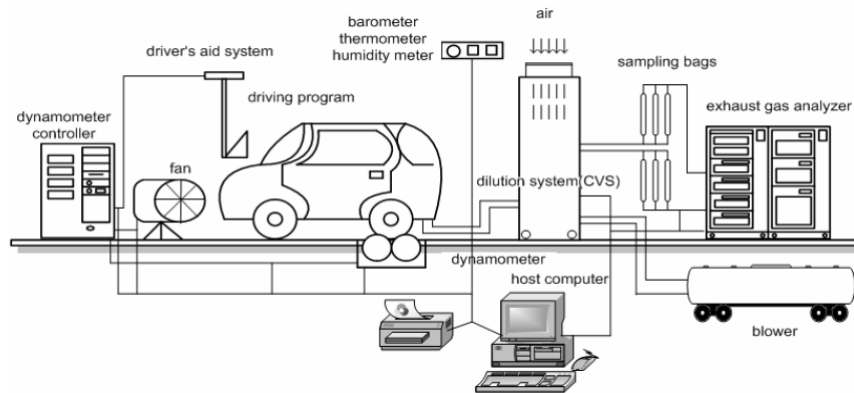


Fig. 1. System scheme of chassis dynamometer

Coordinating European Council)의 시험방법인 CEC M-11-T-91(Cold Weather Performance Test Procedure for Diesel Vehicles)을 이용하여 시험하였다. CEC 시험방법은 차량점검 및 센서 설치, 연료교환, 기타 배터리 충전 및 차대동력계 Coast-down 등의 시험 준비가 끝난 후 평가 차량을 담점보다 5 °C 높은 온도에서 2시간 동안 안정화 시킨 후 12시간 동안 목표 온도까지 선형적으로 온도를 강하한 다음 다시 시험 온도에서 4시간 동안 온도를 안정화시켜 주게 되고, 전 과정동안 송풍장치(blower)를 20km/h로 불어준다. 이러한 과정을 거쳐 차량의 시동성 및 운전성을 surging, misfire, pedal adjust, 차속감속 현상 등을 평가하여 판단하게 된다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 바이오디젤 혼합 연료의 저온특성 분석

현재 국내에서 판매되고 있는 경유에는 2.0 부피%의 바이오디젤이 포함되어 있으며, RFS제도 시행에 따라 올 7월부터 그 함량이 2.5 부피%로 증가할 예정이다. 바이오디젤 종류 및 혼합량에 따른 경유의 저온 특성 영향성을 평가하기 위하여 정유사별 흑한기 베이스경유와 WAFI를 혼합한 연료에 폐식용유, 동물성 유지 및 팜유 유래 바이오디젤을 일정비율로 혼합한 후 담점, 저온필터막힘점, 유동점을 측정하였다. Fig. 2에 바이오디젤 0, 2, 5, 20, 100%의 비율로 혼합한 후 저온특성을 분석한 결과를 나타내었다. 폐식용유 BD는 5 부피% 혼합까지는 현행 「석대법」상 필터막힘점(-18 °C이하)과 유동점(-17.5 °C이하) 품질기준을 만족하였으나 팜 BD와 동물성유지 BD는 정유사에 따라 필터막힘점 기준을 벗어났으므로, 동절기 경유에 바이

오디젤을 5 부피%까지 혼합할 경우 BD 원액 자체의 필터막힘점이 품질기준(0°C 이하)을 만족해야 한다. 바이오디젤 혼합비율이 증가할수록 저온특성이 열악해지다가 20 부피% 이상 혼합 시 BD 원료에 관계없이 모든 시료가 동절기용 경유로서 적합하지 못함을 확인하였다. 바이오디젤의 저온특성은 지방산 메틸에스테르(FAME) 조성에 따라 좌우되며 포화 지방산 성분이 많을수록 저온특성이 열악하다. 포화지방산 함량이 높은 팜 BD > 동물성유지 BD > 폐식용유 BD 순으로 경유 혼합 시 저온특성이 저하되었다.

