

# 수분 함량에 따른 바이오에탄올혼합 연료유의 상 분리 영향성에 관한 연구

김재곤<sup>†</sup> · 전철환 · 민경일 · 김신 · 박천규 · 하종한  
한국석유관리원 석유기술연구소

## Study on Effect of Phase Separation of Bioethanol Blends Fuel by Water Contents

JAE-KON KIM<sup>†</sup>, CHEOI-HWAN JEON, KYONG-IL MIN, SHIN KIM, CHEON-KYU PARK,  
JONG-HAN HA

Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority,  
Chungcheongbuk-do, 28115, Korea

**Abstract** >> When bioethanol and water are mixed at a proper ratio, phase separation can occur because of the immiscibility of biobutanol with water. Phase separation in bioethanol blends fuels is a major problem for gasoline vehicle users due to effect of octane number and component corrosion. Thus, in this study, the phase separation of bioethanol was examined effect of bioethanol blends (E3 (3 vo.% bioethanol in gasoline), E5 and E10) in presence of water. The effect were evaluated behavior with phase separation test, simulation test of fuel tank in gas station according to water addition volume and it was investigated change of water content, bioethanol content and octane number for gasoline phase in bioethanol blends (E3, E5 and E10) every 1 week after water addition. The E3 occurred phase separation more easily than the E5 and E10 in small water contents because solubility of water on ethanol content difference in gasoline-ethanol. It was kept a initial level of water content, bioethanol content, and octane number by repeated sample replacing in simulation test of fuel tank.

**Key words** : Biofuels(바이오연료), Bioethanol(바이오에탄올), Phase Separation(상 분리), Bioenergy(바이오에너지)

### Nomenclature

E : Bio-ethanol

### Subscripts

BAU : Business As Usual

CNG : Compressed Natural Gas

FFV : Flexible Fuel Vehicle

GHG : Green House Gas

MTBE : Methyl Tertiary Butyl Ether

RFS : Renewable Fuel Standard

RON : Research Octane Number

<sup>†</sup>Corresponding author : [jkkim@kpetro.or.kr](mailto:jkkim@kpetro.or.kr),

Received : 2016.10.17 in revised form : 2016.11.12 Accepted : 2016.12.30

Copyright © 2016 KHNES

## 1. 서 론

전 세계적으로 주요 선진국에서는 화석연료 고갈에 따른 화석연료 이수를 대체할 수 있는 다양한 에너지원 발굴과 확보에 주력하고 있으며, 이는 자국의 에너지 안보를 위한 중요한 부분으로 여겨지고 있다. 특히, 전 세계적으로 수송부문은 현재 화석연료에 의해 96% 이상 의존하여 사용되고 있으며, 전 세계 온실가스(GHG) 중 27%를 차지하고 있다. 최악의 지구 기후변화에 대응하기 위해서는 2050년 지구의 온실가스를 2005년 대비 적어도 50%까지 감축해야 하는 실정에 있다. 이러한 측면에서 세계 각국은 수송부문에서 바이오에탄올, 바이오디젤 등의 바이오연료를 도입하고 있다<sup>1-6)</sup>.

최근 우리 정부는 신기후체제를 대비하기 위하여 국가 온실가스 감축 목표를 2030년 배출전망치(BAU) 대비 37%로 적극적인 목표를 정하였다. 또한, 2014년에 발표한 제2차 에너지기본계획에서는 신재생에너지 보급목표를 2035년까지 11%로 설정하였고, 같은 해 발표된 제4차 신재생에너지 기본계획은 신재생에너지 연료 혼합 의무화 제도(RFS) 추진을 위해 바이오디젤의 혼합의무비율 로드맵을 발표하고 바이오에탄올과 바이오가스를 추후 검토하기로 하였다<sup>7)</sup>. 그 간 바이오연료 중 바이오디젤만 상용화되어 자동차용 경유에 2.5% 의무혼합하여 사용하여 RFS 제도에 의해 보급 중에 있다. 바이오가스는 전면적인 상용화는 아니지만, 일부 플랜트로부터 생산되어 소규모 도시가스 배관망에 공급하거나, 일부 CNG 버스 등 수송용 차량에 사용되고 있다. 하지만 바이오에탄올은 국내 아직 보급되지 않는 상태이나, 국내 휘발유 공급 인프라를 통한 실증연구를 통해 국내 도입 타당성 검토를 검토한 바 있다.

