

국내 바이오에탄올 혼합연료유 도입을 위한 실증평가연구

임 의순¹⁾, 민 경일, 전 철환, 이 돈민, 김 종렬, 김 승수,
장 은정, 박 천규, 정 충섭, 김 재곤, 임 영관, 신 성철

Actual Assessment to Introduce Bio-ethanol Blended Fuel in Domestic

Eui-Soon Yim, Kyungil Min, Cheolhwan Jeon, Donmin Lee, Jong-Ryeol Kim, Seung-Soo Kim,
Eun Jung Jang, Cheon-Kyu Park, Chung-Sub Jung, Jae-Kon Kim, Young-Kwan Lim,
Seong-Cheol Shin

Key words : Bio-ethanol(바이오에탄올), Actual Assessment(실증평가), Sub-octane gasoline(서브 옥탄가솔린), Bio-ethanol blended fuel(바이오에탄올 혼합연료유)

Abstract : 국제 원유가의 지속적인 상승에 따라 화석연료 고갈을 대비한 대체에너지 및 온실가스배출 감소를 위하여 바이오연료의 사용 및 상용보급은 전세계적인 추세이다. 우리나라의 경우 바이오디젤은 2002년부터 시범보급사업(Demonstration & dissemination)을 거쳐 2006년 7월부터 전국주유소를 통하여 경유 중에 바이오디젤 0.5%를 혼합한 BD0.5를 수송용 연료로 도입하여 아시아 최초로 상용보급화를 시행하고 있다. 또한 휘발유 중 바이오에탄올 혼합 연료유 도입을 위한 실증평가연구를 2006년 8월부터 2008년 7월까지 수행중이다. 자동차용 휘발유의 옥탄가 향상을 위해 함산소 기재로 사용되는 MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether)를 바이오에탄올로 대체한 바이오에탄올 혼합연료유는 수분 혼입에 의한 상 분리(Phase separation)와 금속에 대한 부식성 문제를 야기 시킬 수 있다. 바이오에탄올을 서브옥탄가솔린(Sub-octane gasoline)에 혼합하여 상 분리 모사실험, 금속류 부식시험, 고무류 침지실험 등 다양한 품질특성평가를 수행하였으며, 이런 결과들을 바탕으로 국내실정에 알맞은 최적의 혼합량(E3, E5)을 도출하였다. 또한 전국에 4개 시범주유소를 운영하여 바이오에탄올 혼합 연료유의 유통 및 보급을 통해 최적의 유통인프라(Distribution infrastructure) 보완 및 구축 방안을 도출 하고자 한다.

subscrip

MTBE : methyl tertiary butyl ether
BD : bio-diesel
E3, E5, E10 : 3,5,10% ethanol blended gasoline
ULSD : ultra low sulfur diesel

1. 서 론

국제 원유가의 지속적인 상승과 화석연료 고갈을 대비한 대체에너지 및 온실가스배출 감소를 위하여 바이오연료의 사용 및 상용보급은 전세계적인 추세이다. 우리나라는 2002년 한·일 월드컵을 계기로 대기 질(Air quality) 개선을 위해 경유 중 황분을 획기적으로 낮춘 초저유황 경유(Ultra Low Sulfur Diesel) 도입과 바이오디젤 시범보급사업(Demonstration & dissemination)을 거쳐

2006년 7월부터 전국주유소를 통하여 경유 중에 바이오디젤 0.5%를 혼합한 BD0.5를 수송용 연료로 도입하여 아시아 최초로 상용보급화를 시행하고 있다. 최근의 정부의 바이오디젤 중장기 보급계획에 의하면 매년 경유에 바이오디젤 혼합비를 매년 0.5%씩 증가하여 2012년까지 3.0%가 되도록 설정되어 있다.¹⁾

바이오에탄올(Bio-ethanol)은 자동차용 휘발유 중 옥탄가 향상을 위해 사용되는 MTBE(Methyl Tertiary Butyl Ether)를 대체하기 위해 도입이 되며 현재 미국, 브라질을 중심으로 상용화 되어 있다. 또한 일본에서는 E3를 대상으로 실증평가를 완료하고 6개 지자체를 대상으로 시범보급 중이다.²⁾ 바이오에탄올은 자동차용 휘발유의 옥탄가를 선형적으로 향상시키는 등 함산소 기재로서 우수한 특성을 가지고 있으며,³⁾⁻⁴⁾ 사탕수수나 옥수수 등의 바이오매스를 원료로 하여 생산된다. 따라서 이들 물질이 성장할 때 광합성과정 중 이산화탄소를 에너지원으로 사용하기 때문에 카본뉴트랄