3-2. 저온유동성 향상제 혼합연료의 저온특성 분석

정유사들은 동절기 경유의 저온특성을 개선하기 위해 흑한기용 경유에 왁스 침전 방지 및 유동성 향상제(WAFI)를 혼합하고 있다. 첨가제 함량에 따른 경유 저온특성을 평가하기 위하여 폐식용유 바이오디젤 2%가 혼합된 베이스경유에 WAFI를 일정비율로 혼합한 후 담점, 저온필터막힘점, 유동점을 측정하였다. Fig. 3에 WAFI를 300, 600, 900, 1,200 µL/L 혼합한 후 저온특성을 분석한 결과를 나타내었다.

WAFI 함량이 증가함에 따라 담점은 거의 변화가 없고 필터막힘점과 유동점은 현저한 개선효과를 나타내었다. WAFI는 담점 이하의 온도에서 생성되는 왁스결정의 크기를 미세화하고 엉김현상을 억제하여 저온유동성을 향상시키는 첨가제이므로 왁스가 생성되기 시작하는 온도인 담점 자체에는 영향을 미치지 않으나, 필터의 막힘현상 및 왁스의 엉김현상은 지연시킨다. 필터막힘점은 WAFI 혼합량이 600 µL/L까지는 현저한 개선되다가 그 이상에서는 효과정도가 미미하였으나, 유동점은 첨가제 함량이 증가할수록 지속적으로 개선되었다.

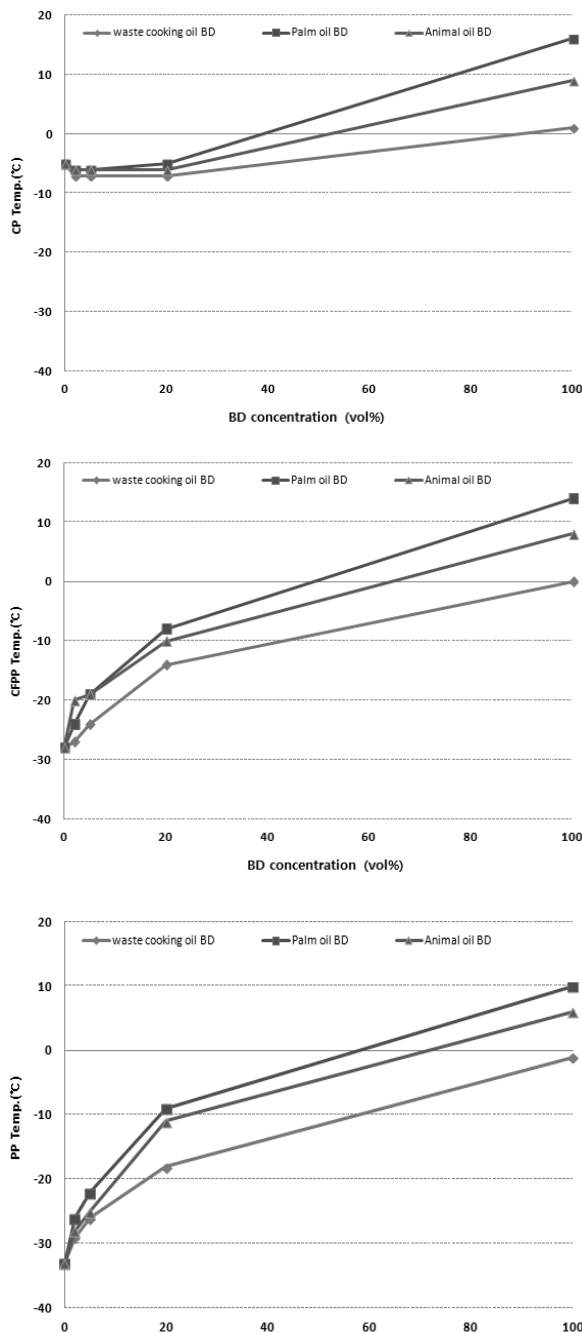


Fig. 2. Cold fuel properties of diesel fuel with BD blends

일반적으로 저온유동성 향상제의 성능은 “delta(CP-CFPP)”값으로 나타내며, WAFI는 담점과 필터막힘점 온도차를 12°C 이상으로 유지시켜야 한다. 베이스경유는 delta(CP-CFPP) 값이 대략 3°C 정도였으나 WAFI 혼합량 300 μL/L 이상부터는 12°C 이상의 온도차를 나타내었다.

