

유화제 첨가 식물유의 알칼리 촉매 전이 에스테르화

현 영 진*

The Alkaline-Catalyzed Trans-esterification of Vegetable Oils with Emulsifier

Young-Jin Hyun*

Abstract

The alkali-catalyzed transesterification of vegetable oils into Bio-diesel using 1vol% emulsifier at 60°C was performed on the rotary viscometer. The viscosity of fatty acid methyl ester was predicted by Orrick and Erbarr's model. The overall yield increased as the viscosity decreased. The limiting molar ratio of methanol to oil appeared to be 1:5 due to 1vol% emulsifier. The sodium hydroxide was shown to be the optimum catalyst and its content appeared to be 0.5wt%. The overall yield(%) of fatty acid methyl ester from canola oil was 95%.

Key Words : The alkali-catalyzed transesterification, rotary viscometer, Orrick and Erbarr's model, the limiting molar ratio, 1vol% emulsifier.

1. 서 론

1898년에 루돌프 디젤이 피넛유를 연료로 사용하는 엔진을 고안하여 파리의 전시회장에서 운전하였고, 그 후 그의 이름을 붙인 디젤엔진이 식물유를 연료로 사용하는 운송수단으로 사용되었다[1]. 그러나 식물유의 지방산 글리세리드는 분자량이 큰 물질로 완전연소가 어렵고, 점성이 높아 엔진에 높은 부하를 초래하여, 연료로서 기능이 미흡하다. 그래서 지금까지 디젤엔진의 주 연료는 경유로 공급되고 있다.

중동지역의 정치적 갈등에 따른 산유국의 원유감산, 운송수단 뿐만 아니라 산업화로 화석연료 소요량 급증으로, 원유가격이 급등하여, 에너지 위기가 재현될 조짐이다.

한편, 화석연료의 남용은 지구온난화를 가져왔고, 생태계 훼손이 심각해졌다. 이에 대응하기 위해 1997년에 이산화탄소 방출을 규제하는 교토의정서가 채택되었고 올해부터 그 효력이 발효되기에 이르렀다[2].

이런 국제적 환경규제와 원유가의 상승에 대비하여 청정/대체에너지 개발이 전 세계의 관심으로 등장하였고, 이의 일환으로 북미와 유럽선진국들에 의해 식물유로부터 바이오디젤이 개발되었다. 바이오디젤 가격은 최적 기술개발 뿐만 아니라 원유가 상승과 환경보존비용에 의해서도 결정된다. 바이오디젤의 공급

* 제주대학교 청정화학공학과, 첨단기술연구소
Dept. of Clean Energy & Chemical Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

가를 낮추어 실용화하기 위해서는 우선 전화율을 높이는 촉매를 선정해야 한다.

유지의 수분과 유리지방산 함량이 한계치(0.06%, 0.5%)보다 낮으면, 알칼리 촉매가 효과적이다. 유리지방산 함량이 4%(w/w) 이상인 폐식용유의 경우 알칼리로 세척해도 유리지방산에서 만들어진 금속비누가 지방산 메틸에스테르로부터 글리세롤의 분리를 어렵게 하고, 알칼리 촉매가 불활성화 된다. 산·알칼리 촉매를 사용하는 2단계 공정이 수행되어야 한다[3].

산 촉매공정은 유지와 메탄올의 물 비를 1:3 보다 아주 높게 유지해야 전화율이 증가하나, 메탄올 과잉주입으로 이의 분리 회수비용이 높다는 한계를 갖고 있다.

식물유의 전이에스테르화는 가역반응이라서 오일과 메탄올의 물 비에 의존한다. 전이에스테르화 속도를 높이려면, 유지와 메탄올의 물 비를 양론 물비(1:3)보다 높게 유지해야 하나, 한계 물비 이상으로 메탄올 주입량을 높이면, 촉매나 효소의 불활성화로 수율이 감소하여 바이오디젤 질이 떨어질 뿐만 아니라 메탄올 재순환 비용이 올라간다. 과잉의 메탄올은 지방산 메틸에스테르와 글리세롤에 용해되기도 한다.

