

요소 이용 포화도 저감을 통한 동·식물성 바이오디젤의 저온유동성 개선

이영화^{1)†} · 김광수¹⁾ · 장영석¹⁾ · 신정아²⁾ · 이기택²⁾ · 최인후¹⁾

¹⁾ 전남 무안군 청계면 무안로 199, 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물센터

²⁾ 대전광역시 유성구 대학로 99, 충남대학교 식품공학과

(2014년 2월 20일 접수; 2014년 3월 6일 수정; 2014년 3월 10일 채택)

Improvement of Low-temperature Fluidity of Biodiesel from Vegetable Oils and Animal Fats Using Urea for Reduction of Total Saturated FAME

†Yong-Hwa Lee¹⁾ · Kwang-Soo Kim¹⁾ · Young-Seok Jang¹⁾
Jung-Ah Shin²⁾ · Ki-Teak Lee²⁾ · In-Hu Choi¹⁾

¹⁾ *Bioenergy Crop Research Center, National Institute of Crop Science,
Rural Development Administration*

199 Muan-ro, Cheonggye, Jeonnam, 533-834, Republic of Korea

²⁾ *Chungnam National University, Department of Food Science and Technology
99 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 305-764, Republic of Korea*

(Received February 20, 2014 ; Revised March 6, 2014 ; Accepted March 6, 2014)

요약 : 바이오디젤의 저온유동성과 산화안정성은 주로 녹는점이 높은 포화 및 불포화 지방산 메틸에스테르의 함량에 의해 좌우된다. 본 연구는 동물성 유지인 우지 유래 바이오디젤에 요소를 첨가하여 포화지방산 메틸에스테르 함량을 저감시켜 동물성 바이오디젤의 저온유동성 개선과 포화지방산 메틸에스테르 함량이 저감된 동물성 바이오디젤을 식물성 바이오디젤에 혼합함으로써 식물성 바이오디젤(유채유, 폐식용유, 대두유 및 동백유)의 저온유동성을 개선하기 위해 수행 되었다. 연구결과, 동물성 바이오디젤의 포화도 저감을 통해 저온필터막힘점을 최대 -15°C 까지 낮추었고, 포화도가 저감된 동물성 바이오디젤을 식물성 바이오디젤과 혼합함으로써 식물성 바이오디젤의 저온필터막힘점을 $-10 \sim -18^{\circ}\text{C}$ 까지 낮출 수 있었다. 본 연구를 통해 동·식물성 유지 유래 바이오디젤의 저온특성을 개선함으로써 국내 겨울철 환경조건에서 연료유로 적용 가능성을 증대할 것으로 기대한다.

주제어 : 바이오디젤, 지방산메틸에스테르, 요소, 저온필터막힘점

†Corresponding author
(E-mail: yonghwa@korea.kr)

Abstract : The compositions of saturated and unsaturated fatty acids in biodiesel feedstocks are important factors for biodiesel properties including low-temperature fluidity and oxidative stability. This study was conducted to improve low-temperature fluidity of biodiesel by reducing total saturated FAME (fatty acid methyl ester) in animal fat biodiesel fuels via urea-based fractionation and by mixing plant biodiesel fuels (rapeseed-FAME, waste cooking oil-FAME, soybean-FAME, and camellia-FAME) with enriched-polyunsaturated FAME derived from animal fat biodiesel. Our results showed that the reduction of total saturated FAME in animal fat biodiesel lowered CFPP (Cold Filter Plugging Point) to -15°C . Mixing plant biodiesel fuels with the enriched-polyunsaturated FAME derived from animal fat biodiesel lowered CFPP of blended biodiesel fuels to $-10 \sim -18^{\circ}\text{C}$.

