

# 초음파를 이용한 에스테르 교환 반응에 의한 식물성 유지로부터 바이오디젤 제조

정경환 · 박병건\*.<sup>†</sup>

전남대학교 기능성나노신화학소재사업단 · 한림연구소, \*광주여자대학교 식품영양학과  
(2010년 1월 15일 접수, 2010년 4월 13일 채택)

## Biodiesel Production from Vegetable Oils by Transesterification Using Ultrasonic Irradiation

Kyong-Hwan Chung and Byung-Geon Park\*.<sup>†</sup>

Center for Functional Nano Fine Chemicals, Chonnam National University · Hallim Research Institute of Technology, Gwangju  
500-757, Korea

\*Department of Food and Nutrition, Kwangju Women's University, Gwangju 506-713, Korea

(Received January 15, 2010; Accepted April 13, 2010)

초음파를 에너지원으로 하는 에스테르 교환 반응에 의해 콩기름과 포도씨 기름, 옥수수 기름, 카놀라 오일 등 식물성 유지로부터 바이오디젤을 제조하였다. 초음파를 이용한 식물성 유지의 에스테르 교환 반응 특성과 생성된 바이오디젤의 생성물 분포 및 물리화학적 특성을 조사하였다. 또한, 초음파와 열에너지에 의한 에스테르 교환 반응의 반응속도도 비교하였다. 초음파를 이용한 에스테르 교환 반응에 의한 바이오디젤 수율은 산촉매보다 균일계 알칼리 촉매에서 높았다. 초음파를 이용한 식물성 유지의 에스테르 교환 반응에서 수산화칼륨 촉매를 식물성 유지에 대해 무게비로 1% 사용하고, 식물성 유지에 대한 메탄올의 몰 비가 6 : 1일 때 지방산 메틸에스테르의 수율이 가장 높았다. 초음파를 에스테르 교환 반응의 에너지원으로 사용하면 열에너지를 사용한 반응 결과 보다 반응속도가 빨랐다. 초음파를 이용한 식물성 유지의 에스테르 교환 반응에 의해 생성된 바이오디젤은 원료유지보다 산가가 30% 이상 낮아졌다.

Transesterifications of vegetable oils (soybean oil, grapeseed oil, corn oil, canola oil) by ultrasonic energy were examined on various catalysts for biodiesel production. Reaction activities of the transesterifications were evaluated to the ultrasonic energy and thermal energy. The physicochemical properties and product distribution were also investigated to the biodiesels produced from the oils in the reaction using ultrasonic energy. The yields of fatty acid methyl ester (FAME) on the alkali catalysts were higher than those on the acid catalysts. The highest FAME yield was obtained as 83% on potassium hydroxide catalyst in the transesterification. The effective reaction conditions by ultrasonic energy were 1 wt% catalyst loading and 6:1 molar ratio of methanol to vegetable oils. The reaction rate of the transesterification by ultrasonic energy was faster than that by thermal energy. The acid values of the biodiesel products were improved above 30% compared to those of the feedstocks.

**Keywords:** biodiesel, ultrasonic irradiation, transesterification, vegetable oil, catalyst

### 1. 서 론

바이오디젤은 유지와 알코올을 반응시켜 만든 지방산 알킬에스테르 (fatty acid alkyl esters)로 정의된다[1]. 바이오디젤은 경유와 특성이 유사하여 경유용 자동차의 엔진을 변경하지 않고 바로 사용하거나 경유와 혼합하여 사용할 수 있다. 혼합유는 석유를 정제하여 제조하는 경유와 바이오디젤의 혼합비율이 80 : 20인 BD20과 경유와 바이오디젤의 혼합비율이 95 : 5인 BD5로 구분되어 경유를 대체하여 사용되고 있다[2].

바이오디젤은 식물성 유지, 폐식용유, 동물성 지방 등을 화학적으로 전환시켜 생산되며 청정연소가 가능하다. 구조적 특징으로는 무게

기준으로 10% 정도의 산소를 함유하며, 황성분과 방향족 탄화수소는 포함하고 있지 않다[3]. 바이오디젤의 물리적 성질은 석유정제를 통해 생산되는 경유와 매우 유사하지만 생산과정에서 배출하는 대기오염 배출량이 매우 적으며 사용 시 매연이나 미세먼지, 이산화탄소 등 공해물질 배출을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

식물성 유지는 포화지방산과 불포화지방산의 트리글리세라이드 (triglyceride)로서 종류에 따라 지방산 조성이 다르다[4]. 이로 인해 유지의 종류에 따라 저급 알코올과 반응성이 다르고 제조한 바이오디젤의 저온 유동성과 산화 안정성도 달라진다. 탄화수소 사슬이 짧거나 이중결합이 많으면 저급 알코올과 반응성이 높으나, 포화지방산 함량이 많으면 저온 유동성이 낮아서 동결기에 자동차의 필터가 막히거나 시동이 잘 걸리지 않는 문제가 발생한다. 반면 불포화지방산의 함량이 많으면 산소 안정성이 낮아 저장 안정성이 문제가 된다[5].

