

DOI <https://doi.org/10.9725/kstle.2016.32.6.183>

바이오알코올 혼합연료의 엔진오일 희석특성에 대한 실험적 연구

김현준¹ · 이호길^{1,*} · 오세두¹ · 김 신²

¹자동차부품연구원 가스엔진기술연구센터, ²한국석유관리원 석유기술연구소

An Experimental Study on Characteristics of Engine Oil Diluted by a Bio-Alcohol Mixture Fuel

HyunJun Kim¹, HoKil Lee^{1,*}, SeDoo Oh¹ and Shin Kim²

¹Gas Engine System R&D Center, Korea Automotive Technology Institute (KATECH)

²Research Institute of Petroleum Technology, Korea Institute of Petroleum Management (K-Petro)

(Received September 14, 2016; Revised November 5, 2016; Accepted November 7, 2016)

Abstract – Engine oil plays an important role in the mechanical lubrication and cooling of a vehicle engine. Recently, engine development has focused on the adoption of gasoline direct injection (GDI) and turbocharging methodology to achieve high-power and high-speed performance. However, oil dilution is a problem for GDI engines. Oil dilution occurs owing to high-pressure fuel injection into the combustion chamber when the engine is cold. The chemical components of engine oil are currently developed to accommodate gasoline fuel; however, bio-alcohol mixtures have become a recent trend in fuel development. Bio-alcohol fuels are alternatives to fossil fuels that can reduce vehicle emissions levels and greenhouse gas pollution. Therefore, the chemical components of engine oil should be improved to accommodate bio-alcohol fuels. This study employs a 2.0 L turbo-gas direct injection (T-GDI) engine in an experiment that dilutes oil with fuel. The experiment utilizes a variety of fuels, including sub-octane gasoline fuel (E0) and a bio-alcohol fuel mixture (Ethanol E3~E7). The results show that the lowest amount of oil dilution occurs when using E3 fuel. Analyzing the diluted engine oil by measuring density and moisture with respect to kinematic viscosity shows that the lowest values of these parameters occur when testing E3 fuel. The reason is confirmed to influence the vapor pressure of the low concentration bio-alcohol-fuel mixture.

Keywords – engine oil(엔진오일), dilution(희석), bio-alcohol(바이오-알코올), vapor pressure(증기압력), gasoline direct injection(GDI)

1. 서 론

자동차 및 다양한 기계엔진에서의 오일의 역할은 크게 두 가지로 분류된다. 첫번째는 각 기계의 마찰 저감 및 표면 보호를 위해 윤활작용을 하고 두번째는 마찰부분에 냉각작용을 수행한다. 이에 따라 엔진에서 오일의 역할은 고속 및 고출력화 되고 있는 자동차 엔진에서 매우 중요한 부분이다.

가솔린 엔진의 연료분사방식은 실린더 내에 직접

연료를 분사하는 GDI 방식과 흡기매니폴더에 연료를 분사하는 MPI방식이 있다[1, 2]. GDI방식의 경우 냉각수온도가 낮을 때, 고압으로 분사된 연료가 온도가 낮은 실린더 블록과 접촉되어 기화가 되지 않고 실린더 벽면에 응결되어 엔진오일과 희석이 되는 문제가 있다[3-5].

세계 수송용 연료시장에서는 화석연료에 바이오알코올을 혼합하여 사용하는 추세이며, 국내 정유 회사 및 국내 주정회사에서도 실증을 위한 연료 및 바이오 알코올에 대한 기술개발을 하고 있다.

차량 실증단계에서는 바이오 알코올 사용시 별도

*Corresponding author : hkleee@katech.re.kr

Tel: +82-41-559-3178, Fax: +82-41-559-3235

의 연료시스템 및 점화 시스템 개선 없이 바로 적용이 가능한 E20 미만의 연료에 대해서 연구를 하고 있다.

