

디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구 III (에스테르 연료, 연소특성해석)

A Study on Alternative Fuel as Fuel Substitutes in DI Diesel Engine III
(Esterified fuel, Analysis of rate of combustion using by Wiebe's functions)

오 영 택*, 정 규 조**, 村山 正***
Y . T . Oh , K . J . Cheong , T . Murayama

ABSTRACT

The paper shows a solution by giving vegetable oil a chemical treatment, i.e., transesterification of the rapeseed oil without any modification of the diesel engine for reducing carbon deposits, and to evaluate rate of combustion with vegetable oils, their esterified fuel and their blend fuels using a double Wiebe's function approximation in a naturally aspired D.I. diesel engine.

Since any oil will be as material for ester, if it is fatty acid, the sardine oil was considered.

In the experiment, engine performance, exhaust gas emissions, and combustion characteristics were measured and calculated for a number of fuels: rapeseed oil, palm oil, ester of rapeseed oil, and these fuels blended with ethanol or diesel fuel.

抄 錄

제 2 보 (2)에서는 식물유를 연료로 사용할 경우 문제점인 시동성, 내구성 및 카본생성을 억제하기 위하여 물리적인 방법으로 해결책을 모색하였다.

그러나, 본 연구는 기관자체는 전혀 변형시키지 않고, 점도저감을 위하여 화학적인 방법 즉, 식물유를 알콜과 반응시켜 에스테르변환을 하여 해결하려는 방법으로, 에스테르화한 연료를 사용하였을 때의 기관성능 및 카본 퇴적문제를 비교, 시험한 것이다. 또, 기름이 식물유와 같이 지방산으로 이루어져 있다면, 어느 기름도 에스테르 변환이 가능하기 때문에, 생선기름인 정어리기름의 에스테르연료도 사용하여 그 이용 가능성을 확실히 하였다.

또한, 각종 연료의 연소성에 관하여 보다 상세한 검토를 하기 위하여, 이들의 연소를 파형을 2개의 Wiebe의 연소함수의 조합으로 표현함과 동시에 연소율 파형을 구성하는 각 변수를 해석함으로써, 기관성능치와 연소성과의 정량적인 관계에 대해서도 조사한 것이다.

* 정회원, 전북대학교 공과대학 기계공학과
** 군산수산전문대학 기관과
*** 日本 北海道大學

1. 서 론

제 1보¹⁾에서는 바이오메스 연료의 일종인 식물유(유채유, 팜유)가 디젤기관의 연료로서의 여러가지 성질을 조사하고, 실제 디젤기관의 연료로 사용했을 경우 기관의 출력성능 및 배기가스농도에 대하여 검토하여 보았다. 그 결과, 식물유가 경유에 비교해서 우수한 기관성능을 가지고 있음에도 불구하고, 식물유 특유의 높은 점도와 낮은 기화성 때문에 기관을 장시간 운전할 수 없는 문제가 있어, 점도를 저감시키기 위하여 원래 점도가 낮은 다른 연료와 혼합함으로써 점도의 저감을 시도하였으며, 그들의 연료를 사용할 경우 기관성능 또는 배기가스농도 등을 조사함으로써 디젤기관의 연료로서 적합성을 확실히 하였다.

또, 제 2보²⁾에서는 식물유를 연료로 사용할 경우 문제점인 시동성, 내구성 및 카본의 생성을 억제하기 위하여 물리적인 방법으로 해결책을 모색하였다.

본보에서는 기관자체는 전혀 변형시키지 않고 점도 저감을 위하여 화학적인 방법 즉, 식물유를 에스테르 변환하여 해결하는 방법과 각종 연료의 연소성에 관하여 보다 상세한 검토를 하기 위하여, 이들의 연소를 파형을 Wiebe의 연소함수에 의해 표현함과 동시에 연소율 파형을 구성하는 각 변수를 해석함으로써, 기관성능치와 연소성과의 정량적인 관계에 대해서도 해석하고자 한다.

2. 연소를 근사를 위한 이론적 배경

종래, 연소율 곡선을 표현하기 위하여 많은 근사방법이 행하여져 왔지만,^{3~7)} 그 중에서도 Wiebe의 연소함수를 이용하는 방법은 복잡한 연소과정을 정확하게 표현할 수 있다는 점에서 우수한 것으로 생각되어진다.

본 연구에서는 小搦⁶⁾ 등의 방법을 이용하여, 연소율을 구성하는 에혼합과 확산의 각각의 연소부분에 대하여, Wiebe의 연소함수를 따로따로 적용시켜 연소율을 보다 정확하게 표현할 수 있도록 시도하였다. 이때,

Wiebe의 연소함수는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

즉,

$$X = 1 - \exp[-6.9(t/t_z)^{M+1}] \quad (1)$$

단, X : 연료가 연소한 비율

t : 연소가 시작되어 경과한 시간

t_z : 연소시간

M : 연소 특정치

여기서, 연소율을 근사하기 위하여 (1)식을 다음과 같이 변형한다.

즉,

$$\int_0^{\theta} (dQ/d\theta) d\theta = Q_{\text{total}} [1 - \exp\{-6.9(\theta/\theta_z)^{M+1}\}] \quad (2)$$

단, Q_{total} : 연소량

θ_z : 크랭크 각도로 표시한 연소시간

θ : 크랭크 각도로 표시한 연소경과 시간

따라서, 에혼합 및 확산의 각 연소부분으로부터 구성되는 연소율은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} dQ/d\theta &= d/d\theta [Q_{\text{total}} \{1 - \exp(-6.9(\theta/\theta_z)^{M+1})\}] \\ &= 6.9(Q_{\text{total}}/\theta_z)(M+1)(\theta/\theta_z)^M \exp(-6.9(\theta/\theta_z)^{M+1}) \end{aligned} \quad (3)$$

즉, 최종적으로 1사이클의 연소율 $dQ/d\theta$ 는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} dQ/d\theta &= 6.9(Q_p/\theta_p)(M_p+1)(\theta/\theta_p)^{M_p} \exp(-6.9(\theta/\theta_p)^{M_p+1}) \\ &\quad + 6.9(Q_d/\theta_d)(M_d+1)(\theta/\theta_d)^{M_d} \exp(-6.9(\theta/\theta_d)^{M_d+1}) \end{aligned} \quad (4)$$

또, (4)식을 이용하여 연소율을 근사한 경우의 모식도를 Fig.1에 표시하였다.