전화율이 낮아서 지방산 메틸에스테르로 전환되지 못한 중간 생성물인 디·모노 글리세리드는 유화제로서 미 반응 지방산 글리세리드와 지방산 메틸에스테르를 글리세롤에 일부 용해시켜 지방산 메틸에스테르의 탁도를 높혀 유동점과 구름점이 올라가서, 동절기에는 결정체가 만들어진다. 따라서 바이오디젤의 주요물성인 구름 점과 유동점이 올라가서, 겨울철 엔진의 인젝터나 노즐의 분사효율이 현저히 감소하여 연소성능이 떨어지고, 펌프나 엔진의 유지·보수가 어려워진다.

이런 문제를 해결하기 위해 지방산 메틸에스테르의 점도를 낮추기 위한 연구들이 수행되었다[4]. 경유에 바이오디젤을 체적비로 2:8, 3:7 또는 5:5로 혼합하여, 점성을 낮추거나 연소 시 분진 발생량을 낮추기도 하였다. 지방산 메틸에스테르의 점도를 물리적으로 낮추는 것은 전이에스테르화가 진행되는 동안 점도변화를 추적하지 못하여 최종 정제효율의 저하로 지방산 메틸에스테르의 점도가 증가하는 데, 이를 물리적으로 낮추는 것은 일시적인 방안에 불과하다.

지방산 메틸에스테르의 점도는 전이에스테르화도에 따른 바이오디젤의 질을 판단하는 주요 척도이다. 대량생산 시 반응시간에 따른 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도변화를 추적하여 점도가 최소인 조건에서 조업하는 온-라인 공정 감시법이 요구된다.

온-라인 공정 감시법은 오일과 메탄올의 한계 물비를 낮춰 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도변화를 추적하고, 이들의 점도가 최소인 조업조건을 도출하는 기술이다. 알칼리 촉매가 녹은 메탄올로 점성이 높은 지방산 글리세리드를 전이 에스테르화 시키는 동안, 생성물 조성이 바뀌고, 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도가 낮아진다. 평형에 이르면, 이들 조성이 일정해짐으로써 전단응력도 일정하고, 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도가 최소 점에 이른다.

점도가 가장 낮은 조업조건에서 전이에스테르화가 종결되고, 채취된 지방산 메틸에스테르 혼합물로부터 지방산 메틸에스테르를 완전히 분리시켜, 이의 순도를 높이는 것이다. 반응이 진행되는 동안 글리세롤, 디·모노 글리세리드가 생성되기에 지방산 메틸에스테르의 절대점도 측정이 어렵고, 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도측정만이 가능하다. 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도의 변화로부터 지방산 메틸에스테르의 총괄 수율을 추산할 수 있다.

본 연구에서는 회분반응기인 회전 점도측정기에서 유화제가 첨가된 식물유의 알칼리 촉매가 용해된 메탄올로 전이에스테르화를 수행하였다. 일정 전단속도에서 오일과 메탄올의 물비, 촉매의 종류와 함량과 식물유의 종류에 따른 전단응력을 측정하여, 뉴턴유체 점도법칙에 의해 글리세롤을 제외한 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도를 추산하였다.

그리고 지방산 메틸에스테르의 조성을 측정하여 식물유의 총괄수율을 결정하였다. 따라서 조업변수들이 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도와 이의 총괄수율에 미치는 영향을 고찰하여 점성과 총괄수율의 상관관계를 도출하고, 이로부터 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도가 최소인 조업조건을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

II. 실험방법 및 재료

Fig. 1에 표시된 내부 교반기와 점도측정을 위한 NV센서로 이루어진 회전 점도측정기로 1vol% 유화제(올레인산 폴리에스테르)가 첨가된 식물유를 주입하여 60℃로 예열하였고, 메탄올의 증발을 억제하기 위해 200ml 메탄올에 7.5g의 알칼리 촉매[수산화나트륨, 수산화칼륨과 소듐메톡시드(NaOCH₃)]가 각각 녹은 메탄올 일정량을 1/32" 스테인레스 튜브의 주사기를 사용하여 식물유가 충전된 교반기의 바닥으로 주입하여, 알칼리 촉매 전이에스테르화를 수행하였다.