바이오 알코올의 연료특성상 높은 산소함유량을 가지고 있으며, 바이오 알코올을 가솔린 연료와 혼합하여 사용할 시 수분이 생성될 수 있다. 엔진 내에 수분이 증가할 경우 기계적 마찰부위에 산화 및 부식으로 엔진에 악영향을 초래할 수 있다. 따라서 산소함유량이 높은 바이오 알코올 연료가 엔진오일 희석시 엔진유회계통에 미치는 영향에 대하여 연구가 이루어져야 한다[7-10].

본 연구에서는 가솔린의 연료 첨가제를 혼합하지 않은 서브옥탄 가솔린 연료에 바이오 알코올인 에탄올을 일정비율로 혼합한 연료를 사용하여 엔진오일 내에 연료 희석 실험을 실시하였으며, 에탄올 혼합비율에 따른 엔진오일의 밀도, 수분함유량 및 동점도에 대하여 비교 분석하였다.

2. 연구방법 및 내용

2-1. 연료희석 실험장치

2-1-1. 실험 엔진

엔진오일에 연료희석실험을 위하여 2.0L 터보 직접분사 엔진(T-GDI)을 사용하였으며, 대상엔진을 제어하기 위하여 엔진동력계(EC-220 kW)에 실험

Table 1. Engine specification

Engine Type	GDI Turbo
Displacement (cc)	1,988
Cylinder type	Inline-4
Compression Ratio	9.5

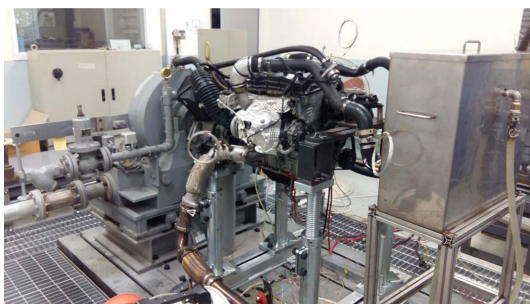


Fig. 1. Experiment environment.

Table 2. Component of new engine oil

Density (g/cm ³)	Water contents (%)	Kinematic viscosity (mm ² /s)	
0.8541	0.1725	40°C :	58.9
		100°C :	10.2

환경을 구축하여 연료희석 평가를 수행하였다.

2-1-2. 실험 대상 엔진오일

엔진오일에 연료 희석 실험 시 사용한 엔진오일은 대상엔진의 제작사에서 지정한 엔진오일을 사용하였으며, 유럽자동차공업협회(ACEA)에서 A5등급으로 인증받은 점도 5W-30 엔진오일을 이용하였다.

2-1-3. 바이오 알코올 혼합연료

바이오 알코올 혼합연료 사용에 따른 엔진오일의 연료 희석성분을 분석하기 위하여 서브옥탄 가솔린 연료와 바이오 알코올 혼합연료를 구성하기 위하여 에탄올을 Table 3과 같이 혼합하였다.

2-1-4. 연료희석 실험방법

엔진오일에 연료를 희석하기 위하여 아래 Fig. 2와 같은 방법으로 실험을 실시하였다. GDI엔진 특성상 냉간시 고압으로 분사된 연료가 차가운 실린더 벽면과 부딪혀 응결이 되어 엔진오일과 희석되

Table 3. Fuel specification

Sample	Fuel Blending ratio % (Volume ratio)			
	E0	E3	E5	E7
Sub Octane Gasoline	100	97	95	93
Ethanol	0	3	5	7

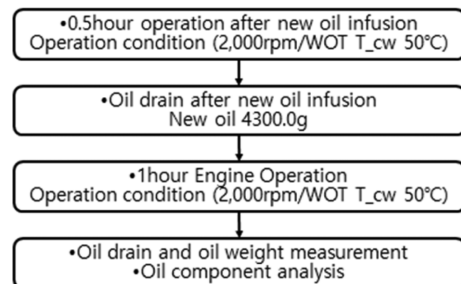


Fig. 2. Dilution experiment method.

Table 4. Operation conditions of engine experiment

	Speed (rpm)	Torque (Nm)	T _{cw} (°C)	T _{oil} (°C)
Sub octane fuel (E0)	2,000	271	49.5	69.7
Alcohol mixture fuel (E3)		279	49.5	69.8
Alcohol mixture fuel (E5)		278	49.5	70.1
Alcohol Mixture fuel (E7)		280	50.3	69.7

는 효과를 극대화 하기 위하여 엔진 냉각수 온도를 50°C로 유지하였다.