전 세계적으로 바이오에탄올은 당의 고분자인 당질계, 전분질계 또는 섬유소계 바이오매스를 원료로 생물공정에 의해 바이오에탄올을 생산하고 있다<sup>8)</sup>.

사탕수수, 옥수수, 사탕무와 밀 등의 당질계 및 전분질계 바이오매스로부터 바이오에탄올을 생산하는 공정은 전통적인 발효 기술을 적용하며 현재 가동 중인 모든 상용화 공정은 이런 원료를 사용하고 있다. 바이오에탄올은 자동차용 휘발유의 옥탄가를 선형적으로 향상시키는 등 합산소 기재로서 우수한 특성을 가지고 있어 현재 보급 중인 수송용 바이오연료의 약 80%를 차지하고 있다<sup>9-10)</sup>. 세계 바이오에탄올의 생산과 소비는 북미와 남미를 중심으로 이루어지고 있으며, 이 두 지역의 바이오에탄올 생산이 세계의 소비를 좌우하고 있다. 미국에서는 주로 옥수수로부터, 브라질은 사탕수수로부터 바이오에탄올을 생산하고 있다<sup>11)</sup>. 전 세계적으로 바이오에탄올은 북미주와 남미주 등을 위주로 E2 ~ E25 수준으로 혼합하여 보급 중이다<sup>1)</sup>. 북미의 미국은 주별로 차이는 있으나, 최대 E10까지 혼합하고 있으며, 캐나다는 일부 주에서만 E5 수준에서 혼합하고 있다. 남미는 브라질이 E18~E25, 아르헨티나 E5, 콜롬비아 E8~E10, 코스타리카 E7 등으로 E5 ~ E25 수준으로 의무혼합 보급 중이다. 또한, 유럽은 독일 최소 E2.8, 프랑스 E7 등의 수준으로 의무혼합 중이며, 아시아는 중국(9성), 인도 및 필리핀이 E10 수준이고 인도네시아 E3 수준으로 혼합 보급 중이다. 바이오에탄올은 휘발유에 저함량(혼합 10% 이하) 하여 일반 차량에 사용하거나 고함량(혼합 85% 또는 이상)하여 전용 차량(FFV)에 사용하고 있다<sup>12)</sup>.

그러나, 바이오에탄올연료유는 휘발유 내의 바이오에탄올 농도 및 시료의 온도 등의 변수에 따라 상분리가 일어나는 수분의 농도가 다르다고 보고되었다<sup>13-14)</sup>. 일반적으로 휘발유 중의 바이오에탄올 함량이 증가할수록 수분에 의한 상 분리 현상은 어려워지고, 시료의 온도가 낮아질수록 상 분리 현상이 쉽게 일어나는 것으로 보고되었다<sup>15-16)</sup>.

따라서 본 연구에서는 수분 함량에 의한 바이오에탄올의 함량(3%, 5%, 10%)에 따른 휘발유의 상 분

리 거동을 파악하고, 주유소 탱크의 모형에 의한 모사실험을 통해 수입혼입 및 상 분리에 따른 연료품질을 파악하였다.

## 2. 실험

### 2.1 평가시료

본 연구에 사용한 바이오에탄올은 국내 바이오에탄올 생산업체인 창해에탄올에서 제조되었다. 원료인 타피오카를 사용하여 제조된 무수에탄올이었으며, 바이오에탄올 순도는 99.5% 이상을 나타내었다. 또한 휘발유는 합산소 첨가제인 MTBE가 첨가되지 않은 국내 정유사의 서브옥탄 가솔린(Sub-octane gasoline)을 사용하였다. 서브옥탄 가솔린에 바이오에탄올을 혼합하여 E3(서브옥탄 가솔린 97 vol% + 바이오에탄올 3 vol%), E5(서브옥탄 가솔린 95 vol% + 바이오에탄올 5 vol%), E10(서브옥탄 가솔린 90 vol% + 바이오에탄올 10 vol%)의 바이오에탄올 혼합연료유를 제조하여 사용하였다.

