

바이오부탄올, 바이오에탄올 혼합비율에 따른 연료적 특성 연구

김 신[†] · 김재곤 · 박천규 · 하종한

[†]한국석유관리원 석유기술연구소

Study on Fuel Characteristics Depending on Mixing Ratio of Bio-Butanol and Bio-Ethanol

SHIN KIM[†], JAE-KON KIM, CHEON-KYU PARK, JONG-HAN HA

Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33 Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju 28115, Korea

[†]Corresponding author :
shinnala@kpetro.or.kr

Received 21 October, 2017
Revised 28 November, 2017
Accepted 29 December, 2017

Abstract >> Korea, which has a high dependency on energy imports, is greatly affected by fluctuations in international oil prices. In order to offset these effects, various policies such as 'diversification of energy sources' and 'energy mix' are being pursued. Renewable Fuel Standard (RFS) is a policy promoted for this purpose, and a compulsory mixing system is applied only to the diesel. In order to reduce dependence on fossil fuels in various countries, they are concentrating on the dissemination of bio-alcohol as well as bio-diesel, and commercialization through various verification. In this study, evaluation of domestic materials and vehicles was carried out to promote domestic bio alcohol fuel. We analyzed the fuel characteristics of domestic quality standard items by mixing them with gasoline of automobile at a certain mixing ratio (0%, 3%, 6%, and 10%).

Key words : Bio-alcohol(바이오알코올), Bio-ethanol(바이오에탄올), Bio-butanol(바이오부탄올), Methyl tertiary butyl ether(MTBE), Ethyl tertiary butyl ether(ETBE), Oxygen contents(산소함량)

1. 서론

국제 에너지 정책은 자국내 에너지 독립 또는 자립화를 위한 에너지원 확보 및 화석연료에 대한 의존성 탈피를 목적으로 추진되고 있다. 이러한 목적의 최종 에너지원으로는 자연계에서 발생되는 자연 순환형 에너지로서 환경오염원 배출제를 목적으로 한다. 하지만 현재 기술력 및 경제

성에 부합하는 탄소 제로화 연료의 상용화는 보다 많은 시간이 필요할 것으로 전문가들은 예측하고 있다. 이에 미래에너지원 확보를 위하여 국제 사회에서는 환경보호 등 다양한 목표치를 설정하고 있으며 우리나라도 2030년 배출전망치 대비 37% 달성을 목표로 설정하였다. 이러한 목표치 달성을 위해서는 국제 사회에서 인정하는 연료의 사용이 불가피하게 되었으며 내부적으로

2035년 신재생에너지 보급비율 11% 달성 및 제4차 신재생에너지 기본계획에서 수송부문 신재생에너지 연료 혼합의무화제도(renewable fuel standard, RFS)를 시행하고 있다¹⁾. 미래에너지원으로의 전환 이전, 과도기에 필요한 연료로는 생태계에서 발생하는 에너지를 현 수송부문에 적용 가능한 바이오에너지가 가장 현실적이다. 다양한 국가에서는 이러한 바이오에너지를 연료화하기 위하여 각국의 상황을 반영한 연구를 수행하고 있으며 검증 단계를 거친 연료는 상용화되어 왔다. 우리나라의 경우도 수송부문 경유의 대체 가능한 바이오디젤을 제도화하여 의무혼합하고 있으나 이 외에 연료에 대한 대체연료 보급은 미진한 상태이다.

본 연구에서는 다양한 국가에서 이미 상용화된 바이오에탄올과 도입 가능한 바이오부탄올의 연료적 특성을 국내 실정에 맞춰 평가를 수행하였으며 석유 및 석유대체연료 사업법상 자동차용 휘발유에 대한 품질기준 항목별 분석을 통해 최적 혼합비율 도출에 필요한 물리·화학적 특성을 확인하였다.