(Carbon neutral)이란 관점에서 각국에서 정책적으로 사용을 권장하고 있다. 하지만, 에탄올과 혼합된 휘발유는 수산기(-OH)의 수소결합 특성으로 수분이 혼입될 경우 공비현상이 발생하여 에탄올 혼합 연료의 50% 유출온도가 크게 떨어지며, 증기압의 급격한 상승을 초래한다. 또한, 극성화합물로 대기 중 수분혼입으로 인하여 휘발유·에탄올·물 층으로 상분리가 일어나 연료로서의 기능상실을 초래하고 금속, 고무 재질 등에 부식성이 있어 유통 시 취급에 어려움이 야기된다. 따라서 휘발유에 바이오에탄올을 혼합하여 사용할 경우 바이오에탄올 혼합비에 따른 저장탱크, 주유기 등의 부품에 대한 영향과 저장 시 상 분리 문제 등에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 MTBE가 혼입되지 않은 서브옥탄가솔린(Sub-octane gasoline)에 바이오에탄올을 혼합하여 E3(서브옥탄가솔린 97 vol% + 바이오에탄올 3 vol%), E5(서브옥탄가솔린 95 vol% + 바이오에탄올 5 vol%), E10(서브옥탄가솔린 90 vol% + 바이오에탄올 10 vol%)을 대상으로 물성분석(옥탄가, 증기압, 증류성상 등), 상 분리 모사실험, 금속류 부식시험, 고무제품 침지실험, 주유기 성능실험 등 다양한 품질특성평가를 수행하였고 이 결과를 바탕으로 최적의 혼합량(E3, E5)을 도출하였다.

요 물성을 중점적으로 품질분석을 수행하였으며, Table 1에 각 정유사별 바이오에탄올 혼합연료유에 대한 물리·화학적인 성상을 나타내었다.

수분 함량에 따른 상 분리 거동 특성 파악을 위해 에탄올에 일정량의 수분을 혼합하여 상 분리 현상을 실험을 수행하였고, 연료탱크 내에 상 분리가 발생했을 경우 연료 소모 및 공급에 따른 휘발유층의 물성변화를 관찰하기 위해 연료탱크 모형의 실린더를 제작하여 실험을 수행하였다.

주유기 부품에 대한 부식성평가를 위해 주유기 1대를 분해하고 부품을 선별하여 일정 시간 상온 침적 후 외형 및 무게변화를 평가 하였으며, 주유기호스에 대해서는 고무의 내유성을 평가하는 침적실험을 수행하였다. 또한 주유기성능에 대한 평가를 위해 소형 연료탱크 및 연료 순환시스템을 제작하여 주유기 정확도, 내구성 등을 평가하였다.

2.1 실험장치 및 방법

2.1.1 수분혼입에 따른 상분리 거동

- 1) 바이오 에탄올 혼합량별 수분 혼입량에 따른 상 분리 실험

Table 1. Physical and chemical properties of sub-octane gasoline, E5 and E10.

시료	방향족화합물 함량(vol%)	벤젠 함량 (vol%)	올레핀함량 (vol%)	산소 함량(wt%)		메탄올함량 (wt%)	에탄올함량 (vol%)
				여름용	겨울용		
품질규격	30(27) 이하	1.0 이하	18(21) 이하	0.5 이상 ~2.3이하	1.0 이상 ~2.3이하	0.1 이하	E1.8~E8.3
A社	Sub	24.75	0.94	18.52	0.05	0.0	0.0
	E5	23.69	0.87	17.81	1.51	0.0	4.04
	E10	23.63	0.85	17.11	3.54	0.0	9.54
B社	Sub	21.14	0.37	19.07	0.06	0.0	0.0
	E5	19.75	0.35	18.43	1.92	0.0	5.01
	E10	18.65	0.33	17.87	3.47	0.0	9.12
C社	Sub	29.80	0.98	19.36	0.05	0.0	0.0
	E5	28.41	0.93	17.72	1.89	0.0	5.12
	E10	28.70	0.76	17.14	3.23	0.0	9.82
D社	Sub	24.3	0.61	19.20	0.43	0.0	0.0
	E5	23.31	0.59	18.71	2.24	0.0	5.04
	E10	22.22	0.56	18.04	3.75	0.0	9.18
E社	Sub	23.81	0.50	20.19	0.20	0.0	0.0
	E5	22.85	0.47	19.23	2.06	0.0	5.14
	E10	21.85	0.45	18.60	3.56	0.0	9.18

