

디젤機關의 代替燃料로서 폐식용유의 有用性에 關한 研究

오 영 택*
(1997년 9월 11일 접수)

A Study on the Usability of Used Vegetable Oil as a Diesel Substitute in Diesel Engine

Young Taig Oh

Key Words : Used Vegetable Oil(폐식용유), Alternative Fuel(대체연료), Esterfication Method(에스테르화 방법), Exhaust Emissions(배기 에미션), Cycle to Cycle Variation(사이클 변동)

Abstract

In recently, lots of researcher have been attached to develop various alternative fuels and to use renewable fuels for solution of the exhaust emission problems. In this study, the usability of used vegetable oil as alternative fuel for diesel engines has been investigated. This paper was compared with the exhaust emissions and performance in diesel engine with used vegetable oil and conventional diesel fuel. Since the vegetable oil includes oxygen of about 10%, it influenced the combustion process strongly. So, the smoke emissions of used vegetable oil were exhausted to be lower than those of diesel fuel. Also, the used vegetable oil was much the same cycle to cycle variation with diesel fuel except $P_{(dp/d\theta)_{max}}$, but the cycle to cycle variation of used vegetable oil was reduced significantly by preheating of the fuel and swirling of the intake air. It was concluded that used vegetable oil could be utilized effectively as renewable fuel for diesel engine.

1. 서 론

최근 전세계적으로 자동차 연료로 사용되는 석유의 가격상승과 그 유한성이 거론되고, 자동차 배기가스로 인한 대도시 지역의 광화학스모그 증가와 오존층 파괴로 인한 자외선의 증가 등의 현상이 현저하게 나타나고 있다. 따라서, 많은 연구자들이 이런 제반 문제들을 해결하기 위한 방안으로 저공해 대체연료와 재생연료에 관한 연구들을 수행하여 왔으며, 일부는 거의 실용화단계에 다가서고 있는 실정이다.

그 중 열효율과 출력면에서 우수한 디젤기관의 대체연료로서 식물유에 관한 연구들이 많이 진행되고 있으며, ^(1,2) 이미 브라질에서는 사탕수수를 이용한 알콜 자동차가 실용화되고 있다.

식물유에 관한 연구는 디젤기관의 발명자인 루돌프 디젤⁽³⁾을 시작으로 1948년 長尾不二夫⁽⁴⁾에 의해 이루어졌으며, C. Adams, ⁽⁵⁾ S. C. Borgelt 등^(6,7)은 대두유와 경유를 혼합하여 실험을 하였고, S. Vinyard 등⁽⁸⁾은 식물유와 알콜 및 경유와의 혼합연료를 이용하여 트랙터를 실험용엔진으로 사용하여 혼합연료의 타당성을 조사하였다. 또한, 덴마크의 K. W. Scholl 등⁽²⁾은 대두유의 에스테르 연료에 대한 연구를 하였으며, 우리나라에서는 저자 등^(9,10)이 식물유의 이용에 관한 연구가 이루어져 왔다.

*회원, 전북대학교 기계공학과

그러나, 대부분 단기통 실험용 기관을 이용하거나 다른 새로운 식물유를 연료로 이용하는 등 체계적인 연구가 미흡하였으며, 특히 자원의 재활용 측면에서 폐식용유의 이용시도와 현재 사용되고 있는 4기통 4행정 실험기관에 대한 실험이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

폐식용유는 식용유보다는 점도가 다소 높고 각종 이물질이 섞인 것을 제외하면 식용유와 거의 성상이 비슷하여 디젤기관의 연료로서 사용할 수 있다는 가능성을 보여 왔다. 식용유는 어느 정도 사용하면 식료품으로서의 기능을 상실하여 폐기되어야 하는데, 보통 일반 가정이나 음식점, 각종 제과류 공장에서 버려지는 폐식용유를 디젤기관의 연료로 이용한다면, 폐기비용을 절감할 수 있음은 물론, 하수구로 버려져 이로 인한 환경오염이 악화되는 것을 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 자원재활용의 측면에서뿐만 아니라 자원이 부족한 우리나라에서 폐식용유를 자동차의 연료로 이용한다면 에너지 자원의 부족을 보충할 수 있을 것이며, 폐식용유는 산소를 함유한 바이오매스 연료로서 매연 등을 크게 저감시킬 수 있어 현재의 배기가스 문제를 크게 개선할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 본 논문에서는 대체 연료로서 기존 기관의 큰 개조없이 디젤기관에 사용할 수 있는 식물유중 특히, 사용된 후 폐기되어야 하는 폐식용유를 디젤기관의 재생연료로서의 이용 가능성과 저공해 대체 연료로의 전환방법을 강구하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치 및 방법

