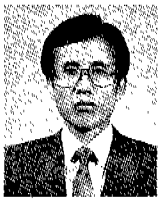
디젤기관의 대체연료로서의 식물유

Vegetable Oils for Diesel Fuel Substitutes

오 영 택
Y. T. Oh



오 영 택
· 1955년 5월생
· 정회원
· 전북대학교 공과대학
기계공학과교수

1. 머리말

가솔린기관, 디젤기관 및 가스터빈으로 대표되는 소위 내연기관은 연소라는 화학적 변화를 이용하여 열에너지를 기계적 에너지로 변환하여 동력을 얻어내는 대표적인 기구로 19세기경 발명되어 오늘날까지 발전을 거듭하여 왔다.

그 에너지원으로는 미분탄 및 목재 등 고체연료, LPG 및 LNG와 같은 기체연료 또는 액체연료등이 사용되어 왔으나, 현재에는 거의가 액체연료(가솔린, 경유 또는 중유 등)로, 그 중에서도 경질유가 대부분을 차지하고 있다. 또한, 과거 2차례에 걸친 Oil Shock를 계기로 하여 화석연료의 유한성이 재인식되었음에도 불구하고, 산업 발전과 자동차수의 급격한 증가로 그 수요는 계속 증가일로에 있다. 이들의 부산물로서 지구 온난화, 산성비 등 도시의 열섬(thermal island) 현상 등의 지구규모의 환경오염 문제가 매우 심각한 상황에 처해 있는 주원인이 내연기관의 배기배출물에 의한 것으로 밝혀져, 세계 각국의 내연기관 관련분야에서는 석유를 대신할 새로운 에너지의 개발 및 대체 에너지로의 전환에 관한 연구가 급속히 진행되고 있다.

이와같은것들을 배경으로 볼 때 생산성 및 응용면에서 편리함과 공급면에서 값이 저렴하고 장기적으로 이용 가능한 점 등을 고려해 볼 때 장래 유망한 대체연료로서는 태양에너지를 기본으로 하고, 재생가능한 바이오메스 연료(biomass fuel)가 검토의 대상이 되었다.

여기서, 생물체를 자원으로 이용하려는 관점에서 바이오메스 연료란 "생물의 종류에 관계없이 상당한 양적인 규모가 집합되어 있어 에너지, 식료, 공업원료의 자원이 되기도 하고, 환경개선에 도움이 되는 생물체 또는 생물 활동에 부수적으로 생성되는 생체(生体), 단, 생활기원이라도 화석 자원은 포함하지

않는 것"으로 하고자 한다.

이같은 바이오메스 연료 중에서 식물유를 디젤기관의 대체연료로서의 이용 가능성에 대하여 기술하고자 한다.

식물유중에서도 내연기관의 연료로 주목되어 온 것은 량 또는 함유율, 가격 등의 측면에서 콩기름, 유채기름, 해바라기 기름 또는 팜기름(palm oil) 등이 있으나, 그 중에서 팜기름은 1ha당 기름으로 전환량이 많고, 팜의 생산량도 증가되고 있으며, 크랭크실내에서 중합작용을 일으키기 쉬운 불포화산이 적어 연료의 산화 안정성의 점에서도 바람직한 연료라 할 수 있다.(표 1)

2. 디젤기관의 대체연료로서의 식물유의 위치

에너지 자원으로서 식물유를 생각하면 생물 자체의 재배 또는 기후, 계절 등에 의한 수확량의 변동 및 에너지 밀도가 낮은 점 등이 그 이용 측면에서는 큰 결점으로 지적된다. 그러나, 자원량과 석유 에너지에 의한 대기오염 등의 지구환경론의 입장에서 고려한다면 재생산이 가능하고 동시에 생물체의 안정성을 가능하게 하는 생물자원 즉, 바이오메스 등의 비 석유계 연료를 이용할 필요가 있을 것으로 생각한다.

표 1 각 식물유 에너지 생산량(경지 10a당 유지 생산량의 비교)

품 목	원료생산량 (kg)	원유함유율 (%)	기름생산량 (kg)
palm oil	2700	20.0	540
palm seed oil		1.8	49
bean oil	186	17.0	33
rapeseed oil	162(2700)	38.0(45.0)	62
rice oil	444	1.8	8
sunflower oil	150	39.0	58.5
olive oil	200	29.0	58.0

이들 식물유의 특징으로는 ① 태양에너지를 이용하기 때문에 재생 가능하며 고갈될 염려가 없다. ② 지구 환경에 대한 영향이 비교적 적다. ③ 편재성이 적지만 에너지 밀도는 반드시 높다고는 할 수 없다. ④ 공급에 계절성이 있다는 점등을 들 수 있다. 따라서, 식물유를 에너지로 이용하기 위해서는 생산, 에너지로의 전환 및 이용의 3단계에 걸쳐서 기술개발이 필요하고, 이들을 체계적으로 구축해 나갈 필요가 있다.

표 2에 이같은 바이오메스 전환기술의 현상 및 장래 기술개발 동향을 정리하여 나타냈으며[13], 바이오메스의 자원량은 지구규모로 생각하면 년간 광합성량은 세계 에너지 수요 3×10^{20} J에 대하여 10배인 2×10^{22} J로 거의 동등한 실정이다.[13)~15)]

표 3에 새로운 연료의 세계 자원량을, 표 4에 앞으로 예상되는 식물유 개발목표를 요약하여 나타냈다.

식물유의 생산량은 현재 에너지 소비의 극히 일부이며, 또 석유 에너지와 같이 공급하기 위해서는 거액의 투자가 필요하는 등 여러가지 큰 문제가 존재하지만, 생산, 개발, 이용기술 등을 체계적으로 추진하는 것은 일부 석유 에너지의 대체연료로서 local 에너지 확보, 석유가격의 안정화 및 에너지 공급의 다양화를 실현하기 위하여 특히 개발도상국에 있어서는 가장 중요한 과제로 생각된다.

유지라는 명칭은 화학적으로 중성유지, 즉, 글리세리드(glyceride)라는 의미로 사용되는 경우가 많고, 상온에서 액체의 것을 지방유, 고체의 것을 지방이라 부르지만, 이들간의 화학적 구별은 없다. 일반적으로 우리가 이용하고 있는 식물유는 글리세리드가 주체이며, 유지를 정제하는 것은 글리세리드의 순도를 높이는 것이다.

표 2 바이오메스 전환기술 현상 및 장래 기술개발 방향

전환기술	현재기술수준		장래기술개발방향
	평가	내 용	
(에타놀생산)			
• 전분의 당화(糖化)	A	• 아미로법을 중심으로 한 산소당화(糖化)	• 고정화산소, 고정화미생물에 의한 연속생산 등 효율 좋은 전환기술 개발
• 셀루로스의 당화	C	• 연구단계	• 효율적인 산소당화를 위한 생물적, 물리적, 화학적 전처리방법 개발
• 알콜발효	B	• 효모에 의한 발효	• 고농도 알콜 대내성(大耐性)효모균의 탐색 • 고정산화소, 고정화미생물에 의한 연속생산 • 발효열 유효이용
• 증 류	B	• 증류탑에 의한 농축	• 효율적인 증류법 개발 • 증류 대체기술 개발
• 폐액처리	B	• 농축물로서 비료, 사료이용 및 응축액의 호기성미생물 처리	• 농축과정에서 에너지 절약기술 개발 • 폐액 탈색법(특히 폐당밀이용의 개발)
(메타놀생산)			
• 목재건류	A	• 목탄 생산기술로서 옛부터 정착	• 분상(粉狀)목탄화 기술 개발
• 목탄 가스화	A	• 목탄자동차의 동력원으로서 과거에 이용	• 가스화과정에서 에너지 절약기술 개발
• 목재 직접가스화 합성	C	• 연구단계	• 효율적 메타놀 생산기술 개발
(메탄가스생산)			
• 발효대상물	B	• 하수오염, 배설물, 공장폐액등이 중심	• 발효대상물 증대에 따른 기술 개발(대상물에 적합한 전처리기술, 메탄회수율 향상, 발효온도 유지 등)
• 메탄생산균	C	• 천연에 존재하는 균 이용	• 교효율메탄 산생균 탐색
• 폐액처리	B	• 매립, 토양개량제등에 이용	• 효율적쟁화법 개발
(탄화수소 식물 이용)			
• 생 산	C	• 연구단계	• 고수량품종 육성, 재배기술 등 검토
• 추 출	C	• 연구단계	• 원료채집시기, 용매 종류 등, 효율적 유출법 개발
(수소)			
• 과화학전환생물을 이용하는 방법	C	• 연구단계	• 고능률 광화학 전환산물(균류, 광합성세균 등) 탐색과 대량 생산기술 개발
• 인공적으로 수소를 발생하는 방법	C	• 연구단계	• 고능률 수소 발생촉매 개발과 대량수소발생장치 개발

※ A : 실용화 단계에 달함, B : 기술개선의 여지가 있음, C : 더욱 연구 필요

표 3 새로운 연료유의 세계자원량

		자원량			
		채굴가능한매장량		추정추가자원량	
		10^9t	10^{21} J (석유자원량에 대한 비율)	10^9t	10^{21} J (석유자원량에 대한 비율)
천연가스		74.1(10^{12}m^3)	2.92(0.72)	192(10^{12}m^3)	7.56(0.79)
석탄	무연탄 및 역청탄	488	14.29(3.53)	6160	181(18.77)
	아역청탄	143	3.27(0.81)	3840	87.7(9.11)
	갈 탄	251	2.58(0.64)	2160	24.9(2.58)
	니 탄	15.8	0.17(0.04)	262	2.97(0.31)
오일셴드		40.1 (회수가능기름)	1.82(0.45)	76.3	3.46(0.36)
오일셴(유분 : 0.25배럴/t이상)		46.3 (회수가능기름)	2.10(0.52)	293	13.28(1.38)
마이오메스		농산물생산량 2.15(10^9), 감자 0.55, 곡물 : 1.55, 두류 : 0.05 임산물생산량 2.60(10^9), 신탄 : 1.22			
참고 : 석유		81.9	4.05(1.00)	212.0	9.62(1.00)