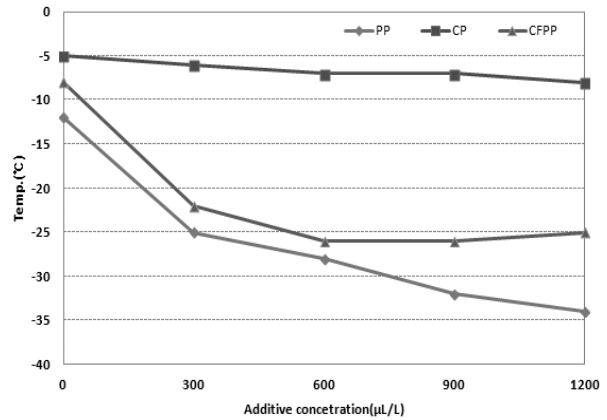


Fig. 3. Cold fuel properties of diesel fuel with WAFI blends

3-3. 등유유분 혼합연료의 저온특성 분석

정유사는 동절기 경유의 저온특성을 개선하기 위해 하절기와 동절기의 경유 및 등유유분의 혼합비율을 다르게 하여 베이스경유를 제조하고 있다. 정유사마다 상황에 따라 혼합비율을 조절하긴 하나 하절기에는 대략 경유유분 70 ~ 100%에 등유유분 0 ~ 30%를 혼합하여 제조하며, 동절기에는 경유유분 60 ~ 70%에 등유유분 30 ~ 40%를 혼합하여 제조하고 있다.

등유분 혼합에 따른 경유 저온특성 및 물성변화를 평가하기 위하여 경유유분에 일정비율로 등유유분을 혼합한 후 담점, 저온필터막힘점, 유동점 및 증류성상 등을 측정하였다. Fig. 4에 등유를 0, 30, 50, 70, 100 부피% 혼합한 후 저온특성 및 물성을 분석한 결과를 나타내었다.

등유는 경유 대비 경질 유분이므로 저온유동성이 매우 우수하고, 밀도, 동점도, 세탄가, 비점 등이 낮다. 등유 자체의 유동점 및 필터막힘점은 -50°C 이하이고, 담점은 -30°C 정도로 등유 혼합비가 증가할수록 연료의 저온특성이 현저히 개선되었다. 특히, 첨가제를 사용하여도 담점은 3 ~ 4°C 정도 밖에 개선되지 않는데 비해 경질유분 혼합 시 담점이 현저하게 강하되었는데, 이는 등유유분은 경유유분 대비 n-파라핀의 탄소사슬 길이가 짧아 왁스생성온도가 낮기 때문이다. 필터막힘점 개선효과는 WAFI를 첨가하는 경우보다 낮았는데, WAFI는 생성되는 왁스결정을 미세화 하거나 침상으로 변형시켜 필터를 통과하는 연료의 흐름을 개선시키지만 등유유분은 왁스생성온도는 낮지만 생성된 왁스분이 응집 및 성장하여 필터막힘현상을 유발하기 때문이다. 따라서 연료의 담점 강하를 위해서는 등유유분