실험에 사용된 기관은 현재 사용되고 있는 4기통, 4행정, 간접분사식 디젤기관으로 기관사양은 Table 1에 표시된 바와 같고, Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

실험은 기관의 각 회전속도에서 무부하, 25%부하, 50%부하, 75%부하, 전부하 상태에서 기관성능, 배기가스 배출 특성 및 기관의 연소변동 상태를 경유와 폐식용유의 에스테르 연료에 대하여 실험하였다. 배기가스 분석은 배기가스 분석기 Mod. 8000을 사용하여 CO, CO₂, HC, NO_x, 그리고 배기가스 내의 잔류 산소 함량을 측정하였으며, 매연은 디젤매연측정기(MDO2)를 사용하여 측정하였다. 또, 연소변동 해석은 연소실에 삽입된 압력센

Table 1 Specification of test engine.

Item	Specification
Engine Model	HD D4BA
Bore×Stroke	91.1×95 (mm)
Displacement	2476(cm ³)
Compression Ratio	21
Combustion Chamber Type	Pre-Combustion Chamber
Injection Timing	ATDC 4°
Coolant Temperature	80°C

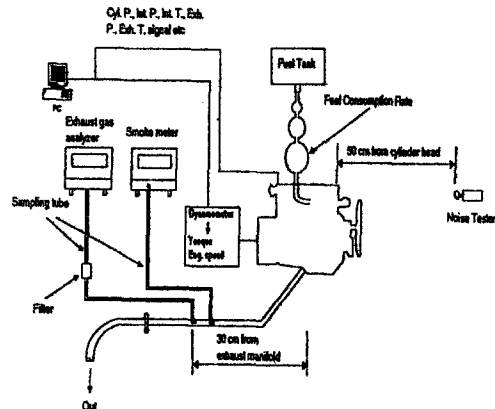


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus (4 cylinder engine).

서를 이용하여 지압선도를 구하였고, 그 지압선도를 기초로 하여 열발생율($dQ/d\theta$), 최대압력상승률($(dP/d\theta)_{max}$), 최고압력(P_{max}) 및 최대압력상승률이 나타나는 점의 압력($P(dP/d\theta)_{max}$) 등을 구하였다.

2.2 실험 연료

폐식용유는 많은 불포화 지방산으로 구성된 고점도 연료이기 때문에 분사기의 막힘(plugging)과 저운 시동성 문제, 미립화의 악화로 인하여 기관의 연소변동과 배기에미션의 악화와 같은 문제들이 대두되고 있다. 이러한 고점도 연료의 특성을 해결하기 위한 방법으로 저자등은 연료온도를 가열하는 방법, 저점도 연료와 혼합하여 사용하는 방법, 그리고 알콜과 혼합하여 화학반응을 일으켜 사용하는 에스테르화 전환방법등을 제시하고 있으나, 이중 에스테르화한 연료는 경유와 연료의 성상이 거의 동일하여 주목받고 있는 실정이다.

따라서, 본 실험에서는 폐식용유를 에스테르화한 연료(이하 에스테르연료라 함)로 전환하여 사용하였으며 비교를 위하여 경유를 사용하였다.

사용된 연료의 물성치는 Table 2에 표시한 바와 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 폐식용유와 에스테르 연료의 특성

일반적으로 연료의 점도는 온도에 따라 크게 좌우된다. Fig. 2는 연료의 온도변화에 따른 경유, 폐식용유 및 에스테르연료의 점도변화를 나타낸 것으로, 상온(20°C)에서의 폐식용유의 점도가 경유의 점도보다 약 10배 이상 더 높게 나타났으나, 에스테르연료는 경유의 것과 거의 비슷하며 온도가 높아짐에 따라서 그 차이가 현저히 감소함을 알 수 있다. 또한, 폐식용유는 Table. 2에서 보는 바와 같이 경유가 갖지 못한 산소를 약 10%정도 함유하고 있고, 에스테르연료로 전환하였을 경우에도 거의 비슷한 산소 함량을 갖고 있어, 고점도 연료의 완전연소에 크게 영향을 미칠 것으로 생각된다.