바이오디젤 제조방법은 열분해, 미세 에멀전화(microemulsification),

<sup>†</sup> 교신저자 (e-mail: bgpark@kwu.ac.kr)

희석, 에스테르 교환(transesterification) 등이 있다. 에스테르 교환은 알코올리시스(alcoholysis)라고도 불리며 가수분해와 유사한 과정을 통해 에스테르를 다른 알코올로 치환하는 공정을 말한다. 이 반응에 메탄올을 사용하면 메타놀리시스(methanolysis)라고 하며 메탄올과 트리글리세라이드의 반응에 의해 바이오디젤로 불리는 지방산 메틸에스테르와 글리세롤이 생성된다.

에스테르 교환 반응을 적용한 공정으로 열반응에 의한 에스테르 교환 공정이 널리 알려져 상용화되어 있다. 이 방법은 유지와 알코올, 그리고 촉매를 반응기에 혼합한 후 60~90 °C에서 반응시켜 바이오디젤을 제조하는 방법이다. 최근에는 반응물의 임계온도와 임계압력 이상으로 온도와 압력을 올려 반응시키는 초임계 유체 공정에 대한 관심이 높아지고 있다[6]. 초임계 유체 공정에 의한 에스테르 교환 반응은 10 min 정도 경과하면 바이오디젤의 수율이 90% 이상 얻어지므로 반응시간이 매우 짧다[7]. 반응물로 사용되는 알코올은 반응 원료인 유지와 상이한 특성을 가지고 있기 때문에 상온 상압에서는 서로 섞이지 않으나 초임계 상태에서는 서로 섞이면서 단일 상이 되어 반응이 진행되므로 반응속도가 빨라진다. 또, 알코올은 초임계 상태에서 약한 산성을 띄게 되어 산촉매 작용을 하므로 촉매를 사용하지 않아도 되는 장점이 있다[8].

초음파는 공동화 기포(cavitation bubble)를 분사시켜 액체-액체 계면 사이의 상호작용을 증대시킨다. 화학공정에서 초음파는 반응물의 물질전달과 반응성을 향상시켜 반응시간을 단축시키고 촉매 사용량을 감축시키는 기능이 있다[9]. 이러한 초음파의 기능이 에스테르 교환 반응에 의한 바이오디젤 제조 공정에 최근 도입되기 시작하여 팜유[10]와 유채유[11], *Oreochromis niloticus* 오일[12], 소 지방[13] 등 다양한 유지와 촉매계에 적용한 연구 결과가 발표된 적이 있다. 그러나 식용으로 이용되고 있는 식물성 유지에 대해 균일계와 불균일계, 그리고 산촉매와 알칼리 촉매를 적용하여 다양한 촉매계에 대해 전반적인 반응 특성을 검토하고, 열에너지에 의한 반응 특성과 비교한 연구 결과는 아직 알려진 바 없다.

이 연구에서는 저주파 초음파를 에너지원으로 사용하는 에스테르 교환 반응에 의해 식물성 유지로부터 바이오디젤을 제조하는 공정에 대해 조사하였다. 콩기름과 포도씨 기름, 옥수수 기름, 카놀라 오일 등 다양한 식물성 유지에 대해 균일계와 불균일계의 산 또는 알칼리 촉매를 적용하여 반응성을 평가하였다. 저온에서 기계적 혼합과 열에너지에 의한 에스테르 교환 반응의 수율과 초음파 에너지에 의한 반응 특성도 비교하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 촉매 및 시약

촉매는 균일계와 불균일계 산촉매 또는 알칼리 촉매를 적용하였다. 산촉매로 황산( $H_2SO_4$ ; Junsei, 98%)과 Amberlyst-15 (Sigma-Aldrich) 이온교환 수지를 적용하였다. 알칼리 촉매로는 수산화칼륨(KOH; Aldrich, 98%)과 산화칼슘(CaO; Kanto, 98%)을 사용하였다. 실험에 사용한 촉매는 전처리하지 않고 바로 반응에 사용하였다.

식물성 유지는 시중에서 판매되고 있는 콩기름(soybean oil; Ottogi), 포도씨 기름(grapeseed oil; Haepyo), 옥수수 기름(corn oil; Ottogi)과 카놀라 오일(canola oil; Chungjungwon)을 실험에 사용하였다. 식물성 유지와 함께 메탄올( $CH_3OH$ ; Daejung, 98%)을 반응물로 사용하였다.