Keywords : Biodiesel, Fatty acid methyl ester (FAME), Urea, Cold Filter Plugging Point (CFPP)

1. 서 론

20세기 이후 가속화된 산업화는 석유자원에 기인한 것으로 평가되고 있으며, 석유는 현재에도 자동차, 항공기, 화력발전 등의 연료로 사용될 뿐만 아니라 각종 난방유, 합성수지의 원재료로 폭넓게 이용되고 있다. 그러나, 석유는 재생이 불가능한 자원이며, 그 매장량도 한정되어 있기 때문에 자원으로 갖는 가능성이 항상 제기되어 왔으며, 최근에는 석유자원의 소비급증에 따라 배출되는 이산화탄소가 지구온난화의 요인으로 지목되면서 이를 대체할 수 있는 에너지원에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

석유를 대체할 수 있는 바이오매스 에너지원 중 하나로, 바이오디젤이 주목 받고 있다[1]. 바이오디젤은 보통 메탄올을 이용해 3개의 지방산과 글리세롤이 결합한 형태인 트라이글리세리드로부터 글리세롤을 분리한 다음, 지방산에스테르를 만들어 내는 에스테르 교환방법을 통하여 제조되고 있다[2]. 즉, 바이오디젤은 지방산메틸에스테르(FAME)의 혼합물로서, 석유에서 추출한 디젤과 물성이 유사하면서도 환경오염 물질인 방향족 화합물의 배출량이 크게 낮으며, 무엇보다도 재생 가능한 에너지원이라는 장점이 있다[3]. 그러나, 바이오디젤은 저온유동성이 좋지 않아 낮은 온도조건에서 응집이 쉽게 되고, 이는 자동차용 연료로 적용시 연료필터가 막히는 문제를 발생시키고 있다.

동물성 유지(우지, 돈지 등) 유래 바이오디젤에는 포화지방산 메틸에스테르의 함량이 높기 때문에 저온필터막힘점(Cold Flow Plugging Point, CFPP)이 $7 \sim 8^{\circ}\text{C}$ 로 매우 열악한 단점이 있다.

바이오디젤의 낮은 저온유동성은 포화지방산 메틸에스테르 및 불포화지방산 메틸에스테르의 함량과 관련된다고 보고되고 있다[4, 5, 6, 7]. 즉, 포화지방산 메틸에스테르의 함량이 높고 불포화지방산 메틸에스테르의 함량이 낮은 바이오디젤은 저온필터막힘점이 높아 저온유동성 면에서 불량한 물성을 갖는다[8]. 특히 동물성 바이오디젤을 자동차용 연료로 적용하기 위해서는 포화지방산 메틸에스테르의 함량을 낮추는 것이 중요하다. 일반적으로 포화지방산 메틸에스테르 함량이 높은 바이오디젤의 저온유동성을 개선하기 위한 방법은 유동성 향상제를 첨가하는 방법, 포화도를 저감하는 방법, 및 경유 등을 혼합하는 방법들이 있다[9, 10, 11, 12, 13]. 특히, 포화도를 저감시키는 방법에는 요소 착물형성(urea complexation) 방법을 이용한 지방산 분별에 대한 연구가 보고되고 있다[12,13].

본 연구에서는 동물성 및 식물성 바이오디젤의 저온유동성을 개선하기 위해 동물성 바이오디젤에 요소(urea)를 첨가하여 포화지방산 메틸에스테르 저감방법과 포화도가 저감된 동물성 바이오디젤을 식물성 바이오디젤과 혼합방법을 통해 동·식물성 바이오디젤의 저온유동성 개선효과를 확인하였다.

2. 실험

2.1. 우지 유래 바이오디젤 제조

생우지를 갈아서 100°C 에서 열수처리한 후 얻어지는 상층(기름층)을 무수 소듐 설페이트(anhydrous sodium sulfate)를 통과하여 획득하

였다. 우지와 메탄올을 1 : 15의 몰비율(30 g : 16.7 g, 우지 : 메탄올)을 취한 후, KOH 0.3 g (우지의 1%, w/w)을 첨가하여 65°C에서 30분 반응하여 바이오디젤을 제조하였다. 이때 획득한 우지 바이오디젤의 포화지방산 함량은 36.92% 이었다.