따라서, 폐식용유를 에스테르 변환방법으로 제작한 연료는 점도나 밀도 등의 물리적인 성질들이 거의 경유와 동등한 성상으로 연료를 변환시킬 수 있음을 확인하였으며, 기존 기관의 특별한 구조 변경 없이 디젤기관의 대체연료로서 충분히 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

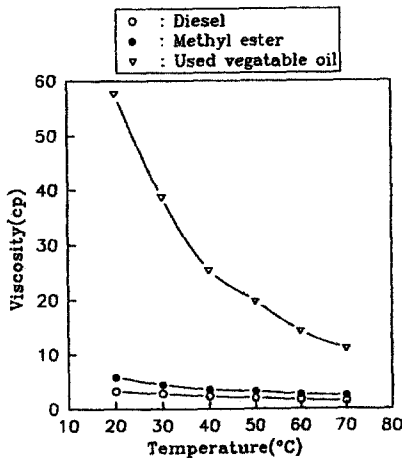


Fig. 2 The viscosity of diesel, used vegetable oil, and methyl ester under varying of temperature.

3.2 기관 회전속도 변화에 따른 기관 성능 및 배기가스 배출 특성

Fig. 3은 기관의 회전속도 변화에 따른 제동토크 및 출력성능을 나타낸 것이다. 그림에서 경유의 경우보다 에스테르연료의 경우가 전 회전범위에 걸쳐 기관출력과 토크가 낮게 나타났으며 고회전 일수록 그 차이는 현저하였다. 이는 에스테르연료의 발열량이 경유의 것보다 9%정도 작기 때문으로 생각된다.

Fig. 4는 75%의 일정한 부하에서 기관회전속도가 변화함에 따라 에너지소비율, 출력, 배기가스 온도 및 소음과의 관계를 나타낸 것이다.

에너지소비율과 기관출력은 두 연료의 차이는 미

Table 2 Properties of fuels.

Parameter	Diesel	Used Vegetable Oil	Methyl Ester
Specific Gravity (20°C)	0.832	0.9304	0.8625
Net Calorific Value (MJ/Kg)	42.91	39.55	39.54
Carbon Wt. (%)	86.76	76.45	77.25
Hydrogen Wt. (%)	13.05	11.07	11.83
Nitrogen Wt. (%)	0.05	0.05	0.03
Oxygen Wt. (%)	0	11.34	9.89

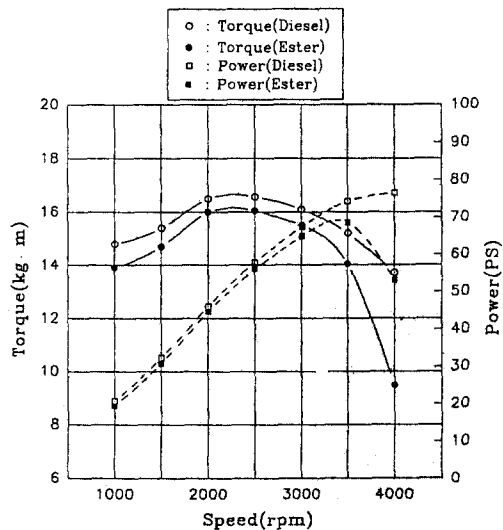


Fig. 3 Engine performance curve.

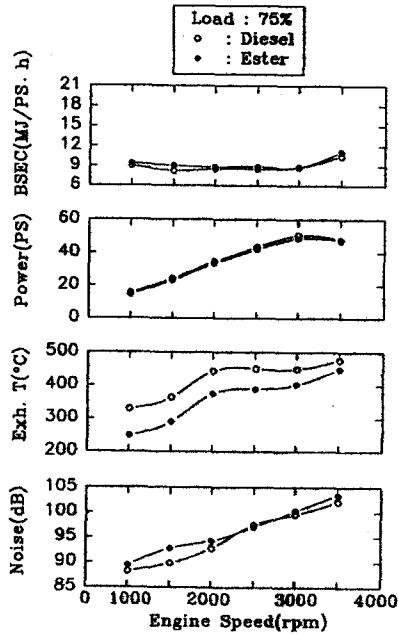


Fig. 4 Engine performance under varying engine speed at load 75%.

세하지만 발열량이 약간 적은 에스테르연료의 경우가 약간 악화되었으나 전 회전범위에 걸쳐서 거의 유사한 경향을 나타내고 있고, 기관소음의 경우 에스테르연료가 경유의 경우에 비하여 약간 상승한 것은 약 10% 전후의 산소량 때문에 예혼합연소량이 증가하여 소음이 증가한 것으로 생각되며, 에스테르연료의 경우 예혼합연소량의 증가로 배기온도가 저하하여 열효율이 향상되었기 때문에 발열량이 적음에도 불구하고 에너지소비율이 거의 비슷하게 나타난 것으로 생각한다.