*Sub : Sub-octane gasoline

2. 실험

바이오에탄올 혼합 연료유는 주정 1사에서 무수에탄올(99.5% 이상)을 공급하고 정유 5사에서 바이오에탄올 혼합연료유를 휘발유 품질기준을 고려하여 각 사의 공정 특성에 따라 휘발유 기재를 적절한 배합비율로 제조하였다.

준비된 시료를 옥탄가, 증기압, 증류성상 등 주요 물성을 중점적으로 품질분석을 수행하였으며, Table 1에 각 정유사별 바이오에탄올 혼합연료유에 대한 물리·화학적인 성상을 나타내었다.

준비된 시료를 옥탄가, 증기압, 증류성상 등주

- 1) 바이오 에탄올 혼합량별 수분 혼입량에 따른 상 분리 실험

상온(20 °C)에서 100 mL의 검수관에 강제로 일정량의 수분을 주입하고 격렬하게 교반 후 약 10분간 정치시켜 상 분리 현상을 관찰 하였다.

- 2) 연료탱크 내의 상 분리 거동 모사 실험
연료탱크 모형의 3.5 L 용량 Pyrex 실린더를 제작하여 강제로 수분을 주입하여 상 분리시킨 후 1주일 간격으로 2 L씩 제거·주입을 반복하며 휘발유층의 물성을 분석하였다.

2.1.2 부식성 시험

1) 열 가속노화에 의한 금속시편 부식시험

알코올에 대한 부식성이 민감한 금속류(알루미늄(Al), 구리(Cu), 철(Fe) 등)를 선별하여 고온 고압에서 견딜 수 있는 볼베를 제작한 후 100 ℃, 120 시간 침적시켜 침적 전·후의 외관과 무게변화로 부식성을 확인하였다. 여기서 100 ℃, 120 시간은 실온에서 2.5년에 해당된다

2) 주유기 주요 부품의 부식성 시험

바이오에탄올 혼합 연료와 직접 접촉하는 부분의 주요 부품 재질을 조사하고 부품을 선별한 후 제작된 일정 규격의 밀봉 가능한 투명용기를 사용하여 상온에서 1,000 시간 동안 침적 전·후의 외관 및 무게변화로 부식성을 평가하였다.

3) 주유기호스 내유성 실험

국내에 유통되고 있는 주유기호스 종류 및 재질을 조사한 결과 대부분 NBR(Acrylonitrile Butadiene Rubber) 재질을 사용하나 일부는 소모품의 형태로 일반유압호스인 NBR과 SBR(Styrene Butadiene Rubber) 혼합 형태의 호스를 사용하고 있었다. 따라서 NBR과 NBR+SBR 재질의 호스를 대상으로 침적시험을 수행하여 내유성을 실험하였다.

침적실험은 아령형 3호 시편으로 23±3 ℃에서 500 시간 동안 침적 전·후의 부피, 인장강도, 신장율변화율, 경도변화를 실험하였다.