이 경우 p 와 d 는 에혼합과 확산의 각 연소부분을 표시하는 점자이고, Q 는 연소량, 첨자가 붙은 θ 는 연소시간, 그리고 M 은 연소특성치를 각각 표시한다. 이들의 변수들 중에서 특히 M_p 와 M_d 는 연소율의 형태를 결정하는 특성치로, 이 값에 따라서 Fig.2에 표시한 바와

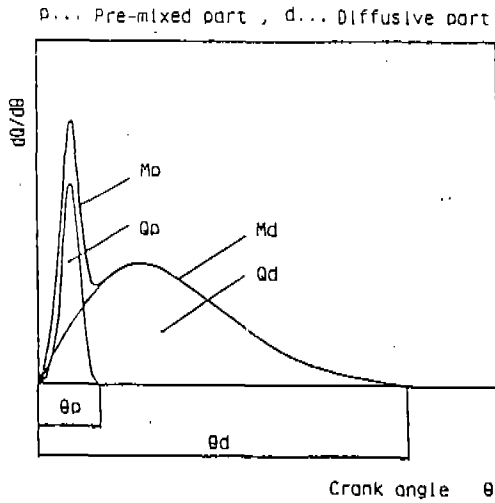


Fig.1 Description of Rate of Combustion in an Engine by Two Combined Wiebe's Combustion Functions

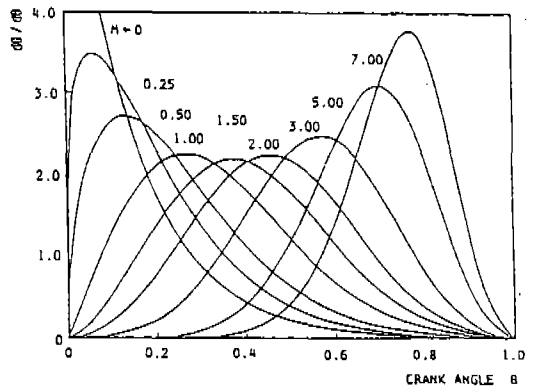


Fig.2 Description of Rate of Combustion for Various Combustion Property M.

같이 여러가지로 연소율 곡선의 형상이 변화한다. 즉, 그림에서 연소기간을 가령 1로 하였다 고 할 때, $M=2$ 의 경우의 연소율 곡선의 피크는 연소기간의 거의 중앙에 위치하며, M 이 2이하의 경우에는 M 이 감소함에 따라 연소율의 피크는 전진하는 한편, M 이 2이상의 경우에는 연소율의 피크는 곡선의 후반으로 이

동하여 부드럽고 또한 빠른 연소가 실현되는 것으로 된다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치 및 방법

실험에 사용한 기관은 횡형, 수냉식, 단기통, 4사이클, 직접분사식 디젤기관으로, 실린더 직경 105mm, 행정 125mm, 행정체적 1,082 cm^3 , 압축비 17.5이며, 정격출력은 16 kW/

Table 1. Specification of Fuels

Specification	Diesel Fuel	Rapeseed Oil	Methylester of Rapessed Oil	Methanol	Ethanol
Flash Point ($^{\circ}\text{C}$)	90~120 ⁽¹⁰⁾	320~330 ⁽¹⁰⁾	—	-1~32	13
Net Calorific Value (kJ/kg)	43.126	36.887	37,055	19.680	20.880
Stoichiometric Air-Fuel Ratio	14.37	12.53	12.48	6.438	8.956
Cloud Point ($^{\circ}\text{C}$)	-4.0	5.0	-4.0	—	—
Specific Gravity (15 $^{\circ}\text{C}$)	0.82	0.921	0.885	0.790	0.795
Carbon	87.5	78.2	77.06	37.50	52.20
Hydrogen	12.5	11.71	11.91	12.50	13.10
Oxygen	0.0	10.09	11.03	50.00	34.70
Sulfur	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kinematic Viscosity (15 $^{\circ}\text{C}$, cSt)	4.8	51.7	6.37	—	—
Average Molecular Weight (g/mol)	226.0	951.4	290.1	32.0	46.0
Cetane Number	56.0	39~50	—	3.0	8.0

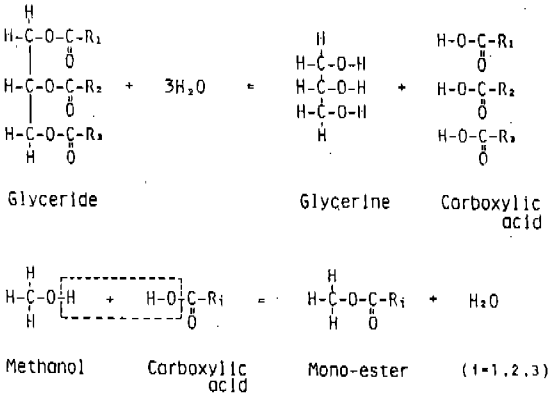
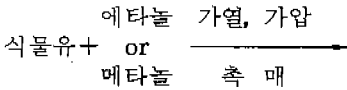


Fig. 4 Transesterification Process

이다. 즉,



고급지방산알콜 에스테르 + 그리세린

Fig. 4에 에스테르변환의 반응과정을 표시하였다. 그러나, 이같은 방법은 반응에 장시간의 가열 환류 또는 가압이 필요하기 때문에 공업적으로는 대단히 불리하며, 또 촉매로 사용되는 약제가 대단히 고가이며, 그 취급 또한 곤란한 결점이 있다. 그래서, 본 연구에서는 대기압상태에서, 더우기 65°C 이하의 온도에서 지방산의 알콜 에스테르변환을 효율 좋게 제조하는 방법을 찾아내었다.^{15, 16)} 즉, 유지 또는 그리세린 에스테르와 알콜과를 유기용매에 용해 또는 혼합시켜 알콜 촉매하에서 6~65°C의 온도에서 반응시킨 것으로, 이 반응은 실온 부근의 온도에서 그것도 급속도로 얻을 수 있는 장점이 있다. 또, 실온에서 반응을 시키므로 지방산의 변질이 방지되며, 유지에 따라서는 전혀 정제할 필요가 없으므로, 공업적으로 대단히 우수한 방법의 하나로 생각된다.