Fig. 5는 75%의 일정한 부하에서 기관회전속도에 따른 배기가스 배출특성을 나타낸 것이다.

CO의 배출농도는 전반적으로 적은 양이지만 기관회전수 변화에 따라서 에스테르연료의 경우가 경유의 경우보다 배출농도가 약간 증가하며, CO₂는 고회전영역을 제외하고는 배출경향이 비슷하였다. 특히 CO₂의 경우 3000~3500 rpm의 경우는 배출경향에 상당한 차이가 있으나, 이는 회전수 변화에 따른 분사시기의 변화와 Fig. 2에서 설명한 바와 같이 각연료의 점도 차이때문으로 생각된다. 에스테르연료의 점도가 경유의 점도보다는 약간 높고, 또 발열량도 경유의 발열량보다 9%정도 낮아 특히 고회전 영역에서 분사된 연료의 미립화 악화와 다

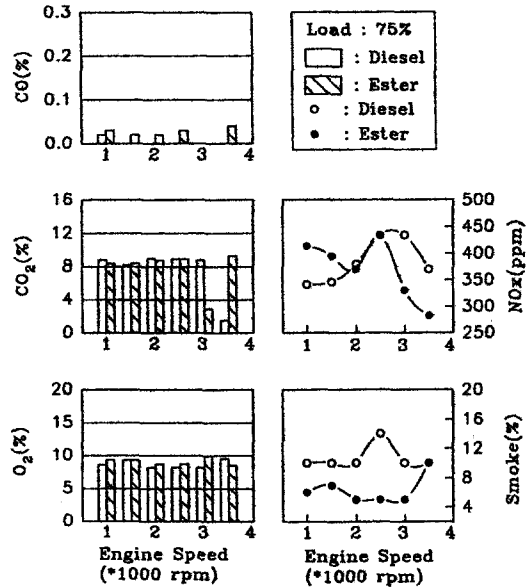


Fig. 5 Exhaust emissions with ester fuel and diesel fuel under varying engine speed at load 75%.

량분사된 연료가 연소하는데 절대적인 시간부족 때문으로 생각된다. 따라서, 전반적으로 매연의 배출농도는 에스테르연료의 경우가 현저히 저감되지만 고회전영역에서 매연의 배출농도는 에스테르연료가 산소를 포함하고 있음에도 경유의 경우와 거의 비슷하게 배출된 것으로 생각된다. 배기가스내의 잔류산소 함량은 연료속의 합산소 성분 때문에 경유보다 에스테르 연료가 더 많이 배출됨을 알 수 있다. NOx의 경우는 회전속도 변화에 따라 두 연료에 있어서 뚜렷한 경향을 볼 수 없었으나, 저회전 영역과 고회전 영역에서 양 연료의 경우 상반된 배출특성을 나타내었으며 경제출력범위인 2000~2500 rpm에서는 동일한 배출 특성을 나타내었고, 매연의 경우는 전회전속도에 있어서 경유보다 에스테르 연료가 현저하게 적게 배출됨을 알 수 있다. 이는 에스테르연료내의 산소가 디젤분무의 특징인 국소적인 과농영역을 다소나마 해소하여 균일한 혼합기를 형성시킴으로서 완전연소를 촉진시켜 매연의 배출량을 감소시킨 것으로 생각된다.

Fig. 6, 7, 8은 25%의 부하에서 기관 회전속도가 각각 1500, 2000, 2500 rpm인 경우의 지압선도, 압력상승율, 열발생율, 그리고 총 발생열량을 나타낸 것이다. Fig. 6에서와 같이 지압선도와 열발생율곡선에서 가장 뚜렷하게 나타난 것은 예혼합 연소부분이 경유보다 에스테르연료를 사용한 경우

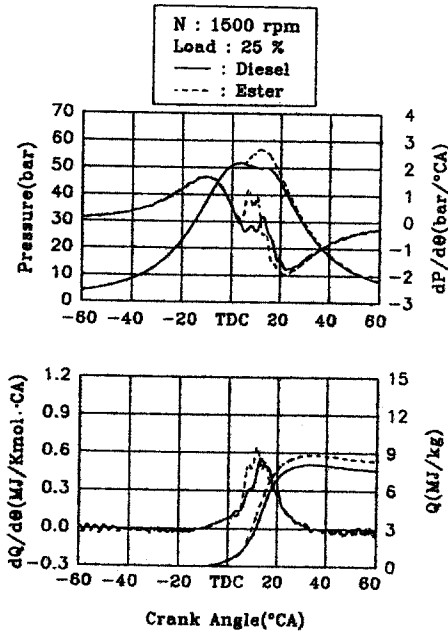


Fig. 6 Pressure, $dP/d\theta$, $dQ/d\theta$ and Q versus crank angle at engine speed 1500 rpm, load 25%.