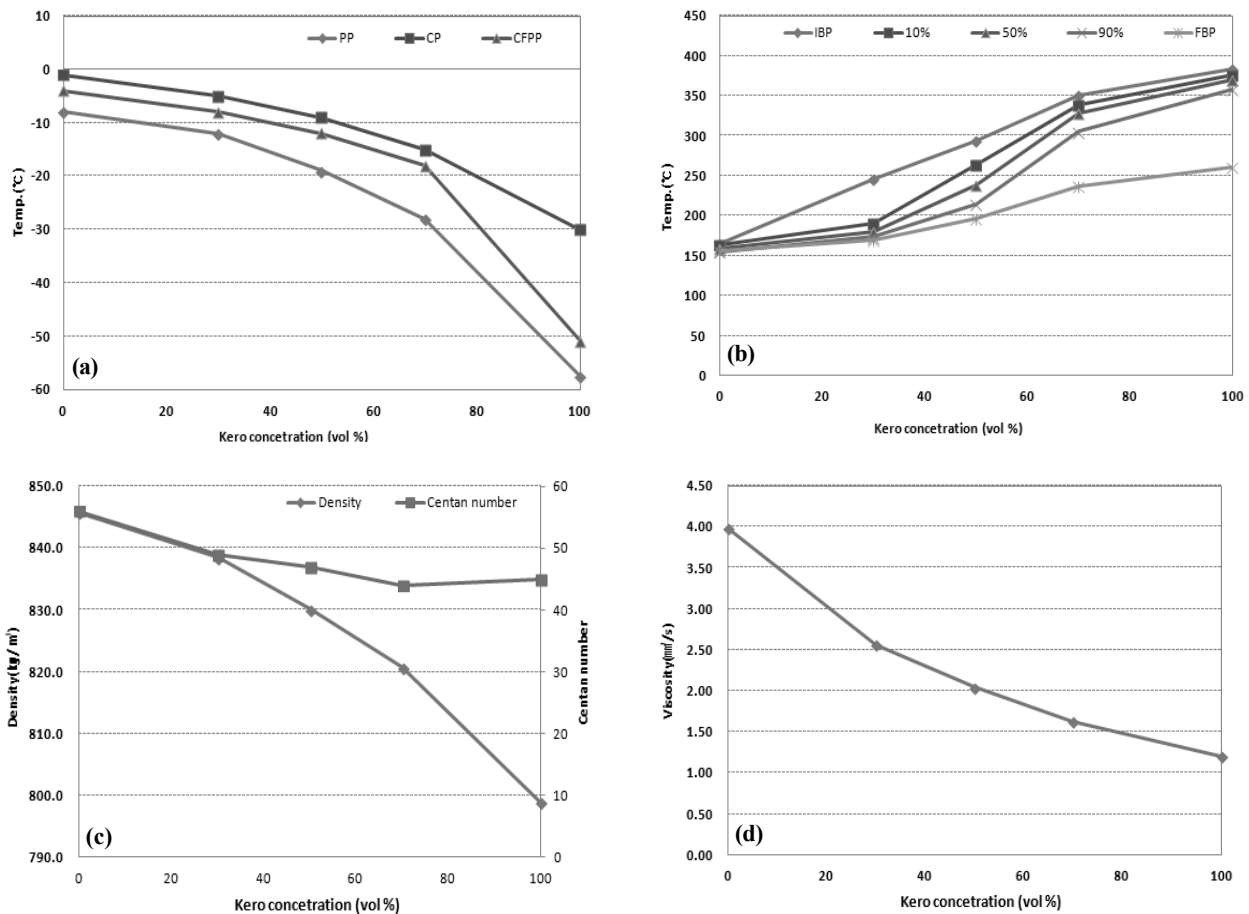


Fig. 4. The physicochemical characteristics of diesel fuel with kerosene blends ; (a) cold fuel properties, (b) distillate, (c) Density & Cetan number, (d) Viscosity

혼합비를, 필터막힘점 강하를 위해서는 WAFI 첨가량을 조절하는 것이 경유의 저온특성 관리에 더 효율적임을 확인하였다.

등유 혼합비를 증가 시킬수록 경유의 저온특성은 개선되었으나 세탄가는 낮아졌다. 세탄가(cetane number)란 디젤엔진 연료의 착화성을 나타내는 항목으로 세탄가가 높은 연료일수록 착화성이 좋으므로 시동성도 좋고 운전이 원활하다. 경유엔진은 휘발유와 달리 압축착화방식으로서 실린더 내로 분사된 연료가 쉽게 착화되어야 하는데, 착화성이 나쁜 연료를 사용하면 점화지연이 발생하며 점화지연으로 누적된 연료가 한꺼번에 연소되면서 폭발음을 동반한 불완전연소가 일어나는 노킹(nocking) 현상이 발생하게 된다. 노킹은 엔진의 열화를 촉진하고 유해 배기가스의 배출도 증가시키는데, 이러한 노킹을 유발하지 않는 안전성을 안티노크성(antiknock)이라 하며 경유의 안티노크성을 수치로 나타낸 것을 세탄가라고 한다. 통상적으로 파라