표 4 바이오메스 자원량의 개발계획

제1단계 금후 10년간	• 농업폐기물, 목재, 현존 작물에서 연료생산 • 현존 생물연료보다 효율적인 이용 • 실증과 교육
제2단계 (10~20년간)	• 증대하는 폐기물과 작물의 완전한 이용 • 에너지 이용 목적으로 특수 작물재배 개시
제3단계 (20~30년간)	• 에너지 산업 보급 • 개량 에너지 작물 이용 • 광생물 및 광화학 응용

그림 1은 디젤기관의 기존 연료인 경유, 식물유 및 알코올의 분자 구조를 나타낸 것으로, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 이들 연료 사이에는 확실한 구별이 있으며, 이같은 구조로부터 식물유의 분자량이 다른 연료에 비하여 대단히 크고, 식물유의 길고 견고한 결합과 큰 분자량이 디젤기관의 연소에 대하여 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

이같은 식물유를 디젤기관의 연료로서 이용할 경우 경유와 비교해 볼 때 다음과 같은 특징이 있다.

① 동점도가 경유에 비하여 대단히 높다.
② 발열량은 경유의 약 90% 전후이다.
③ 세탄가는 경유보다 약간 낮다.
④ 식물유속에는 10% 정도의 산소가 포함되어 있다.
⑤ cloud point가 높다.
⑥ 그 자신이 윤활성을 가지고 있다.
⑦ 식물유는 각종 산이 집결되어 있으므로, 산의 종류에 따라서 상온에서 고체의 연료도 있다.(포화산과 불포화산의 차이)
⑧ 식물의 종류 또는 생산 시기에 따라서 생산되는 기름의 함량과 조성이 현저히 다르다.

이상과 같은 특징으로 볼 때 발열량이 경유보다 10% 정도 낮은 것은 동일한 일을 하기 위하여 많은 양의 연료가 필요하다는 것

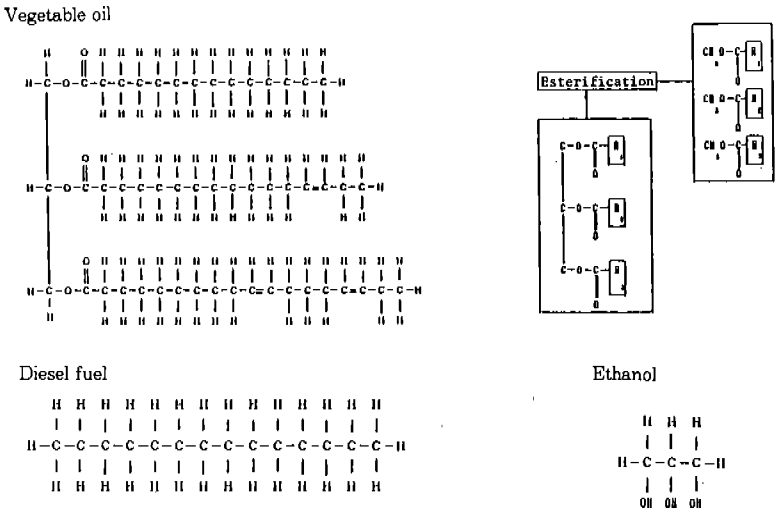


그림 1 각 연료의 개략 분자구조식

올 의미하므로, 연료 탱크의 용량이 문제이며, 산의 종류에 따라서 상온에서 고체인 것은 가열 등 여러 방책이 요구된다.

시동성에 관해서는 식물유의 세탄가가 35~50정도이므로 통상 디젤기관용 경유의 세탄가가 45~55인 점에 비하여 다소 낮지만, 경유의 최저세탄가 40에 비교하면 기관의 시동성에는 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

또, 식물유는 10%정도의 산소가 포함되어 있어 연소에 필요한 공기량이 적어도 되므로 동일한 공기량을 이용하여도 연소가 양호하게 되며, CO, HC 및 매연 농도 등의 생성이 억제될 가능성이 충분하다.

한편, 이같이 고점도연료를 사용할 경우 실질적인 문제점으로 다음 사항들을 지적할 수 있다.

① 연료휠터의 눈막힘으로 연료공급 악화.
② 분사압력의 증가 또는 분사의 끝맺음 악화.
③ 분사밸브가 닫히는 시기가 늦게 되는 반면, 밸브 열리는 시기가 빨라져 분사기간이 길어진다.
④ 분무입경이 증가하며 미립화가 악화되고 관통력이 너무 길게 된다.
⑤ 기화성이 저조하기 때문에 시동성, 또는 연소성이 문제로 된다.
⑥ 윤활유의 오염과 점도의 증가.

그러나, 이같은 것들은 식물유를 대체연료로 이용하려는 측면에서 볼 때 그렇게 큰 문제로 생각되지 않으나, 카본 퇴적물이 과부하, 고속도 또는 저부하 저속도 특히 공회전시에 문제로 발생될 것으로 예상된다.

3. 디젤기관의 대체연료로서 식물유 이용에 관한 연구 동향

내연기관 연료로서 식물유 이용에 관해서는 1900년에 디젤기관의 발명자 Rudolf Diesel(1858~1913)이 땅콩기름을 사용했던 것을 시초로, 1948연 長尾不二夫[16]가 송진 기름으로, 1983년 오[1)~10)]등은 유채기름, palm oil, 정어리 기름 및 폐식용유 등을 이용하여 기관을 운전하는 등 여러가지로 시도되어 왔다.

Oil shock 이후에도 많은 연구자들은 특히

농업 기계에 적용하려는 시도들이 활발히 수행되어 왔으며[17)~27)], 연료로서 주목된 것은 양적으로나 함유율 등의 측면에서 해바라기 기름[19),20),28~31)], 콩기름[32),33),34)~37)], palm oil[1)~10),26)] 및 유채기름[1)~10),22)~25),38)~41)]등이 거론되었다.

그러나, 이같은 식물유는 디젤기관의 대체 연료로서 사용할 경우 특별히 지적할만한 커다란 결점이 없음에도 불구하고, 현재까지 점도 및 저휘발성 때문에 일반적으로 그 이용은 곤란시 되어 왔으며 몇가지 문제점이 보고되기도 하였다.

이들을 분류하면, 기관에 적용할 경우 발생되는 문제와 연료자체에 의한 문제로 구분할 수 있으며, 전자인 기관 적용시의 문제점으로[18),35),42)~46)] 직접분사식 기관의 경우가 간접분사식 경우보다 문제가 많고, 단시간 운전에서도 분사노즐 선단부에서의 카본 생성, 흡기밸브 및 배기밸브 스템부 카본 부착, 부정분사, 노즐 니들의 고착 또는 윤활유의 오염이 현저하고, 특히 장시간 운전은 불가능하다고 보고하고 있으며, 이는 연료의 화학적 성질보다는 오히려 물리적 성질 즉, 동점도 등과의 관련으로 설명되고 있는 보고가 많다.

후자인 연료 자체에 의한 문제점으로는 연료의 화학적 성질과 물리적 성질에 의한 것으로 구별하고, 화학적 성질[38),47)~50)]로는 식물유는 각종 산이 결집되어 있으므로 그 지방산의 성분, 불포화 정도, 요소가, 왁스성분 또는 껌성분 등에 의해 크게 차이가 나는 것으로 보고하고 있다. G. L. Wagner[40)] 등은 생산 시기가 다른 유채 기름을 이용하여 수확하는 시기에 따라서 성분이 다르다는 점으로 판단할 때 연료의 화학적 성질이 물리적 성질보다 카본 퇴적물에 크게 영향을 미친다고 보고하고 있다.

이처럼 식물유를 직접 디젤기관의 대체 연료로 이용하기 위하여 각종 방법들이 시도되어 왔으나, 실제 기관에 적용할 측면에서 이를 크게 분류하면 다음과 같다.

① 연료에 적합한 기관의 개발

② 기존의 기관에 연료를 적용할 기법 개발.

연료에 적합한 기관개발은 식물유 특성에 알맞는 새로운 기관을 개발하는 것으로, 일예를 들면 독일의 Elko 사[51)]와 (株)日本鋼管[55)] 등은 소형, 저연료소비율의 실현은 물론 식물유를 연료로 사용할 수 있는 직접분사식 디젤기관을 개발하였으며, 그 주된 내용은 다음과 같다.

- stoichiometric control에 의한 층상연소 방식 채용.
- 윤활유를 이용하여 기관을 냉각하므로 통상의 라디에타가 없으며 냉각손실이 적다.
- 높은 boost 압력으로 과급방식을 채용하고 가속 응답성을 개선하였다.
- 특수한 분사시스템으로 저압 연료분사방식 채택.
- 다중 연료특성을 갖는 기관.

이같은 특성이 있는 기관을 개발하여 기존의 예연소실 기관보다도 냉시동성이 양호하고 소음이 낮으며, 또 단위흡입공기량당 토크, 출력도 큰 저에밋션, 저연비기관의 실용화에 성공하였다[52)~54)].

기존 기관에 연료를 적용하는 기법으로는 이미 앞에서 언급한 바와 같이 그 대책을 대별하면 다음과 같다.