### 2.2 실험장치 및 평가조건

#### 2.2.1 실험장치

##### 2.2.1.1 상 분리 거동실험

상온(20°C)에서 100 mL의 검수관에 강제로 10  $\mu$ L에서 50  $\mu$ L씩 수분을 주입하고, 500 rpm으로 교반 후 약 10분간 정치시켜 상 분리 현상을 관찰 하여 상 분리된 수분과 에탄올층의 하층 부피를 측정하였다.

##### 2.2.1.2 수분 혼입에 따른 상 분리 거동 모사실험

주유소의 연료탱크의 상 분리 거동을 알아보기 위하여 모사모형을 3.5 L 용량으로 pyrex 재질의 실린더를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 제작된 상 분리 모사모형에 강제로 수분을 주입하여 상 분리시킨 후 1주

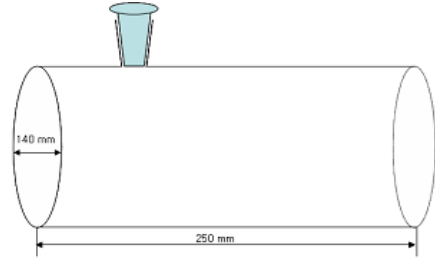


Fig. 1 Phase Separation Simulation System

일 간격으로 2 L씩 제거·주입을 반복하며 휘발유층의 물성을 분석하였다. 이때 수분함량을 E3 경우 0.1 부피%, 0.30부피%, 0.5부피%, E5 경우 0.15부피%, 0.30부피%, 0.50부피% 및 E10 경우 0.50부피%, 0.55부피%, 0.60부피%에 각각 3개씩 시료용기에 제조하였다. 거동 모사실험은 Pyrex 재질로 제작된 3.5 L 용량의 실린더형 모사연료 용기에 마이크로피펫을 사용하여 인위적으로 수분을 혼입한 바이오에탄올 연료(E3, E5, E10)를 3 L씩 주입하고 격렬하게 흔든 다음 하루 동안 방치한 후 상 분리 거동을 관찰하였다. 또한 실제 주유소에서 판매 및 공급이 행하여졌을 경우를 모사하기 위하여 바이오에탄올 혼합연료유 시료 중 휘발유 층에서 2 L 빼내고 인위적으로 수분을 혼입하지 않은 E3(수분농도 : 199 ppm), E5(수분농도 : 184 ppm), E10(수분농도 261 ppm)을 2 L씩 다시 주입하며 채취시료(2 L)의 수분 및 바이오에탄올 함량 변화를 1주일 단위로 관찰하였다.

### 2.3 물성평가 실험방법

수분이 첨가되기 전의 베이스 시료인 바이오에탄올 혼합비율에 따른 바이오에탄올혼합연료유(E3, E5 및 E10)에 대한 품질특성은 증류성상(KS M ISO 3405), 옥탄값(KS M 2309), 증기압(KS M 2962), 성분분석(JIS K 2536-2)을 표준시험법에 따라 측정하였다. 모든 물성분석은 3회 실험의 결과에 대한 평균값을 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 연료물성

본 연구에서는 현행 자동차용 휘발유의 품질기준보다 높은 수준의 바이오에탄올을 휘발유에 혼합하여 품질특성을 살펴보았다. 즉, 바이오에탄올 함량이 0 부피%(E0), 3 부피%(E3), 5 부피%(E5) 및 10 부피%(E10)인 시료를 조제된 시료에 대한 품질평가 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 바이오에탄올혼합연료유인 E3, E5 및 E10은 국내 자동차용 휘발유의 품질기준을 모두 만족하고 있다. Table 1에 보는 바와 같이 바이오에탄올 혼합비율이 증가할수록 50%, 90% 유출온도는 감소하였는데 이는 바이오에탄올연료유 중의 에탄올의 비점이 약 78.4°C이기 때문에 증류 중 에탄올이 먼저 증류되어 유출되기 때문이다.