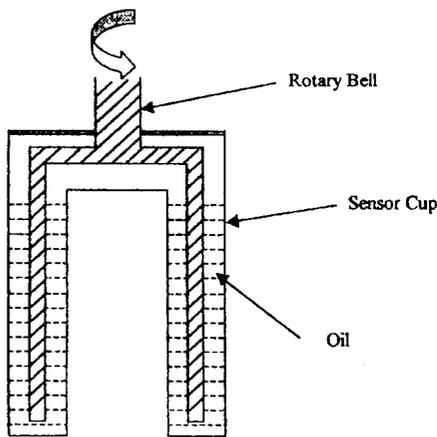


Fig. 1. Scheme for NV Sensor of Haake500 Rotary Viscometer

반응기 체적은 NV센서 체적으로 9ml이고, 반응온도는 수증기 자켓으로 조절하였다. 센서의 작동범위 내에서 전단속도를 1000s로 일정하게 놓아 반응시간에 따른 전단응력을 센서로 읽어 뉴턴유체 점성법칙에 의해 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도를 추산하였다.

전이에스테르화가 진행되는 동안 소듐·포타슘 히드록시드와 소듐 메톡시드가 각각 용해된 메탄올 용액은 미리 500ml 용기에서 제조하여 보관하였다. 반응시간 5·10·15분마다 시료 3ml를 채취하여 감압증류로 메탄올을 분리시키고, 생성물을 노르말헥산과 클로로포름의 혼합용매(혼합비 2:1)로 추출 후 원심분리 시키면 하부로 글리세롤이 분리된다.

상등액 1ml를 취하여 60℃에서 노르말헥산과 클로로포름의 혼합용매를 진공증류 시킨 후 무수메탄올을 첨가했다. HPLC의 이동상은 아세톤과 아세토니트릴, 고정상은 옥타데실실리카로 선정하였고, UV 검출기(파장 205nm)로 지방산 메틸에스테르의 조성을 분석하였다.

식물유(Canola, Corn, Peanut Oil)는 Sigma Aldrich, Chemical Co.(St. Louis, MO), 메탄올, 소디움 메톡시드, 소디움·포타슘 히드록시드는 Cole Parmer Co.(Vernon Hills, IN)에서 구입하였다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1. 오일과 메탄올 몰비의 영향

Filippis 등은 식물유의 전이에스테르화시 지방산 메틸에스테르 혼합물의 일정 농도범위 내에서 지방산 메틸에스테르와 글리세롤의 회합을 무시하여 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도를 Irving 식 (1)로 추산하였다[5].

$$\ln \eta_{mix} = \sum W_i \ln \eta_i \quad (1)$$

η_{mix} : viscosity(cp) of the mixture fatty acid methyl esters and tri-glyceride

W_i : weight fraction of fatty acid methyl esters and tri-glyceride

η_i : viscosity(cp) of fatty acid methyl esters and tri-glyceride

지방산 메틸에스테르와 트리 글리세리드의 점도는 이중결합 수와 작용기 기여를 고려하여 A_i, B_i 를 결정한 Orrick과 Erbar 모델로 추산하였다[6].

$$\ln[\eta/[(\rho_i MW_i)]] = A_i + B_i/T \quad (2)$$

ρ_i : density of fatty acid methyl esters and tri-glyceride

MW_i : molecular wight of fatty acid methyl esters

and tri-glyceride
T : absolute temperature

Nimcevic 등은 1wt% 알칼리 촉매를 사용하여 유채유의 전이 에스테르화를 수행한 최적 물비를 1:6으로 제시하였다[7]. Freedman 등은 60°C에서 0.5wt% 소듐 메톡시드 촉매를 사용하여 대두유, 해바라기유, 면실유의 전이 에스테르화를 수행하여 최적 물비 1:6에서 96 ~ 98%의 전화율을 얻었다[8]. 알칼리 촉매를 사용한 식물유의 전이 에스테르화의 한계 물비는 대체적으로 1:6으로 제시되고 있다.