- 혼합연료 공급방식.[29)~31),35),37),38),40),57),58)]
- 미시적 폭발(micro-explosion) 방식.[59)~61)]
- 연료가열방식.[4),60),62)]
- 에스테르화 전환방식.[1),3),8),31),34),63),80)]

혼합연료 공급방식은 식물유의 점도를 저하시키기 위하여 식물유보다 점도가 낮은 경유 또는 알코올 등과 혼합시켜 이용하는 것이며, micro-explosion 방식은 고온 고압상

태의 연료를 급격히 저압상태로 분사하므로서 감압비등효과(flash boiling effect)를 이용하여 연소개선을 시도한 것이고, 또 연료 가열방식은 분사개시 전에 연료를 예열하여 점도를 저하시켜 분무특성의 개선을 시도한 것이며, 마지막으로 에스테르 전환방식은 식물유의 점도 저감과 분무특성 개선을 위하여 식물유를 적당한 촉매하에 알코올과 반응시켜 mono-ester로 변환시켜 사용하는 방법이다.

이상과 같이 식물유 이용에 관한 여러 연구 동향을 살펴보았으나, 이들을 정리하면 대략 다음과 같다. 디젤기관의 대체연료로서 식물유의 이용계획에 관한 것으로는 미국의 Federal Fuels from Biomass Program, 독일의 Elko사, 브라질의 국가 알콜계획, 일본의 과학기술청, 농림수산청, 공해자원연구소, 영국의 Energy Technology Support Unit 등이 중심이 되어 연구가 진행되어 왔으며, 브라질에서는 알코올을 이용한 자동차 운행이 실용화되었고, 독일의 Elko사, (株)日本鋼管 등에서는 식물유를 이용한 새로운 기관 개발이 이미 성공하였다.

일반적으로 식물유로 디젤기관을 운전할 경우에는 정숙하며, 저 NOx 운전이 가능하며, 열효율 및 배기 매연농도 등도 경유나 중유에 비하여 약간 개선되는 것이 보통이지만, 저부하, 저회전 특히 공회전 운전과 같은 경우는 고점도에 의한 분무악화가 원인이 되어 carbon deposit 또는 piston ring stick 등이 일어나기 쉬운 결점이 있다.

따라서, 보통 자연흡입식 기관을 식물유로 운전하기 위해서는 혼합 연료방식, 에스테르화 전환 방식과 고온 가열방식 중 어떤 방법인가를 이용하여 점도를 저하시킬 필요가 있다. 단, 독일의 Elko사, 日本鋼管의 다중연료 기관 6M23F형처럼 설계단계에서부터 고과급, 단열, 강한 와류(흡입 공기를 실린더 벽에 따라서 선회운동을 강화한 것)의 도입에 의해 연소공간을 고온도로 유지시킨 기관에서는 carbon deposit를 연소시켜 버리므로 식물유 그 자체를 그대로 디젤연료로서 이용이 가능하다.

다음은 자연흡입식 직접분사 디젤기관에서 palm oil, rapeseed oil 또는 식용폐유 등을 이용하여 연료로서의 특성과 유용성에 대하여 저자들의 실험 결과를 중심으로 기술하고자 한다.

4. 식물유를 디젤기관의 연료로 사용할 때 기관성능 및 배기 배출물 특성

4.1 식물유의 물성 및 분무 특성

그림 2는 온도를 변화시켰을 때의 각종 연료의 밀도를 나타낸 것으로, 어느 연료도 밀도는 온도가 증가함에 따라 단순히 저감되고, palm oil과 rapeseed oil은 경유에 비하여 거의 12%, rapeseed oil의 메칠 에스테르는 7% 정도 각각 높다.

그림 3은 각종 연료의 동점도 특성을 나타낸 것으로, 연료의 동점도는 온도의 지수함수임을 알 수 있으며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

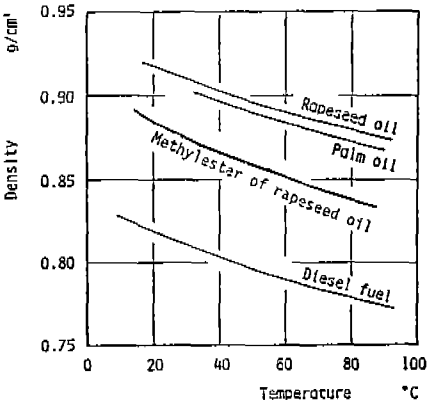


그림 2 각 연료의 온도-밀도특성

$$\log \log(\nu+0.8)=a\log T+b$$

여기서, ν : 동점도(cSt)

T : 절대온도(K)

a, b : 상수

그림에서 알 수 있는 바와 같이 식물유의 동점도는 경유에 비하여 10배정도 높으며, 연료가열 또는 에스테르 변환에 따라서 거의

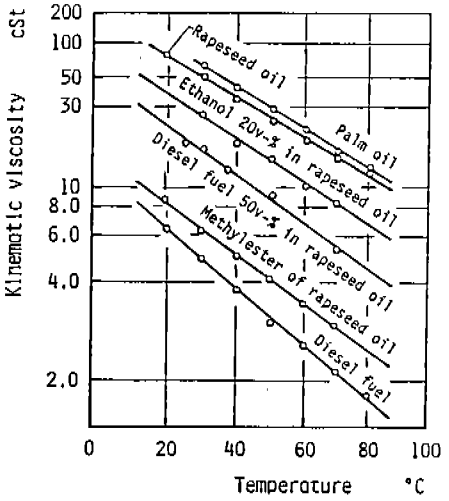


그림 3 각 연료의 온도-동점도 특성

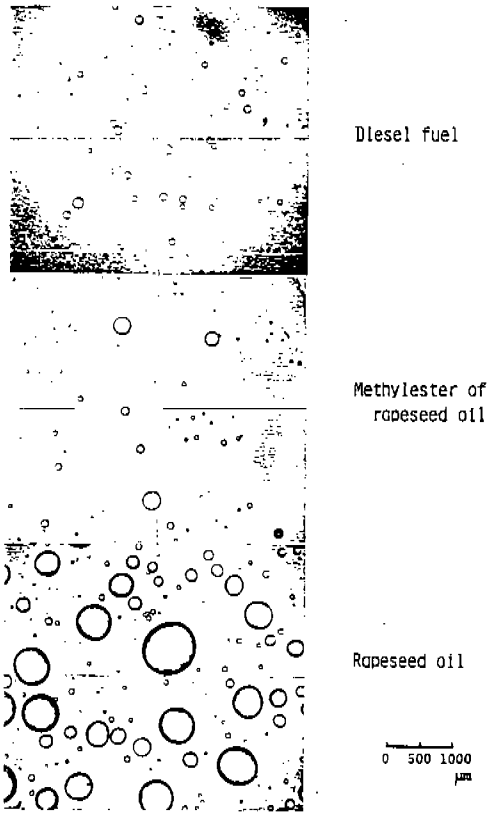


그림 4 각 연료의 분무 입자 사진

표 5 각종 연료의 물성치

Specification	Diesel Fuel	Rapeseed Oil	Palm Oil	Ethanol
Flash Point(℃)	90~120(10)	320~330(10)	—	13
Net Calorific Value(kJ/kg)	43126	36887	36553	20880
Stoichiometric Air-Fuel Ratio	14.37	12.53	12.42	8.956
Cloud Point(℃)	−4.0	5.0	27.0	—
Specific Gravity(15℃)	0.82	0.921	0.904(30℃)	0.795
Carbon (w−%)	87.5	78.20	76.49	52.20
Hydrogen (w−%)	12.5	11.71	12.11	13.10
Oxygen (w−%)	0.0	10.09	11.40	34.70
Kinematic Viscosity(15℃, cSt)	4.8	51.70	63.60(30℃)	—
Average Molecular Weight(g/mol)	226.0	951.4	842.1	46.0
Cetane Number	56.0	39~50	37.0	8.0

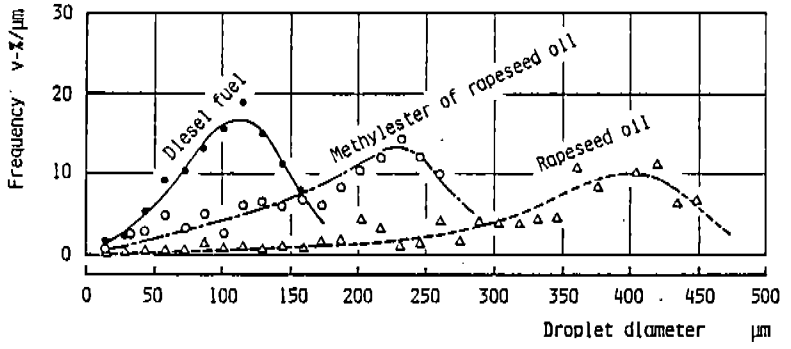


그림 5 각 연료의 분무 입자의 분포 비교

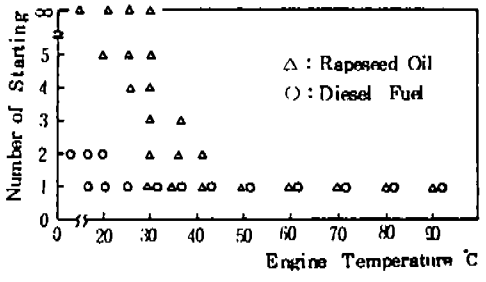


그림 6 식물유의 시동시험 결과

경유정도의 점도로 저감시킬 수 있다. 한편, 연료를 에스테르 변환하면 점도 저감 이외에 cloud point가 저하하고, 평균 분자량이 현저히 저감됨을 알 수 있으며, 이들 연료의 물성치를 표 5에 표시하였다.

그림 4는 유채기름과 그 메틸 에스테르 및 경유의 분무입자상태를, 그림 5는 이들 분무입자의 빈도분포를 각각 나타낸 것으로, 경유에 비하여 식물유의 평균입자 직경은 현저하게 크지만, 에스테르로 변화시킨 연료는 상당히 감소되어 경유정도로 되어 짐을 알 수 있다.