이 방법에서, 촉매로서는 수산화나트륨(NaOH), 수산화칼륨(KOH) 등의 가성알칼리를 사용하였으며, 그 사용량은 원료유지 1kg에 대하여 0.01~0.5kg의 비율이다. 유기용매로서는 핵산, 벤젠, 토르엔 등의 탄화수소용매외에 에테르, 아세톤 등이 사용되며, 바람직한 용매

는 비점이 34~130°C 정도로 사용량은 원료유지 100에 대해서 100~300이 최적의 상태이며, 에스테르를 단시간내에 많은 량을 얻기 위해서는 유기용매에 대하여 적당량의 물을 첨가할 필요가 있다.

다음은, 이 방법을 이용하여 본 실험에 사용했던 유체유의 에스테르 변환과정에 대하여 간단히 기술하였다.

(1) 유체유 0.5kg을 유기용매인 핵산 1ℓ에 용해시켜, 이것에 10%의 물을 포함한 0.5N 가성카리 메타놀용액 0.5ℓ를 넣고 40°C의 분위기에서 5분간 교반시켜 에스테르변환을 시킨다. 반응시간 및 온도는 에스테르화율에 대하여 중요한 인자이며, 이같은 값보다 증감하며는 에스테르화율은 저하함을 확인하였다.

(2) 반응용액을 분리기에 옮겨, 5분정도 방치해 두면 에스테르화된 것을 포함한 핵산용액(상층)과 메타놀, 가성카리, 크리세린 등을 포함한 용액(하층)의 2층으로 분리되었을 때 하층을 제거한다.

(3) 물을 첨가해서 상층에 녹아 있는 메타놀을 물에 용해시켜 분리해 낸다.

(4) 남은 핵산용액을 정유시켜 핵산과 에스테르화된 것을 분리시킨다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 에스테르화한 연료의 물성 및 분무특성

실험에 앞서 에스테르변환에 의한 동점도의 변화에 대하여 조사하여, 그 결과를 Fig. 5에 표시하였다. 그림에서와 같이, 유체유를 에스테르변환시키므로 거의 경유점도의 점도까지 저하시킬 수 있어, 양호한 분무와 연소를 기대할 수 있다.

또, 에스테르변환에 따른 연료 분사율의 변화에 대해서 조사하여 보았으나, 그 차이는 거의 없었으며, 그 결과를 Fig. 6에 표시하였다.

다음에, 유체유를 에스테르 변환시켰을 경우의 분무입자의 크기의 변화에 대하여 조사하여, 그 결과를 Fig. 7에 표시하였다. 또, Fig. 8은 Fig. 7의 결과를 정량적으로 표시한

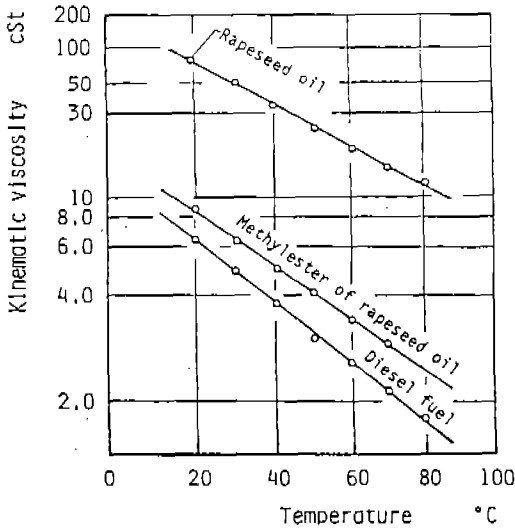


Fig. 5 Relationship between Kinematic Viscosity and Fuel Temperature for Esterified Fuel

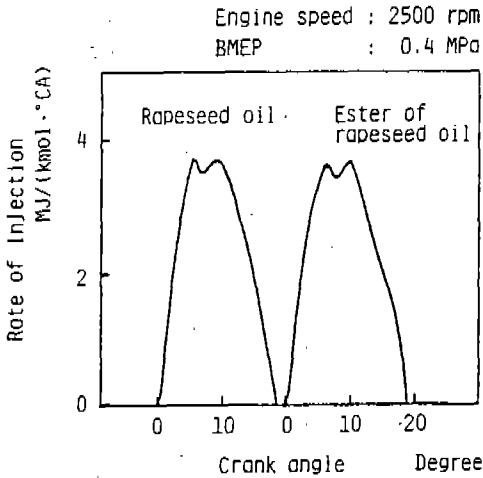


Fig. 6 Shapes of Rate of Injection for Esterified Fuel

분무입자의 빈도분포를 나타낸 것으로, 비교하기 위하여 경유와 유채유의 것도 병기하였다. 두 그림으로부터, 유채유를 에스테르변환시킴으로써 분무입경은 경유 정도로 작게 되었으며, 또한 그 때의 입자의 크기에서 빈도분포도 증가하고 있어, 앞에서 언급한 점도특성과 일치하고 있다. 이상의 결과로부터, 분무입경은 연료의 점도에 크게 좌우됨을 확실히 하였다.

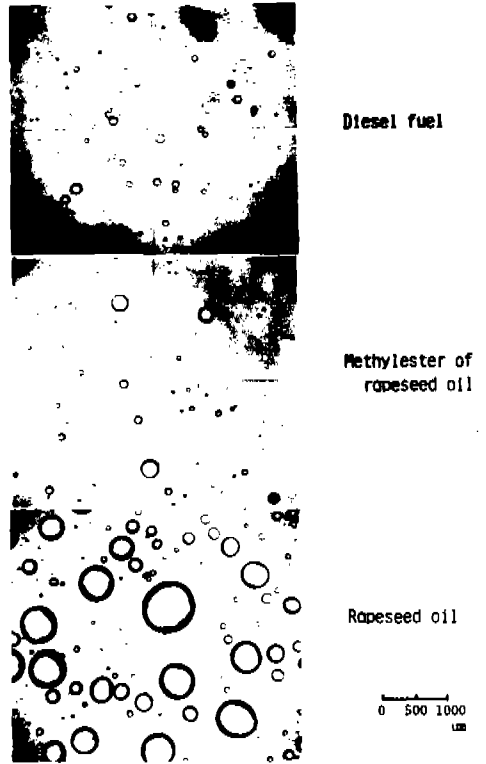


Fig. 7 Droplet Size of Various Fuels

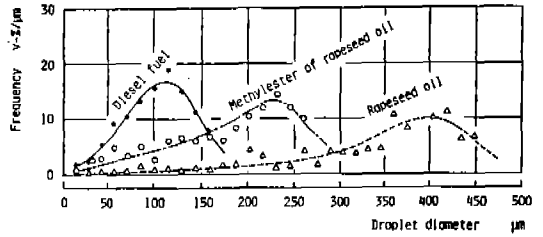


Fig. 8 Droplet Diameter Distribution Curves for Different Fuels

4.2 에스테르화 연료에 의한 기관성능 및 연소특성의 비교

Fig. 9은 분사시기를 연소비율 최량점에 고정하여, 부하를 변화시켰을 경우의 기관성능을 유채유를 기준으로 하여 표시한 것이다. 이 때, 양연료의 온도는 56°C이다.