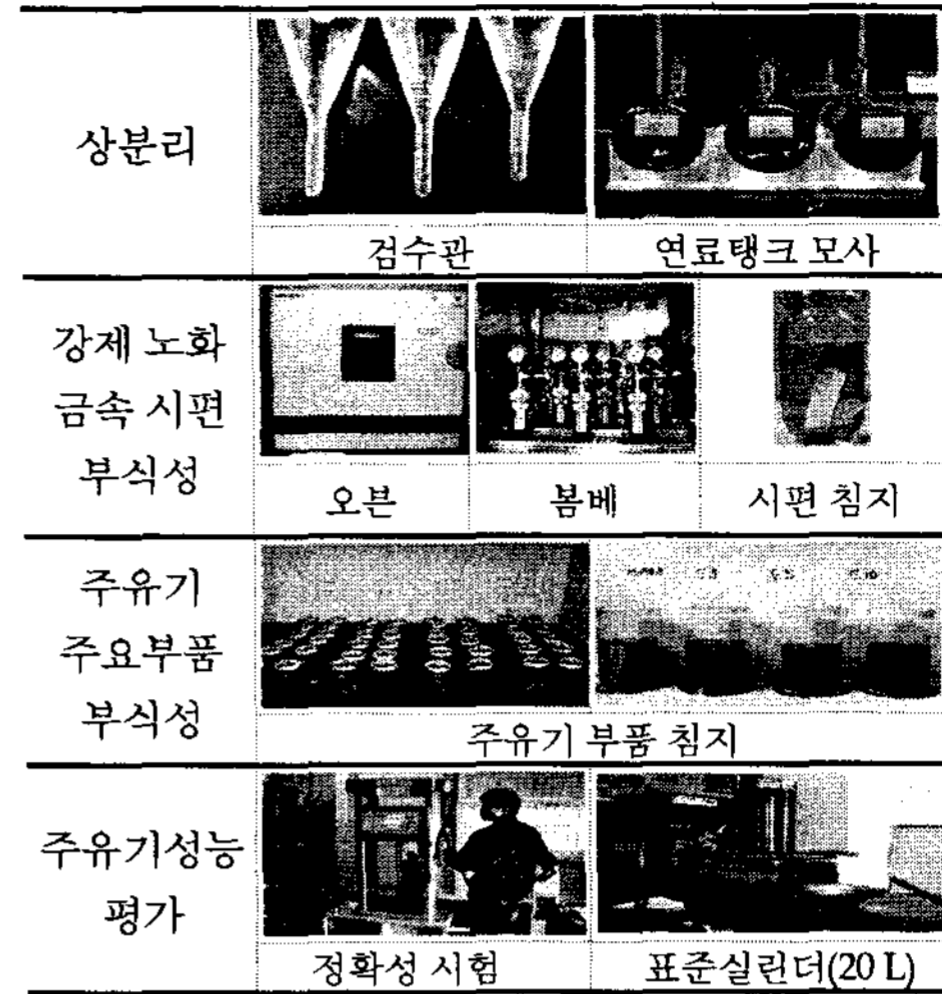
Table 2. Samples for oil tank and hose.

금속재료	유기재료
<ul style="list-style-type: none"> ■ 사용이 부적당한 재료 - 알루미늄 - 납계 부품 - 구리, 청동, 놋쇠 ■ 사용이 가능한 재료 - 탄소강 - 스테인레스강 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사용이 부적당한 재료 - 네오프렌 고무 - 우레탄 수지 - 폴리알코올계 수지 - 일반 니트릴 고무 - 나일론66 ■ 사용이 가능한 재료 - 불소계 고무 (바이톤, 테프론 등) - 니트릴계 고무 (에탄올 내성제품) - 고밀도 폴리에틸렌 - 폴리프로필렌 - 아세탈 수지

2.1.3 주유기 성능평가

주유기 성능평가는 장시간 시료를 순환시킬 수 있는 연료순환 시스템과 100 L 탱크를 제작하여 정확도와 내구성 실험을 수행하였다. 이때 최대 허용오차(0.5%이내)를 기준으로 평가를 수행하였다.