Fig.2는 반응온도 60°C, 0.5wt% NaOH, 전단속도 1000s⁻¹ 일 때 카놀라유의 전이 에스테르화시 물비 변화에 따른 전단응력과 상대점도를 도시하였다. 반응온도 60°C에서 절대점도가 17.2cp인 카놀라유를 전이 에스테르화시킬 때, 유화제가 첨가 안 된 오일과 메탄올의 물비 1:3이면, 평형에 이르는 시간은 10분이고, 지방산 메틸에스테르 혼합물의 전단응력과 점도는 각각 8.8Pa, 8.8cp로 나타났다. 1vol% 유화제가 첨가된 오일과 메탄올의 물비가 1:5의 경우, 평형에 이르는 시간이 12분으로 지방산 메틸에스테르 혼합물의 전단응력과 점도는 각각 4.6Pa, 4.6cp로 나타났다.

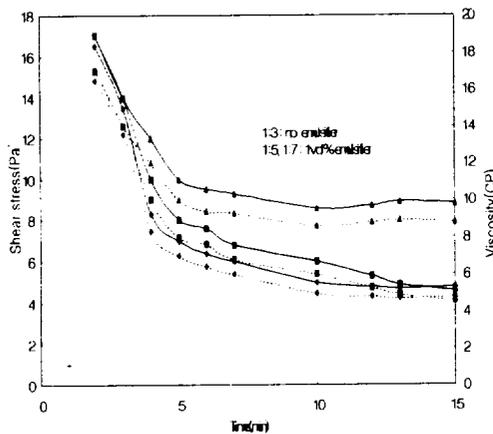


Fig.2. Comparison of shear stress and viscosity changes for different molar ratio of methanol to canola oil under 60°C, 0.5wt% NaOH, and 1000s⁻¹ shear rate (-◆-:shear 1:7, -■-:shear stress 1:5, -▲-:shear stress 1:3, ·◆·:viscosity 1:7, ·■·:viscosity 1:5, ·▲·:viscosity 1:3).

물비가 1:7로 증가해도 평형에 이르는 시간은 12분, 지방산 메틸에스테르 혼합물의 전단응력과 점도는 물비 1:5의 경우와 동일한 4.6Pa, 4.6cp로 나타났다. ASTM B100 바이오디젤 규격 D-6751에 따른 지방산 메틸에스테르의 점도는 40°C에서 0.6 ~ 5.3cp인데 비해, 반응종료 시 상 분리 후 상층부로부터 채취한 카놀라유의 지방산 메틸에스테르(882.6 kg/m³)의 점도는 40°C에서 5.9cp로 측정되어 ASTM 규정치보다 약간 상회하였다. 반응온도 60°C와 측정온도 40°C에서 지방산 메틸에스테르의 점도 차는 식 (1), (2)에 의해 합리적으로 추산되었다.

Fig. 3은 반응온도 60°C, 0.5wt% NaOH, 1vol% 유화제, 전단속도 1000s⁻¹ 일 때 카놀라유의 전이 에스테르화시 물비 변화에 따른 점도와 총괄수율을 도시하였다.