4.2 식물유를 사용한 경우의 기관성능

그림 6은 시동시험 결과를 표시한 것으로 식물유를 사용한 기관의 온도가 20℃ 이하에서는 시동이 약간 곤란하였으나, 연료의 유동성이 확보되는 30℃ 이상에서는 경유와 식

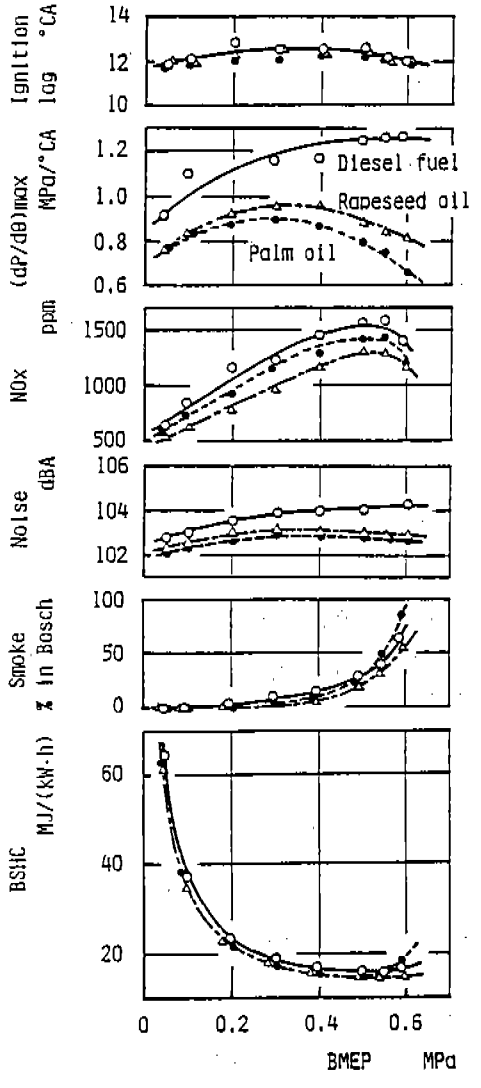


그림 7 식물유와 경유의 성능 비교

물유의 시동성은 거의 차이가 없었다. 표 5에서도 알 수 있는 바와 같이 식물유의 세탄가는 37~50 정도이므로, 보통 디젤기관용 연료의 세탄가가 45~55인 것에 비하면 약간 낮지만 기관의 시동성은 연료의 유동성이 확보되는 30℃ 이상에서는 별로 큰 문제가 되지 않는 것으로 생각된다.

그림 7은 palm oil와 rapeseed oil을 사용한 경우의 기관성능과 배기 에밋션을 경유와 비교하여 표시한 것으로, palm oil의 유동성을 확보하고 시험조건을 동일하게 하기 위하여 각 연료의 온도는 77℃로 가열하여 기관을 운전하였다.

그림에서 경유에 비하여 식물유의 경우는 넓은 부하 범위에서 열소비율 및 매연이 개선됨과 동시에 기관소음과 NOx 농도가 저하하고, 정숙한 운전을 할 수 있음을 나타내고 있다. 단, palm oil의 경우는 특히 고부하영역에서 열소비율과 매연농도가 약간 악화된 것은 고부하 운전시에 palm oil 속에 포함된 果肉 등 때문에 미연소부분이 증가한 결과로 생각된다.

그림 8은 식물유가 경유에 비하여 열효율이 개선된 원인을 조사하기 위하여 각 연료를 사용한 경우의 지압선도 및 열방생율을 나타낸 것으로, 식물유에서는 경유에 비하여 연소기간은 거의 변화하지 않지만 예혼합 연소량이 현저하게 저감함을 알 수 있다. 이는 고점도에 의한 분무입경의 증대, 또는 기화성의 악화 등에 기인하여 생긴 현상으로 생각된다. 따라서, 식물유의 경우 기관소음의 저하는 예혼합 연소량에 따른 압력상승율 또는 연소 최고압력의 저하에 기인한 것으로 말할 수 있다. 또, 식물유의 경우 열소비율의 약간의 저감은 등용도의 차이는 거의 없어 압력상승율 또는 연소 최고압력의 저하에 따른 냉각손실 및 기계손실의 개선에 의해 나타난 것으로 생각된다. 여기서, 등용도란 동일기관에서 연소가 아주 작은 시간에 완결한 경우 즉, "등용연소"에서 이론 열효율이 최량으로 되기 때문에 실제 연소가 등용연소의 경우와 어느 정도 근접하고 있는가를 나타내는 것이다.

그림 9는 식물유와 식물유 25% 혼합연료를 사용하여 장시간 운전한 경우의 열소비율의 변화를 나타낸 것으로, 식물유만의 열소비율은 운전시간이 경과함에 따라서 그 변동이 격심한 반면, 경유 혼합연료의 경우(식물

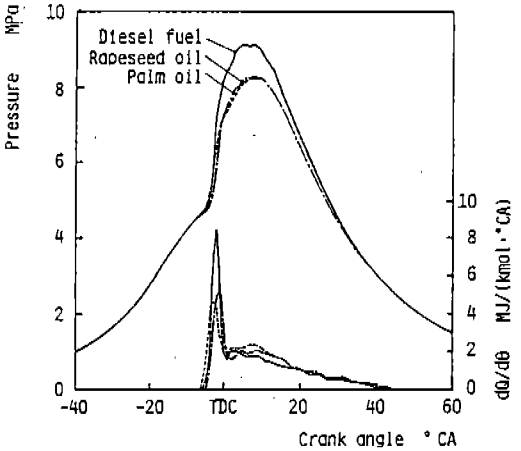


그림 8 각 연료의 지압선도와 열발생율 비교 (BMEP 0.5MPa)

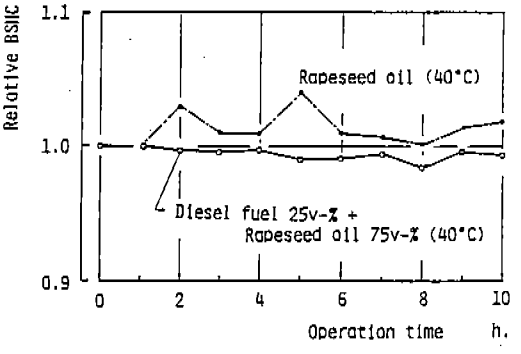


그림 9 식물유를 이용하여 장시간 운전한 경우 열소비율의 변화(1400rpm, 0.1MPa)

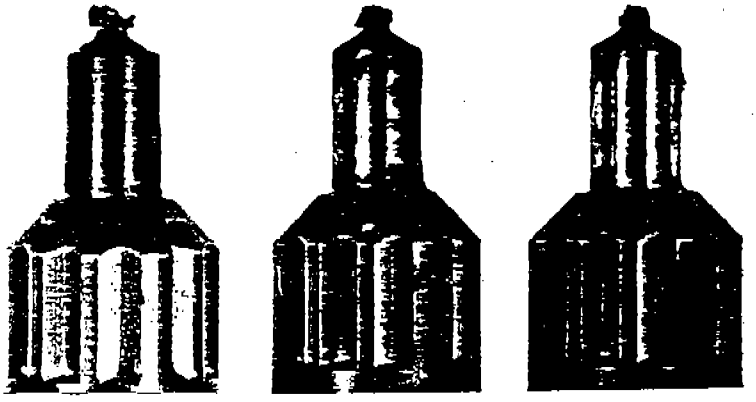


그림 10 식물유를 이용하여 장시간 운전한 경우 노즐선단부의 카본부착 현황

유 25%)는 운전기간 중의 열소비율의 변화는 비교적 작고 오히려 저하하는 경향마저 나타나는데, 이는 노즐 선단부에 형성되는 카본 퇴적물의 생성과 탈락에 기인한 것으로 생각된다.

그림 10은 그림 9의 실험이 끝난 후 관찰된 노즐 선단부에 형성된 카본 퇴적물의 상태를 나타낸 것으로 식물유의 경우 경유에 비해서 카본 퇴적물 부착이 현저함을 알 수 있다.

이처럼 식물유로 자연 흡입식 기관을 장시간 운전할 경우에 분사노즐 선단부에서 carbon deposit의 생성, 또는 piston ring stick 등이 일어나 열소비율 또는 매연이 대폭적으로 변동, 악화하는 현상이 나타나 극단적인 상황에서는 기관이 정지하게 된다. 따라서, 자연흡입식 기관에서 식물유를 연료로 이용할 경우에는 다음과 같은 대책이 필요하다.