2.2. 식물성 바이오디젤의 제조

유채유(직접 추출), 폐식용유(아마존호프, 무안), 대두유(동아하이텍, 광주), 동백유(동아하이텍, 광주) 유래 바이오디젤을 제조하기 위하여 유리 비이커에 각각의 기름 830 mL에 메탄올 160 mL과 KOH(8 g)을 넣고 65 ~ 70°C에서 1시간 반응시킨 후 수세과정을 거친 후 실험에 이용하였다.

2.3. 요소 첨가를 통한 포화지방산

메틸에스테르 저감

우지 유래 바이오디젤(2 g)에 메탄올(10 mL)과 요소(2 g, 3 g, 및 4 g)를 첨가하여 완전히 용해시킨 후, 각 처리를 10°C에서 24시간 동안 유지하였다. 침전물을 감압여과 장치를 이용하여 분리한 후, 얻어진 액상을 분별깔때기에 옮겨서 1% 염산(hydrochloric acid)을 pH 2~3이 될 때까지 첨가(4 mL) 하였다. 지방산 메틸에스테르를 추출하기 위하여 헥산 10 mL과 디에틸에테르 5 mL을 첨가하였다. 층 분리 후 상층(헥산과 디에틸에테르 층)을 취하여 증류수로 여러 번(상층이 맑아질 때까지) 수세한 후, 안하이드로스 소디움설사이트 컬럼을 이용하여 수분과 불순물을 제거하였다. 용매를 로터리 진공 증발기(rotary vacuum evaporator, EYELA, n-1000, Japan)와 질소를 이용하여 완전히 제거한 후 포화지방산이 저감된 불포화지방산 메틸에스테르의 회수율을 계산하였다. 즉, 회수율(%)은 우지 바이오디젤 2 g에 대하여 요소 분획(urea fractionation) 한 후에 정제하여 얻어진 포화지방산이 저감된 지방산 메틸에스테르의 수율(%)이다.

2.4. 바이오디젤의 지방산 메틸에스테르 조성 분석

기체크로마토그래피(GC) 분석(Agilent Technology, Little Falls, DE, USA)을 위한 컬럼은 SPTM-2560(100 m × 0.25 mm I.d., 0.2 μm film thickness, Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 사용하였으며, 불꽃이온화검출기(Flam-

ionization detector, FID)와 자동주입기가 장착되어 있었다. 주입기와 검출기 온도는 각각 250°C와 260°C로 각각 설정하였다. 오븐온도는 150°C에서 5분간 유지한 후 220°C까지 분당 4°C씩 증가시켜 20분간 유지하였다. Carrier gas 인 He의 유속은 1 ml/min 이었으며, split ratio 는 50:1로서 시료 1 μl를 주입하여 지방산 메틸 에스테르를 분석하였다.

2.5. 저온필터막힘점(CFPP) 및 동점도 측정

제조한 동·식물성 바이오디젤과 혼합 바이오디젤의 저온필터막힘점(CFPP) 측정은 자동 저온필터막힘 측정기인 FPP 5GS(PAC, USA)를 이용하여 분석하였으며, 동점도 측정은 miniAV (CANNON, Japan)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

동물성 유지인 우지(beef tallow)로부터 바이오디젤을 합성한 후 바이오디젤의 포화지방산 메틸에스테르 함량을 저감하기 위해 요소를 혼합하였다. 요소 혼합 시 동물성 바이오디젤과 요소의 중량비를 1 : 1 ~ 2 범위로 하였다. 바이오디젤에 요소를 혼합하면 포화 지방산메틸에스테르와 요소가 서로 응집되어 형성된 백색의 침전물 즉 포접 화합물(Urea inclusion complexes with saturated fatty acid)이 생성되어 포화도를 저감시키는 것으로 알려지고 있다[12, 13]. 이 침전물을 여과를 통해 제거한 후 불포화 지방산메틸에스테르의 함량이 높은 동물성 바이오디젤을 회수하여 회수율(%)을 계산하였다(회수율(%)은 우지 바이오디젤 2 g에 대하여 요소 분획(urea fraction) 후에 정제하여 얻어진 불포화 메틸에스테르의 수율(%)이다).