바이오에탄올 혼합비율(E3, E5, E10)에 따른 증기압은 E3과 같이 바이오에탄올이 소량 혼합되었을 때 급격히 상승하다가 5 부피%(E5) 이상 혼합되면 다시

낮아지는 것으로 관찰되었다. 이는 바이오에탄올이 소량 혼합될 경우 동종(휘발유-휘발유, 에탄올-에탄올) 간의 인력이 이종(휘발유-에탄올) 간의 인력보다 크기 때문에 판단된다. 바이오에탄올이 다량(E5 이상) 혼합될 경우는 바이오에탄올 자체의 증기압이 낮은데, 그 이유는 바이오에탄올이 E5 이상 연료의 증기압에 영향을 미치는 영향이 더 크기 때문인 것으로 판단된다.

#### 3.2 바이오에탄올 혼입량에 따른 상 분리

바이오에탄올은 극성 화합물이기 때문에 물과의 상호 용해성과 흡습성으로 수분혼입에 의해 탄화수 소층과 물-에탄올층간 수소결합에 의해 상 분리가 발생하게 되어 연료 품질에 영향을 줄 수 있다<sup>14)</sup>. 바이오에탄올 혼입량에 따른 상 분리는 Fig. 2와 같이 100 mL 검수관에 시료 100 mL를 취한 후 마이크로 실린지를 이용하여 강제로 물을 주입하고 격렬하게 흔든 후 10분간 정지시켜 상 분리 현상을 관찰하였다. Table 2와 Table 3에 바이오에탄올 혼입량에 따

**Table 1** Fuel characteristics of gasoline blends (E0, E3, E5 and E10) in experimental

Items		Standard	E0	E3	E5	E10	Test method
Distillation (°C)	initial	-	30.8	30.6	30.9	31.8	KS M ISO 3045
	10%	Max.70	46.9	45.5	45.9	47.1	
	50%	Max.125	76.1	73.3	70.5	64.4	
	90%	Max.170	160.1	159.5	158.8	158.7	
	Final	Max.225	194.4	192.6	192.8	191.0	
	Residue (mL)	Max.2.0	1.0	1.6	1.4	1.4	
Octane No. (RON)		91~94	92.0	93.2	94.2	96.1	KS M 2039
Vapor Pressure (kPa)		44~82 <sup>1)</sup>	70.5	74.2	74.3	73.8	KS M 2962
Paraffin content (vol.%)		-	52.60	50.81	49.70	47.69	
Olefin content (vol.%)		Max.16(19) <sup>2)</sup>	11.95	11.72	11.47	11.00	
Naphthene content (vol.%)		-	5.96	5.70	5.59	5.35	
Aromatic compounds content (vol.%)		Max.22(19) <sup>2)</sup>	18.36	17.81	17.48	16.68	JIS K 2536-2
Benzene content (vol.%)		Max.0.7	0.39	0.36	0.35	0.32	
Oxygen content (wt.%)		Max.2.3	2.11	3.22	3.95	5.36	
Methanol content (vol.%)		Max.0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	
Ethanol content (vol.%)		-	0.0	3.36	5.57	9.90	

<sup>1)</sup>Summer season : 44~60 kPa, winter season : 44~96 kPa

<sup>2)</sup>Can be applied max.19 vol.%, in case of aromatic comp. contents (max.19 vol.%)

**Table 2** Phase separation behavior of bio-ethanol blends (E3, E5) on water content at 20°C

Water content (μL)	Phase separation behavior	
	E3	E5
50	X	X
100	X	X
150	○ <sup>1)</sup> (0.17) <sup>2)</sup>	X
200	○ (0.22)	○ (0.30)
250	○ (0.37)	○ (0.38)
300	○ (0.60)	○ (0.70)

<sup>1)</sup>○ : Phase separation, X : No phase separation  
<sup>2)</sup>Separation volume(mL)

른 상 분리 결과를 나타내었다. E3의 경우, 상온(20°C)에서 약 0.15 %의 수분혼합 시 상 분리 시작되었으며, E5에서는 상온(20°C)에서 약 0.20 %의 수분혼합 시 상분리가 일어났다. 한편, E10에서는 상온(20°C)에서 약 0.53 %까지 수분혼합 시 상 분리가 일어나지 않다가 0.54 %부터 상 분리가 일어나서 그 이후로 계속적으로 상 분리가 일어남을 확인 하였다.