4.3 식물유를 에스테르화한 연료가 기관 성능에 미치는 영향

그림 11은 식물유와 그 메틸 에스테르 연

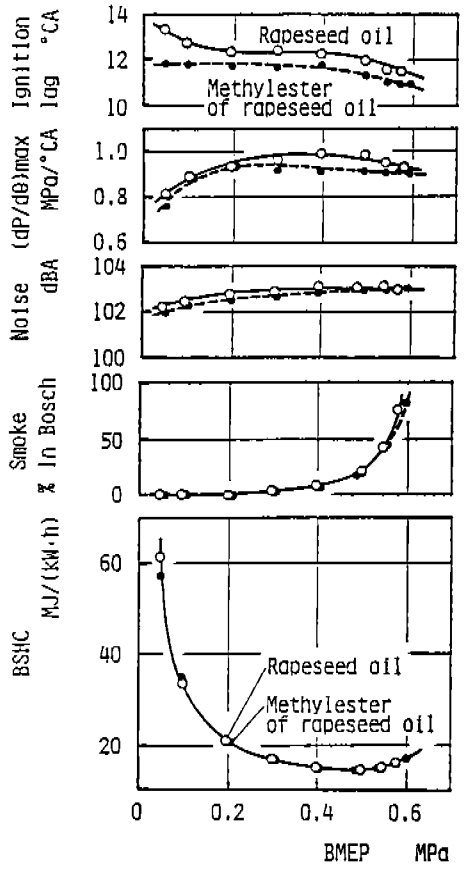


그림 11 식물유와 그 에스테르 연료의 기관 성능 비교

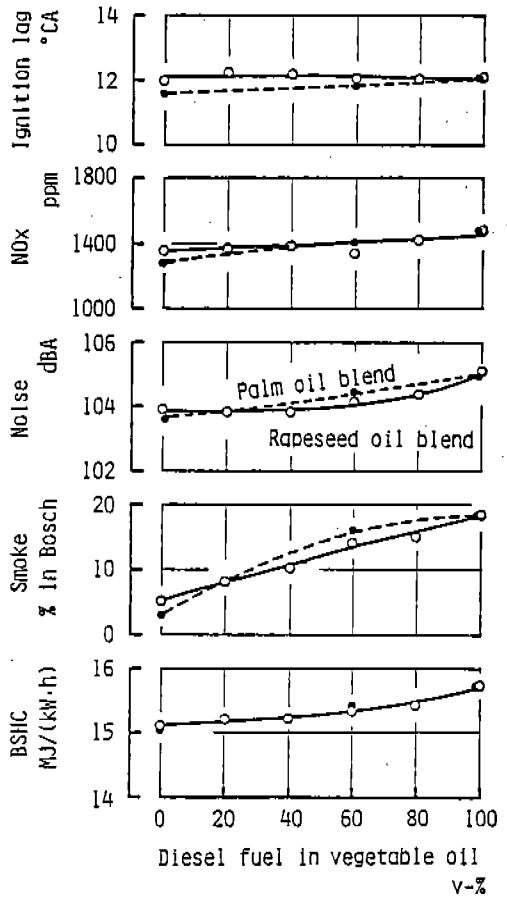


그림 12 경유-식물유 혼합연료의 기관성능 비교

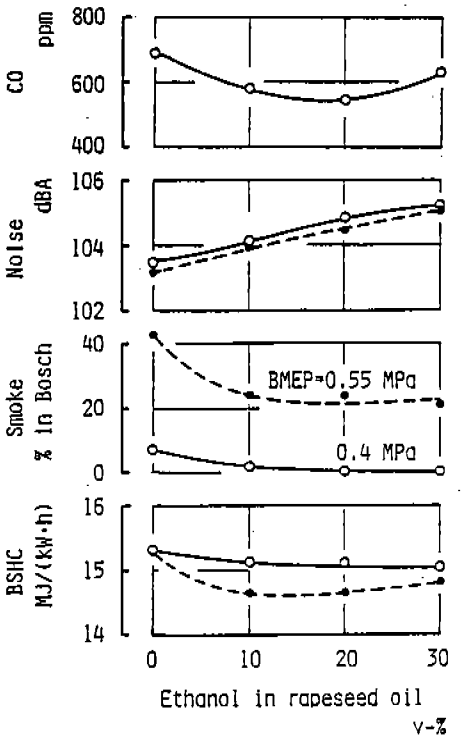


그림 13 알콜-식물유 혼합연료의 기관성능 비교

료의 기관성능을 비교하여 나타낸 것으로, 식물유를 에스테르 변환한 경우에는 착화지연기간이 약간 단축되고, 또 배기 매연 농도가 고부하지역에서 약간 저감하는 경향을 나타내는 것 이외에는 기관 성능상의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나, 메틸 에스테르화에 의하면 동점도의 저감, cloud point의 저감 또는 세탄가와 기화성의 향상 등 연료 물성치가 크게 향상되어, 기관을 장시간 운전하여도 carbon deposit나 piston ring stick등의 문제가 전혀 없어, 경유로 운전하는 경우와 동등하여 정숙하고, 매연 발생이 감소되는 점 등으로 판단할 때 기관에 식물유를 이용할 경우의 제일 적합한 방법이라 생각된다.

4.4 혼합 연료에 의한 기관성능 비교

그림 12는 식물유에 경유를 혼합한 경우 기관성능 및 배기 에밋션을 나타낸 것으로, 경유의 혼합비율이 증가함에 따라서 열소비율, 매연농도 및 기관소음은 거의 직선적으로 악화하는 경향이 있으나, carbon deposit는 개선됨을 알 수 있었다. 이 경우 기관성능을 악화시키지 않는 범위에서 carbon deposit나 piston ring stick을 감소시키기 위해서는 25% 정도의 경유 혼합비율이 타당할 것으로 생각한다.

그림 13은 식물유에 알코올을 혼합한 경우

기관성능과 배기 에밋션을 나타낸 것으로, 알코올 혼합비율이 증가함에 따라서 열소비율과 매연농도는 대폭적으로 개선된 반면, 압력상승율 및 기관소음은 현저히 증가하였다. 따라서, 정숙성, 열효율, 매연농도를 유지하면서 carbon deposit를 방지하기 위해서는 식물유에 대하여 알코올 10~20%정도가 적당할 것으로 생각한다.

그림 14는 알코올 혼합연료를 사용할 경우 열발생율을 구성하는 예혼합연소량, 확산연소량 및 전연소기간을 정량적으로 나타낸 것으로, 알코올을 혼합하므로서 예혼합연소량(Q_P)이 증가하는 한편, 확산연소량과 연소기간이 감소한 결과 알코올 혼합에 따른 열효율의 향상은 연소기간이 단축됨에 따라서, 매연의 저하는 연료속에 산소를 포함한 알코올을 혼합하므로서, 소음의 증가는 예혼합연소량의 증가에 따라 각각 나타난 것으로 생각한다.

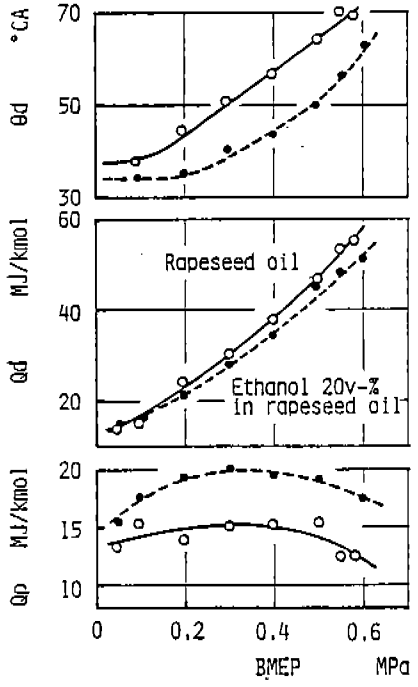


그림 14 열발생율에 의한 각 연소량의 비교

4.5 연료 가열과 연소실내 와류에 의한 기관성능 개선

식물유, 식물유 정도로 점도가 높은 B중유 및 경유를 이용하여 연료를 고온으로 가열한 경우의 기관성능의 변화를 그림 15에 나타내었다. 그림에서와 같이 연료온도가 상승함에 따라서 어느 연료도 열소비율과 매연농도는 감소하고, 일단 최고 양호한 값을 나타낸 후 다시 악화하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이 경우 최고 양호한 값을 나타내는 연료의 온도는 식물유 300℃, B중유 240℃ 및 경유는 약 90℃ 정도이며, 상온에 대하여 이 온도에서의 두 성능값의 개선폭은 경유보다도 식물유 및 B중유의 경우가 즉, 중질연료일수록 현저함을 알 수 있었다. 여기서, 열소비율과

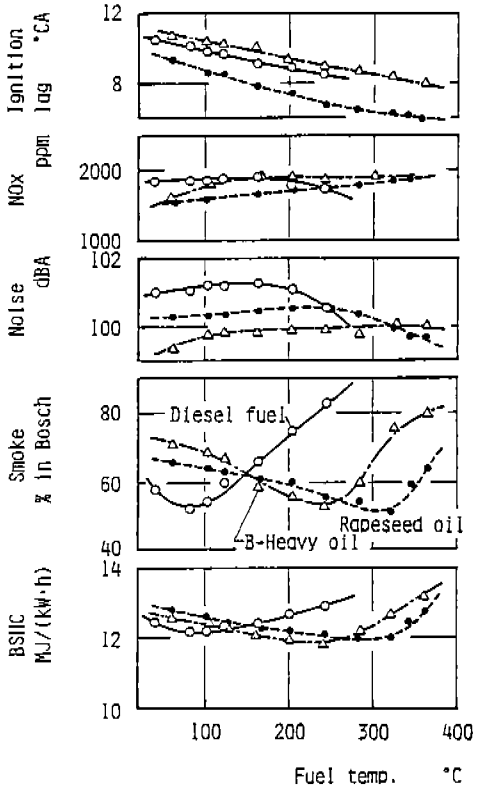


그림 15 기관성능과 연료 온도와의 관계

매연농도가 최고 양호한 연료온도를 최적온도라고 하기로 한다.

한편, 연료온도가 증가함에 따라서 착화지연기간은 단순히 감소하며, 기관소음도 감소하는 경향이 있다. 이 같은 현상은 물 10% emulsion 연료를 이용한 경우에도 동등한 경향을 나타내며, 이 경우의 최적온도는 250℃ 정도이다.

또, 연료온도가 상승함에 따라서 NOx 농도의 변화는 큰 차이는 아니지만, 경유의 경우는 서서히 감소하는 반면, 식물유와 B중유와 같이 고점도 연료는 오히려 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 최적온도 이상으로 연료를 가열하면 열소비율, 배기매연 농도는 공히 악화하지만, 기관 소음은 연료온도 상승에 따라서 전반적으로 감소함을 알 수 있다. 여기서, NOx의 농도 변화는 이같은 연료 가열온도에 직접 영향을 받아 연소실내의 온도 변화에 의한 thermal NOx 때문으로 생각한다.