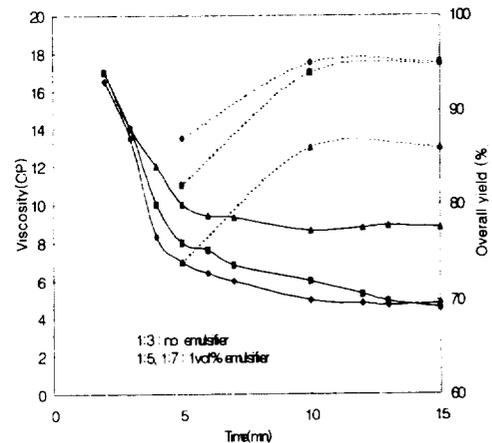


Fig.3. Comparison of viscosity and yield changes for different molar ratio methanol to canola oil under 60°C, 0.5wt% NaOH, 1vol% emulsifier and 1000s⁻¹ shear rate(-◆-:viscosity, -■-:viscosity 1:5, -▲-:viscosity 1:3, ·◆·:yield 1:7, ·■·:overall yield 1:5, ·▲·:overall yield 1:3).

반응시간이 10분경과 시 유화제가 첨가안된 물비가 1:3에서 총괄 수율은 82%이고, 1vol% 유화제가 첨가되고 물비가 1:5로 증가하면 평형이 우측으로 이동하고 오일과 메탄올의 혼합효과가 향상되어 지방산 메틸에스테르의 혼합물의 점도가 감소한 만큼 지방산 메틸에스테르의 총괄 수율은 94%로 증가하였다.

1vol% 유화제가 첨가된 오일과 메탄올의 물비가

1:7일 때는 메탄올은 오일표면에 경막 저항을 형성하여, 알칼리 촉매에 의해 생성되는 메톡시드 이온이 오일로 물질이동이 어려워진다. 따라서 메톡시드 이온과 지방산 글리세리드의 카르보닐기와의 활성화합물이 잘 형성되지 않고, 미반응 메탄올이 지방산 메틸에스테르의 일부를 지방산 글리세리드에 용해시켜 총괄 수율이 95%로 일정하였다. 따라서 최적 물비는 1:5로 판단되었다.

3.2. 촉매종류와 함량의 영향

3.2.1. 촉매종류의 영향

수분과 유리지방산 함량이 임계치를 훨씬 초과하는 폐식용유의 경우, 촉매작용을 하는 메톡시드 이온의 불활성화를 억제하기 위해 유리지방산을 산 촉매로 중화시켜야 한다. 산 촉매공정은 오일과 메탄올의 물비를 1:3 보다 아주 높게 유지해야 전화율이 증가하나, 메탄올 과잉주입으로 이의 분리 회수비용이 높다는 한계를 갖고 있다.

산·알칼리 촉매공정은 지방산 메틸에스테르 세척시 산·알칼리 폐수가 다량 방출은 문제점을 갖고 있다. 이를 해결하기 위해 Hajek는 고체촉매인 보론 카바이드(B₄C)를 사용하여 폐수방출을 억제하고 전화율을 높였다[10]. 1990년 중반부터는 화학적 전이에스테르화 공정을 미생물 효소를 이용하여, 폐수방출이 없는 환경친화적 공정으로 개조시키는 연구가 시작되었다.

오일의 수분과 유리지방산 함량이 임계치보다 낮으면 알칼리 촉매가 효과적이다. 이들 함량이 임계치보다 높으면, 유리지방산과 알칼리 금속의 비누화 반응으로 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도가 증가하여 지방산 메틸에스테르의 질이 떨어진다. 식물유의 전이에스테르화를 수행하는 알칼리 촉매로는 소듐 메톡시드, 소듐 에톡시드, 소듐 프로톡시드, 소듐 뷰톡시드, 소듐 히드록시드, 포타슘 히드록시드, 포타슘 메톡시드, 포타슘 알콕시드 등이 있다[3].

Fig.4는 반응온도 60°C, 0.5wt% 촉매, 1vol% 유화제, 물비 1:5, 전단속도 1000s⁻¹ 일 때 카놀라유의 전이에스테르화시 촉매 종류에 따른 점도와 총괄수율을 도시하였다.