Figure 1. Test for phase separation, corrosion, oil pump



3. 결과 및 고찰

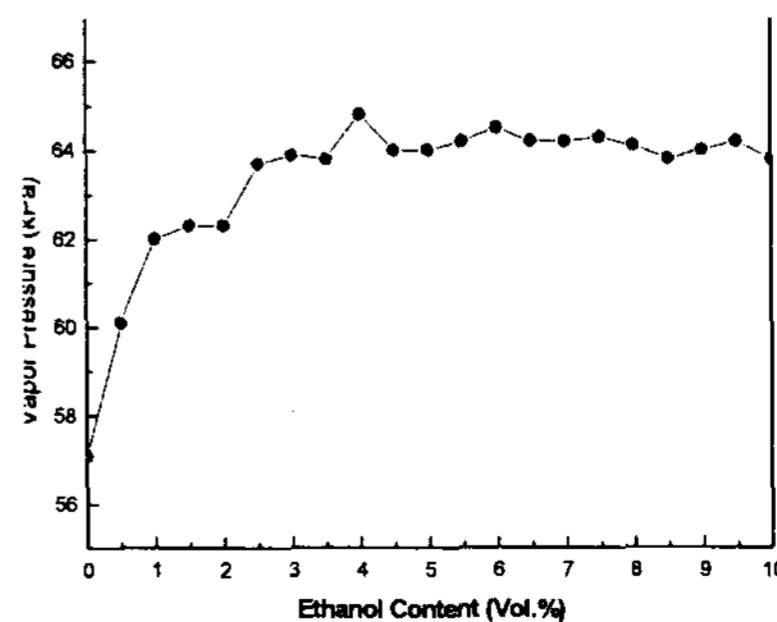
3.1 바이오에탄올 혼합 연료유의 품질 특성 분석

3.1.1 주요 물성분석

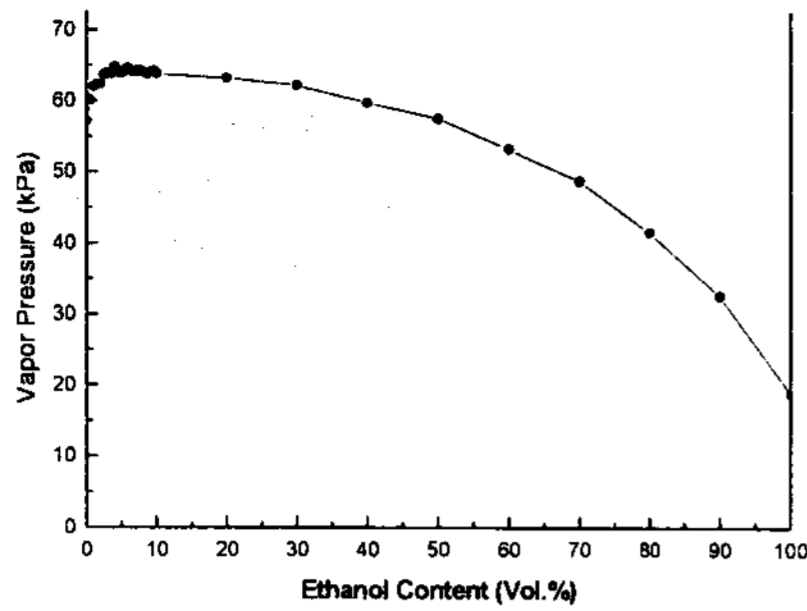
1) 증기압

바이오에탄올 혼합에 따른 증기압은 E5까지 약 7-8 kPa 정도 급격히 상승하다가 E5~E10 범위 내에서 일정하게 유지되면서 E10 이후는 미소하게 감소하는 경향을 나타냈다. 저농도에서의 증기압 상승은 고온 재시동성 악영향 및 휘발성 유기화합물의 증가를 유발시킬 수 있어 적절한 증기압의 확보가 필요하다.

Figure 2. Effect of vapor pressure on bio-ethanol contents : (a) and (b)



(a)



(b)

2) 증류성상

바이오에탄올 소량(-E10) 혼합으로 50% 유출 온도가 약 10~20 °C 까지 급격히 떨어지는 현상을 나타내는데 이는 바이오에탄올의 수소결합 특성에 의한 공비현상 때문으로 판단된다. 50% 유출 온도의 저하는 상운전성 및 재시동성을 악화시킬 수 있으므로 적정 품질을 유지할 필요가 있다.

3) 옥탄가

바이오에탄올 혼합량 증가에 비례하여 선형적으로 증가하여 5% 혼합에 약 2~2.5 씩 상승하였다.

3.1.2 수분혼입에 따른 상 분리 거동

1) 수분 혼입량에 따른 상 분리 거동

바이오에탄올과 물의 상호 용해성으로 E3의 경우 수분이 약 0.14 vol%, E5의 경우 수분 약 0.19 vol%, E10의 경우 수분 약 0.54 vol% 혼합 시 상 분리가 일어나기 시작하여 휘발유 층과 에탄올/물 층으로 분리가 일어났다.