그림으로부터, 유채유에 비하여 유채유를 에스테르변환시켰을 경우에는 착화지연기간이 약

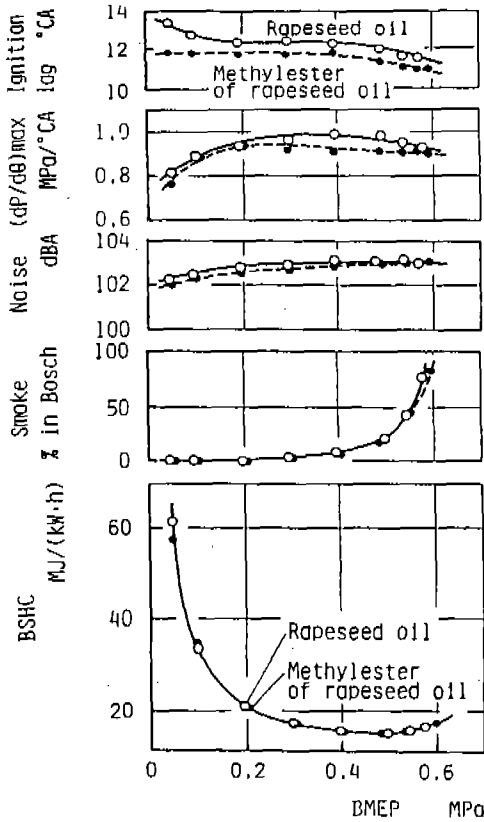


Fig.9 Engine Performance for Rapeseed Oil and Esterified Fuel of Rapeseed Oil

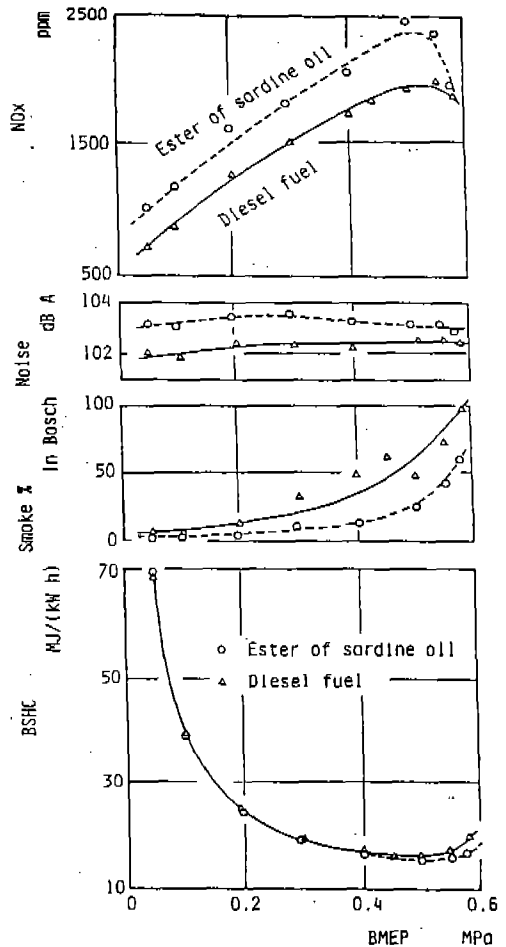


Fig.10 Engine Performance for Esterified Fuel of Sardine Oil and Diesel Fuel

간 단축되고, 또 배기매연농도가 고부하지역에서 약간 저감하는 경향을 보이나, 이는 에스테르변환에 따라 연료의 세탄가와 기화성이 향상하였기 때문으로 생각된다. 또한, 에스테르화함에 따라 연소특성의 큰 변화는 없으나 연료의 물성치가 변화하여 착화지연기간이 단축되어 예혼합 연소량 Q_p 가 감소함에 따라 최대압력 상승율의 저하로 기관소음은 약간 저하하며, 전 연소기간 θ_d 가 단축되어 배기매연농도가 고부하영역에서 저하함과 동시에 최대 출력도 약간 증가한 것으로 생각된다.

한편, 4.1에서 언급한 바와 같이, 에스테르 변환을 함으로써 동점도의 저감, 운점(cloud point)의 저하 또는 세탄가와 기화성의 향상 등 연료물성치가 개선되었지만, 최대의 장점은 기관을 장시간 운전하여도 피스톤 링의 고착상태(stick)나 탄소퇴적물(carbon deposit)

등의 문제가 전혀 발생하지 않는 것이다. 이상의 결과로부터도 식물유로 장시간 운전하였을 때에 생기는 탄소퇴적물이나 피스톤 링의 고착 등의 문제는 높은 점도에 의한 분무입자의 크기가 현저히 증가 또는 입경의 증가에 따른 기화성의 악화에 의한 것이라 생각할 수 있다.

다음에, 식물유를 에스테르화한 연료만이 아니고 일반의 유지도 에스테르변환에 의해 디젤엔진의 연료로서 이용할 수 있다는 것을 확실히 하기 위하여 어유(정어리유)의 에스테르를 이용하여 기관을 운전하여 보았다. Fig.10은 정어리유의 메칠 에스테르에 의한 기관성

능 및 배기배출물을 경유와 비교하여 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 정어리유를 에스테르화한 연료는 경유에 비교하여 전 범위에서 NOx 농도와 기관소음이 약간 증가하고는 있지만, 현저하게 매연농도를 저감시킬 수 있다. 또, 고부하지역에서 연소비율도 상당히 개선되어질 뿐아니라 식물유를 이용할 때에 문제가 되었던 탄소퇴적물이나 피스톤 링의 고착 등의 문제도 식물유를 에스테르화한 경우와 같이 거의 문제가 되지 않는다. 단, 정어리기름은 특유한 냄새 때문에 이를 제거하는 특별한 방법을 모색하지 않는 한 어선 등에 사용하는 것 이외에 일반적인 사용은 곤란할 것으로 생각된다.