핀계 탄화수소의 세탄가가 높으며 방향족 탄화수소의 세탄가가 가장 낮다. 등유는 경유 대비 세탄가가 낮으므로 혼합량이 증가할수록 세탄가가 낮아졌으며, 베이스경유에 30% 이상 혼합 시 「석대법」상 자동차용 경유의 품질기준(52 이상)이하로 낮아졌다.

등유는 경유 대비 탄화수소 사슬길이가 짧은 경질유분 이므로 혼합비가 증가할수록 동점도와 밀도, 10%, 50%, 90% 유출온도가 낮아진다. 디젤엔진의 연료계통은 연료에 의해 적절한 유허성이 제공되어야 하는데, 등유는 탄화수소 사슬길이가 짧아 점도가 낮으므로 유허성이 상대적으로 낮아(HFRR 600~700 μ m) 등유유분이 다량 함유되면 유허성 기준을 만족시키지 못하고 엔진부품 중 연료펌프와 인젝터의 손상을 유발할 수 있다. 그러므로 혹한지역에 공급되는 경유도 등유유분을 40 부피%이상 혼합하지 않는다. 또한, 탄화수소 사슬이 짧아 밀도도 낮아 발열량도 낮아 출력도 저하될 수 있다.

3-4. 차량의 저온성능 시험

겨울철 대기온도가 급격히 낮아지면 연료 내 왁스분이 석출되어 연료필터를 막거나 연료가 완전히 얼어 엔진으로 송출되는 연료량이 감소하기 때문에 경유 차량의 시동성이나 주행성이 불량해진다. 본 연구에서는 연료의 저온특성에 따른 차량 저온성능 영향성을 평가하기 위하여 필터막힘점과 담점에 따른 실제 차량에서의 시동성 및 주행성을 평가하였다. Table 2에 필터막힘점(-20℃, -25℃)과 담점(-5℃, -10℃)을 맞추기 위해 경유유분 및 등유유분, WAFI함량을 조절하고 폐식용유 바이오디젤 2%를 혼합하여 조제한 평가 시료의 저온특성을 나타내었다.

저온 시동성 평가는 30초 동안 시동키를 작동시켜 시동이 걸린 시간을 측정하였다. 시동이 걸리고 10초 안에 꺼지지 않으면 성공이며, 10초 안에 시동이 꺼지면 다시 30초 동안 시동키를 작동시킨다. 초기 시도부터 시동이 걸리지 않으면 1분대기 후 재시도 하여 총 3회까지 시도하였다. 시동시간은 시동이 걸리지 않은 횟수에 30초를 곱한 후 시동 시 시동시간을 합하여 산출하였으므로, 시동시간이 낮을수록 시동이 잘 걸린다는 것을 의미한다. 시동이 걸리면 모든 전기부하장치(라이트, 라디오, 열선 등)를 켜고, 시동성 평가 후 30초 이내에 주행성 평가를 시작하였다. 주행성 평가는 승용 자동차의 경우 60 km/h의 속도로 3분 동안 예비주행을 한 후 120 km/h의 속도로 30분 동안 주행하였으며, 화물 자동차는 시동 안정이 되면 바로 80 km/h의 속도로 30분 동안 주행하였다. 주행성 시험에서는 서지(surge)와 스톨(stall)과 같이 운전자 의지와는 상관없이 차속이 줄어들거나 시동이 꺼지는 현상 발생 여부를 관찰하였다.