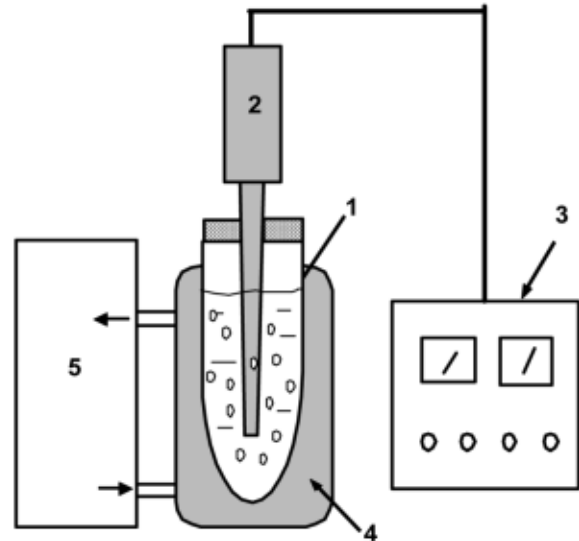


Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus. 1) ultrasonic reactor, 2) ultrasonic probe, 3) ultrasonic generator, 4) water jacket; 5) water circulator with temperature controller.

### 2.2. 초음파를 이용한 에스테르 교환 반응

반응실험은 Figure 1에 보인 바와 같은 저주파 초음파 발생기(Sonics & Materials Inc., Vibra Cell)를 적용한 반응시스템에서 이루어졌다. 반응의 에너지원은 초음파 제어기(ultrasonic controller)로 초음파 발생조건이 제어되는 초음파 탐침(ultrasonic probe)에서 발생한 초음파를 적용하였다. 초음파의 발생조건은 400 W, 20 kHz 출력으로 증폭율은 25%로 연속 발생시켜 실험에 적용하였다. 반응기는 반응 중 반응물의 온도 변화를 막기 위하여 항온수조에서 순환되는 열매체에 의해 30 °C를 항상 유지할 수 있도록 설계하였다. 열에 의한 에스테르 교환 반응은 열전대가 설치되고 5 °C로 유지되는 콘덴서가 설치되었으며, 반응물 교반이 가능한 500 mL 3구 플라스크 반응기에서 이루어졌다. 반응기의 온도는 PID 온도조절기로 조절되는 히터에 의해 65 °C로 일정하게 유지되었다.

반응조건에 따른 바이오디젤 제조 수율 변화를 조사하기 위해 식물성 유지 50 g에 대하여 식용유와 메탄올의 물 비가 1 : 6~1 : 20, 촉매량은 0.5~10 g범위에서 반응시간은 2 h을 유지하며 200 mL 시험관 반응기에서 실험하였다.

### 2.3. 바이오디젤 특성 분석

생성물의 조성은 모세관 칼럼(HP-1, 50 m × 0.32 mm × 0.17 μm)과 FID 검출기가 장착된 가스크로마토그래프(Shimadzu 9A)로 분석하였다. 분석 조건은 검출기와 인젝터의 온도는 290 °C, 칼럼의 온도는 140 °C에서 5 °C/min의 속도로 290 °C까지 승온시킨 후 이 온도에서 20 min을 유지시키면서 시료를 분석하였다.

EU에서 정한 EN 14103 시험방법[14]에 의해 메틸에스테르 함량을 가스크로마토그래피법으로 조사하여 바이오디젤 품질 적합성을 시험하였다. EU의 바이오디젤 표준규격(EN 14214) 기준에 의하면 메틸에스테르 함량은 최저 96.5% 이상(BD 100 기준)이다. 생성물은 바이오디젤의 수율과 물리화학적 특성을 조사하기 위해 글리세롤을 분리하고 메탄올은 증류하여 분리하였다.

EN 14103 시험방법에 따라 먼저 메틸헵타데카노에이트(methyl heptadecanoate; C17:0, TCI, 99%)와 헵탄( $C_7H_{16}$ ; Daejung, 98%)을 사용하

**Table 1. Basic Properties of Vegetable Oils Studied**

Oil	Acid value (mg KOH/g oil)	Iodine value (g iodine/100 g oil)	Saponification value (mg KOH/g oil)
Soybean	0.22	124	189
Grapeseed	0.45	138	190
Corn	0.36	122	192
Canola	0.28	111	190

여 10 mg/mL 용액을 표준시료로 제조하였다. 이 표준시료 5 mL에 실험으로부터 얻은 생성물 250 mg을 혼합하여 용해시킨 후 이를 가스 크로마토그래프로 분석하였다. 결과 분석은 생성물 중 바이오디젤인 C14:0부터 C24:1까지 메틸에스테르의 면적값을 구하여 식 (1)에 의해 메틸에스테르의 함량 즉, 바이오디젤의 수율을 계산하였다. 여기서 C14나 C24는 결합된 탄소의 수를, 콜론 다음에 오는 숫자는 이중결합의 수를 나타낸다.