지금까지 언급한 바와 같이 어떠한 유지도에 에스테르변환을 한 연료는 경유와 비교해 볼

때 열소비율과 배기매연농도 등이 개선되었을 뿐만 아니라, 탄소퇴적물이나 피스톤 링이 고착하는 현상은 거의 나타나지 않으며, 디젤기관의 대체연료로서 우수한 연소특성을 가지고 있음이 확실하여져, 디젤기관의 대체연료로서 충분한 가능성을 입증하였다.

4.3 근사정도

앞에서 언급한 방법으로 식물유, 그들의 에스테르연료 또는 혼합연료를 사용한 경우에 연소특성에 대해서 조사하였다.

Fig. 11은 (4)식을 이용하여 연소율곡선을 근사화한 일례로서, 3가지의 분사시기에 대하여 근사상태를 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 연소의 중반에서 후반까지 즉, 확산연소가 지배적인 부분에서는 분사시기가 특히 빠른 경우에는, 곡선 근사의 정도가 약간 저하하지만, 예혼합 연소부분에서는 분사시기에 관계없이 만족할 만한 정도가 얻어졌으며, 전체적으로 판단할 때도 대개 양호한 근사가 얻어진 것으로 생각되어진다.

이상과 같이, 연소를 곡선을 Wiebe의 연소함수로 근사화함으로써, 연소함수를 구성하는 6개의 변수 즉, 예혼합·확산연소량, 연소기간 및 연소 특성치로 연소를 곡선을 표현할 수 있다. 또, 6개의 변수중에서 예혼합연소기간 θ_p , 예혼합 및 확산의 연소 특성치 M_p 와 M_d 는 어느 것도 거의 일정하며, 직접분사식 디젤기관의 경우에는 $\theta_p \approx 7.0^\circ\text{CA}$, $M_p \approx 3.0$ 및 $M_d \approx 0.6$ 정도로, 이들은 연료의 종류 및 운전조건을 변화시켜도 거의 변화하지 않음을 확인하였다.

따라서, 지금부터는 이것 이외의 변수 즉, 예혼합 및 확산연소량 Q_p 및 Q_d , 또 확산연소기간 θ_d 를 사용하여, 기관 성능치와의 사이에 상호관계를 비교한 결과에 대해서 설명하기로 한다.

4.4 연소함수를 구성하는 변수와 기관 성능치와의 상호관계

우선, 연료의 종류 및 기관운전 조건을 광범위하게 변화시켰을 때, 기관소음 및 배기매

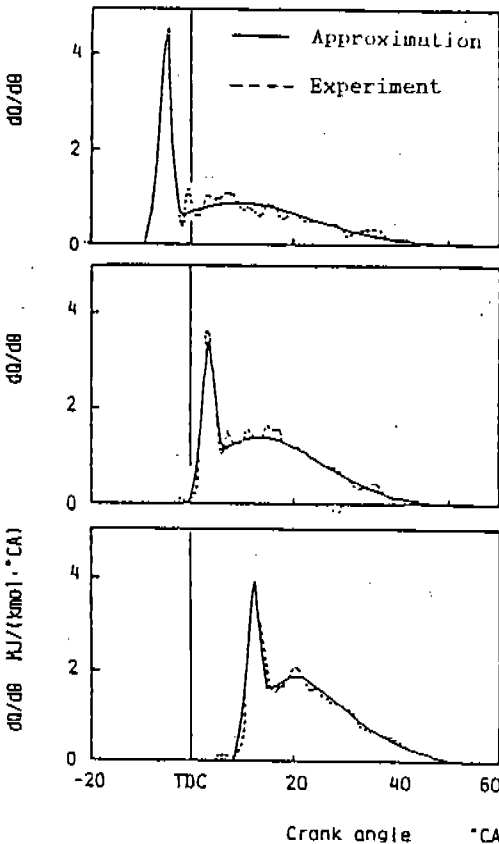


Fig.11 Examples of the Description of Rates of Combustion Using the Double Wiebe's Function Expression

연농도와 각 변수와의 관계에 대하여 조사하여 보았다.

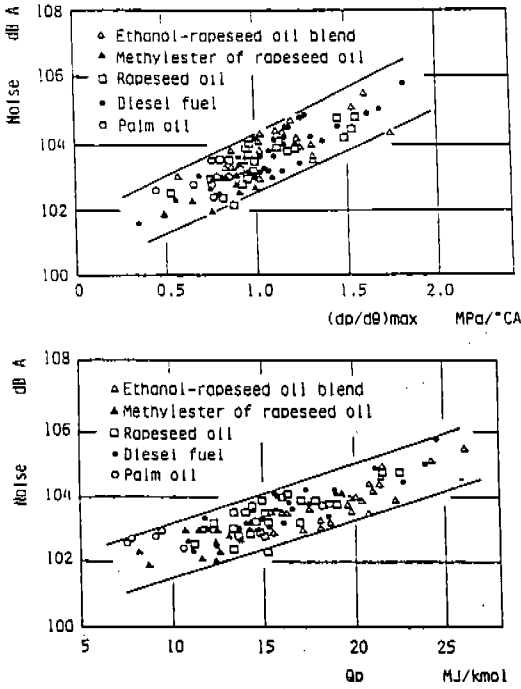


Fig.12 Relationship between the Maximum Rate of Pressure Rise, $(dp/d\theta)_{max}$, and Engine Noise for Different Fuels

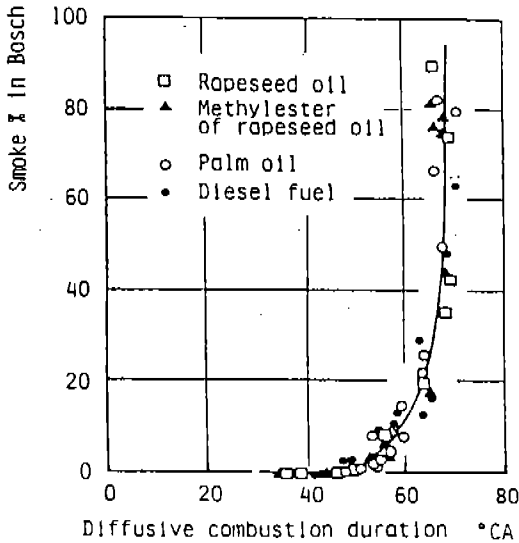


Fig.13 Relationship between Combustion Duration θ_d and Smoke Density for Different Fuels

일반적으로, 기관소음은 최대압력상승을 또는 연소최고압력 등에 크게 의존하고 있는 것으로 알고 있다. 그래서, 이것들에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 생각되는 예혼합연소량과 기관소음과의 관계, 또 최대압력상승율과 기관소음과의 관계에 대하여 조사하여 그 결과를 Fig.12에 표시하였다.