2. 실험

2.1 평가시료

석유 및 석유대체연료 사업법상 자동차용 휘발유에 대한 품질기준은 16항목이며 산소함량 즉, 탄소-산소-수소 구조에서 산소가 함유된 양을 2.3무계% 이하로 규정하고 있다²⁾. 품질기준 함량을 기초로 하여 산소함량 1.2무계%, 2.3무계%, 3.9무계%에 해당하는 바이오알코올 함량 평가시료를 Table 1과 같이 선정하였다. 또한 바이오알코올 혼합량 내 바이오에탄올과 바이오부탄올 간 영향성 검증을 위하여 100:0 (E100), 80:20 (EB80:20), 70:30 (EB70:30), 50:50 (EB50:50), 30:70 (EB30:70), 0:100 (B100)으로 6종을 선정하였다. 이러한 산소함량과 혼합비율에 따른 상관성 분석을 위하여 산

Table 1. Evaluation sample selection plan

Evaluation sample	Ethanol (Vol%)	Butanol (Vol%)	MTBE (Vol%)	Alcohol contents (Vol%)	Oxygen contents (wt%)
0%E100	0.0	0.0	11.8	11.8	2.3
3%E100	3.0	0.0	0.0	3.0	1.3
3%EB80:20	2.5	0.6	0.0	3.1	1.2
3%EB70:30	2.3	1.0	0.0	3.3	1.2
3%EB50:50	1.8	1.8	0.0	3.6	1.2
3%EB30:70	1.2	2.7	0.0	3.9	1.2
3%B100	0.0	4.6	0.0	4.6	1.2
6%E100	5.9	0.0	0.0	5.9	2.3
6%EB80:20	4.9	1.2	0.0	6.1	2.3
6%EB70:30	4.5	1.8	0.0	6.3	2.3
6%EB50:50	3.5	3.5	0.0	7.0	2.3
6%EB30:70	2.3	5.3	0.0	7.6	2.3
6%B100	0.0	9.4	0.0	9.4	2.3
10%E100	10	0.0	0.0	10.0	3.9
10%EB80:20	8.6	2.2	0.0	10.8	3.9
10%EB70:30	7.8	3.4	0.0	11.2	3.9
10%EB50:50	6.1	6.1	0.0	12.2	3.9
10%EB30:70	4.0	9.4	0.0	13.4	3.9
10%B100	0.0	15.6	0.0	15.6	3.9

소 미함유 휘발유 및 일반 휘발유(MTBE 함유 휘발유)를 비교 대상연료로 선정하였다.

평가항목은 품질기준 전 항목을 분석하였으며 바이오에탄올, 바이오부탄올 혼합비율 평가시료 선정과 관련하여 산소함량 기준으로 오차범위 ±0.1무계% 이내 유지를 위해 보정작업을 반복 수행하였다.

2.2 시험방법

(옥탄가) 가솔린 엔진 내에서 휘발유를 연소시킬 때 일어나는 녹킹(knocking) 현상을 억제하는 성질인 안티-노크성(anti-knocking)을 수치로 나타낸 옥탄가를 측정하는 방법(KS M 2039)으로 옥탄가는 휘발유 연료의 연비, 출력, 배출가스 등과 관계되는 주요한 품질기준 항목이다. 보통휘발유

의 옥탄값 품질기준은 91-94이며, 고급휘발유의 경우 옥탄값 품질기준이 94 이상으로 설정되어 있다³⁾.

(증기압) 석유제품의 휘발성을 평가하는 시험 항목으로 자동차의 시동성, 증기폐쇄(vapor lock) 현상과 관련하여 차량 성능에 중요한 영향을 미치는 시험방법(ASTM D 5191)으로 여름용 휘발유의 증기압은 44-60 kPa, 겨울용 휘발유의 증기압은 44-96 kPa로 관리하고 있다³⁾.