신유 주입시 연료회석 실험 후 연료의 회석량을 정량적으로 판단하기 위하여 4300.0 g으로 동일한 엔진오일을 주입하였다.

각 연료에 대하여 연료 회석 평가시 엔진실험 환경 데이터는 Table 4에 자세히 나타내었다. 각 평가 시 엔진회전 수 2,000 rpm, 토크 277.1 Nm, 냉각수 온도 49.7°C, 오일온도 69.8°C로 분석되었다.

2-2. 엔진오일 성분 분석방법

2-2-1. 밀도

연료가 회석된 엔진오일의 밀도를 분석하기 위하여 엔진오일을 규정된 온도로 유지하고 엔진오일과 동일한 온도로 맞춘 시료용기 속에 엔진오일 샘플을 주입하였다. 오일온도가 15°C로 평형을 이루게 되면 엔진오일의 셀 진동수를 기록하고 미리 보정된 셀 상수를 통하여 밀도를 분석하였다.

2-2-2. 수분

교반기로 엔진오일을 균질화한 후 외기와 차단한 적정 용기에 엔진오일을 혼합용액에 용해한 후, 물과 정량적으로 반응하는 칼피셔 시약으로 유리요오드에 의한 적정계의 분극 전압이 급격히 변화하는 점을 전기적으로 검출하여 적정 종말점으로 측정한다. 시료 중의 수분은 칼피셔 시약 1 mL가 물과 반응하는 mg 수(농도계수)와 적정에 필요한 칼피셔 시약량 및 엔진오일 채취량을 이용하여 수분을 분석하였다.



Fig. 3. Density detection measurement (Left) and kinematic Viscosity detection measurement (Right) of engine oils.

2-2-3. 동점도

동점도 시험방법은 유체의 말단이 일정하고 일정한 온도 40°C, 100°C 조건에서 교정된 점도계의 모세관을 통하여 중력을 이용하여 흐르는 일정한 부피의 유체에 대하여 시간을 측정한다. 이를 통하여 측정된 유출시간과 점도계 교정상수에 의해 환산하여 동점도를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 연료회석 실험결과

서브옥탄 가솔린 연료와 바이오 알코올 혼합연료인(E3~E7)에 대한 연료회석 실험 후 정량적으로 증가한 연료의 양에 대하여 비교하였다.

아래 Fig. 3은 각 연료회석 평가 전/후의 엔진오일 무게를 측정하여 엔진오일에 회석된 연료를 확

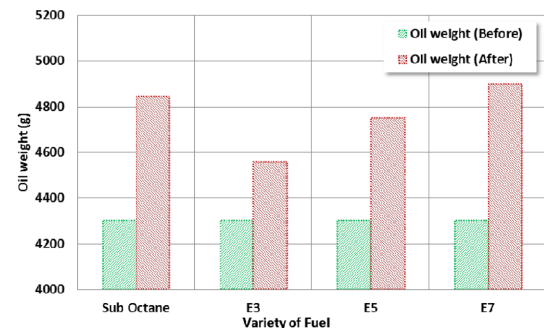


Fig. 4. Results of engine oil weight before and after dilution tests.

인한 결과 E3를 제외한 서브옥탄 가솔린 연료 및 E5, E7연료에서 450 g 이상의 E3 연료는 255.3 g의 엔진오일 증감률을 확인하였다. 이는 실린더 내에 분사된 연료가 오일에 희석됨에 따라 엔진 오일이 증가한 것을 확인하였다.

3-2. 엔진오일 성분 분석 결과

3-2-1. 희석오일 밀도 분석 결과

희석오일에 대하여 밀도분석을 실시한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

서브옥탄 가솔린 즉 바이오 알코올이 혼합되지 않은 연료에 대한 희석된 엔진오일의 밀도는

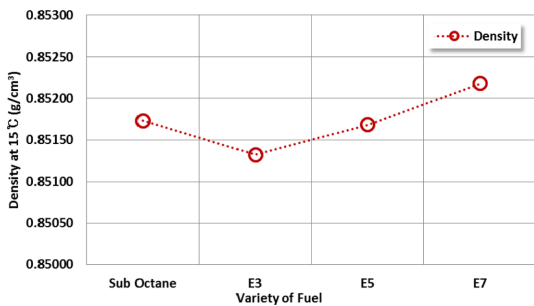


Fig. 5. Result of engine oil density.