필터막힘점과 차량 저온성능의 상관성 평가를 위해 연료의 필터막힘점과 동일한 시험온도에서 차량의 시동성 및 주행성을 평가하였다. 경유의 저온 시동성 및 유동성 판단에 가장 중요한 기준인 필터막힘점은 1960년대 유동성향상제(MDFI)를 경유에 혼합·사용하면서

유럽 대형트럭 분사장치(60메쉬(251 μ m) 프리필터)의 막힘 한계를 구하기 위해 개발된 시험방법으로 주로 유럽 차량에 적합하게 설정되어 있어 현행 커먼레일(CRDi, common rail direct injection) 엔진의 연료분사시스템의 필터구성(메쉬 사이즈, 표면적 등)과는 차이가 있다. 커먼레일은 연료를 실린더 안에 직접 고압으로 분사하므로 필터의 메쉬 사이즈가 필터막힘점 시험기의 연료필터보다 작기 때문에 실험실적인 필터막힘점 품질기준을 만족하더라도 실제 차량에서 사용 시 저온유동성에 문제가 발생할 수 있다. Table 3에 필터막힘점이 -20℃, -25℃인 경유를 주유한 각각의 시험차량을 시험온도 -20℃, -25℃에서 안정화 시킨 후 시동성과 주행성을 평가한 결과를 나타내었다. 차종에 관계없이 모든 차량에서 연료의 필터막힘점과 동일한 외기온도에서 시동성 및 주행성을 만족하였고(a ~ j, m, p, s) 차종에 따라 필터막힘점 이하의 온도에서도 저온성능을 만족하였으므로 필터막힘점이 실 차량에 대해 저온에서의 운행가능 한계를 반영하였다.

담점과 차량 저온성능의 상관성 평가를 위해 동일한 필터막힘점에서 담점변화에 따른 차량 저온성능을 평가하였다. 유럽의 경우 EN590에서 혹한의 기후 지역에 대하여 담점과 필터막힘점을 10℃ 간격으로 규제하고 있는데, 이는 유동성향상제(MDFI)를 사용 시 필터막힘점과 저온에서의 실 차량 운행한계의 상관성 때문이다. 유동성향상제(MDFI)는 왁스분 형태를 침상으로 변형시켜 연료필터의 왁스허용량은 증가시키거나 왁스분의 침전현상에는 영향이 없다. 이 경우 담점과 필터막힘점이 10℃ 보다 차이가 나면 필터막힘점 결과와 저온에서의 실 차량 운행한계와의 상관성이 낮아진다. 필터 막힘점 보다 높은 온도라도 가라앉은 왁스 덩어리가 차량의 저온성능에 악영향을 줄 수 있다. 따라서 저온성능향상 첨가제로 유동성향상제(MDFI)만 사용하는 유럽에서는 경유 품질기준에서 담점을 규제하고 있다. Table 3에 필터막힘점은 -20℃로 동일하고 담점은 각각 -5℃, -10℃인 경유를 주유한 각각의

Table 2. Cold fuel properties of test sample

Sample number	Fuel property(℃)		
	CP	CFPP	PP
1	-5	-20	-21
2	-5	-20	-30
3	-5	-25	-26
4	-10	-20	-23

Table 3. Cold weather performance for vehicle as PP, CFPP

Tes vehicle	Test sample	No.	-20℃				-25℃				
			Startability		driveability		Startability		driveability		
			number of start1)	time (s)	number of Surge	number of Stall	No.	number of start ¹⁾	time (s)	number of Surge	number of Stall
Vehicle A (SUV)	1	a	○	2	-	-	k	×	-	-	-
	2	b	○	5	-	-	l	○	7	-	-
	3	c	○	5	-	-	m	○	7	-	-
	4	d	○	13	-	-	n	○	28	-	-
Vehicle B (van)	1	e	○	4	-	-	o	×	-	-	-
	3	f	○	3	-	-	p	○	12	1	-
	4	g	○	4	-	-	q	×	-	-	-
Vehicle C (truck)	1	h	○	3	-	-	r	×	-	-	-
	3	i	○	3	-	-	s	○	10	-	-
	4	j	○	2	-	-	t	○	3	-	-

1) number of start : ○(first success), △(second success), ×(fail)

시험차량을 시험온도 -20℃, -25℃에서 안정화 시킨 후 시동성과 주행성을 평가한 결과를 나타내었다. 필터막힘점과 동일한 시험온도에서는 담점에 관계없이 모든 차량에서 시동성 및 주행성을 만족하였으므로(a, b, d, e, g, h, j) 담점의 차량 저온성능에 대한 영향성은 거의 없었다.