### 3.3 수분 혼입에 따른 상 분리 거동 모사실험 결과

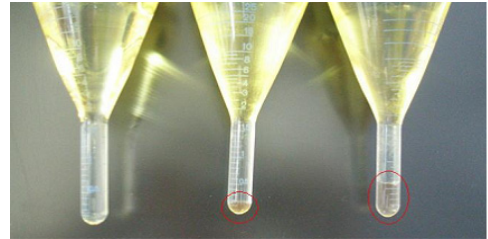
#### 3.3.1 휘발유 층의 수분함량 변화

주유소 연료탱크에 저장 중인 바이오에탄올 혼합 연료유에 수분이 혼입되어 상분리가 일어난 상태에

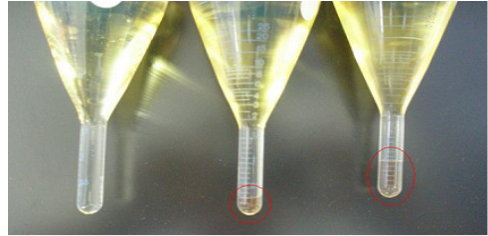
**Table 3** Phase separation behavior of bio-ethanol blend (E10) on water content at 20°C

Water content (μL)	Phase separation behavior
	E3
50 ~ 500	X
510	X
520	X
530	X
540	○ <sup>1)</sup> (0.40) <sup>2)</sup>
550	○ (0.60)
600	○ (1.50)
650	○ (1.78)

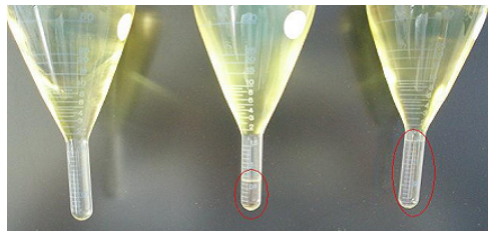
<sup>1)</sup>○ : Phase separation, X : No phase separation  
<sup>2)</sup>Separation volume(mL)



(a) E3 sample(left), E3 with water 150 μL (center) and E3 with water 300 μL (right)



(b) E5 sample(left), E5 with water 200 μL (center) and E5 with water 300 μL (right)



(c) E10 sample(left), E10 with water 550 μL (center) and E10 with water 600 μL (right)

**Fig. 2** Phase separation behavior of Bio-ethanol blends

서 차량 주유에 의한 탱크 내 연료 소비와 다시 탱크 로리에 의한 연료 공급 등 연료 소비 및 보충이 반복 될 경우 바이오에탄올 혼합연료유의 품질변화(수분 및 바이오에탄올 함량)를 관찰하기 위하여 주유소 연료탱크 모사 실험을 실시하였다(Fig. 3).

초기에는 E3, E5 및 E10 모두 강제 혼입된 수분의 양이 많을수록 휘발유 층의 수분함량이 낮아졌다. 이는 상 분리된 바이오에탄올-물 층이 휘발유 층에 있는 수분과의 친화력이 커서 휘발유 층의 수분이 상 분리 하층(바이오에탄올-물)으로 이동되기 때문이다. 또한 시료의 반복적인 교체에 의해 휘발유 층의 수 분 농도는 초기 농도 수준으로 떨어지는 것을 확인 하였다. 상 분리가 계속되는 시료는 시료의 반복적인