상 분리가 일어나면 옥탄가 저하 등 연료로서의 기능상실을 초래하여 차량 성능저하 및 일부 재질의 손상을 일으킬 수 있다. 따라서 유통 시 엄격한 수분 혼입 방지를 위한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

2) 연료탱크 내의 상 분리 거동 모사 시험

초기에 E3, E5 및 E10 중 강제로 혼입한 수분량이 증가함에 따라 휘발유 층에서의 수분량이 감소하였으며, 이는 에탄올/물 층과 휘발유 층 수분과의 친화력에 의한 것으로 판단된다. 휘발유 층의 에탄올 함량 변화는 수분을 강제로 혼입한 초기에 약간 감소하다가 시료를 반복적으로 교체 주입하면 수분이 들어가지 않은 수준으로 증가한다. 휘발유 층의 옥탄가 변화를 보면 수분에 의한 상 분리로 에탄올 함량이 줄어들어 약간 감소하지만 시료의 반복적인 교체 주입에 의해 상 분리가 사라지며 휘발유 층의 에탄올 함량이 초기함량으로 회복되어 수분이 혼합되지 않은 시료의 옥탄가 수준으로 회복된다.

3.1.3 부식성 평가

1) 열 가속노화에 의한 금속시편 부식성 실험

금속시편 부식성 실험결과 시험시편 중 알루미늄이 E10에서 강한 부식에 의해 백색가루가 표면에 형성되었으며 무게변화가 현저히 나타났다. 이것은 바이오에탄올의 함량이 증가함에 따라 알루

미늄과 같은 원자가가 큰 물질은 에탄올과 표면반응을 일으켜 쉽게 전자를 잃어버려 부식이 급속하게 진전되기 때문인 것으로 판단된다. E3, E5는 외관상 미미한 변화가 있을 뿐 무게변화는 관찰되지 않았다.

Figure 3. Corrosion test to aluminum plate

	시료	초기	Sub Octane Gasoline	E5	E10
Al	외관변화				
	무게변화	-	0.0002	0.0002	-0.0190

2) 주유기 주요 부품 부식성 실험

주유기의 주요 부품을 대상으로 1,000 시간 침적 후 무게변화와 외관변화를 관찰한 결과 특별한 무게변화 및 외관변화가 관찰되지 않았다. 이것은 실험에 사용된 주유기의 부품이 에탄올 농도 10% 이하에서는 내부부식을 가지며 물성변화를 일으키지 않는다는 것을 의미한다.

3) 주유기호스 내유성 실험

주유기호스의 내유성 실험결과 바이오에탄올 혼입량에 증가에 따라 체적과 경도는 각각 선형적으로 증가 및 감소하며, 인장강도와 신장률은 비례하지 않지만 자동차용 휘발유에 비해 E3, E5, E10 모두 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 일반유압호스는 전반적으로 내유성이 현저히 저하되는 경향을 나타내었다.

3.1.4 주유기 성능평가

성능평가 결과 정확도와 내구성이 모두 최대 허용오차(0.5이하)를 만족하는 결과를 나타내었으며, 본 실험에 사용된 바이오에탄올 혼합연료인 E3, E5 및 E10 모두 주유기 성능이 안정적인 것을 확인하였다.

4. 결론

서브옥탄가솔린에 바이오에탄올을 각각 3%, 5% 및 10%을 혼합한 E3, E5, E10 대상으로 실험실적으로 연료의 물리·화학적 물성을 평가한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

서브옥탄가솔린에 바이오에탄올 혼합 농도가 증가할 경우 알루미늄 금속시편 표면에 백색가루가 형성되었으며 부식성이 커지기 때문에 철저한 대응이 필요하다. 에탄올 농도가 비교적 낮은 E3는 수분혼입량이 0.2%일 경우에 상 분리가 쉽게 발생하기 때문에 수분혼입 방지가 필요하다. E5는 상 분리 문제에 있어서 E3와 E10의 중간적인 특성을 보이며, 부식성과 관련하여 E10에 비해 현저히 양호한 결과를 나타내어 적정 혼입량이 될 수 있으리라 판단된다. 실험실적 평가결과 바이오에탄올 혼합연료의 혼입량은 E3 또는 E5가 적합할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2006년 에너지관리공단으로부터 지원받은 '바이오에탄올 혼합연료유 도입을 위한 실증평가연구'의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- [1] 재정경제부·농림부·환경부·건설교통부, 2007, "바이오디젤 중장기 보급 계획".
- [2] 산업자원부, 2005, "해외바이오에탄올의 도입 타당성 분석 연구".
- [3] I. C. Macedo, 1998, "Greenhouse gas emission and energy balances in bio-ethanol production and utilization in brazil", Biomass and Bioenergy, Vo. 14, No. 1, pp. 77-81.
- [4] H. Blottnitz, M. A. Curran, 2006, "A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective", J. Cleaner. Production, 15, 607-619.