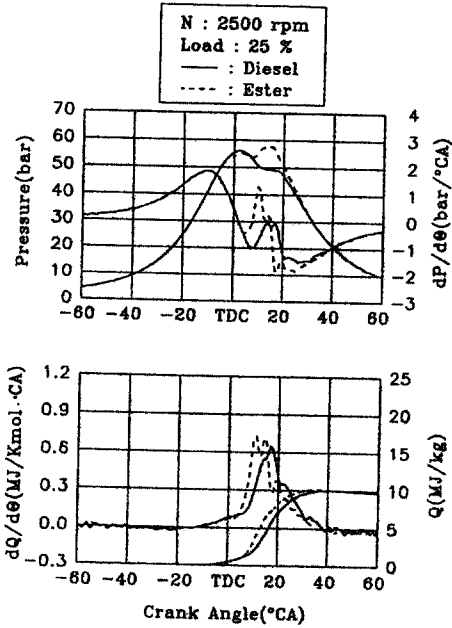


Fig. 8 Pressure, $dP/d\theta$, $dQ/d\theta$ and Q versus crank angle at engine speed 2500 rpm, load 25%.

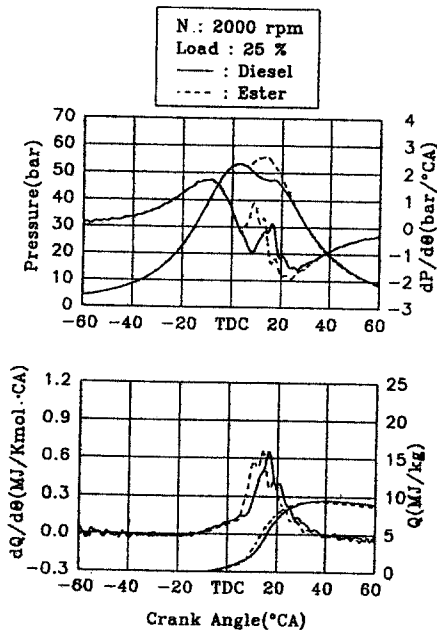


Fig. 7 Pressure, $dP/d\theta$ and $dQ/d\theta$ versus crank angle at engine speed 2000 rpm, load 25%.

가 현저히 높게 나타난 것이다. 이것은 압력상승율에서도 알 수 있듯이 에스테르연료가 약 10%의 산소를 함유하고 있기 때문에 예혼합연소시 연소를

촉진시켜 급격한 연소를 유발하였고, 그로 인해 앞에서 논의된 소음의 경우도 경유보다 더 높게 나타난 것으로 분석된다.

또한, 회전속도가 2000, 2500 rpm으로 증가함에 따라서 확산연소부분은 두 연료에 있어서 뚜렷한 차이는 보이지 않지만 예혼합연소부분이 점점 증가하는 경향을 볼 수 있다. 결과적으로 기관의 회전속도가 변화함에 따라 두 연료의 기관성능 및 배기에 미치는 변화양상은 거의 동일하게 나타났으며, 디젤기관에서 가장 문제시되는 매연이 경유보다 현저히 감소되는 것은 연소기간의 단축으로 생각된다.

3.3 부하변동에 따른 기관성능 및 배기가스 배출 특성

Fig. 9는 일정한 엔진속도 2500 rpm에서 부하의 변화에 따른 에너지소비율, 기관출력, 배기가스 온도 및 소음을 비교하여 나타낸 것이다. 에너지소비율의 경우 경유보다 에스테르연료의 경우가 저부하영역에서 더 증가하는 경향을 알 수 있지만, 부하가 증가할수록 그 차이는 감소하는 경향으로 나타나고 있다. 이는 저부하영역보다는 고부하영역일수록 합산연료의 효과가 작용하여 완전연소하였기 때문으로 생각된다. 기관출력의 경우는 발열량이