동일한 담점과 필터막힘점의 연료라도 유동점에 따라 차량 저온성능에 차이가 있었다. 유동점이 시험온도보다 높은 경우(k)에는 시동이 걸리지 않았으나 낮은 경우(l)에는 시동성과 주행성을 만족하였으므로 차량 저온성능에 유동점의 영향도 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 바이오디젤, 등유유분 및 첨가제 혼합에 따른 연료의 저온특성 변화와 연료의 저온특성에 따른 실제 차량의 시동성 및 주행성을 평가하였다.

1. 바이오디젤의 저온특성은 지방산 메틸에스테르(FAME) 조성에 따라 좌우되며 포화 지방산 성분이 많을수록 저온특성이 열악해지므로, 포화지방산 함량이 높은 팜 BD, 동물성유지 BD, 폐식용유 BD 순으로 경유 혼합 시 저온특성이 저하되었다. 동절기 경유에 바이오디젤을 5 부피%까지 혼합할 경우 BD 원액 자체의 필터막힘점이 품질기준(0℃ 이하)을 만족해야 한다.

2. WAFI는 담점 이하의 온도에서 생성되는 왁스결정의 크기를 미세화 시키고 침전을 방지하여 연료의 저온사용 가능온도를 더욱 낮춰주는 역할을 하므로, 담점에는 거의 영향이 없었고 필터막힘점과 유동점을 현저히 개선시켰다. 필터막힘점은 WAFI 혼합량이 600 μL/L까지는 현저히 낮아지다가 그 이상에서는 개선효과가 적었으나, 유동점은 첨가제 함량이 증가할수록 지속적으로 개선되었다.

3. 정유사는 저온특성을 향상시키기 위해 동절기 베이스경유의 등유유분 혼합비율을 증가시킨다. 등유유분은 경유 대비 n-파라핀의 탄소사슬 길이가 짧아 왁스생성온도가 낮으므로 혼합량이 증가할수록 연료의 저온특성이 크게 개선되었다. 등유유분 혼합은 담점 강화에 매우 효과적이었으나 필터막힘점 개선 효과는 WAFI 첨가보다 적었으므로, 담점 강화를 위해서는 등유유분 혼합량을, 필터막힘점 강화를 위해서는 WAFI 함량을 조절하는 것이 경유의 저온특성 관리에 더 효과적이다.

4. 필터막힘점에 따른 차량의 저온 시동성과 주행성을 평가한 결과 연료의 필터막힘점과 동일한 시험온도에서 모든 시험차량이 저온성능을 만족하였고 차종에 따라 필터막힘점 이하의 온도에서도 저온성능을 만족하였으므로 필터막힘점이 실 차량에 대해 저온에

서의 운행가능 한계를 반영하였다. 담점에 따른 차량의 저온 시동성과 주행성을 평가한 결과 연료의 필터 막힘점과 동일한 시험온도에서는 담점에 관계없이 모든 시험차량이 저온성능을 만족하였으므로 담점의 차량 저온성능에 대한 영향성은 거의 없었다. 동일한 담점과 필터막힘점의 연료라도 유동점이 시험온도보다 낮은 경우 시동불량이 발생하였으므로 차량 저온성능에 대한 유동점의 영향성도 확인하였다.