(증류성상) 휘발유는 단일성분이 아니기 때문에 단일 끓는점을 지닐 수 없으며 끓는점 대신 구성성분의 비점(끓는점) 범위를 분석하는 시험방법(ASTM D 86)으로 증류성상의 10% 유출온도는 전체 시료 중 10%가 증류되는 온도이며, 이는 시동성 및 연료배관의 유증기에 의한 증기막힘 현상인 증기폐쇄(vapor lock)와 관계되며 50% 유출온도는 전체 시료 중 50%가 증류되는 온도이며, 이는 동력의 발생, 출력 및 가속성과 연관이 되며, 90% 유출온도는 차량의 주행성능과 연관되어 나타난다³⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1 바이오알코올 연료의 품질기준 및 평가연료 선정

3.1.1 바이오에탄올

바이오에탄올에 대한 품질기준은 다양한 국가

에서 제정하여 운용하고 있으며 가장 보급화가 활발한 국가를 대상으로 Table 2와 같이 품질기준을 나타내었으며 국내 에탄올 주정사 제품의 품질수준과 비교하여 나타내었다.

국외 바이오에탄올 품질기준에서 에탄올 함량은 미국을 제외하고 대부분 98부피% 이상이며 수분은 0.3부피% 또는 0.7부피% 이하 등으로 관리하고 있다. 국외 품질기준 대비 국내 바이오에탄올 유통품질을 확인한 결과, 대부분 국외 품질기준을 만족하는 수준으로 생산되고 있었으며 전 성분분석(KS M 2963)⁴⁾을 통하여 순도를 확인한 결과, 99.97부피%로 다른 성분이 거의 없는 순수한 에탄올로 확인되었다.

3.1.2 바이오부탄올

바이오부탄올에 대한 품질기준은 Table 3과 같이 미국에서 유일하게 제정·운영되고 있으나 유럽 등지에서는 자동차용휘발유의 산소함량 기재(연료유 첨가제)로 사용하고 있다. 바이오에탄올과 동일하게 국내 바이오부탄올 생산사의 유통 품질을 비교하여 나타내었다.

미국에서의 바이오부탄올 품질기준은 96.0부피% 이상으로 관리하고 있으며 국내 바이오부탄올 품질수준은 99.76부피%로 대부분 미국의 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 2. Bioethanol international standards and domestic quality status

Spec name	Brazil	Europe	Japan	US	Korea
Ethanol, vol%, min	98.0	98.7	99.5	92.1	99.97
Water, vol%, max	0.7 (wt%)	0.300	0.7 (wt%)	1	0.22 (wt%)
Density @ 20°C, kg/m ³ , max	791.5	-	-	-	803
Gum (Solvent washed), mg/100 ml, max	5	-	-	5.0	1 ↓
Chloride, inorganic, ppm, max	1 (Chloride)	1.5	-	6.7	Not detection
Copper, ppm, max	0.07	0.100	0.1	0.1	Not detection
Methanol, vol%, max	0.5	1.0	4.0 g/l	0.5	Not detection
Acetic Acid, wt% , max	0.03	0.007	0.007	0.007	0.004
Sulfate, ppm, max	4	3.0	-	4	Not detection
Electrical conductivity, μS/m, max	300	250	500	-	85
Appearance	Clear, free of impurities	clear and colourless	Colorless	-	Colorless

3.2 원료의 연료적 특성 분석

평가의 기초 원료로서 Table 4와 같이 서브옥탄가솔린은 산소함량 0.1무게% 미만, 옥탄가는 90, 증기압은 52.7 kPa, 황분은 9.6 mg/kg으로 옥

탄가를 제외하고 품질기준을 만족하는 수준으로 나타났다.

바이오알코올 원료는 높은 순도를 가지는 것으로 나타났으나 자동차용 휘발유 대비 낮은 발열량으로 바이오에탄올은 29.24 MJ/kg, 바이오부탄올 36 MJ/kg으로 나타났다.