그림에서 확실히 알 수 있는 바와 같이, 기관소음과 예혼합연소량 Q_d 또 최대압력상승율과의 사이에는 연료의 종류에 관계없이 "양"의 직선적인 관계가 있다. 즉, 식물유를 연료로 사용한 경우에도 기관소음은 예혼합연소량 또는 최대압력상승율에 의해 좌우된다고 할 수 있다.

일반적으로, 배기매연농도는 연료가 확산연소할 때의 연소특성에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있으나, 지금까지의 실험결과로부터 추측해 볼 때 연소특성 중에서도 특히 연소기간에 주목하여 검토하여 보았다.

Fig.13는 배기매연농도와 확산연소기간 즉 전연소기간과의 관계에 대하여 조사한 결과이다. 그림에서와 같이, 연료의 종류에 관계없이 배기매연농도와 전연소기간 θ_d 와의 사이에는 일의적인 관계가 명확히 존재하여, θ_d 가 증가하면 배기매연농도는 지수함수적으로 증가함이 확실하다. 특히, 연소기간이 60°CA 이상으로 되면 배기매연농도는 급격히 증대한다. 즉, 직접분사식 디젤기관의 경우 연료의 종류에 관계없이 배기매연농도는 연소기간에 의해 대개 결정된다고 할 수 있어 매연농도를 감소시키기 위해서는 연소기간을 60°CA 이내로

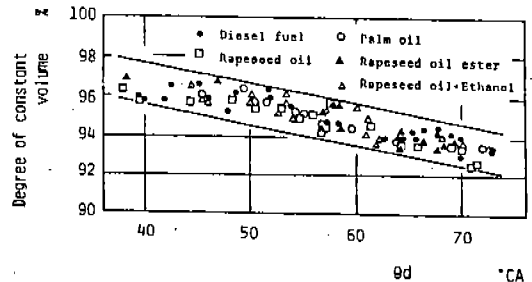


Fig.14 Relationship of Degree of Constant Volume Combustion to the Duration of Diffusive Combustion Parameter θ_d

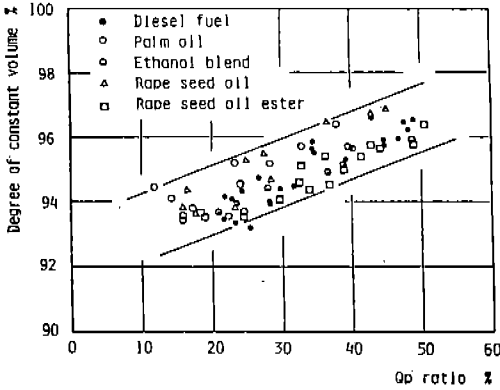


Fig.15 Relationship of Degree of Constant Volume Combustion to the Rate of Premixed Combustion Q_p ratio

제한하여야만 될을 알 수 있다.

다음은, 연소기간 또는 예혼합연소량의 비율 Q_p ratio와 발열의 등용도와와의 관계에 대하여 조사하여 보았다. 여기서, Q_p ratio는 전 발열량에 대한 예혼합연소량의 비율을 의미한다. 이들의 결과를 Fig.14 및 Fig.15에 각각 표시한다. 이들 두 그림으로부터 연료의 종류에는 관계없이 전연소기간 θ_d 가 단축될수록 또 예혼합연소비를 Q_p ratio가 증가할수록 발열의 등용도는 증가함을 알 수 있다. 따라서, 전연소기간을 단축할수록 배기매연농도는 저감하고, 또 발열의 등용도는 증가하므로, 기관성능을 개선하기 위해서는 연소소음을 약화시키지 않는 범위에서 연소기간을 가능하면 짧게 하는 것이 바람직하다.

이상과 같이, 예혼합연소량 Q_p , 또는 최대 압력상승율과 기관소음, 전연소기간 θ_d 와 매연농도 및 전연소기간 θ_d , 또는 예혼합연소비를 Q_p ratio와 발열의 등용도 등의 사이에는 비교적 명확한 상관관계가 존재함을 알 수 있어, 연소율은 예혼합연소량 Q_p , 확산연소량 Q_d 및 전연소기간 θ_d 의 3개의 변수에 의해 대개 표현할 수 있었다.

여기서, 이들 변수들간의 관계를 보다 상세하게 해석함으로써, 각 변수의 특성을 분명히 함과 동시에 연소율 형상에 대한 간단한 예측법에 대하여 검토하였다.

3개의 변수 중에 Q_p 는 전연소량 Q_T 로부터

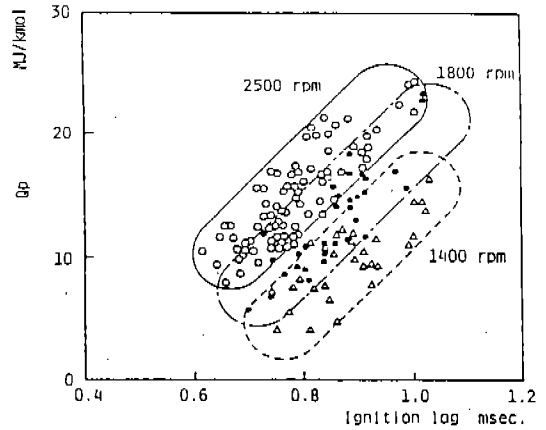


Fig.16 Relationship between the Amount of Premixed Combustion Parameter, Q_p and Ignition Lag

Q_d 을 빼 것이므로 연소율 곡선은 결국 Q_d 와 θ_d 의 2개의 변수로 표현할 수 있다.