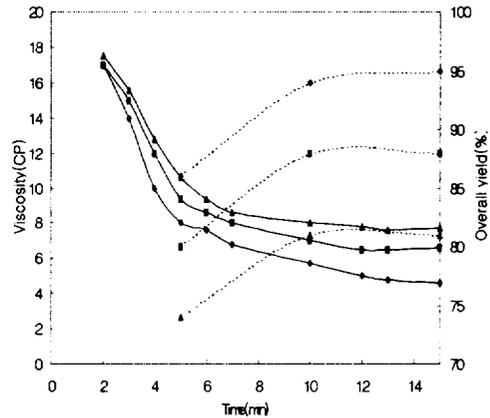


Fig. 4. Comparison of viscosity and overall yield changes for the kinds of alkaline catalyst under 60°C, 1:5 molar ratio, 0.5wt% catalyst, 1vol% emulsifier and 1000s⁻¹ shear rate (▲:NaOCH₃, ■:NaOH, ◆:KOH, ▲····:NaOCH₃, ■····:NaOH, ◆····:KOH).

반응시간 5분경과 후 소듐 메톡시드 촉매를 사용시 소듐·포타슘 히드록시드 촉매 보다 높은 83%를 보였는데, 소듐 메톡시드가 메탄올에 용해되면서 물이 생성되지 않아 비누화 반응이 억제됨으로써 전이에스테르화가 촉진되었기 때문이다.

반응시간이 10분 경과하면서 소듐 히드록시드 촉매는 메탄올 용해성이 포타슘 히드록시드 보다 양호하여 총괄 수율이 94%로 증가하였다. 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도는 4.6 ~ 6.0cp로 나타났다. 점도가 감소하면 전이에스테르화도가 증가하여 총괄수율이 증가하였다.

총괄수율만을 고려한 촉매성능은 소듐 메톡시드, 소듐 히드록시드, 포타슘 히드록시드 순서로 나타났다. 총괄수율, 촉매가격과 사용량을 고려하면, 수산화나트륨 촉매는 그 가격이 수산화칼륨 또는 소듐 메톡시드 보다 저렴하고, 그 소요량이 적어서 알칼리 폐수방출량이 적어서 식물유 전이에스테르화에 적합한 것으로 나타났다.

3.2.2. 촉매함량의 영향

메탄올에 용해하는 알칼리 촉매 양이 많을수록 메톡시드 이온 생성 양이 증가하여, 트리글리세리드

의 탄소원자 공격이 용이함으로써 전이에스테르가 촉진된다. 그러나 알칼리 히드록시드 촉매가 메탄올에 용해하는 양이 최적치 이상으로 증가하면 수분 생성 양과 알칼리 금속이 많아져 오일의 수분함유 임계치를 초과하고 비누화 반응이 진행되어 지방산 메틸에스테르의 총괄수율이 감소한다.

본 연구에서는 소듐 메톡시드가 소듐 히드록시드 보다 다소 높은 촉매성능을 보이니, 그 가격이 고가라서 두 가지 면을 고려하여 소듐 히드록시드 촉매를 선정하여 전이에스테르화를 수행하였다.

Fig.5는 반응온도 60℃, 1vol% 유화제, 물 비 1:5, 전단속도 1000s⁻¹ 일 때 카놀라유의 전이 에스테르화시 촉매 함량에 따른 점도와 총괄수율을 도시하였다.