Table 3. Bio-butanol international standards and domestic quality status

Spec name	US	Korea
Butanol, vol%, min	96.0	99.76
Methanol, vol%, max	0.4	Not detection
Water, vol%, max	1.0	0.067 wt%
Gum (Solvent washed), mg/100 ml, max	5.0	1 ↓
Chloride, inorganic, ppm, max	8 (6 mg/L)	Not detection
Sulfur, ppm, max	30	1.2
Sulfate, ppm, max	4	Not detection

3.3 혼합비율에 따른 연료적 특성 변화

3.3.1 3부피% 혼합에 따른 특성 변화

산소함량 1.2무게%를 기준으로 바이오알코올 (바이오에탄올과 바이오부탄올) 3부피% 혼합한 평가시료를 분석한 결과, 모든 품질기준을 만족하였으나 연소성과 관련된 옥탄가의 경우, 바이오부탄올만을 혼합한 평가시료에서는 품질기준을 만족하지 못하였다. 하지만 바이오에탄올이 가지는 높은 옥탄가를 통해 다른 혼합비율에서

Table 4. The Results of Bio-alcohol materials & Sub-octane-gasoline

Spec name	Sub octane	Bio-Ethanol	Bio-Butanol	Gasoline	
RON	90.0	Theory 111	Theory 96	93.3	
Distillation (°C)	T10	58.1	77.0	115.4	55.6
	T50	99.8	77.0	115.7	88.5
	T90	164.3	77.1	116.0	157.9
	FBP (°C)	198.3	77.3	126.7	201.5
	Residue (vol%)	1.0	0.9	0.9	1.1
RVP (37.8°C, kPa)	52.7	15	1.6	53.8	
Sulfur (mg/kg)	9.6	12.5	1.2	7.7	
Component analysis	Aromatic (vol%)	18.0	-	0.1 ↓	15.5
	Benzene (vol%)	0.5	-	-	0.4
	Olefin (vol%)	11.4	0.1 ↓	0.1	9.8
	Oxygen (wt%)	0.1 ↓	35.3	21.6	2.2
	MTBE (vol%)	0.1	-	-	11.7
	TAME (vol%)	0.1	-	-	0.1
	Ethanol (vol%)	-	99.97	-	-
Butanol (vol%)	-	-	99.76	-	
Gross calorific value (MJ/kg)	46.57	29.24	36.00	45.50	
Net calorific value (MJ/kg)	43.31	26.27	32.92	42.26	
Water (wt%)	0.008	0.218	0.070	0.012	
Density (15°C, g/cm ³)	0.729	0.803	0.814	0.729	

품질기준을 만족시킬 수 있었다.

연소와 관련된 발열량의 경우, 낮은 발열량을 가진 바이오에탄올 혼합 대비 높은 발열량을 가진 바이오부탄올 혼합에서 모두 동등 수준의 결과로 나타났다. 이는 동일한 산소함량이라고 하더라도 바이오알코올이 가지는 산소함량 비율이 다르며 바이오부탄올의 경우, 산소함량을 만족시키기 위해 높은 혼합부피가 필요하며 높은 발열량의 휘발유 함량 감소로 전반적 동등 수준의 결과로 나타나게 된다.

증기압의 경우, 바이오에탄올 함량에 따라 미량 증가한 반면 바이오부탄올 혼합을 따라 감소되는 상쇄의 결과로 평가시로 모두 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

운전성 지수는 다양한 연구보고서에 인용되고 있는 지표로서 운전자로 하여금 운행하는 과정에 보다 편안한 운행이 가능하도록 지수화시킨 수치이다. ASTM D 4814 및 WWFC (World wide fuel charter)⁵⁾에 제시된 계산식을 이용하여 확인한 결과, 10%, 50%, 90%, 산소함량에 의하여 산출되는 결과로서 수치가 낮을수록 좋은 결과이다.

Fig. 1에서와 같이 EB0는 바이오알코올이 미혼합된 연료로서 운전성 지수가 상대적으로 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 또한 바이오에탄올 혼합비율이 증가할 경우보다 바이오부탄올 함량이 높을수록 보다 운전성 지수가 높게 나타났다. 따라서 바이오알코올 함량이 높을수록 운전성은 안 좋아졌으며 또한 바이오에탄올보다는 바이오부탄올 함량이 높을수록 안 좋아지는 결과를 보였다.