(a) E3 sample



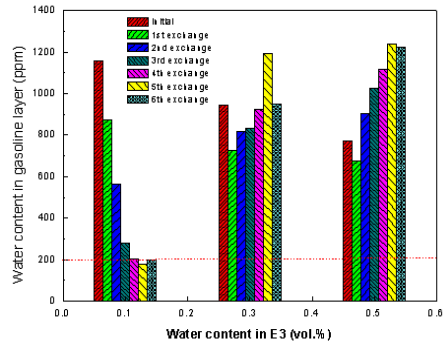
(b) E5 sample



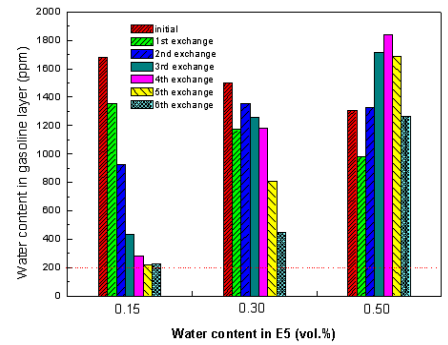
(c) E10 sample

Fig. 3 Simulation test of phase separation in bio-ethanol blends

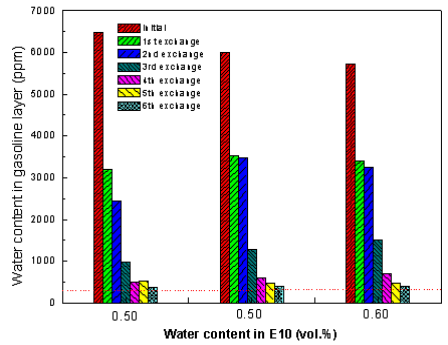
교체에 의해 휘발유 층의 수분 농도가 증가하다가 상 분리가 사라진 후에는 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4). 이것은 상 분리가 일어난 경우에는 상 분리 정도가 클수록 하층의 바이오에탄올에 의해 수분이 이동되어 휘발유 층의 수분 농도가 줄어들게 되고 시료를 반복적으로 교체하면 상층(휘발유 층) 바이오에탄올 함량의 증가로 인해 하층 수분이 상층으로 이동되어 상층 수분의 농도가 증가하게 되며, 교체 횟수가 증가하면 이러한 현상이 반복되어 상층과 하층 전체 수분농도가 상 분리 농도 이하로 줄어들어 상 분리가 사라지게 되고, 상 분리가 사라진 후에는 수분농도가 새로운 시료 교체로 인해 감소하기 때문이다.



(a) E3 sample



(b) E5 sample

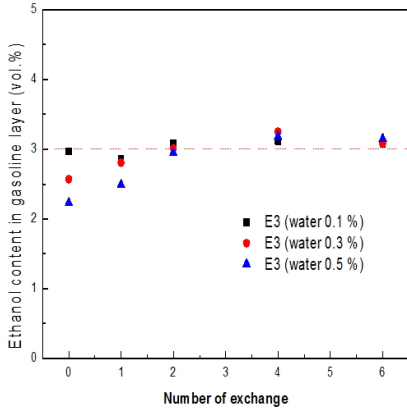


(c) E10 sample

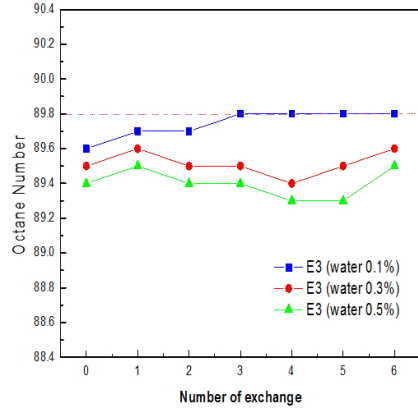
Fig. 4 Water content change of gasoline phase by sample exchange in Simulation test of phase separation

### 3.3.2 휘발유 층의 바이오에탄올 함량과 옥탄값 변화

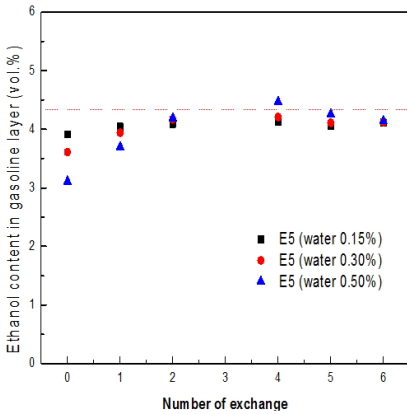
Fig. 5에 바이오에탄올을 혼합비율에 따른 휘발유 층에서 바이오에탄올 함량 변화를 나타내었다. 수분을 강제 혼입한 직후의 휘발유 층 바이오에탄올 함량은 상 분리에 의해 감소하였다가 시료의 반복적인