References

1. Ararimeh Aiyejina; Dhurjati Prasad Chakrabarti; Angelus Pilgrim; M.K.S. Sastry, Wax formation in oil pipelines: A critical review, *International Journal of Multiphase Flow*, **2011**, **37**, 671-694
2. Sheng Han; Peng Wang; Yuhong Wang, Impact of alkyl methacrylate-maleic anhydride-alkyl methacrylate terpolymers as cold flow improver on crystallization behavior of diesel fuel, *Process Safety and Environmental Protection*, **2010**, **88**, 41-46
3. Gang Chen; Yobgfei Li; Wei Zhao, Investigation of cyclohexanone pentaerythritol ketal as clean flow improver for crude oil, *Fuel Processing Technology*, **2015**, **133**, 64-68
4. Emmanuelle Marie; Yves Chevalier; Sylvain Brunel, Settling of paraffin crystals in cooled middle distillate fuels, *Journal of Colloid and Interface Science*, **2004**, **269**, 117-125
5. Norbert MISKOLCZI; Richard SAGI; Laszlo BAR-THA, Utilization of α -olefins obtained by pyrolysis of waste high density polyethylene to synthesize α -olefin-succinic-anhydride based cold flow improvers, *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, **2009**, **37**, 302-310
6. Jieni Wang; Leichang Cao; Sheng Han, Effect of polymeric cold flow improvers on flow properties of biodiesel from waste cooking oil, *Fuel*, **2014**, **117**, 876-881
7. A. Kleinova; J. Paligova; M. Vrbova, Cold flow properties of fatty esters, *Process Safety and Environmental protection*, **2007**, **85**, 390-395
8. Gaurav Dwivedi; M.P. Sharma, Impact of cold flow properties of biodiesel on engine performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2014**, **31**, 650-656
9. Pengmei Lv; Yufeng Cheng; Lingmei Yang, Improving the low temperature flow properties of palm oil biodiesel: Addition of cold flow improver, *Fuel Processing Technology*, **2013**, **110**, 61-64
10. M. De Torres; G. Jimenez-Oses; J.A. Maoral, Fatty acid derivatives and their use as CFPP additives in biodiesel, *Bioresource Technology*, **2011**, **102**, 2590-2594
11. D.H. Qi; C.F. Lee, Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel-diesel blends, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **2014**, **45**, 504-507
12. Leichang Ca.; Jieni Wang; Cheng Liu, Ethylene vinyl acetate copolymer: A bio-based cold flow improver for waste cooking oil derived biodiesel blends, *Applied Energy*, **2014**, **132**, 163-167
13. Ilshat Sharafutdinov; Dicho Stratiev; Ivelina Shishkova; Cold flow properties and oxidation stability of blends of near zero sulfur diesel from Ural crude oil and FAME from different origin, *Fuel*, **2012**, **96**, 556-567
14. Chen Boshui; Sun Yuqiu; Fang Jianhua, Effect of cold flow improvers on flow properties of soybean biodiesel, *Biomass and Bioenergy*, **2010**, **34**, 1309-1313
15. Anne L. Lown; Lars Peereboom; Sherry A. Mueller, Cold flow properties for blends of bio-fuels with diesel and jet fuels, *Fuel*, **2014**, **117**, 544-554
16. Bryan R. Moser, Impact of fatty ester composition on low temperature properties of biodiesel-petroleum diesel blends, *Fuel*, **2014**, **115**, 500-506
17. Tuba Hatice Dogan; Hakan Temur, Effect of fractional winterization of beef tallow biodiesel on the cold flow properties and viscosity, *Fuel*, **2013**, **108**, 793-796
18. Chuang-wei Chiu; Leon G. Schumacher; Galen J. Suppes, Impact of cold flow improvers on soybean biodiesel blend, *Biomass and Bioenergy*, **2004**, **27**, 485-491

19. Suzana Yusup; Modhar Khan, Basic properties of crude rubber seed oil and crude palm oil blend as a potential feedstock for biodiesel production with enhanced cold flow characteristics, **Biomass and Bioenergy**, 2010, 34, 1523-1526
20. Rushang M. Joshi; Michael J. Pegg, Flow properties of biodiesel fuel blends at low temperatures, **Fuel**, 2007, 86, 143-151
21. Camelia Echim; Jeroen Maes; Wim De Geryt, Improvement of cold filter plugging point of biodiesel from alternative feedstocks, **Fuel**, 2012, 93, 642-648
22. Young-Kwan Lim; DongKil Kim; EuiSoon Yim, Synthesis of biodiesel from vegetable oil and their characteristics in low temperature, **J. Korean Ind. Eng. Chem**, 2009, 20, 208-212
23. Young-Kwan Lim; Joung-Min Lee; Choong-Sub Jeong, Improvement of low temperature fuel characteristics by pour point depressant