3.3.2 6부피% 혼합에 따른 특성 변화

바이오알코올 6부피% 혼합의 기준은 산소함량 2.3무게%에 해당되며 바이오에탄올과 바이오부탄올을 혼합한 연료의 품질을 분석한 결과, 모든 품질기준을 만족하는 결과로 나타났다.

연소성과 관련된 옥탄가의 경우, 바이오에탄올과 바이오부탄올 간 상반된 결과로 상호보완적인

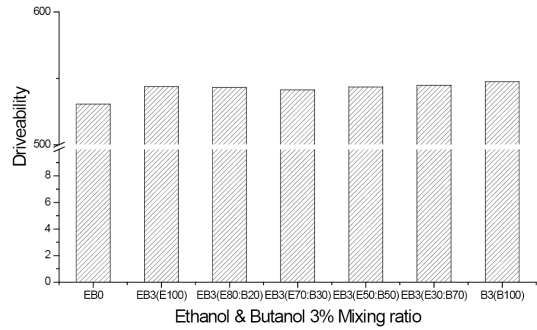


Fig. 1. Changes of Driveability index on Bio--alcohol mixture ratio(3%)

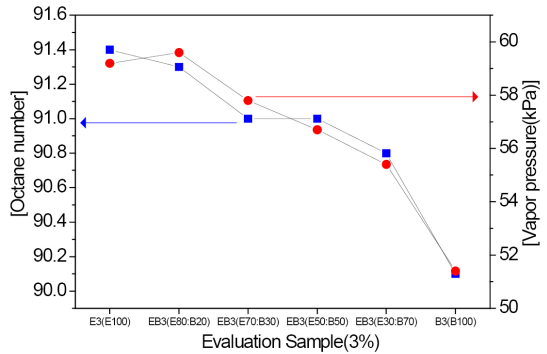


Fig. 2. Changes of RON and Vapor pressure on Bio-alcohol (3%) mixing ratio

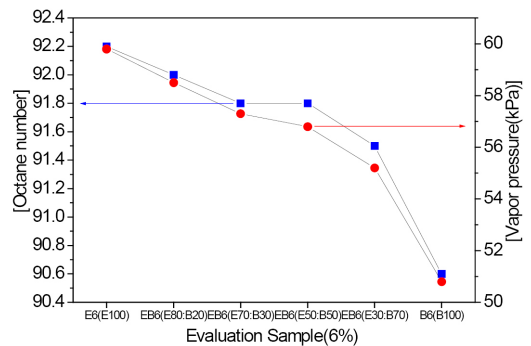


Fig. 3. Changes of RON and Vapor pressure on Bio-alcohol (6%) mixing ratio

상관성으로 인해 품질기준을 만족시켰다.

Figs. 2 and 3을 비교하면 바이오알코올 함량이 높아질수록(3→6%) 전반적으로 옥탄가는 증가하고 있으나 증기압은 변화되지 않는 것으로 보인다. 차량 엔진에서의 증기압은 연소하기 직전 액

상에서 기상으로 전환되는 연료적 특성으로 시동성과 연소성에 큰 영향을 미친다⁶⁾. 다시 말해 증기압이 특별히 변화되지 않은 특성으로 인해 피스톤 내부의 압력 또는 열량(기화열)으로 인한 옥탄가 향상 효과는 없었을 것으로 추정된다. 다만 바이오알코올이 가지는 연료적 특성 중 옥탄가, 산소함량, 발열량 및 점도는 엔진 연소과정에 일부 영향을 미쳤을 것으로 판단된다^{3,7)}. 바이오알코올이 가지는 산소함량과 낮은 발열량은 휘발유 대비 높은 연료 소모량(농후한 연소 분위기)을 발생시킨다⁸⁻¹⁰⁾. 이는 알코올에 함유된 산소함량이 인위적으로 공급되면서 차량의 공연비 기준을 맞추기 위해 분사량을 증가(희박연소→농후한 연소)시키기 때문이다. 하지만 바이오알코올이 가지는 높은 점도는 이러한 증가량을 일정수준으로 유지시켰을 것이며 이러한 연료적 특성에 의한 변화 보다는 바이오알코올 가지는 이론적 옥탄가에 의해 증가되었을 것으로 판단된다^{7,11,12)}.