다음은 각종 연료를 가열한 경우 열소비율과 배기 매연농도의 저감 효과에 대하여 생각해 보자.

그림 16은 그림 15의 결과를 연료의 점도에 주안점을 두어 재정리한 것으로, 연료를 가열할 경우 열소비율 및 매연농도와 연료점도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 어느 연료도 열소비율 및 매연농도가 최고 양호한 연료점도 즉, 최적 점도가 존재하며 그 값은 0.9~3[cSt]임을 알 수 있다.

다음은 최적점도에 대한 연료의 기화성 및 와류의 영향을 알아보기 위하여 식물유를 이용하여 기관의 swirl 비를 변화시켜 연료점도와 기관성능과의 관계를 조사하여 그림 17에 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 기관의 swirl 비에 관계없이 연료의 점도를 적절히 저감시키므로서 열소비율과 배기매연농도를 대폭적으로 개선할 수 있었으며, 최적점도는 swirl 비가 증가할수록 증가함을 알 수 있었다. 즉 swirl 비를 강화하여 연료분무입자의 기화를 촉진시키는 경우에는 연료의 점도가 비교적 높다고 하더라도 열소비율 등에 관해서는 최고 양호한 점을 얻을 수 있다.

그림 18은 연료의 점도 저하에 따른 열소비율 개선효과에 대하여 검토하기 위하여,

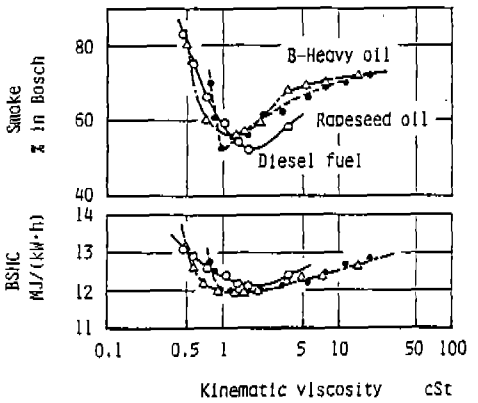


그림 16 각 연료의 동점도와 열소비율 및 배기 매연 농도

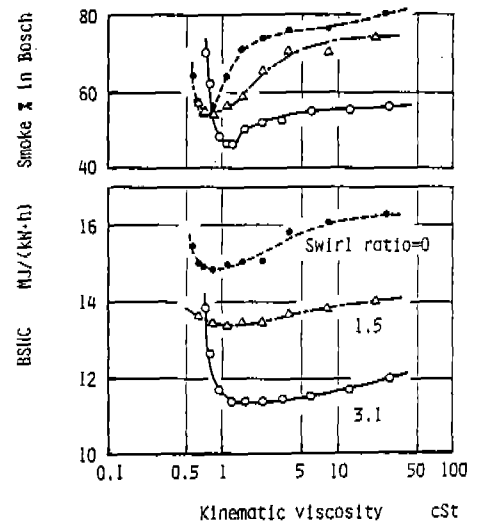


그림 17 각 연료의 동점도와 열소비율 및 배기 매연 농도에 대한 와류의 영향

발열의 등용도(η_{glh}), 연소효율(η_u), 열소비율과 연료온도와의 관계를 나타낸 것으로, 연료온도가 상승함에 따라서 등용도는 거의 불변함에 대하여, 연소효율은 개선되어 열소비율이 최고 양호한 최적 온도에서 최대 값을 나타내고 있다. 따라서, 연료가열에 의한 열소비율의 개선은 연소효율의 향상에 의해 기인한 것으로 생각된다.

최적온도이상으로 연료를 가열한 경우의 연소효율의 저하는 착화지연기간이 과도하게 단축되어 착화 후에 분사되는 연료의 증가, 또는 분무 관통력의 저하 등에 의한 것으로 생각된다.

식물유의 경우 38℃때의 세탄가가 36.6임에 대하여, 145℃ 정도까지 가열하면 39.3까지 상승하여 시동성과 연소성이 크게 개선되며, 연료가열에 의한 껌성분의 생성도 억제된다.[10]

또, 연료를 고온으로 가열한 경우에는 고압 분사관내에서 연료의 탄화가 염려되었으나, 고온 가열상태에서 250시간 정도의 운전을 한 후에도 분사관 내에서의 탄화현상은 확인할 수 없었다.

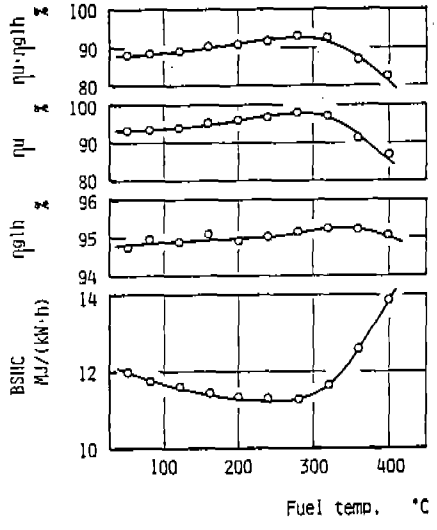


그림 18 등용도, 연소효율 및 열소비율과 연료온도와의 관계

4.6 식용폐유에 의한 기관성능

도시에서 폐수처리비용 저감, 자원의 재활용 등에 대하여 생각할 때 식용 폐유를 기관연료로 사용할 수 있다면 매우 바람직한 일임에 틀림없다.

식용유를 사용할 경우 일반적으로 160~

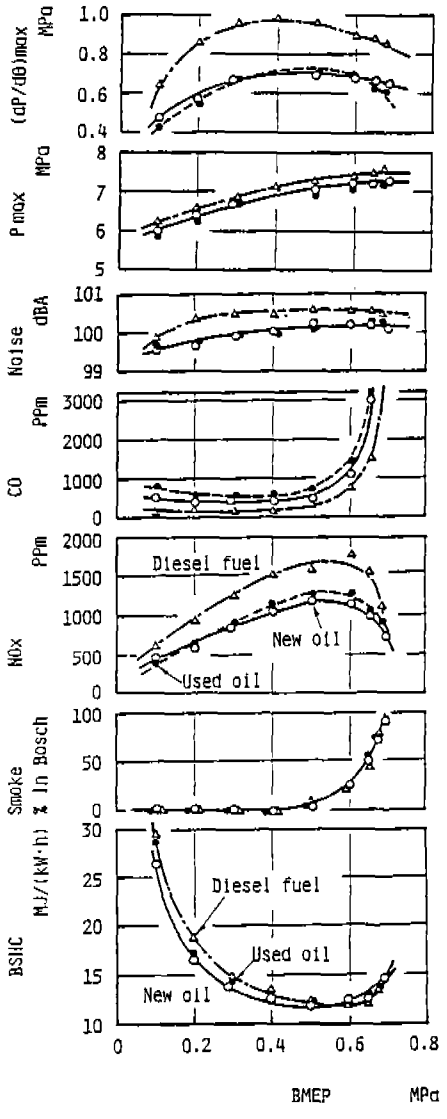


그림 19 식용유와 폐식용유에 의한 기관성능 비교

180℃ 정도로 가열하므로 다음과 같은 기름의 변질이 예상된다.

① 기름이 산화하여 여러 종류의 저분자 물질이나 중합 물질이 생성된다.

② 가수분해가 일어나 지방산이 유리된다.

③ 기름의 열분해, 중합, 또는 環狀化가 일어난다.

이같은 결과로부터 연기발생, 착색, 산화안정성의 저하, 기름의 점도와 밀도가 약간 증가 및 분무 특성의 악화가 발생한다.

그림 19는 미사용 식용유, 경유 및 폐식용유에 의한 기관성능과 배기 에밋션 상태를 나타낸 것으로, 폐식용유의 경우에는 미사용 식용유에 비교하여 넓은 부하범위에 걸쳐서 열소비율이 약간 악화되어 있는 것 이외의 기관성능 또는 배기 에밋션 등은 미사용 식용유와 거의 동일하다. 이것은 경유와 비교해 보면 폐식용유의 경우가 저·중부하영역에서 약간 우수하며, 고부하영역에서는 경유와 거의 동등 또는 약간 저하한 결과로 되어 있다. 또, 어느 경우의 연료도 배기 매연은 동등하지만 식용유의 경우에는 정숙하고 저 NOx 연소를 실현할 수 있어, 폐식용유가 디젤기관의 연료로서 이용 가능성을 입증하였다.

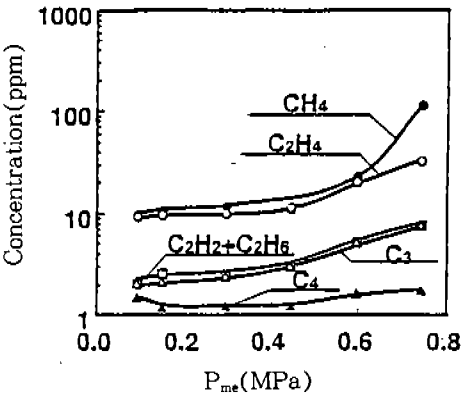
4.7 메틸 에스테르 연료와 경유의 배기가스 분석 결과[12]

위에서 언급한 바와 같이 식물유 및 폐식용유까지 디젤기관의 연료로서 사용 가능성을 입증하였으나, 유해물질이 많이 포함되어 있을 연소 생성물인 배기가스 성분에 대하여도 확인하고자 한다.