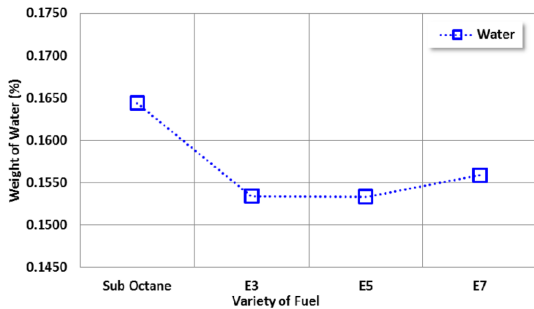


Fig. 6. Result of water content in engine oil.

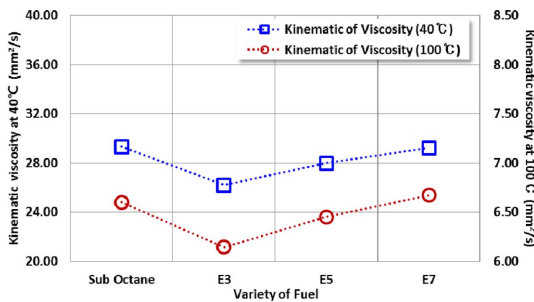


Fig. 7. Result of kinematic viscosity of engine oil.

0.85173 g/cm³이며, E3 연료가 희석된 엔진오일은 가장 낮은 0.85132 g/cm³으로 분석되었다. E3 연료를 기준으로 바이오 알코올 농도가 증가함에 따라 엔진오일의 밀도가 증가하여 E7 연료에서 최대 0.85218 g/cm³으로 분석되었다.

3-2-2. 희석오일 수분 분석 결과

희석오일에 대하여 수분함유량 분석을 실시한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

바이오 알코올이 혼합되지 않은 서브옥탄 가솔린 (E0)이 희석된 엔진 오일의 수분 함유량을 분석한 결과 단위 무게당 0.1644%으로 가장 높은 수분함유량을 확인하였으며, 바이오 알코올이 3%, 5% 혼합된 E3, E5 연료가 희석된 엔진오일은 단위 무게당 0.1534%(E3), 0.1533%(E5)으로 가장 낮은 함유량을 확인하였다. E7 연료의 경우 0.1559%으로 수분의 함유량이 점차 높아지는 것을 확인하였다.

3-2-3. 희석오일 동점도 분석 결과

Fig. 6과 같이 오일온도 40°C, 100°C에 대한 동점도를 분석한 결과, 바이오 알코올이 함유되지 않은 서브옥탄 가솔린이 희석된 엔진오일의 동점도는 각각 29.35 mm²/s, 6.602 mm²/s으로 분석이 되었다. 바이오 알코올을 3% 함유한 E3 연료에서 각각 26.21 mm²/s, 6.147 mm²/s으로 가장 낮은 동점도를 확인하였으며, 이후 바이오 알코올 함유량 높을수록 동점도가 증가하여 E7 연료에서는 각각 29.25 mm²/s, 6.675 mm²/s으로 증가하는 경향을 확인하였다.

3-3. 혼합연료에 따른 엔진오일 성분경향 분석

연료에 바이오 알코올이 혼합된 비율에 따라 희석된 엔진오일에 대한 성분경향 분석하였다. 희석된 엔진오일에 대하여 밀도, 수분함유량, 동점도를 분석한 결과 서브옥탄 가솔린(E0)에서 바이오 알코올이 3% 함유된 E3으로 바이오 알코올 농도가 증가시 3개 항목에 대한 수치가 감소하는 경향을 보였다.