운전성 지수인 Fig. 4를 Fig. 2와 비교한 결과, 유사한 패턴의 결과로 나타났으나 Fig. 2와 달리 혼합비율 EB (50:50)에서 가장 좋은 운전성 지수를 보였다. 이는 계산 상수 중 50% 유출온도에 의한 결과로 판단되며 이는 시동성, 가속성, 주행성 등 차량 운행에 전반적인 영향을 미치는 50% 유출온도가 가장 큰 영향인자를 가지기 때문으로 판단된다⁵⁾. EB0의 평가연료에서는 88.5°C의 50% 유출온도를 가지는 반면 바이오알코올 3% 혼합 연료 평균 약 97°C, 6% 혼합연료의 평균 약 95°C로 나타났기 때문이다. 바이오알코올 혼합으로 인해 50% 유출온도는 증가하였으며 이로 인해 운전성 지수는 높게 나타나게 된다.

3.3.3 10부피% 혼합에 따른 특성 변화

바이오알코올 10부피% 혼합의 기준은 산소함량 3.9무게%에 해당되며 바이오에탄올과 바이오부탄올을 혼합 연료의 품질을 분석한 결과, 산소함량을 제외하고 모든 품질기준을 만족하였으며 3%, 6% 혼합 연료와 동일한 경향을 가졌다.

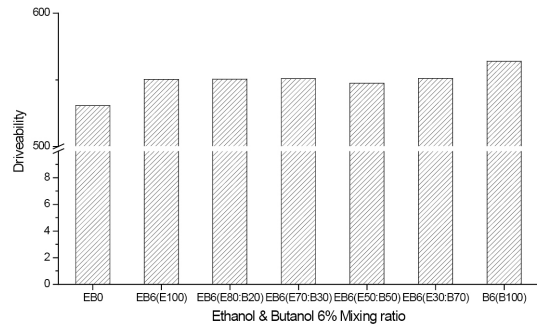


Fig. 4. Changes of Driveability index on Bio-alcohol mixture ratio(6%)

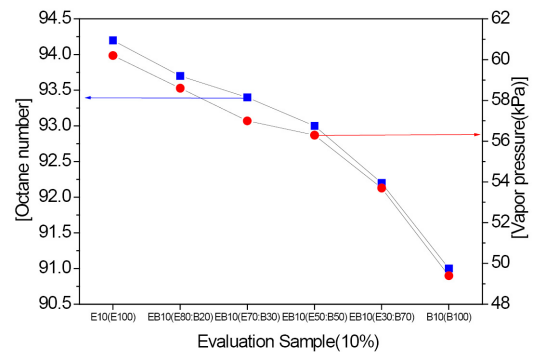


Fig. 5. Changes of RON and Vapor pressure on Bio-alcohol (10%) mixing ratio

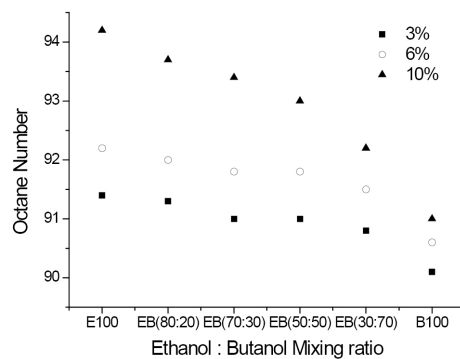


Fig. 6. Changes of RON on Bio-alcohol mixing ratio

Fig. 5에서와 같이 바이오알코올 함량이 높아질수록(E6→E10) 전반적으로 옥탄가는 증가하고 있으나 증기압은 변화되지 않는 것으로 보인다.