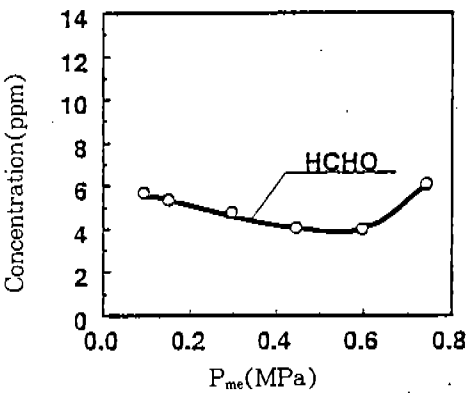
그림 20은 경유를 사용한 경우 기관 회전속도 1,600rpm, 연료소비율 최량점에서 부하를 변화시켰을 때 C_1~C_4 성분 및 HCHO가 배출된 상태를 나타낸 것이다.

그림 20의 (a)에서 C_1~C_4성분은 부하가 증가할수록 농도도 증가되며, 메탄, 아세틸렌이 특히 다량으로 배출되어 연료 분사시기를 변화시킨 경우와 같이 최대 100rpm 정도의 많은 양이 검출되었다. 이는 흡입 공기량이 일정한 상태에서 부하가 증가함에 따라 연료 공급량이 증가되어 불완전 연소가 발생하여 미연 성분인 C_1~C_4성분이 생성된 것으로 생각된다.

(b)의 포름알데히드의 배출은 검출 농도가 4~7ppm 정도로 분사시기 변화 시험의 경우처럼 매우 낮은 농도이였으나, 부하가 상승하면 일단 감소하는 경향을 보이지만 고부하

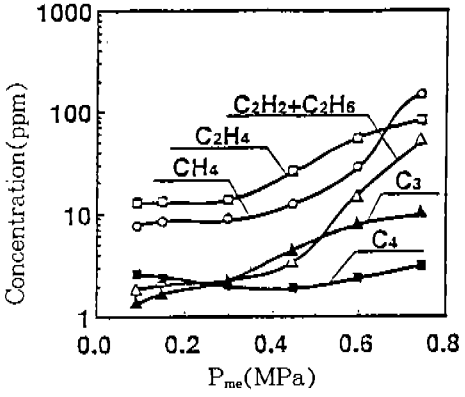


(a) concentration of C_1~C_4 components

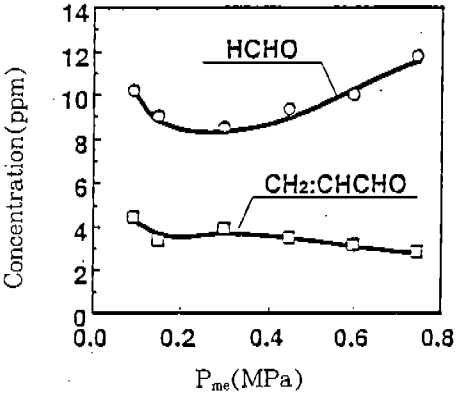


(b) concentration of HCHO

그림 20 기관 부하와 HCHO 및 C_1~C_4성분의 농도와의 관계(경유)



(a) concentration of C_1~C_4 components



(b) concentration of HCHO and CHCHO

그림 21 기관부하와 HCHO, CHCHO와 C_1~C_4 성분과의 관계(에스테르 연료)

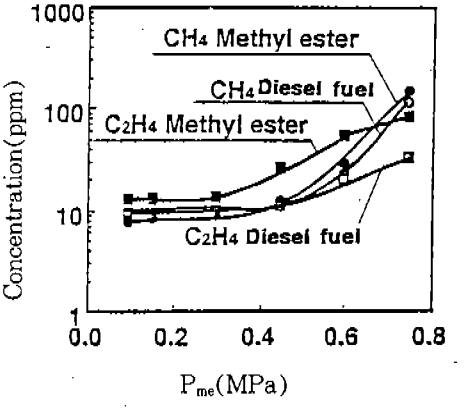


그림 22 경유와 에스테르연료의 메탄과 에틸렌 해석결과 비교

에 근접할수록 농도는 다시 증가한다. 이것은 연소상태가 악화되어 알데히드류가 생성되기 쉬운 상태로 되기 때문으로 생각된다.

그림 21은 메틸 에스테르 연료를 사용한 경우 기관 부하 변화가 C_1~$_4$성분 및 포름알데히드, 아크로레인의 배출에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

경유의 부하 변화시험과 같이 C_1~C_4성분은 부하의 상승과 함께 농도는 증가하고 있어 최대 100ppm 정도까지 검출되었다. 또, 경유와는 다르게 저부하에서 메탄보다 에틸렌의 농도가 높게 나타났으나, 고부하 부근에서는 이들 경향이 반대로 나타났다.

특히, 메탄과 에틸렌의 검출량을 경유의 경우와 비교하여 그림 22에 나타내었다.

여기서 주목할 만한 것은 에틸렌이며, 이것은 대표적인 불포화 HC로 비교적 간단하게 탈수소화하여 중화, 환상화하여 미립자를 생성하는 원인이 될 가능성이 있다. 그러나, 기관 배기가스시험 결과에서 경유에 비하여 에스테르 연료가 미립자가 적은 것은 일단 미립자로 형성된 것이 연료 분자중의 산소에 의해서 더욱 산화되어 미립자가 저감된 것으로 생각된다.

그림 21의 (b)에서 포름알데히드는 8~11ppm 정도로, 저부하와 고부하의 경우에 경유보다 농도가 높게 나타났다. 이는 알데히드류가 발생하기 쉬운 조건으로 혼합비가 극단적으로 농후한 경우, 또한 희박한 경우에 발생한다는 이론을 증명한다고 할 수 있다. 한편, 아크로레인은 3~5ppm 정도로 부하의 상승과 함께 농도는 저하하고 있으며 이는 포름알데히드의 경향과는 다른 결과이다.

이상과 같이 에스테르 연료의 배기가스를 분석한 결과 포름알데히드, 아크로레인 등이 검출되었으나, 메타놀 연료에 비하여 포름알데히드는 1/10정도, 아크로레인 농도도 미량

이어서 인체에 영향을 미칠 정도는 아니므로 에스테르 연료는 경유의 대체 연료로 충분히 실용성이 있음을 확인하였다.

5. 맺음말

식물유, 어유 및 축산 폐기물을 포함한 동·식물성 기름은 어느 연료든지 기관의 연료로서 사용 가능하지만, 이들 연료는 점도가 높고, 저휘발성이어서 착화지연기간동안에 가연성혼합기 생성이 어려워 저 NOx이며, 정숙한 운전이 가능할 뿐 아니라 경유정도의 열소비율 및 배기 매연농도로 디젤기관의 대체 연료로서의 충분한 가능성이 있는 연료임을 확인하였다.

그러나, 고점도에 의한 분무 특성의 악화에 기인한 분무입자의 증대로 미연소분에 의한 carbon deposit 및 piston ring stick 등이 문제점으로 지적되었다.

그러나, 이같은 문제점의 해결책으로 경질유와의 혼합, 에스테르 변환 및 연료의 가열 등 여러 해결책을 제시하였고, 배기가스분석 결과도 양호함을 확인하였다. 이같은 biomass 연료 일종인 식물유가 아무런 변화없이 이용되기 위해서는 고과급화, 단열 및 연소실의 적절한 설계가 필요할 것으로 생각된다.

따라서, 현재의 실황을 생각한다면 기존 기관을 특별하게 개조함이 없이 사용을 전제로 할 때 식물유의 이용은 local 에너지로서, 생산, 전환 또는 이용기술의 개발과 동시에 화석에너지의 보충적인 에너지로 고려하는 것이 유효할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 오 영택외 3인, ディーゼル機關における植物油利用に關する研究, 日本自動車技術會 學術講演會 論文集, 842071, 1984.
2. 오 영택외 4인, ディーゼル機關における重質燃料加熱の効果, 日本自動車技術會 學術講演會 論文集, 852100, 1985.
3. Oh Young Taig et al, "Low Carbon Flower Build-up, Low Smoke, and Efficient Diesel Operation with Vegetable Oil by Conversion to Mono Ester and Blending with Diesel Oil or Alcohols", SAE Trans. 841161, 1984.
4. Oh Young Taig et al, "Effect of Super Heating of Heavy Fuels on Combustion and Performance in DI Diesel Engines", SAE Trans. 860306, 1986.
5. Oh Young Taig et al, "A Study on Vegetable Oils as Diesel Fuel Substitutes", Internal Combustion Engine of Japan, Vol. 25, No. 314, 1986.
6. 오영택외 2인, "디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구(Ⅰ)(기본성능)", 한국자동차공학회 논문집, 제10권 제5호, 1988.
7. 오영택외 2인, "디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구(Ⅱ)(시동성 및 내구성문제)", 한국자동차공학회 논문집, 제10권 제6호, 1988.
8. 오영택외 2인, "디젤기관의 대체연료 이용에 관한 연구(Ⅲ)(에스테르 연료 및 연소특성)", 한국자동차공학회 논문집, 제11권 제1호, 1989.
9. 吳永澤外 5人, "ディーゼル機關における重質燃料の加熱の効果, 日本自動車技術會 論文集, No.35, 1987.
10. 加藤秋男 編著. "パーム油·パーム核油の利用", 幸書房, P 264~P 279.
11. 吳永澤, "ディーゼル機關におけるバイオーマス燃料の利用に關する研究, 日本北海道大學博士學位論文, 1986.