Table 1은 동물성 바이오디젤과 요소를 혼합(1:1, 1:1.5, 1:2)하여 분획물의 회수율(%)과 포화 및 불포화 지방산메틸에스테르의 함량(%)을 나타내었다. 요소 분획 전 우지 바이오디젤은 포화 지방산메틸에스테르가 36.92% 함유되어 있으며, 바이오디젤과 요소의 중량비가 1:1인 처리구(Fraction 1)는 얻어진 분획물의 회수율이 62.17 ~ 60.14% 이며, 그 중 불포화 지방산메틸에스테르의 함량은 82.09 ~ 76.67% 함유하고 있다. 중량비 1:1.5(Fraction 2)에서는 얻어진 분획물의 회수율이 38.25 ~ 45.59% 이며, 그 중 불포화

Table 1. Recovery of enriched-polyunsaturated FAME depending on mixing ratio of animal fat biodiesel and urea

Fraction (FAME : Urea)	Recovery (%) of enriched- polyunsaturated FAME	Composition of recovered FAME	
		Saturated FAME (%)	Polyunsaturated FAME (%)
Tallow-biodiesel	-	36.92	63.08
Fraction 1 (1 : 1)	60.14(1.20 g/2g)	23.33	76.67
Fraction 2 (1 : 1.5)	38.25(0.76 g/2g)	11.47	88.53
Fraction 3 (1 : 2)	26.34(0.53 g/2g)	3.38	96.62

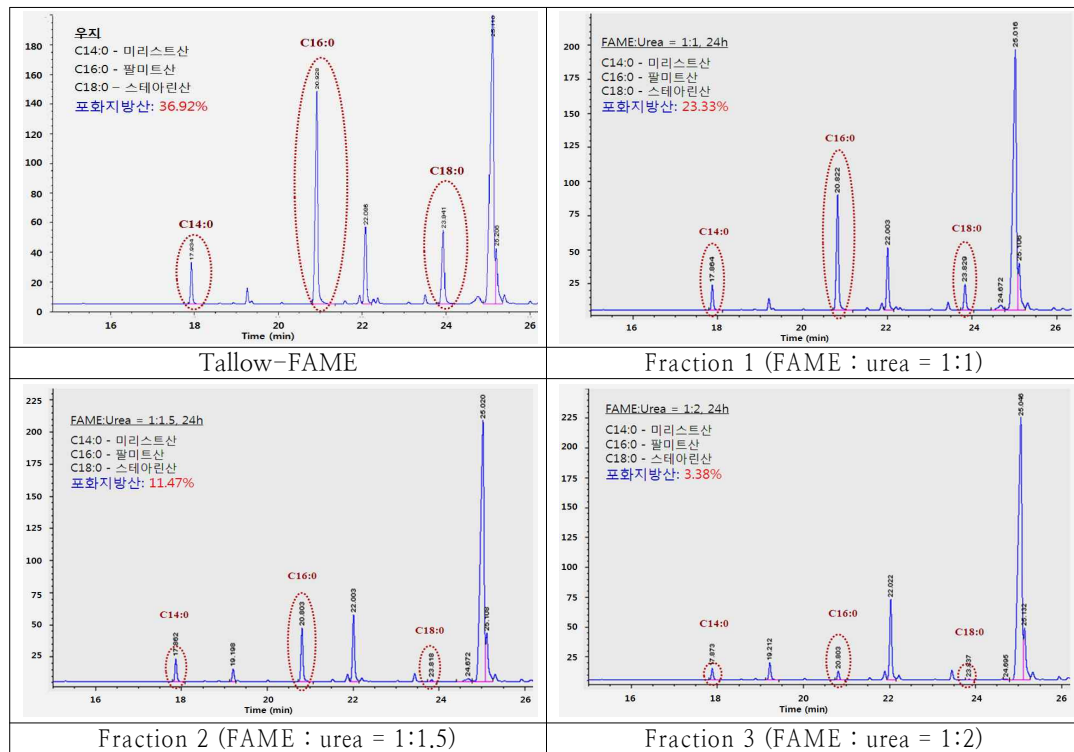


Fig. 1. Analysis of fatty acid methyl ester (FAME) after urea-based fraction.