$$Y_{ester}(\%) = \frac{\sum A - A_{STD}}{A_{STD}} \times \frac{C_{STD} V_{STD}}{m} \times 100 \quad (1)$$

위 식에서  $\sum A$ 는 C14:0~C24:1까지 피크의 총 면적을,  $A_{STD}$ 는 표준 물질인 메틸헥사데카노에이트의 면적을,  $C_{STD}$ 는 메틸헥사데카노에이트의 농도(mg/mL)를,  $V_{STD}$ 는 사용된 메틸헥사데카노에이트의 부피 (mL)를 나타내며,  $m$ 은 측정에 사용한 시료의 양(mg)을 나타낸다.

반응 원료인 식물성 유지와 생성물인 바이오디젤의 산가는 EN ISO 661 (Animal and vegetable fats and oils-Preparation of test sample)의 분석 방법[14]을 따라 측정하였다. 산가는 식 (2)로부터 계산된다.

$$N_{acid} = \frac{56.11 \times V \times C}{m} \quad (2)$$

여기서  $V$ 는 적정에 사용한 KOH 용액의 부피(mL)를,  $C$ 는 KOH 용액의 농도(mol/L),  $m$ 은 시료의 질량(g)을 나타낸다.

동점도는 ASTM D 445 시험방법[15]에 따라 Cannon-Fenske형 모세관 점도계를 사용하여 측정하였다. 반응물과 생성물의 점도는 하이드로미터(hydrometer)를 사용하여 비중( $\rho_{spec}$ )을 측정한 후 표준밀도( $\rho_{ref}$ )와의 관계식( $\rho = \rho_{ref} \times \rho_{spec}$ )으로부터 계산하였다.

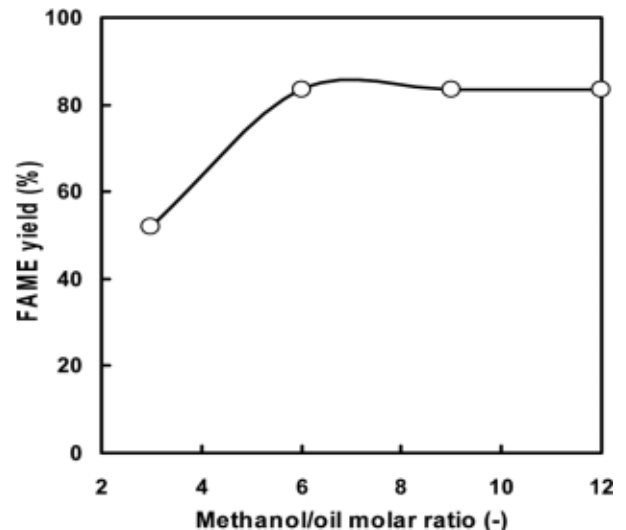
### 3. 결과 및 고찰

원료로 사용한 식물성 유지의 산가, 요오드가, 비누화가를 측정하여 Table 1에 정리하였다. 식물성 유지의 산가는 바이오디젤의 규격에도 중요한 요소로 유지의 부패와 관련이 깊은 물성값이다. 실험에 사용한 식물성 유지 중 포도씨 기름의 산가가 다른 유지에 비해 높았다. 그러나 반응에 사용한 원료 유지는 요리에 사용하기 전인 순수한 상태이므로 산화되지 않아 산가가 비교적 낮게 나타났다. 일반적으로 이를 요리에 사용한 후에는 이보다 5배 이상 산가가 높아지는 경향을 보인다[16].

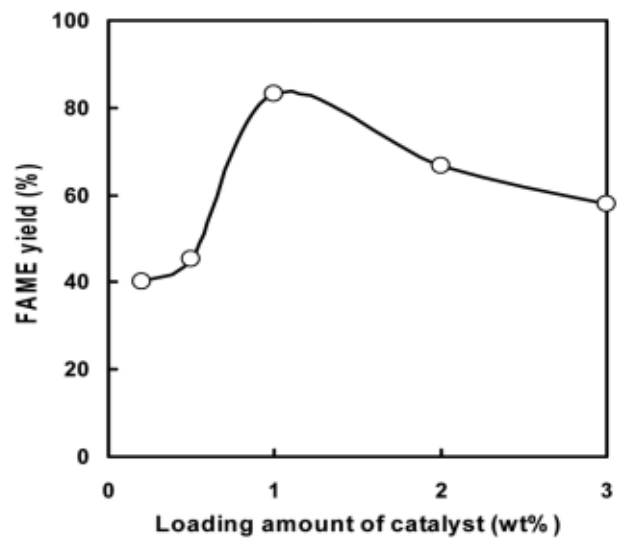
원료로 사용한 식물성 유지의 지방산 성분 분포를 제조사로부터 제공받아 Table 2에 정리하였다. 콩기름과 포도씨 기름에는 리놀레인산 (linoleic acid; C18:2)이 가장 많은 반면, 카놀라 유지와 옥수수 기름에는 올레인산(oleic acid; C18:1)이 60% 이상으로 가장 많았다. 식물성 유지