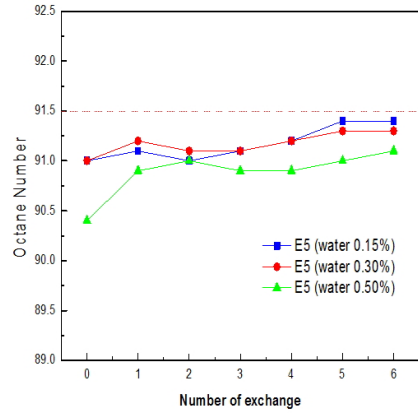
(a) E3 sample



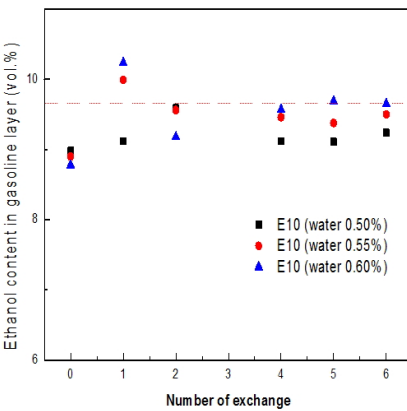
(a) E3 sample



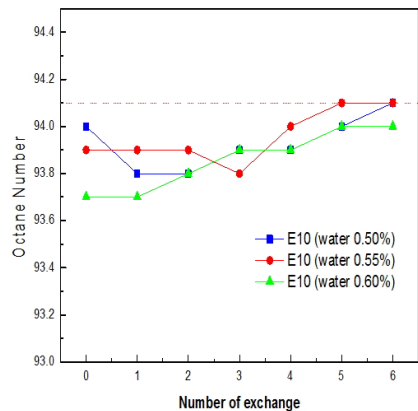
(b) E5 sample



(b) E5 sample



(c) E10 sample



(c) E10 sample

**Fig. 5** Bioethanol content change of gasoline phase by sample exchange in Simulation test of phase separation

교체에 의해 상 분리 현상이 사라지며 수분이 들어 가지 않은 수준으로 증가하였다.

**Fig. 6** Octane number change of gasoline phase by sample exchange in Simulation test of phase separation

바이오에탄올 혼합연료유의 상 분리에 따른 연료 품질에 주로 옥탄값에 Fig. 6에 바이오에탄올 혼합비



율에 따른 휘발유의 연료물성에 가장 영향을 미칠 수 있는 옥탄값에 대해 변화를 나타내었다. 옥탄값은 수분함량이 증가함에 따라 바이오에탄올 함량이 감소하여 다소 감소하지만 시료의 반복적인 교체에 의해 휘발유 층의 수분이 낮아지면서 수분이 혼입되지 않은 시료의 옥탄가 수준으로 회복되었다. 따라서 저농도(E3)의 바이오에탄올 혼합연료유를 차량 연료로 사용할 경우, 바이오에탄올과 혼합하여 사용할 수 있는 상 분리 지연제에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

바이오에탄올의 함량(0%, 3%, 5%, 10%)에 따라 수분 영향에 의한 상 분리 거동을 파악하고, 수분혼입에 따른 주유소 탱크의 모형 모사시험을 통해 바이오에탄올 혼합연료유의 상 분리에 따른 옥탄값에 대한 연료품질을 파악하였다. 따라서 본 연구에서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 수분을 첨가하기 전, 바이오에탄올 함량(3%(E3), 5%(E5), 10%(E10))으로 제조된 바이오에탄올 혼합연료유는 증류성상, 옥탄값, 증기압, 함유성분(올레핀, 방향족, 벤젠), 산소함량, 메탄올 함량, 에탄올 함량의 품질평가 결과, 국내 자동차용 휘발유의 품질기준을 만족하고 있다.
- 2) 수분 혼입에 따른 바이오에탄올 혼합연료유(E3, E5, E10)의 상 분리 거동은 바이오에탄올 저농도(E3, E5)에서는 각각 약 0.15%, 0.20%에서 상 분리가 시작되었으나, 고농도(E10)에서는 약 0.54%에서 상 분리가 일어나 현상을 보여 주었다.
- 3) 수분 혼입에 따른 상 분리 거동 모사시험에서 초기 E3, E5, E10 모두 강제 혼입된 수분의 양이 많을수록 휘발유 층의 수분함량이 낮아지는 경향을 보여 주었다. 휘발유 층의 에탄올 함량 변화는 수