우선, 예혼합연소량 Q_p 는, 그것과 착화전의 연료분사량과의 관계로부터 예혼합연소량은 착화지연기간과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

Fig.16은 착화지연기간과 Q_p 와의 관계를 나타낸 것이다. 여기서, 착화지연기간의 단위로는 기관회전속도의 영향을 무시하기 위하여 시간(msec)을 사용했다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이, 예혼합연소량 Q_p 는 각각의 기관회전속도에서 기관의 운전조건 및 연료를 변화시켜도 착화지연기간과의 사이에는 어느정도 “양”의 직선적인 관계가 존재한다. 또, 기관속도가 증가하면 착화지연기간이 동일하다 하더라도 Q_p 는 크게됨을 알 수 있는데, 이는 기관회전속도가 증가함에 따라서 기관연소실의 온도가 상승하여 난류가 증대하기 때문에 착화지연기간 중에 예혼합기 생성이 촉진되어진 것으로 생각된다.

Fig.17는 예혼합연소량 Q_p 와 착화전 분사열량 Q_I 를 모식적으로 표시한 것으로, 착화기간중에 분사되어진 열량 Q_I 는 전부 예혼합연소가스로 되어, 그것이 예혼합열발생량 Q_p 로 변환되는 것으로 가정한 것이다.

따라서, 분사율 $B(\theta)$ 로 표시한다면 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

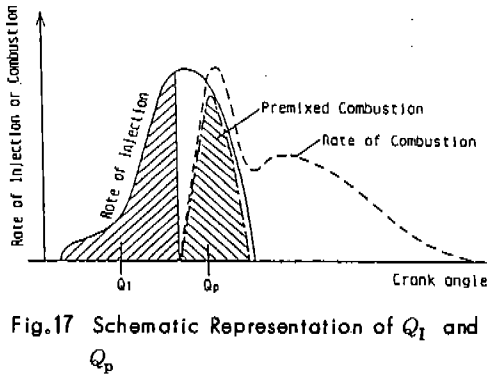


Fig.17 Schematic Representation of Q_I and Q_p

$$\int_0^{\tau_{in}} B(\theta) d\theta = Q_p \quad (5)$$

$$\tau_{in} = \tau \quad (6)$$

단, τ_{in} : Q_p 와 같은 열량을 분사하는 기간
 τ : 착화지연기간

Fig.18는 착화지연기간 τ 와 분사율로부터 구한 τ_{in} 과의 사이의 관계를 표시한 것으로, τ_{in} 과 τ 사이에는 거의 1:1로 대응하고 있음을 알 수 있다.

Fig.19에 착화지연기간 중의 분사열량 Q_I 와 예혼합연소량 Q_p 와의 관계를 표시하였다.

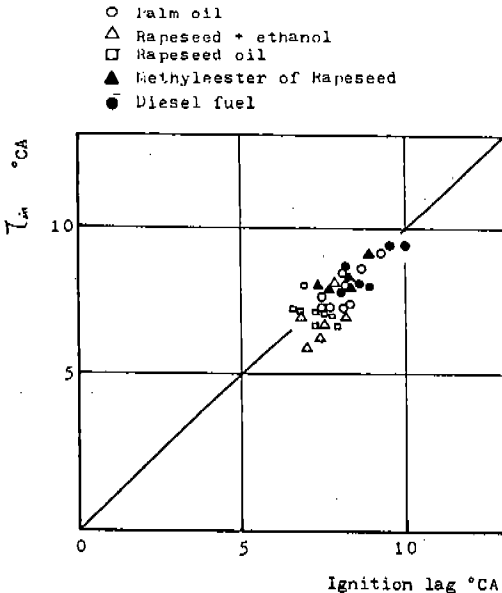


Fig.18 Relationship between τ_{in} to Ignition Lag τ

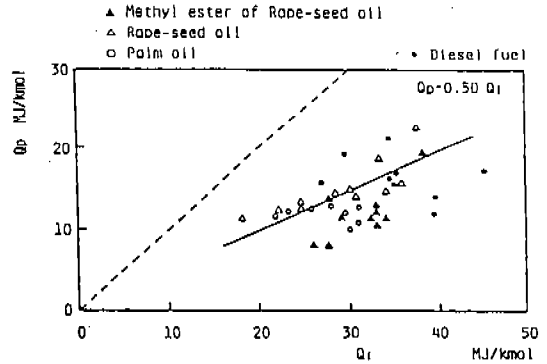


Fig.19 Relationship between the Amount of Premixed Combustion Parameter, Q_p and the Amount of Fuel Injected During Ignition Lag, Q_I

그림에서 Q_I 와 Q_p 의 사이에는 어느정도 변동은 있으나, Q_I 의 증가에 따라 Q_p 가 직선적으로 증가함을, 또 예혼합연소량은 분사열량에 대하여 전반적으로 작은 값을 나타내고 있음을 알 수 있는데, 이는 분사되어진 열량의 일부가 중발, 활성화되어 예혼합열발생이 되기 때문이다. 데이터의 변동은 착화전에 분사된 연료의 일부만이 예혼합연소함으로, 분무속으로의 공기의 도입, 또는 연소실내 가스의 유동 등이 영향을 미쳐 커졌던 것으로 생각된다. 여기서, 전 자료를 최소자승법에 따라 직

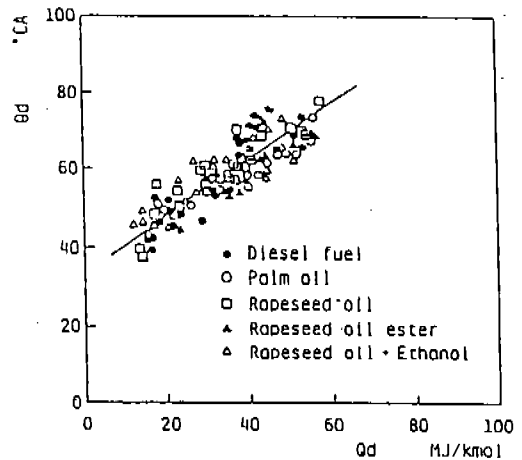


Fig.20 Relationship between the Diffusive Combustion Duration Parameter, θ_d , and the Amount of Diffusive Combustion Parameter, Q_d

선근사를 하면 대개 다음과 같이 표시할 수 있다. 즉,

$$Q_p = 0.50 \times Q_1 \quad (\text{MJ/Kmol}) \quad (7)$$

이상의 결과로부터, 연료의 분사율 및 착화 지연기간으로부터 Q_1 을 결정할 수 있다면, 예혼합연소량 Q_p 를 구할 수 있다.