**Table 2. Fatty Acid Composition of Vegetable Oils**

Oil	Fatty acid (wt%)						
	Palmitic (C16:0)	Stearic (C18:0)	Oleic (C18:1)	Linoleic (C18:2)	Linolenic (C18:3)	Eruic (C22:1)	Others
Soybean	10.0	3.5	24.6	54.9	6.5	0.2	0.3
Grapeseed	6.6	4.3	19.2	68.9	0.3	0.2	0.5
Corn	6.4	1.5	65.8	25.0	0.2	0.2	0.9
Canola	1.5	2.3	61.6	22.2	11.6	0.1	0.7



(A)



(B)

**Figure 2. Yield of FAME with different methanol/oil molar ratio (A) and different loading amount of KOH catalyst (B) in the transesterification of soybean oil by ultrasonic irradiation.**

의 지방산은 올레인산과 리놀레인산이 전체의 85% 이상 차지하였다.

Figure 2는 초음파 에너지에 의한 식물성 유지의 에스테르 교환반응에서 반응조건을 달리 하여 얻은 결과이다. 촉매는 수산화칼륨을 사용하였다. 반응물인 메탄올과 원료 유지의 물 비를 달리 하였을 때

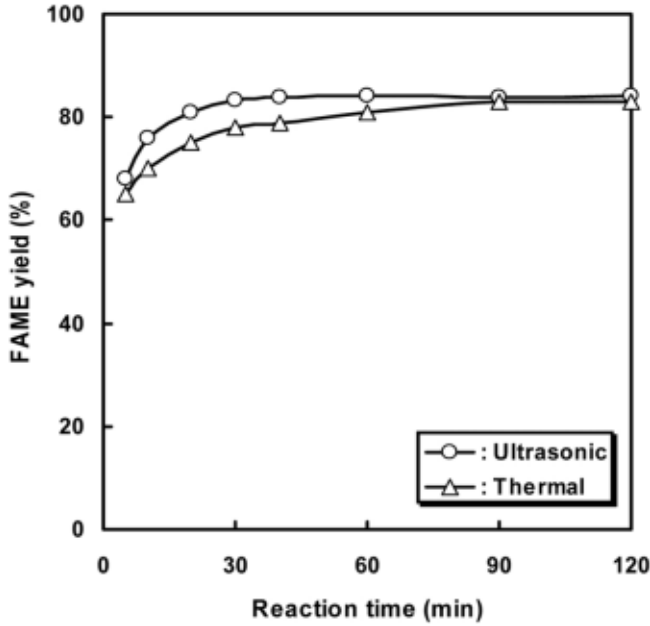


Figure 3. Comparison of FAME yield with reaction time by ultrasonic and thermal energy in the transesterification of soybean oil on KOH catalyst. Reaction conditions were 1 wt% of catalyst loading and 6 : 1 molar ratio of methanol to vegetable oil. Reaction temperature of the transesterification by thermal reaction was 65 °C.

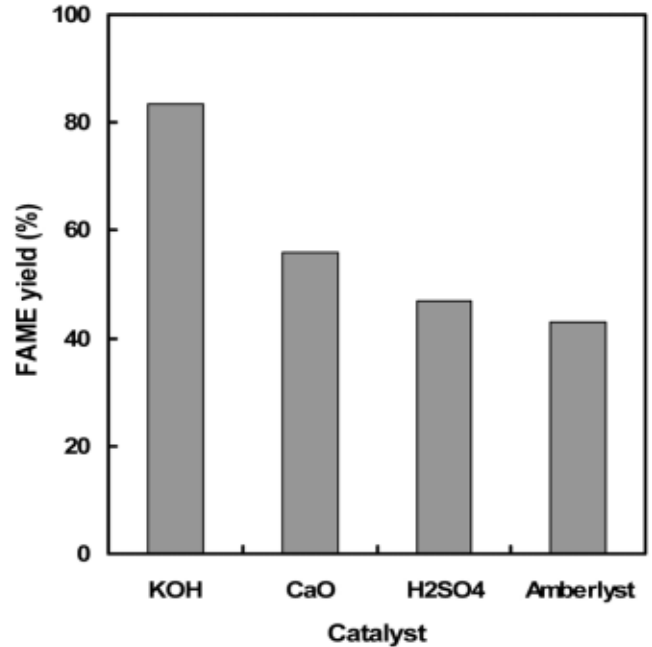


Figure 4. FAME yields in the transesterification of soybean oil on various catalysts using ultrasonic irradiation. Reaction conditions were 1 wt% of catalyst loading and 6 : 1 molar ratio of methanol to vegetable oil.