지방산메틸에스테르의 함량은 85.41 ~ 88.60% 함유하고 있다. 중량비 1:2(Fraction 3)에서는 얻어진 분획물의 수율이 26.34 ~ 32.07% 이며 그 중 불포화 지방산메틸에스테르의 함량은 93.25 ~ 96.62% 함유하고 있다. 요소 함량을 높임에 따라 얻어지는 지방산메틸에스테르의 회수율은 낮아지는 경향을 보였다. 하지만 불포화 지방산메틸에스

테르의 함량은 높아짐을 확인할 수 있었다.

Fig. 1은 우지 바이오디젤을 요소로 분획하기 전 기체크로마토그래피 분석결과와 우지 바이오디젤에 요소를 혼합(1:1, 1:1.5, 1:2)하고 24시간 경과시킨 다음, 침전물을 제거하여 얻은 액상부분을 정제한 후 기체크로마토그래피로 분석한 결과이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이, 분획 시 요소

Table 2. CFPP measurement of enriched-polyunsaturated FAME and plant biodiesel fuels

	FAME(%)										CFPP (°C)
	14:0	14:1	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:1	기타	
Tallow-biodiesel	3.50	1.33	25.13	7.09	8.29	53.53	1.13	-	-	0	+8
Fraction 1 (FAME : urea = 1:1)	3.24	1.42	16.68	8.18	3.42	63.21	1.58	-	0.70	1.57	-1
Fraction 2 (FAME : urea = 1:1.5)	3.01	1.73	8.07	9.83	0.40	73.09	1.93	-	0.77	1.17	-12
Fraction 3 (FAME : urea = 1:2)	1.59	2.44	1.62	12.37	0.16	78.33	2.53	-	0.61	0.35	-15
Rapeseed-FAME	0.05	-	4.09	-	2.02	63.32	21.08	7.31	1.54	0.59	-12
Waste cooking oil-FAME	0.25	0.03	14.11	0.80	3.85	34.48	41.91	3.85	-	0.72	-5
Soybean-FAME	0.08	0.02	11.15	0.09	4.20	27.03	51.36	5.55	-	0.52	-4
Camellia-FAME	0.05	-	4.03	-	1.86	65.84	18.76	7.65	1.18	0.63	-12

※ C14:0 (myristic acid), C14:1 (myristoleic acid), C16:0 (palmitic acid), C16:1 (palmitoleic acid), C18:0 (stearic acid), C18:1 (oleic acid), C18:2 (linoleic acid), C18:3 (linolenic acid), C20:1 (gadoleic acid)

의 함량이 증가함에 따라 포화지방산인 미리스트산(myristic acid, C14:0), 팔미트산(palmitic acid, C16:0) 및 스테아린산(stearic acid, C18:0)의 피크는 점차 감소하였다. 본 결과로부터 바이오디젤에 요소를 첨가하여 포화 지방산메틸에스테르를 효과적으로 저감할 수 있음을 알 수 있었다. 특히 포화 지방산메틸에스테르(특히 팔미트산과 스테아린산)가 대부분 제거된 동물성 바이오디젤은 상대적으로 불포화지방산 메틸에스테르(특히 올레인산) 함량이 매우 높았다. 동물성 바이오디젤의 포화도 저감 후 저온필터막힘점을 분석한 결과 CFPP를 최대 -15°C까지 낮출 수 있었다(Table 2). 일반적으로 식물성 바이오디젤은 동물성 바이오디젤보다 포화지방산 메틸에스테르의 함량이 상대적으로 낮으며[14], 특히 유채유 바이오디젤과 동백유 바이오디젤은 올레인산의 함량이 높아 저온필터막힘점이 -12°C 정도로 우수하다. 그러나, 폐식용유나 대두유에서 유래하는 바이오디젤은 저온필터막힘점이 -4 ~ -5°C 정도로 연료유로 사용하기에는 어려운 저온특성

을 가지고 있다.