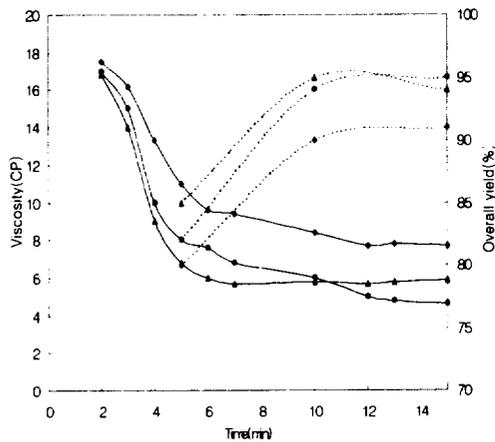


Fig.5. Comparison of viscosity changes overall yield for contents of NaOH under 60℃, 1:5 molar ratio and shear rate(-◆-:viscosity 0.3wt%, -■-:0.5wt%, -▲-:0.7wt%, ···◆···:overall yield 0.3wt%, ···■···:0.5wt%, ···▲···: 0.7wt%).

수산화나트륨 촉매 함량이 증가하면 메탄올로부터 메톡시드 이온이 용이하게 형성되어 전이 에스테르화 속도가 빨라져 총괄 수율이 증가하였다.

반응시간 10분에서 촉매함량이 0.7wt%일 때 총괄수율이 95%를 보였고, 10분이 지나면서 나트륨 금속 이온과 지방산 메틸에스테르나 지방산 글리세리드의 비누(RCOONa)화 반응이 진행되어 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도가 6.3cp로 커지면서 오히려 총괄수율이 감소하였다.

촉매함량이 0.5wt%일 때 반응시간이 10분경과 시도 비누화 반응이 일어나지 않아 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도는 4.6cp, 총괄수율은 95%로 나타났다. 따라서 수산화나트륨 촉매의 최적 함량은 0.5wt%로 나타났다.

3.3. 식물유 종류의 영향

식물유 전이 에스테르화는 온도와 식물유 종류 등이 총괄수율에 미치는 영향을 고찰하여 설정되는 데, 온도는 에너지 비용을 결정하는 주요 조업인자이다. 반응온도가 높으면 유지와 메탄올의 상호용해도가 증가하면서 반응물과 알칼리 촉매와의 혼합도가 높아진다. 조업시간을 단축하기 위해 반응온도는 60℃로 고정시켰다.

그리고 불포화 지방산 함량이 높은 식물유일수록 비가역 전이에스테르화가 빨리 평형에 도달하여 조업시간이 단축되기에 식물유 종류도 조업변수이다. 불포화 지방산 함량이 전이에스테르화 속도에 미치는 효과를 비교하기 위해 카놀라유, 콘유와 피넛유를 반응물로 선정하였다.

불포화 탄소결합의 이중결합수가 3·2·1개인 리놀레닌산·리놀레인산·올레인산 함량이 높을수록 식물유의 점성이 감소함으로써 전이에스테르화도가 증가한다.

카놀라유는 65%의 올레인산, 23%의 리놀레인산, 8%의 리놀레닌산을, 3%의 팔민산과 1%의 스테아린산을, 콘유는 26%의 올레인산, 61%의 리놀레인산, 0.48%의 리놀레닌산을, 피넛유는 49%의 올레인산, 32%의 리놀레인산, 0.93%의 리놀레닌산을 함유한다.

Fig.6은 반응온도 60℃, 1vol% 유화제, 0.5wt% NaOH, 물비 1:5, 전단속도 1000s⁻¹ 일 때 카놀라유의 전이에스테르화시 식물유 종류에 따른 점도와 총괄수율을 도시하였다.

반응시간이 10분경과 시 올레인산과 리놀레인산 함량이 가장 높은 카놀라유의 경우 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도가 가장 낮아서 총괄수율은 95%를 보였다. 올레인산과 리놀레인산 함량이 가장 낮은 피넛유의 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도가 가장 높아서 총괄수율은 91%를 보였다. 이 실험결과로부터

터 식물유의 전이 에스테르화 속도에 영향을 미치는 주요 조업인자는 식물유의 불포화 지방산 함량으로 판단되었다.