FAME의 수율을 Figure 2(A)에 보였다. 메탄올과 원료 유지의 몰 비가 6 : 1일 때 FAME 수율이 다른 몰 비에서 얻은 수율보다 높았다. 반응물 중 메탄올의 함량이 늘어나면 반응 수율은 조금씩 낮아지는 결과를 보였다. 이러한 경향은 열반응에 의한 에스테르 교환반응에서 나타난 결과와 같았다[17]. 이는 메탄올 함량이 많아질수록 반응 평형이 생성물 쪽으로 진행되기 쉽고, 유지와 생성된 글리세린의 용해도가 높아져 반응에 유리하기 때문이다. 그러나 메탄올 함량이 너무 많아지면 유지의 활동도가 상대적으로 낮아지므로 반응성이 비례적으로 증가하지는 않는다. Figure 2(B)는 수산화칼륨 촉매의 양을 달리하였을 때 초음파에 의한 에스테르 교환 반응의 FAME 수율을 보인 것이다. 원료 유지에 대하여 수산화칼륨 촉매가 1 wt%일 때 FAME수율이 가장 높았다. 이 결과도 역시 열반응에 의한 결과와 비슷한 경향을 보였다[18].

Figure 3에는 메탄올과 원료 유지의 몰 비가 6 : 1이고 수산화칼륨 촉매의 양이 원료 유지에 대해 1 wt%인 조건에서 65 °C 열반응에 의한 반응 수율과 같은 조건에서 30 °C를 유지하며 초음파 에너지를 이용한 반응의 FAME 수율을 반응시간에 따라 나타내었다. 열반응에 의한 반응 수율은 반응 초기에는 60% 정도였다가 반응시간이 경과함에 따라 반응 수율이 높아졌다. 약 90 min이 경과하면 반응 수율은 거의 일정해지고 이후 비슷한 값을 보였다. 반면에 초음파를 에너지로 사용한 에스테르 교환 반응에 의한 FAME 수율은 반응 초기 5 min에는 65% 정도 수율을 보이다가 20 min이 되면 83%에 이르렀다. 2 h 동안 관찰한 반응수율은 열반응에 의해 얻은 결과보다 초음파에 의한 반응에 의해 얻은 FAME 수율이 약간 높았다. 초음파를 사용한 식물성 유지의 에스테르 교환 반응의 반응속도는 열에너지에 의한 반응속도보다 빨랐다. 이러한 결과는 초음파 에너지에 의한 에스테르 교환 반응이 교반장치를 별도로 설치할 필요가 없어 장치가 간편하고, 동일한 반응 수율을 얻는데 걸리는 시간도 열반응보다 훨씬 짧아

반응 효율도 높다는 것을 시사한다.

산업적으로 생산되고 있는 바이오디젤은 알칼리 촉매 공정으로 약 65 °C에서 1~8 h 동안 반응을 시켜야 한다. 반응물인 유지와 메탄올이 섞이지 않는 2상으로 존재하기 때문에 액-액 계면에서 반응이 일어나고 산, 알칼리 촉매와는 극성 문제 때문에 반응 시간이 길어진다. 그러나 초음파를 반응에 적용하면 반응물의 혼합 효과가 크게 높아져서 메탄올의 유전상수(dielectric constant)가 감소되어 유지와 메탄올의 상호 용해도가 증가하기 때문에 반응 속도가 빨라지는 것으로 판단된다[7].

초음파 에너지에 의한 식물성 유지의 에스테르 교환 반응에서 균일계 산 또는 알칼리 촉매와, 불균일계 산 또는 알칼리 촉매를 적용하여 촉매의 반응 활성을 조사하였다. 앞에서 조사한 최적 반응 조건에 따라 메탄올/공기름의 몰 비는 6 : 1로 정하였고, 촉매량은 균일계 촉매의 경우는 원료 유지에 대해 1 wt%로 불균일계 촉매는 10 wt%를 적용하여 반응시켰다. 이 조건에서 각 촉매에 대한 유지의 에스테르 교환 반응에 대한 FAME 수율을 Figure 4에 보였다. 초음파에 의한 반응 수율은 알칼리 촉매를 적용한 경우가 높았고 산촉매에서는 반응 수율이 50%에도 미치지 못하였다. 알칼리 촉매의 경우에도 산화칼슘을 반응에 촉매로 사용하였을 때는 반응 수율이 높지 않았다. 불균일계 촉매에 대한 반응의 경우 반응시간을 2 h 이상 관찰하였으나 반응 수율은 더 이상 높아지지 않았다.