따라서, 식물성 바이오디젤의 저온유동성 개선하기 위해서 포화 지방산메틸에스테르 함량이 저감된 동물성 바이오디젤을 식물성 바이오디젤과 혼합 후 식물성 바이오디젤의 저온유동성을 조사하였다. 본 시험에서는 4종의 식물성 바이오디젤(유채유, 동백유, 대두유 및 폐식용유)을 사용하였고, 포화지방산 메틸에스테르 함량이 저감된 동물성 바이오디젤과 식물성 바이오디젤의 혼합비는 1 : 0.25 ~ 4 의 부피비로 혼합한 후 CFPP를 조사하였다. Table 3은 제조한 혼합 바이오디젤의 저온필터막힘점 및 동점도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 혼합 결과 식물성 바이오디젤의 저온필터막힘점을 최대 -10 ~ -18°C까지 낮출 수 있었다. 저온필터막힘점은 식물성 바이오디젤 대비 포화 지방산메틸에스테르가 저감된 동물성 바이오디젤의 함량이 증가할수록 더 낮은 값을 나타내었다(Table 3). 이는 높은 불포화 지방산메틸에스테르 함량에 기인한 것으로, 특히 식물성 바이오디젤 중에서 상대적으로 CFPP가 높았던

Table 3. Analysis of CFPP and kinematic viscosity of blended biodiesel fuels

	Enriched-unsaturated fatty acid methyl ester : Plant BD			Tallow-FAME : Plant BD		
	Blending ratio	CFPP (°C)	Kinematic viscosity (40°C)	Blending ratio	CFPP (°C)	Kinematic viscosity (40°C)
Rapeseed-FAME	1:0.25	-14	4.550	1:0.25	+6	4.940
	1:0.66	-15	4.643	1:0.66	+3	4.882
	1:1.5	-14	4.849	1:1.5	+3	4.843
	1:4	-12	5.033	1:4	-8	4.800
Waste cooking oil-FAME	1:0.25	-10	4.325	1:0.25	+6	5.162
	1:0.66	-8	4.296	1:0.66	+5	5.378
	1:1.5	-5	4.190	1:1.5	+1	5.592
	1:4	-3	4.249	1:4	-2	5.813
Soybean-FAME	1:0.25	-18	4.401	1:0.25	+6	4.850
	1:0.66	-15	4.402	1:0.66	+4	4.803
	1:1.5	-8	4.418	1:1.5	+2	4.735
	1:4	-6	4.428	1:4	-1	4.668
Camellia-FAME	1:0.25	-12	4.486	1:0.25	+6	5.009
	1:0.66	-12	4.552	1:0.66	+4	5.062
	1:1.5	-13	4.736	1:1.5	0	5.115
	1:4	-9	4.835	1:4	-4	5.165

폐식용유나 대두유 유래 바이오디젤을 혼합할 경우 혼합에 의한 물성개선 효과가 뚜렷하였다. 또한, 저온필터막힘점이 낮았던 유채유나 동백유 유래 바이오디젤 역시, 포화 지방산메틸에스테르 함량이 저감된 동물성 바이오디젤과 혼합함으로써 한층 개선된 저온유동성을 확보 가능함을 알 수 있었다. 즉 불포화 지방산메틸에스테르의 혼합은 식물성 바이오디젤의 불포화 지방산메틸에스테르 함량을 더 높게 하여, 식물성 바이오디젤의 저온필터막힘점을 한층 더 낮추는 효과를 얻을 수 있었던 것으로 추정된다. 동점도는 포화지방산 메틸에스테르의 제거한 경우 제거하기 전 보다 전반적으로 낮게 나타났으며, 식물성 바이오디젤과의 혼합비와 관련하여서는 일정한 추세를 보이지 않았다(Table 3).