또한 E3 연료에서 바이오 알코올 함유량이 증가할수록 밀도, 수분함유량, 동점도에 대한 수치가 증가하는 경향을 확인하였다.

위와 같이 바이오 알코올이 혼합된 오일성분의 경

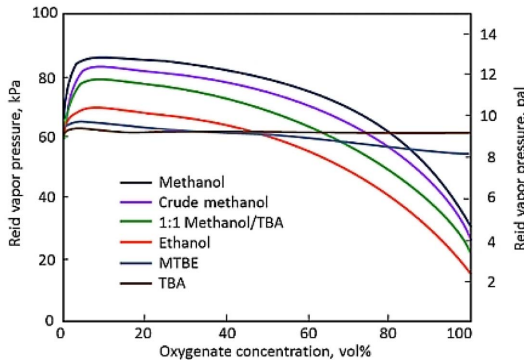


Fig. 8. Vapor pressure according to the Ethanol concentration (IEA)[11].

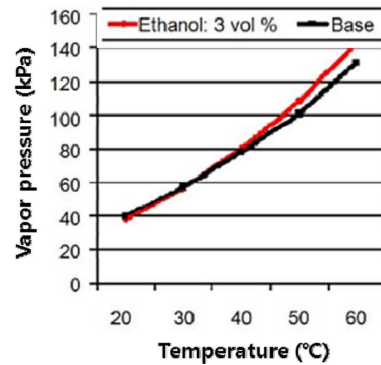


Fig. 9. Vapor pressure according to the temperature (IEA)[11].

향은 바이오 알코올이 혼합된 연료의 증기압 발생 경향과 유사한 것을 확인하였다. 산소함유량 증가에 따른 증기압 곡선을 아래 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7은 IEA(International Energy Agency's)에서 발표한 자료의 일부이며, 각 첨가물의 혼합농도에 대한 증기압곡선을 나타낸 그래프이다. 바이오 에탄올 혼합율이 낮을 때에는 증기압이 상승하는 경향을 나타내었으며, 혼합율이 증가할수록 증기압이 감소하는 경향을 나타내고 있다.

이 경향은 바이오 알코올이 희석된 오일의 성분 분석 경향과 유사한 경향을 보이고 있음에 따라 혼합연료의 증기압 요소가 연료가 희석된 오일과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

본 연구에서 분석한 오일밀도의 경우 E3 연료 특성상 높은 증기압으로 엔진오일에 희석된 연료가 오일팬 또는 엔진내부에서 증발하여 각 혼합농도 중 가장 낮은 밀도를 가지고 있는 것을 확인하였다.

또한 증기압과 온도에 대한 연관성을 확인을 위하여 아래 Fig. 8과 같이 IEA에서 발표한 E3연료에 대한 온도별 증기압 발생 경향을 분석결과, 온도가 증가함에 따라 E3 연료의 증기압이 기존연료 대비 60°C에서 10 kPa 이상 증가하는 것을 확인하였다.

바이오 알코올이 희석 실험시 오일온도는 평균 69.8°C으로 Fig. 8과 같이 바이오 알코올이 혼합되지 않은 연료보다 증기압이 10 kPa 이상 발생함에 따라 연료의 휘발이 활발하게 진행되었다.

위와 같이 저농도의 바이오 알코올 혼합연료의

높은 증발압력의 원인으로 엔진오일에 희석된 연료가 증발률이 높음에 따라 증발하는 과정에서 수분도 같이 증발되어 연료 내 수분함유량이 낮아지는 것으로 판단된다.

동점도의 경우 수분함량이 다소 높은 서브옥탄 기술린과 E5, E7 연료가 희석된 오일의 경우 연료의 수분 성분과 오일이 혼합되어 있기 때문에 수분 함유량이 낮은 E3 연료 대비 동점도 수가 높은 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구는 바이오 알코올 혼합연료 사용에 따른 엔진의 윤회성능을 연구하기 위하여 바이오 에탄올 혼합농도 별 엔진오일로의 연료 희석 평가를 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

1) 바이오 알코올 혼합농도에 따라 E0~E7까지의 혼합연료에 대하여 엔진오일로의 연료 희석 평가(Dilution test)를 수행하였으며, 연료 희석양을 측정된 결과 E3 연료를 사용할 경우 255.3 g으로 가장 낮게 희석되었다.