초음파를 이용한 에스테르 교환 반응에서 수산화칼륨 촉매를 사용하여 다양한 식물성 유지에 대한 바이오디젤 수율을 Figures 5와 6에 보였다. 수산화칼륨 촉매를 사용한 식물성 유지의 초음파에 의한 에스테르 교환반응에서 반응 수율은 포도씨 기름이 가장 낮은 68%를 보였으나 다른 유지는 80% 정도를 보였다. 카놀라 유지는 가장 높은 86%의 반응 수율을 보였다. 이러한 식물성 유지에 대한 에스테르 교환 반응도 마찬가지로 20 min이 경과하면 거의 일정해지는 특성을 보였다.

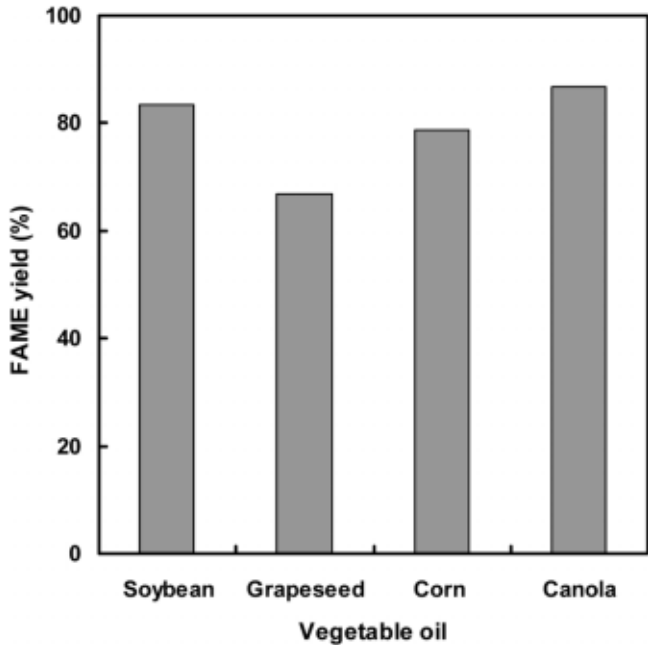


Figure 5. FAME yields in the transesterification of various vegetable oils on KOH catalyst. Reaction conditions were 1 wt% of catalyst loading and 6 : 1 molar ratio of methanol to vegetable oil.

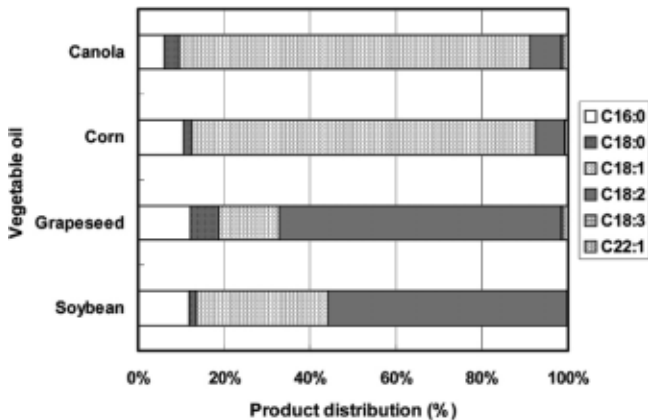


Figure 6. Product distribution of biodiesel produced by transesterification using ultrasonic irradiation on KOH catalyst. Reaction conditions were 1 wt% of catalyst loading and 6 : 1 molar ratio of methanol to vegetable oil.

Table 3에는 각 식물성 유지의 반응 후 생성된 바이오디젤의 물리 화학적 특성값을 정리하였다. 반응 후 얻은 바이오디젤의 밀도는 원료 유지에 비해 약 2% 정도 낮아져 정부의 석유 및 석유대체연료 사업법에 규정한 BD100의 기준값(860~900 kg/m<sup>3</sup>) 이내에 들었다. 동점도와 산가 역시 모두 BD100 기준을 만족하였다. 특히 산가는 0.15~0.30 mg KOH/g으로 낮아졌다. 원료 유지의 산가는 0.2~0.5 mg KOH/g이었으나 반응 후 얻은 바이오디젤의 산가는 30~50% 낮아졌다. 식물성 유지를 사용한 후 오래 방치할 경우 산화되어 산가가 높아지게 되고 이는 오일을 부패시키는 원인이 되기 때문에 바이오디젤의 산가는 장기 보관성에 크게 영향을 미친다.