운전성 지수 또한 바이오알코올 함량 및 바이오부탄올 함량이 증가할수록 비례적으로 증가한

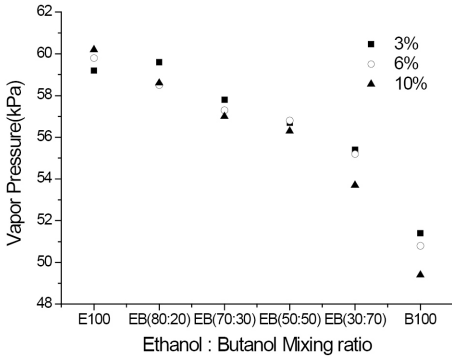


Fig. 7. Changes of Vapor pressure on Bio-alcohol mixing ratio

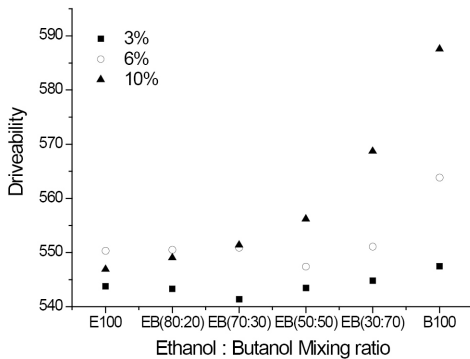


Fig. 8. Changes of Driveability on Bio-alcohol mixing ratio

결과로 나타났다.

바이오알코올 함량에 따른 옥탄가의 전반적인 변화를 확인하기 위하여 Fig. 6과 같이 함량 및 혼합비율에 따른 옥탄가 변화를 확인하였다. 바이오에탄올이 혼합될 경우, 전반적인 옥탄가의 증가비율은 급격히 증가하는 것으로 나타났으며 반대로 바이오부탄올 혼합비율이 증가할수록 점차 감소되는 결과를 확인할 수 있었다.

증기압과 관련된 전반적인 결과는 Fig. 7과 같이 바이오알코올 함량 및 바이오에탄올, 바이오부탄올 혼합비율에 따른 전반적인 결과로 나타내었다.

바이오알코올 함량(3%→10%)에 따라 급격한 증기압 변화는 발생되지 않았으나 바이오에탄올 혼합비율에 따른 증가와 바이오부탄올 혼합비율에 따른 감소의 상반된 경향을 보여주고 있다. EB (80:20)에서 보는 것과 같이 미량 바이오부탄

올이 혼합되는 시점에서부터 증기압은 바이오에탄올과 상반된 결과로 함량 증가에 따라 감소하는 경향을 보여주고 있다.

운전성 지수는 Fig. 8에서와 같이 나타났으며 옥탄가의 결과와는 반대로 바이오부탄올 혼합비율이 증가할수록 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

전반적으로 옥탄가가 높으면 운전성이 좋아지는 것으로 나타났으나 E100에서 EB (80:20)로 전환되는 과정에 10%와 6% 혼합비율에서 운전성 지수가 역전되는 결과를 보여주고 있다. 이는 바이오에탄올의 연료적 특성이 50% 유출온도에 효과적 영향을 미쳐 시동성, 가속성, 주행성 등에 좋은 결과로 나타나고 있으나 바이오부탄올 함량이 점차 증가할수록 이러한 영향은 점차 상쇄되어 운전성 지수는 급격히 증가하는 결과로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

석유대체연료로서 바이오에탄올, 바이오부탄올이 상용화될 경우를 고려하여 바이오알코올 혼합비에 따른 최적 혼합비율을 평가해 보았다. 최종 혼합비율 도출을 위해서는 연료적 특성, 환경(증발가스, 배출가스) 특성, 경제성 등 다양한 부분의 평가가 필요하다. 하지만 본 연구에서는 최적 혼합비율 도출에 있어서 가장 기초적 자료로 활용될 바이오알코올 원료 및 혼합 연료의 연료적 특성을 평가하였다.