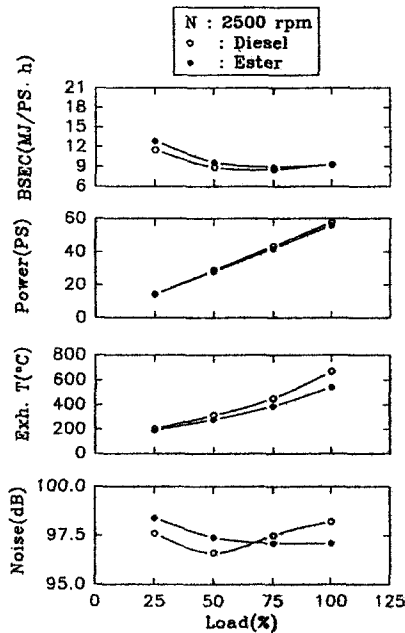


Fig. 9 Engine performance under varying load at engine speed 2500 rpm.

적은 에스테르연료의 경우가 낮게 나타났으며, 배기온도의 경우는 에스테르연료의 경우가 더 낮게 나타나고, 소음은 뚜렷한 양상을 찾기는 어렵지만 저부하영역에서는 에스테르연료의 경우가 약간 높게 나타났고, 고부하영역에서는 낮게 나타났다. 이는 3.2에서 살펴본 바와 같이 저부하 경우의 소음은 에스테르연료의 경우가 경유보다 급격한 예혼합연소를 일으켜 발생된 것으로 생각되며, 특히 고부하영역에서는 발열량이 경유보다 9%정도 적은 에스테르연료의 경우 동일한 열량을 공급하기 위하여 연료를 다량공급해야 하므로, 이에 따른 미립화의 악화와 착화지연기간의 단축으로 예혼합연소량의 감소에 기인하여 소음이 저감된 것으로 생각한다.

Fig. 10은 기관 회전속도 2500 rpm에서 부하의 변화에 따른 각종 배기가스성분들의 특성을 비교하여 나타낸 것이다. CO의 경우, 경유에 있어서는 거의 나타나지 않았다가 전부하시에만 약간 나타났고, 에스테르연료에 있어서는 모든 상태에서 약간씩 나타남을 보였다. CO₂의 경우는 두 연료에 있어서 거의 비슷하게 나타났으며, 부하가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

배기가스내 잔류 산소함량의 경우도 두 연료에 있어서 거의 비슷하게 나타났으며, 부하가 증가함

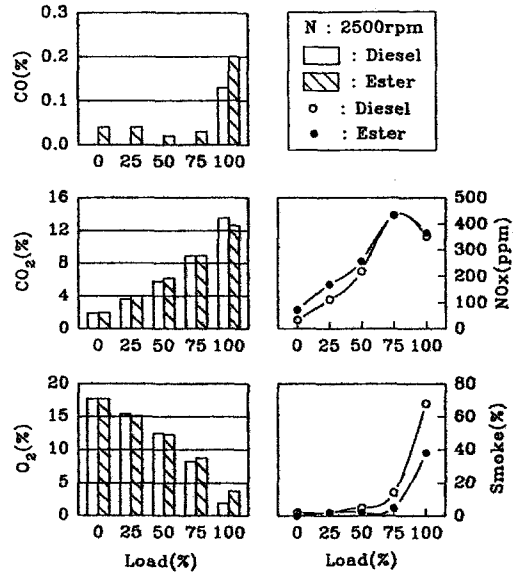


Fig. 10 Exhaust emissions with ester fuel and diesel fuel under varying load at engine speed 2500 rpm.

에 따라 감소하는 경향을 보였다.

NOx는 경유의 경우보다 에스테르연료가 저부하영역에서 약간 증가하였으며, 고부하영역에서는 거의 동일하였는데, 이것은 에스테르연료가 경유보다 급격한 예혼합연소를 하였기 때문으로 생각된다. 매연의 경우, 전부하상태에서 에스테르연료가 경유보다 저감하였고, 고부하영역에서는 저감폭이 현저하였으며 전부하상태에서도 허용기준치를 넘지 않았음을 알 수 있다.

이것은 에스테르연료내의 10%의 산소함량이 완전연소를 촉진시켜 매연을 저감하는데 주요한 효과임을 알 수 있다.

Fig. 11은 엔진속도 2500 rpm에서 50%의 부하시 경유와 에스테르연료의 지압선도, 압력상승율, 그리고 열발생율을 나타낸 것이다. 지압선도에 있어서 두 연료 모두 확산연소부분은 거의 비슷하지만, 예혼합연소부분은 에스테르연료를 사용한 경우가 더 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

이것은 에스테르연료가 발열량은 작지만 약 10%의 산소를 함유하고 있어서 예혼합연소량을 증가시키고, 확산연소시에 이 산소가 연소를 촉진시켜 나타난 것으로 생각된다.