식물성 유지의 반응 후 생성물 분포를 Figure 6에 나타내었다. 비교적 탄소 사슬이 긴 에우린산(C22:1) 메틸에스테르 이상은 거의 나타

Table 3. Physicochemical Properties of the Biodiesels Produced from Transesterification Using Ultrasonic Energy

Property	Vegetable oil			
	Soybean	Grapeseed	Corn	Canola
Density (kg/m <sup>3</sup> at 15 °C)	885	890	887	882
Kinematic viscosity (mm <sup>2</sup> /s at 40 °C)	3.1	3.5	3.2	2.9
Acid value (mg KOH/g)	0.15	0.28	0.21	0.16

나지 않고 팔미트산(C16:0) 메틸에스테르의 함량이 전체적으로 늘었다. 카놀라 유지와 옥수수 기름을 원료로 사용하여 생성된 바이오디젤 생성물 분포는 올레인산 메틸에스테르의 함량이 가장 많았다. 이는 옥수수 기름과 카놀라 오일이 원료 유지부터 올레인산의 함량이 많았기 때문으로 보인다. 콩기름과 포도씨 기름도 원료 중 리놀레인산(C18:2)이 가장 많아 리놀레인산 메틸에스테르의 생성량이 많았다.

#### 4. 결 론

초음파를 에너지원으로 하는 에스테르 교환 반응에 의해 식물성 유지로부터 바이오디젤을 제조하였다. 초음파를 이용한 에스테르 교환 반응에 의한 바이오디젤 수율은 산촉매 보다 균일하게 알칼리 촉매에서 높았다. 초음파를 이용한 식물성 유지의 에스테르 교환 반응에서 수산화칼륨 촉매를 식물성 유지에 대해 무게비로 1% 사용하고, 식물성 유지에 대한 메탄올의 몰 비가 6 : 1일 때 지방산 메틸에스테르의 수율이 가장 높았다. 초음파를 에스테르 교환 반응의 에너지원으로 사용하면 열에너지를 사용한 반응 결과 보다 반응속도가 빨랐다. 초음파를 이용한 식물성 유지의 에스테르 교환 반응에 의해 생성된 바이오디젤은 원료 유지 보다 산가가 30% 이상 낮아졌다.

#### 참 고 문 헌

- W. Hiroaki, *ENEOS Technical Review*, **47**, 11 (2005).
- S.-S. Kim, K.-H. Kim, S.-C. Shin, and E.-S. Yim, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **18**, 401 (2007).
- C.-S. Jung and J.-I. Dong, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **18**, 284 (2007).
- M. J. Ramos, C. M. Fernandez, A. Casa, L. Rodriguez, and A. Perez, *Biores. Technol.*, **100**, 261 (2009).
- A. Dermirbas, *Fuel*, **87**, 1743 (2008).
- S. Saka and K. Dadan, *Fuel*, **80**, 225 (2001).
- D. Kusdiana and S. Saka, *Fuel*, **80**, 693 (2001).
- D. Kusdiana and S. Saka, *Biores. Technol.*, **91**, 289 (2004).
- L. T. Thanh, K. Okitsu, Y. Sadanaga, N. Takenaka, Y. Maeda, and H. Bandow, *Biores. Technol.*, **101**, 639 (2010).
- C. Stavarache, M. Vinatoru, Y. Maeda, and H. Bandow, *Ultrasonics Sonochemistry*, **14**, 413 (2006).
- K. G. Georgogianni, A. K. Katsoulidis, P. J. Pomonis, G. Manos, and M. G. Kontonminas, *Fuel Processing Technol.*, **90**, 1016 (2009).
- F. F. P. Santos, J. Q. Malverira, M. G. A. Cruz, and F. A. N. Fernandes, *Fuel*, **89**, 275 (2010).
- L. S. G. Teixeira, J. C. R. Assis, D. R. Mendonca, I. T. V. Santos, P. R. B. Guimaraes, L. A. M. Pontes, and J. S. R. Teixeira, *Fuel*

- Processing Technol.*, **90**, 1164 (2009).
14. J. van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszek, D. Clements, and G. Knothe, *Biodiesel Analytical Methods*, NREL/SR-510-36240.
  15. [www.astm.org](http://www.astm.org)
  16. T.-S. Koh and K.-H. Chung, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **19**, 214 (2008).
  17. K.-H. Chung, J. Kim, and K.-Y. Lee, *Biomass Bioenergy*, **33**, 155 (2009).
  18. H. D. Hanh, N. T. Dong, C. Starvarache, K. Okitsu, Y. Maeda, and R. Nishimura, *Energ. Convers. Manage.*, **49**, 276 (2008).