분을 강제 혼입한 직후의 휘발유 층 바이오에탄올 함량은 상 분리에 의해 감소하였다가 시료의 반복적인 교체에 의해 상 분리 현상이 사라지며 수분이 들어가지 않은 수준으로 증가하였다. 또한, 옥탄값은 수분함량이 증가함에 따라 에탄올 함량이 감소하여 다소 감소하지만 시료의 반복적인 교체에 의해 휘발유 층의 수분이 낮아지면서 수분이 혼입되지 않은 시료의 옥탄값 수준으로 회복되는 경향을 보여 주었다.

이상의 결과로 바이오에탄올 혼합연료유의 저농도에서 *n*-부탄올, *iso*-부탄올 및 *iso*-프로탄올 등과 같은 알코올계에서 상 분리 지연제에 대한 적용검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 후 기

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

#### References

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*, Vol. 7, No. 4, 2011, p.18.
2. J.-K. Kim, J.Y. Park, E.S. Yim, K.-I. Min, C.-K. Park, and J.-H. Ha, “Bio-Jet fuel production technologies for GHG reduction in aviation sector”, *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 26(6), 2015, p. 1.
3. J.-K. Kim, E.S. Yim, C.H. Jeon, C.-H. Jung, and B.H. Han, “Cold Performance of Various Biodiesel Fuel Blends at Low Temperature”, *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 13(2),



- 2012, p. 293.
4. J.-K. Kim, E.S. Yim, and C.-H. Jung, "Study on Review Sustainability Criteria and Key Approaches for Biofuel", *New & Renewable Energy*, Vol. 9, No. 1, 2013, p. 33.
  5. 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*, Vol. 14, 2010, pp. 578-597.
  6. A. Demirbas, "Progress and recent trends in biofuels", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 33, 2007, p. 1.
  7. K.I Min, C.K Park, J.-K. Kim, and B.-K. Na, "Study on Potential Feedstock Amount Analysis of Biodiesel in Korea", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 27(4), 2016, p. 447.
  8. K.T. Saravana, A.S. Ahmed, and N.A. Farid, "Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 56, 2016, p. 820.
  9. M. Balat, and H. Balat, "Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel", *Appl Energy*, Vol. 86, 2009, p. 2273.
  10. A. Demirbas, "Competitive liquid biofuels from biomass", Vol. 88, 2011, p. 17.
  11. N. Sarkar, S.K. Ghosh, S. Bannerjee, and K. Aikat "Bioethanol Production from Agricultural Wastes", *Renew Energy*, Vol. 37, 2012, p. 19.
  12. A. Kamimura, and I.L. Sauer, "The Effect of Flex Fuel Vehicles in the Brazilian Light Road Transportation", Vol. 36(2), 2008, p. 1574.
  13. Z. Haoli, S. Yi, W. Yinhua, "Phase separation of an acetone-butanol-ethanol (ABE)-water mixture in the permeate during pervaporation of a dilute ABE solution", *Separation and Purification Technology*, Vol. 132, 2014, p. 354.
  14. V. Hönig, Z. Linhart, J. Táborský, and J. Marík, "Determination of the Phase Separation Temperature and the Water Solubility in the Mixtures of Gasoline with Biobutanol and Bioethanol", *Agronomy Research*, Vol. 13(2), 2015, p. 550.
  15. B. tha, D. Suhanya, S. Sridhar, M. Ramakrishna, "Separation of Organic-Organic mixtures by Pervaporation", *J. Membr. Sci*, Vol. 241, 2004, p. 1.
  16. A. Kamimura, and I.L. Sauer, "The Effect of Flex Fuel Vehicles in the Brazilian Light Road Transportation", Vol. 36(2), 2008, p. 1574.