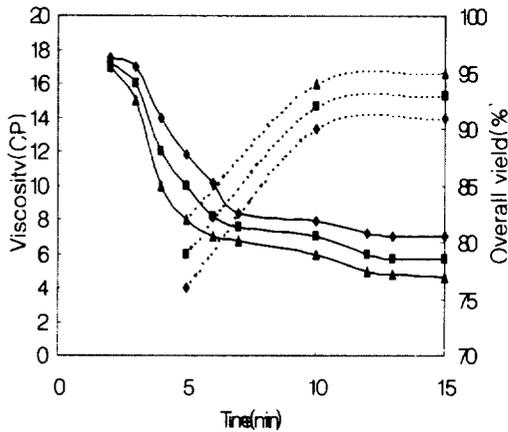


Fig.6. Comparison of viscosity and overall yield changes for different oil kinds under 60°C, 1:5 molar ratio 0.6%wt NaOH and 1000s⁻¹ shear rate (-▲-:canola oil, -■-:corn oil, -◆-:peanut oil, ···▲···:canola oil, ···■···:corn oil, ···◆···:peanut oil).

IV. 결 론

회전 점도계에서 유화제가 첨가된 식물유의 알칼리 촉매 전이 에스테르화의 최적조업 조건은 다음과 같이 제시되었다.

- 1) 반응온도가 60°C이고, 1vol% 유화제가 첨가될 때 오일과 메탄올의 최적몰비는 1:5, 최적촉매는 소듐 히드록시드이고 그 함량은 0.5wt%, 최적 식물유는 카놀라유로 나타났다.
- 2) 최적조업조건에서 측정된 지방산 메틸에스테르 혼합물의 점도(4.6cp)는 Orrick과 Erbar 모델로 잘 추산되었다.
- 3) 60°C, 1vol% 유화제 첨가, 0.5wt% 소듐 히드록시드, 1:5 몰비의 카놀라유의 전이 에스테르화시 점도가 4.6 ~ 8.5cp일 때 총괄수율은 82 ~ 95%로 나타났다.

참고문헌

- 1) A. Strivastiva and R. Prasad, 2000, "Tri-glyceride-based Diesel Fuels, Renewable and Sustainable Energy Review", Vol.4, pp.111~113.
- 2) H. Fukuda, A. Kinde, and H. Noda, 2001, "Biodiesel Fuel Production by Immobilization of Oils", J. of Bioscience & Biotechnology, Vol.92, pp.405~411.
- 3) F. Ma and M. A. Hanna, 1999, "Bio-diesel Production : A Review1", Bioresource Technology, Vol.70, pp.1~15.
- 4) David Y.Z. Chang, John H. Van Gerpen, and Stephen J. Marley, "Fuel Properties and Emission of Soybean Oil Ester as Diesel Fuel", JAOCS, Vol.73, No.11, pp.1549~1555.
- 5) De Filippis P., Giararini, C., Scarsella, M., and Sorrentino, M., "Transesterification Process for Vegetables Oils : A Simple Controlled Method of Methyl Ester Content", JAOCS, Vol.72, No. 11, pp.1139~1404.
- 6) Prausnitz Sherwood, "The properties of gases and liquids", 3rd, ed., Mc. Hill, pp.439~441.
- 7) D. Nimcevic, R. Putingman, and J. R. Gape, "Preparation of Rapeseed Oil Ester Lower Aliphatic Alcohol", JOACS, Vol.77, pp.275~281.
- 8) B. Freedman, E.H. Pryde, and T. L. Mounts, "Variables Affecting the Yield of Fatty Methyl Ester from Transesterified Vegetable Oil", JAOCS, Vol.61, pp.1638~1643.
- 9) H. Nouredini, D. Harkey, and V. Medikondure, "A Continous Process for Conversion of Vegetable Oils into Methyl Ester of Fatty Acid", JAOCS, Vol.75, No.12, pp.1775~1781.
- 10) M. Hajeck, 2002, "Microwave Catalysis in Organic Synthesis", Andre Loupy ed. Weinheim : Wiely VCH, pp.345~378.