저감하여 저온필터막힘점을 크게 낮출 수 있음을 확인하였다. 포화 지방산메틸에스테르가 저감된 동물성 바이오디젤 특징은 포화 지방산메틸에스테르(특히 팔미트산과 스테아린산)가 대부분 저감되어, 상대적으로 불포화 지방산메틸에스테르(특히 올레인산) 함량이 매우 높다는 것이다. 또한 불포화 지방산메틸에스테르 함량이 상대적으로 증가된 동물성 바이오디젤을 식물성 바이오디젤과 혼합하여 혼합 바이오디젤의 불포화지방산 메틸에스테르 함량은 본래의 식물성 바이오디젤의 불포화지방산 메틸에스테르 함량보다 높아져, 식물성 바이오디젤의 저온필터막힘점을 한층 더 낮추는 효과를 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(PJ007675) 지원에 의해 수행된 결과입니다.

4. 결론

본 연구는 동물성 바이오디젤에 대해 요소 분석방법을 이용하여 포화지방산 메틸에스테르의

References

1. Y. H. Lee, K. S. Kim, Y. S. Jang, H. J. Cho, S. S. Nam, and S. J. Suh, Breeding of F₁ hybrid Rapeseed and the Cultivation for Biodiesel Production in Korea, *Korean J. Intl. Agri.*, **22(4)**, 341 (2010).
2. T. S. Lee, Y. H. Lee, K. S. Kim, W. Kim, K. S. Kim, Y. S. Jang, and K. G. Park, Yield and Characterization of Various Biodiesel from Vegetable Oils and Animal Fats, *New & Renewable Energy*, **8(4)**, 30 (2012).
3. D. Bajpai, and V. K. Tyagi, "Biodiesel: Source, Production, Composition, Properties and Its Benefits", *Journal of Oleo Science*, **55(10)**, 487 (2006).
4. Y. K. Lim, D. K. Kim, and E. S. Yim, Synthesis of Biodiesel from Vegetable oil and Their Characteristics in Low Temperature, *ournal of Chem. Eng.*, **20(2)**, 208 (2009).
5. B. H. Jeong, K. S. Lee, Y. D. Kim, and C. H. Shin, Low Temperature Flow Properites of Palm Biodiesel, *Journal of Annual Fall Meeting of The Korean Society for New & Renewable Energy*, 602 (2007).
6. J. -K. Kim, C. H. Jeon, E. S. Yim and C. S. Jung, Fuel Properties of Various Biodiesels Derived Vegetable Oil, *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, **30(1)**, 35 (2013).
7. J. -K. Kim, E. S. Yim, C. H. Jeon, C. S. Jung and B. H. Han, Cold Performance of Various Biodiesel Fuel Blends at Low Temperature, *Int. J. Automotive Technology*, **13**, 293 (2012).
8. Y. K. Lim, C. H. Lee, C. S. Jung, and E. S. Yim, Study of Fuel Properties for Biodiesel Derived from Duck's Oil, *Journal of Chem. Eng.*, **21(60)**, 653 (2010).
9. C. Echim, J. Maes, and W. D. Greyt, Improvement of cold filter plugging point of biodiesel from alternative feedstocks, *Journal of Fuel.*, **93**, 642 (2012).
10. B. Chen, Y. Sun, J. Fang, J. Wang, and J. Wu, Effect of cold flow improvers on flow properties of soybean biodiesel, *Journal of Science Direct*, **34**, 1309 (2010).
11. P. Angel, C. Abraham, M. F. Carmen, J. R. Maria, and R. Lourdes, Winterization of peanut biodiesel to improve the cold flow properties, *Journal of Bioresource Technology*, **101**, 7375 (2010).
12. Y. H. Lee, J. A. Shin, Z. Hua, K. T. Lee, K. S. Kim, Y. S. Jang, and K. G. Park, Improvement of Low Temperature Property of Biodiesel from Palm Oil and Beef Tallow Via Urea Complexation, *New & Renewable Energy*, **8(4)**, 38 (2012).
13. D. G. Hayes, Y. C. Bengtsson, J. M. Alstine, and F. Setterwall, Urea Complexation for the Rapid, Ecologically Responsible Fractionation of Fatty Acids from Seed Oil, *JAOCS*, **75(10)**, 1403 (1998)
14. A. Kleinova, J. Paligova, M. Vrbova, J. Mikulec and J. Cvangros, Cold Flow Properties OF Fatty Esters, *Process Safety and Environmental Protection*, **85(B5)**, 390 (2007).