결과적으로 에너지 소비율과 출력의 경우는 발열량이 적은 에스테르연료의 경우가 약간 악화되었지

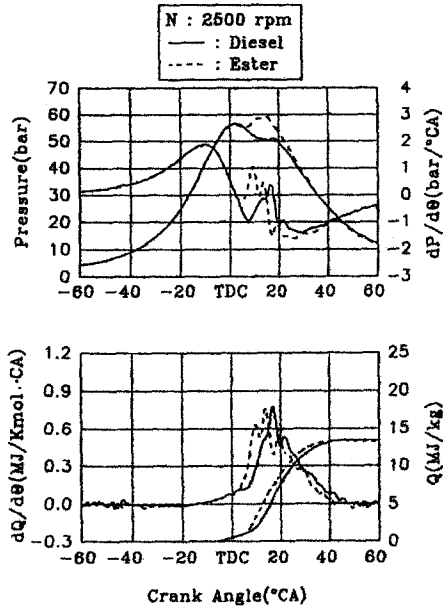


Fig. 11 Pressure, $dP/d\theta$ and $dQ/d\theta$ versus crank angle at engine speed 2500 rpm, load 50%.

만, 배기가스의 경우, 매연이 경유보다 에스테르 연료가 현저히 감소하였으며, 전부하의 경우에도 경유의 경우는 허용기준치를 초과하였지만 에스테르 연료를 사용한 경우는 허용기준치를 초과하지 않았다.

3.4 연소변동 개선책

대체연료를 사용할 경우, 기관의 사이클 변동이 심하여 연료소비율 및 기관 출력은 물론 배기 에미션 배출특성에도 악 영향을 미치는 것으로 생각된다. 따라서, 본 연구에서는 대체연료를 사용할 때 연소변동과 그 대책에 관하여 기술하고자 한다.

Fig. 12와13은 분사시기MBT, 회전수 1100 rpm, 정미평균유효압력 0.3 MPa에서 50사이클 분의 지압선도를 이용하여 경유와 식물유의 온도변화 및 흡입공기에 와류를 형성시킨 경우 연소 변동인자의 표준편차를 나타낸 그림이다.

Fig. 12에서는 연료온도가 20°C일 때 식물유(s.o.)의 경우가 경유의 경우보다 열발생을 최고치($dQ/d\theta$)_{max} 및 최대압력상승률 ($dP/d\theta$)_{max}의 표준편차가 약간 증가하여 연소변동이 다소 증가함을 알 수 있으나, 연료온도를 100°C로 가열 및 흡입공기에 와류를 형성시킨 경우는 경유와 거의 유사함을 알 수 있다.

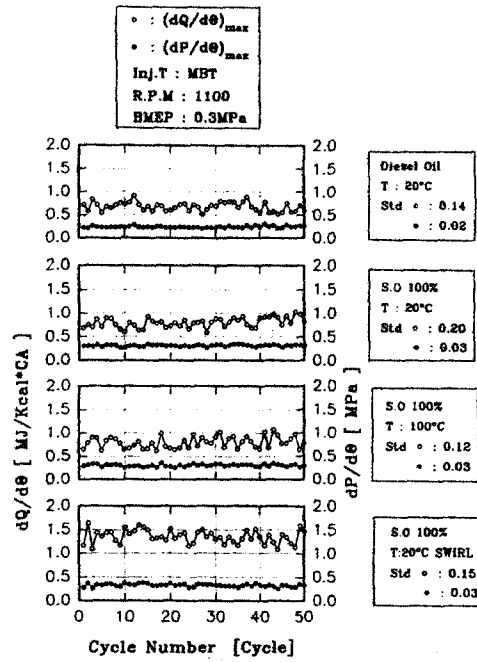


Fig. 12 $(dQ/d\theta)_{max}$, $(dP/d\theta)_{max}$ versus cycle number.

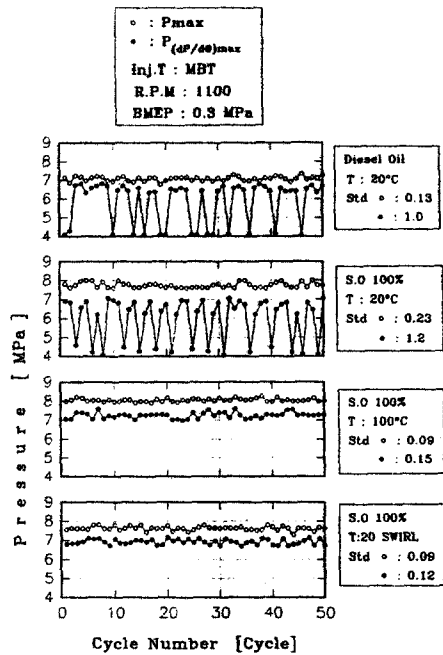


Fig. 13 P_{max} , $P(dP/d\theta)_{max}$ versus cycle number.