다음은, 확산연소량 Q_d 와 연소기간 θ_d 와 관계를 조사하여, 그 결과를 Fig.20에 표시하였다.

그림에서도 명백한 바와 같이, Q_d 의 증가에 따라서 θ_d 는 직선적으로 증가하며, 이들 사이의 관계는 연료의 종류에 관계없이 성립함을 알 수 있다. 즉, θ_d 와 Q_d 와의 관계를 실험적으로 표현한다면 다음과 같다.

즉,

$$\theta_d = 0.81 Q_d + 35.5^\circ\text{CA} \quad (8)$$

따라서, 앞에서 언급한 바와 같이 Q_1 로부터 Q_p 가 구하여지므로, 전 분사량을 안다면, Q_d 가 결정되어 (8)식에 의해 θ_d 가 구해진다. 즉, 분사율, 착화지연기간 및 전분사량을 알 수 있다면, 연소율의 형상을 거의 알 수 있다.

최종적으로, 식물유를 연료로 한 경우의 기관성능은 연소율을 구성하는 각 변수들에 의해 어느 정도 평가할 수 있었으며, 그 때 연소율형상은 착화전의 분사열량과 전분사연료에 의해 대개 결정할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 어떤 유지(油脂)도 에스테르변환에 의해 운점(cloud point), 동점도, 기화성 및 세탄가 등이 개선되지만, 기관성능은 에스테르 변환전의 유지의 경우와 거의 동일하다. 그러나, 탄소퇴적물이나 피스톤 링의 고착 등이 개선되는 점이 가장 큰 장점이다.

(2) 에스테르 변환한 식물유의 분무입경은 동점도의 저하에 따라 현저하게 미세화되며, 또 그 때의 빈도분포도 증가한다.

(3) 연소율곡선은 2개로 조합된 Wiebe의 연소함수로서 근사화할 수 있었으며, 연소함수를 구성하는 6개의 변수 즉 예혼합 확산연소량, 연소기간 및 연소특성치로 나타낼 수 있었다. 이때, $\theta_p \approx 7.0^\circ\text{CA}$, $M_p \approx 3.0$ 및 $M_d \approx 0.6$ 정도로 거의 일정함을 알았다.

(4) 연소율 형상을 결정짓는 간단한 예측법에 따라, 어느 연료에 있어서도 예혼합연소량은 착화전의 분사열량에 의해 또, 연소기간은 전연소량과 예혼합연소량과에 의해 대개 결정할 수 있다.

(5) 식물유를 디젤연료로 사용할 경우, 기관소음은 예혼합연소량과 최대압력상승율에 의해, 또 배기매연농도는 전연소기간에 의해 각각 지배됨이 명백하여졌다.

(6) 연료의 종류에 관계없이 발열의 등용도는 전연소기간을 단축할수록, 또 예혼합연소량의 비율이 증가할수록 상승한다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 1987~1988년도 연구비에 의해 수행한 것으로, 관계제위께 감사할 드립니다.

참 고 문 헌

1. 吳永澤, 丁奎祚, 村山 正, "디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구 I" (기본성능), 한국자동차공학회지, 10권 5호, p.61, 1988.
2. 吳永澤, 丁奎祚, 村山 正, "디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구 II" (시동성 및 문제점), 한국자동차공학회지, 10권 6호, p.48, 1988.
3. A.E.W. Austen and W.T. Lyn, "Relation between Fuel Ignition and Heat Release in a Direct Injection Engine and the Nature of the Combustion Processes", Proc. Instn. Mech. Engrs., No.1, p.175, 1960.
4. W.T. Lyn, "Study of Burning Rate and Nature of Combustion in Diesel Engines", 9th International Symposium on Combustion.

- tion, p.1069, 1962.
5. 小嶋直哉, “ディーゼル機関の燃焼騒音に関する研究”, 日本 北海道大學 工學部 博士論文, 1974.
 6. 松岡 信, 神本 武征, “ディーゼル機関の熱発生率に関する研究(第1報 熱発生率近似)”, 日本機械學會講演論文集, No.710-7, 1971.
 7. R.S. Benson and N.D. Whitehouse, “Internal Combustion Engines”, p.71, Pergamon, 1984.
 8. Tahir A.R. et al: “Sunflower Oil as Fuel for Compression Ignition Engines”, Proceeding of the ASAE International Conference, p.82, 1982.
 9. Romano Saad, “Vegetable Oils – A New Alternative”, Proceeding of the ASAE International Conference, p.106, 1982.
 10. B. Feedman et al, “Fatty Esters from Vegetable Oils for Use as a Diesel Fuel”, Proceeding of the ASAE International Conference, p.117, 1982.
 11. Hasset D.J. et al, “Sunflower Oil Methyl-ester as Diesel Fuel”, Proceeding of the ASAE International Conference, p.123, 1982.
 12. Kusy Paul F., “Transesterification of Vegetable Oils for Fuel”, Proceeding of the ASAE International Conference, p.127, 1982.
 13. “大有機化學, 脂肪族化合物Ⅲ”, 小竹無雄監修, p.246. 朝倉書店, 1959.
 14. “實驗有機化學”, 梅澤 純夫, p.135. 丸善, 1984.
 15. 特許公報(B2), “エステル製造法”, 昭57-61319. 1982.
 16. 特許公報, “脂肪酸低級アルコールエステル製造法”, 昭52-21485. 1982.
 17. “理化學辭典”, 岩波書店, p.1357, 1964.
 18. L.M. Ventura, A.C. Nascimento, and W. Bandel, “First Results with Mercedes-Benz DI Diesel Engines Running on Monoesters of vegetable Oils”, ASAE Proceeding of the Interational Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, p.349, 1982.
 19. Quick, G.W., P.J. Woodmore, and B.T. Wilson, “In Vegetable Oil as Diesel Fuel”, USDA, Agric. Rev. Man. ARM-NC-28, 1983.
 20. B. Freedman, E.H. Pride, and T.L. Mounts, “Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oil” JACOS 61: p.1638, 1984.