12. 오영택, "폐식용유를 연료로 하는 디젤 기관의 배기배출물 생성에 미치는 연료 성상의 영향", 한국자동차공학회 논문집, 제3권 제6호, 1985.
13. "バイオ－マス資源の生産·轉換及び利用に關する研究, 日本科學技術廳資料調査所, 1980.
14. 浜田, "バイオマス資源の開發と利用" 日本機械學會誌, Vol. 84, No 757.
15. 宇井勝外 3人, "バイオマスエネルキ－", 日本學術出版せレタ－, 1980.
16. 長尾不二不, 日本機械學會誌, Vol. 51, No. 354, 1948.
17. E. H. Pryde, "Vegetable Oils as Diesel Fuels : Overview", Presented at the 73rd AOCS Annual Meeting, P1557, in Toronto, Canada, 1982.
18. E. H. Pryde, "Vegetable Oils as Fuel Alternatives－Symposium Overview", Presented at the 74th AOCS Annual Meeting, P1609, Chicago Illinois, 1983.
19. 吉田 富 外 4人, "ヒマワリ油を燃料としたデイ－ゼル機關の性能(第1報)", 農機北支報 22 : P41～50, 1981.
20. 吉田 富 外 4人, "ヒマワリ油を燃料としたデイ－ゼル機關の性能(第2報)", 農機北支報 23 : P7～13, 1982.
21. 飯本 光雄, "ナタネ油を燃料とした農用小型デイ－ゼル機關の運轉(Ⅰ)", 農機學會誌, Vol. 38, No. 4, P 483, 1976.
22. 飯本 光雄, "ナタネ油を燃料とした農用小型デイ－ゼル機關の運轉(Ⅱ)", 農機學會誌, Vol. 40, No. 1, P 5.
23. 飯本 光雄, "ナタネ油を燃料とした農用小型デイ－ゼル機關の運轉(Ⅲ)", 農機學會誌, Vol. 41, No. 2, P 201.
24. 飯本 光雄, "ナタネ油を燃料とした農用小型デイ－ゼル機關の運轉(Ⅳ)", 農機學會誌, Vol. 41, No. 3, P 363.
25. 飯本 光雄, "ナタネ油を燃料としたデイ－ゼル機關の燃燒室溫度および熱發生率", 農機學會誌, Vol. 42, No. 1, P 7, 1980.
26. 大井 明産외 4인, "デイ－ゼル燃料としてのパ－ム脂肪酸エステル", 燃料協會誌, Vol. 62, No. 669, 1983.
27. T. Murayama, N. Miyamoto, T. Tamata, J. Kawasima, "A Study on Diesel Engines with Alcohol Fuels(Engine Performance Ethanol-Castor oil Fuel Blends)", JSAE, Vol. 26, No. 216, P 1043, 1983.
28. M. Z. Ziejewski, K. R. Kaufmam, A. W. Schwab, and E. H. Pryde, "Diesel Engine Evalution of a Nonionic Sunflower Oil-Aqueous Ethanol Microemulsion", JACOS, Vol. 61, No. 10, P1620, 1984.
29. M. Z. Ziejewski, and K. R. Kaufmam, "Laboratory Endurance Test of a Sunflower Oil Blend in a Diesel Engine", JACOS, Vol. 60, No. 8, P1568, 1983.
30. P. T. C. Duplessis, "Sunflower Oil as Tractor Fuel : Research Report", News release, Department of Agriculture and Fisheries, Republic of South Africa, 1981.
31. K. R. Kaufmam, M. Ziejewski, M. Marohl, H. L. Kucera, and A. E. Jones, "Performance of Diesel Oil and Sunflower Oil Mixtures in Diesel Farm Tractors", ASAE Paper No. 81-1054.
32. 浜部 源次郎, 長尾 不二不, "大豆油を燃料としたデイ－ゼル機關の性能", 日本機械學會誌, Vol. 1, No. 1, 1973.
33. 田村 豊, "大豆油を燃料としたデイ－ゼル機關の運轉", 農機學會誌, Vol. 1, No.

1, 1973.

34. S. J. Clark, L. Wagner, M. D. Schrock, and P. G. Piennaar, "Methyle and Ethyle Soybean Ester as Renewable Fuels for Diesel Engines, JAOCS, Vol. 61, No. 10, P1632, 1984.
35. C. Adams, J. F. Peters, M. C. Rand, B. J. Schroer and M. C. Ziemke, "Investigation of Soybean Oil as a Diesel Fuel Extender", JAOCS, Vol. 60, No. 8, P1574, 1983.
36. R. W. Pryor, M. A. Hanna, J. L. Schinstock, and L. L. Bashford, "Soybean Oil as an Alternative Fuel in a Small Diesel Engine", ASAE Paper MCR82-143, ASAE, St. Joseph, MI. 49085, 1982.
37. S. C. Borgelt and F. D. Harris, "Effects of Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture in Small Pre-combustion Chamber Engines", ASAE Paper No. MCR82-144, St. Joseph, MI. 49085, 1982.
38. C. L. Peterson, d. L. Auld, and R. A. Korus, "Winter Rape Oil Fuel for Diesel Engines;Recovery and Utilization", JAOCS, Vol 60, No. 8, P1579, 1983.
39. R. C. Strayer, J. A. Blake, and Craig, "Conola and High Erucic Rapeseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel;Preliminary Tests", JAOCS, Vol. 60. No. 8, P1587, 1983.
40. G. L. Wager, and C. L. Peterson, "Performance of Winter Rape(Brassica Napus) Based Fuel Mixtures in Diesel Engines", ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, P 329, 1982.
41. E. Johansson, and O. Nordston, "Swedish Tests on Rapeseed Oil as an Alternative to Diesel Fuel", ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, P 337, 1982.
42. G. Vellguth, "Performance of Vegetable Oils and Their Monoesters as Fuels for Diesel Engines", SAE Paper 831358.
43. T. W. Ryan Ⅲ, T. J. Callahan, and L. G. Dodge, "Characteristics of Vegetable Oils for Use as Fuels in Diesel Engines", ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, P 70, 1982.
44. E. H. Pryde, "Vegetable Oil Fuels Standards", ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, P 101, 1982.
45. G. R. Quick, B. T. Wilson, and P. J. Woodmore, "Injector-fouling Propensity of Certain Vegetable Oils and Derivatives as Fuels for Diesel Engines", ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, P 239, 1982.
46. "燃料·潤滑油及びグリス", 自動車技術, Vol.39, No. 6, P 662.
47. Ryan T. W. Ⅲ, L. C. Dodge, and T. J. Callahan, "The Effects of Vegetable Oil Properties on Injection and Combustion in Two Different Diesel Engines", JAOCS, Vol. 61, No. 10, P1610, 1984.
48. C. L. Peterson, G. L. Wagner, and D. L. Aulid, "Performance Testing of Vegetable Oil Substitutes for Diesel

Fuel", ASAE Paper No. 81-3578, ASAE, St. Joseph, MI. 49085, 1981.

49. C. M. Yarbrough, W. A. Lepori, and C. R. Engler, "Compression Ignition Performance Using Sunflower Seed Oil", ASAE Paper No. 81-3576, ASEA, St. Joseph, MI. 49085, 1981.
50. C. R. Engler, and L. a. Johnson, "Effects of Processing and Chemical Characteristics of Plant Oils on Performance of an Indirect-Injection Diesel Engines", JACOS, Vol 60, No. 8. P1592, 1983.
51. L. Elsbett et al, proc. of XIX Fist TA, Vol 1, 82029, 1982.
52. L. Elsbett, G. Elsbett, K. Elsbett, and M. Behrens, "Elko's 1.4 Litre 3 Cylinder Direct Injection Diesel Engine", IMech. Engg. C116181, P135, 1982.
53. L. Elsbett, G. Elsbett, K. Elsbett, and M. Behrens, "Alternative Fuels on a Small High Speed Turbocharged D. I. Diesel Engine", SAE Paper 830556.
54. L. Elsbett, G. Elsbett, K. Elsbett, and M. Behrens, "Elko's High Performance 1.4 Litre 65kW 3 Cylinder Turbocharged Direct Injection Diesel Engine", SAE Australasia 82029. 1982.
55. M. Uematsu, Text of Energy Seminar of JETRO, Jakarta, Mar., 1987.
56. M. Ziejewski, "Vegetable Oils as a Potential Alternative Fuel in Direct Injection Diesel Engines", SAE 831359, 1983.
57. S. C. Borgelt, and F. D. Harris, "Endurance Tests Using Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture to Fuel Small Precombustion Chamber Engines, ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, P364, 1982.
58. J. D. C. Baldwin, H. Klimkowski and M. A. Keesy, "Fuel Additives for Vegetable Oil-Fueled Compression Ignition Engines", ASAE, Proceeding of the International Conference of Plant and Vegetable Oils as Fuels, P224, 1982.
59. T. Murayama, N. Miyamoto, T Yamada, and J. Kawashima, "A Method to Improve the Solubility and Combustion Characteristics of Alcohol-Diesel Fuel Blends", SAE Paper 821113.
60. N. Yamazaki, N. Miyamoto, and T. Murayama, "The Effects of Flash Boiling Fuel Injection on Spray Characteristics, Combustion, and Engine Performance in DI and IDI Diesel Engines", SAE 850071.
61. R. D. Oza, and K. f. Sinnamon, "An Experimental and Analytical Study of Flash-Boiling Fuel Injection" SAE Paper 830590.
62. Y. K. Kim, N. Iwai, H. Suto, and T. Tsuruga, "Improvement of Alcohol Engine Performance by Flash Boiling Injection", JSAE Review, P81, 1980.
63. A. R. Tahir, H. M. Lapp, and L. C. Buchanam, "Sunflower Oil as a Fuel for Compression Ignition Engines", ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels, P 82, 1982.
64. W. E. Klopfenstein and H. S. Walker, "Efficiencies of Various Esters of Fatty Acids as Diesel Fuels", JAOCS, Vol. 60, No. 8, P1596, 1983.