1) 연소성과 관련성이 높은 옥탄가는 바이오부탄올 함량에 따라 비례적으로 감소하는 경향을 보였다. 현 시중에 판매되는 산소함량이 제외된 자동차용 휘발유(서브옥탄가솔린)의 옥탄가(약 88) 수준을 고려할 경우, 바이오에탄올의 혼합비율 조정을 통해 이러한 단점을 보완할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 환경적 유해가스 배출과 관련된 증기압은 계절별 적절한 관리가 필요하다. 특히, 여름철 높은 증기압은 차량의 증기폐쇄 및 증발가스 배출 현

상으로 나타난다. 또한 바이오에탄올 혼합시 발생되는 증기압 증가는 이러한 악영향을 보다 높게 발생시킨다. 따라서 바이오부탄올의 증기압 억제효과를 통해 이를 상쇄시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3) 차량의 편안한 운행능력을 나타내는 운전성 지수는 바이오알코올 함량 증가 및 바이오부탄올 혼합비율 증가에 따라 악화되는 결과로 나타났다. 특히 EB (70:30) 혼합비율 이후부터 급격히 나빠지는 결과를 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 바이오에탄올, 바이오부탄올 연료가 가지는 극단적인 연료적 특성을 확인할 수 있었으며 이를 통해 바이오에탄올 및 바이오부탄올 가지는 연료적 장·단점을 통해 보완·상세가 가능한 것으로 확인되었다. 앞서 논의된 바와 같이 바이오에탄올, 바이오부탄올의 최적 혼합비율 도출을 위해서는 다양한 부문의 추가적 연구가 반드시 필요하다.

후 기

본 연구는 2016년 산업통상자원부 에너지기술 개발사업의 재원으로 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다(‘E3 급 수송용 바이오연료의 국내 적용성 향상을 위한 최적화 기술개발’, NO. 20163010092160).

References

1. “The 4th Basic New and Renewable Energy Plan”, 2014, Ministry of Trade, Industry & Energy.
2. “Petroleum and Alternative Fuel Business Act”, Enforced

Date 28, March, 2017, No. 14476.

3. M. H. Lee, J. R. Kim, K. H. Kim, and J. H. Ha, “A study on the characteristics of fuel performance according to the oxygenated additive type for gasoline fuel Part 1. Fuel properties and evaporative emission characteristics”, Journal of the Korean Oil Chemists' Society, Vol. 33, No.1, 2016, pp. 118-128.
4. “Test method for determination of components in petroleum products by gas chromatography”, KS M 2963, 2008.
5. “5th world wide fuel chart”, 2013, p. 31.
6. T. J. Wang, “Study on Vaporization and Combustion of Spray in High Pressure Environment”, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2003, p. 55.
7. S. Y. Gil and C. H. Kim, “Ethyl Alcohol, Chemical Dictionary Vol. 6”, Sehwa, the editorial board, 2007, pp. 347-348.
8. S. H. Youn, D. S. Kim, and C. S. Lee, “Effect of Ethanol-gasoline blending ratio on lean combustion and Exhaust Emissions Characteristics in a SI Engine Fueled with Bioethanol”, Trans. of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 19, No. 1, 2011, pp. 82-88.
9. C. W. Wu, R. H. Chen, J. Y. Pu, and T. H. Lin, “The Influence of Air-Fuel Ratio on Engine Performace and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels”, Atmospheric Environment, Vol. 38, 2004, pp. 7093-7100.
10. W. D. Hsieh, R. H. Chen, T. L. Wu, and T. H. Lin, “Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuel”, Atmospheric Environment, Vol. 36, 2002, pp. 403-410.
11. W. D. Hsieh, R. H. Chen, T. L. Wu, and T. H. Lin, “Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuel”, Atmospheric Environment, Vol. 36, 2002, pp. 403-410.
12. D. Y. Lee, M. Y. Kim, S. Y. Ha, H. G. Roh, and C. S. Lee, “Combustion and Emission Characteristics of a SI Engine Fueled with Ethanol Gasoline Blended Fuel”, Fall Conference Proceedings, KSAE, Vol. 1, 2007, pp. 428-433.