Fig. 13에서도 연료온도가 20°C일 때 식물유가 경유보다 최대압력 P_{max} 및 최대압력상승율이 나타나는 점의 압력 $P(dP/d\theta)_{max}$ 의 표준편차가 증

가하여 연소변동이 약간 증가함을 알 수 있으나, 연료온도 100℃ 및 흡입공기에 와류를 형성시킴으로서 오히려 경유의 경우보다 현저히 작아 연소변동이 뚜렷이 개선되었음을 알 수 있다. 따라서, 식물유의 연소변동 개선책으로는 연료의 가열 및 흡입공기에 와류를 형성 시키는 방법이 연소변동개선에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 이와 같은 것들을 종합하여 볼 때, 식물유의 일종인 폐식용유를 현재의 4기통 디젤기관에 대체연료로 이용할 때, 연소변동을 개선하기 위해 연료의 가열 및 흡입공기에 와류를 형성시키는 방법이 이용되어야 할 것으로 생각된다.

4. 결 론

폐식용유를 대체연료로서뿐만 아니라 자원의 재활용측면의 재생자원으로서 현재 사용되고 있는 4기통 디젤기관에 이용하였을 경우 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 폐식용유를 메틸 에스테르연료로 전환시키므로 고점도 연료의 특성을 해소하고, 경유와 같은 성상으로 만들 수 있었다.

(2) 폐식용유가 함유한 10%정도의 산소는 연소를 촉진시켜 NOx는 경유보다 약간 많이 배출되었지만, 매연은 현저히 감소하였다. (30%)

(3) 대체연료로 폐식용유를 사용한 경우 $P_{(dP/d\theta)_{max}}$ 를 제외하고 연소변동은 경유와 거의 유사하였으나, 연료의 온도가열 및 흡기에 와류를 형성시키면 연소변동은 현저하게 개선되었다.

(4) 따라서, 폐식용유는 디젤기관의 대체연료로서 충분히 이용 가능하다는 것을 확인하였다.

후 기

본 논문은 전북대학교 자동차 신기술 연구소 제3차과제로서 수행된 것입니다. 논문작성을 위해 도움을 준 유 경현에게 감사사를 드립니다.

참고문헌

(1) Norbert h., Volker K., Herwig R., and Gunter S., "Performance, Exhaust Emissions and Dura-

bility of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil." *SAE paper*, 910848.

(2) Kyle W. Scholl and Spencer C. Sorenson, 1993, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," *SAE paper*, 930934.

(3) R. C. Strayer, J. A. Blake and Craig, 1983, "Colona and High Erucic Rapeseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel: Preliminary Tests," *JAOCS*, Vol. 60, No. 8, pp. 1587~ 1594.

(4) 長尾不二夫, "ディーゼル燃料としての松根油," *日本機械學會誌*, Vol. 51, No. 354, pp. 37~ 44, 1948.

(5) C. Adams, J. F. Peters, M. C. Rand, B. J. Schrder and M. C. Ziemke, 1983, "Investigation of Soybean Oil as a Diesel Fuel Extender," *JACOS*, Vol. 60, No. 8, pp. 1574~1580.

(6) S. C. Borgelt and F. D. Harris, 1982, "Effects of Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture in Small Pre-Combustion Chamber Engines," *ASAE paper*, No. MCR82~144.

(7) S. C. Borgelt and F. D. Harris, 1982, "Endurance Tests Using Soybean Oil-Diesel Fuel Mixture to Fuel Small Pre-Combustion Chamber Engines," *ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, p. 364.

(8) S. Vinyard, E. S. Renoll, J. S. Gooding, L. Hawkins and R. C. Bunt, 1982, "Properties and Performance Testing with Blends of Biomass Alcohols, Vegetable Oils and Diesel Fuel," *ASAE, Proceeding of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*, p. 287.

(9) 오영택외 3인, 1984, *ディーゼル機関における植物油利用に關する研究*, *日本自動車技術誌 學術講演會論文集*, 842017.

(10) Oh Young Taig et al, 1984, "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 paper* 841161.