2) 연료가 희석된 엔진오일에 대하여 밀도, 수분함유량 및 동점도를 평가한 결과 E3 연료 적용시 가장 낮은 경향을 확인하였으며, 혼합비율이 증가할수록 밀도, 수분함유량, 동점도가 모두 증가하였다. 이것은 E20(바이오 에탄올 함유량 20%) 미만의 바이오 에탄올 혼합연료에서 나타나는 증기압 경향과 유사하며, 높은 증기압으로 엔진 내부에서 바이오 에탄올 증발한 것으로 판단된다.

3) 따라서 연료가 희석된 엔진오일의 밀도는 다른 혼합을 대비 E3 연료를 사용한 엔진오일의 밀도가 가장 낮게 측정된다.

4) 엔진오일 내 바이오 알코올 증발로 인하여 수분이 함께 증발하였으며, 따라서 오일 내의 불순물(수분)이 작게 되어 동점도 계수가 낮게 측정된 것으로 판단된다.

5) 바이오 알코올 연료 보급을 위한 실증연구가 현재 진행되고 있으며, 기존 가솔린 연료에 바이오 에탄올 혼합시 엔진오일의 특성 변화가 예상되며, 무수 바이오 알코올 연구 및 서브옥탄 가솔린에 대하여 연구와 함께 연료첨가제 및 오일성분 향상에 대한 연구도 이루어져야 할 것이다.

Acknowledgements

본 연구는 2016년 산업통상자원부 에너지기술개발사업의 재원으로 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다(‘E3급 수송용 바이오연료의 국내 적용성 향상을 위한 최적화 기술개발’, NO. 20163010092160).

References

- [1] Park, T. S., Song, B. H., “An Experimental Study of Characteristic Variation of Diluted Oil By Diesel Fuel and Effects of Diluted Oil on Engine Components”, KSAE04-F0041, pp.254-259, 2004.
- [2] Jeon, K.G., Lee, C.G., Yong, S.Y., Park, M.H., “The Oil Degradation Degree Analysis Study Due to the Amount of the Fuel Dilution in the Engine Oil”, KSAE, Korea, May 2012.
- [3] Kim, Y. S., Moon, S. S., Choi, C. S., Bae, C. S., “Effects of Split Injection Strategy in Single Cylinder DISI Engine”, Annual conference, pp. 38-43, 2003.
- [4] Takumaru Sagawa, Hiroya Fujimoto and Kiyotaka Nakamura, “Study of Fuel Dilution in Direct Injection and Multipoint Injection Gasoline Engines”, SAE2002-01-1647, 2002.
- [5] Jeon, K.G., Park M.H., Yong, S.Y., “A Study on Deterioration of Engine Oil Properties by Fuel Dilution and Water Dilution”, KSAE, Korea, May 2014.
- [6] Kim, Y.J., Jun, S. Y., Rew, S.H., “A Study of engine control for minimization of oil dilution at TGDI engine”, KSME, Korea, May 2011.
- [7] Park, T.S., Song, B.H., “An Experimental Study of Characteristic Variation of Diluted Oil by Diesel Fuel and Effects of Diluted Oil on Engine Components”, KSAE04-F0041, 2004.
- [8] Kim, H.G., Kim, C.K., “Experimental Study on the Tribology Characteristics of Diluted Engine Oil by Diesel Fuel”, KSTLE, Vol. 21, No. 4, pp. 159-164, 2005.
- [9] Kim, C.K., Kim, H.G., “Experimental Study on the Viscosity Characteristics of Diluted Engine Oils with Diesel Fuel”, KSTLE, Vol. 24, No. 1, pp. 1-6, 2008.
- [10] Shayler, P.H., Winboen, L.D., Scarisbrick A., “The Build-Up of Oil Dilution by Gasoline and the Influence of Vehicle Usage Pattern”, SAE 2000-01-2838, 2000.
- [11] Implementing Agreement for Advanced Motor Fuels, <http://www.iea-amf.org>.