

디젤기관용 대체연료로서의 어유 이용

Utilization of Fish Oil as an Alternative Fuel for Diesel Engine

서 정 주, 왕 우 경, 안 수 길
J. J. Suh, W. K. Wang, S. K. Ahn



서 정 주
· 1947년 8월생
· 정회원
· 여수수산대학교
· 기관공학과
· 내연기관



왕 우 경
· 1958년 11월생
· 정회원
· 여수수산대학교
· 실습선
· 내연기관



안 수 길
· 1943년 5월생
· 정회원
· 부산수산대학교
· 제어기계공학과
· 내연기관의 연소

사용연료는 거의가 액체연료인 석유계가 대부분을 차지하고 있고, 이의 수요가 날로 증가됨으로써 석유자원의 고갈 위기와 함께 유해성 배출가스의 방출에 기인되는 환경오염의 측면에서도 매우 심각한 문제로 대두되고 있다. 따라서 종래의 석유계 연료로부터 탈피하여 값싸고 장기적으로 안정하게 공급될 수 있는 대체연료 개발과 에너지 절약기술에 대한 다각적인 연구가 전 세계적으로 확산되고 있다.

대체연료 개발에는 오래전부터 동·식물유가 연구되어 왔으나, 이들 특유의 고점도와 저휘발성에 기인하는 카본퇴적물 및 피스톤 고착 등의 해결문제가 남아 있고, 가격과 양적인 문제도 제약을 받고 있다.

알코올은 1976년 국제알코올 심포지움(A.F.T)이 조직되면서부터 바이오매스(bio-mass) 자원이 풍부한 브라질을 비롯하여 미국, 일본 및 독일 등지에서 활발히 연구되고 있다. 특히, 메탄올은 천연가스, L.P.G 및 나프타 외에 석탄이나 가연성 폐기물 등의 원료로부터 생산이 가능하고 에탄올에 비하여 가격 및 공급면에서 유리하므로 미래의 대체연료로서 크게 주목된다.

1. 서 언

내연기관은 19세기에 발명되어 20세기에 이르는 약 100여년에 걸쳐 계속 발달하여, 오늘날은 육·해·공의 각종 원동기로 사용되어 인간생활에 없어서는 안될 중요한 위치를 차지하고 있다.

최근에는 어유를 디젤기관용 대체연료로 이용하려는 움직임이 보이며 실제 어선용 디젤기관에 사용하여 그 연소가능성을 시험한 예^{1), 2), 3)}도 있다. 연료로서의 어유는 종래 대형선박의 보일러용 연료로 사용된 적이 있으나, 현재는 주로 식품제조, 도료 및 화장품 등의 원료로 이용되고 있다.

이러한 대체연료는 단순히 가격면에서 뿐만 아니라 장기적 공급이 가능해야 하고 또한 석유자원의 고갈과 비상시의 대비를 위한 관점에서도 취급되어야 할 것으로 본다. 이러한 관점에서 어유는 어류의 자원이 고갈되지 않는 한 생산이 계속 가능하므로 대체연료로서의 이용가치를 검토할 필요가 있다고 본다.

따라서, 본 해설에서는 디젤기관용 대체연료로서 가격이 싸고 공급이 비교적 용이한 정어리유(sardine oil)를 경유와 여러비율로 혼합한 경유-어유 혼합유를 정용연소기와 선박용 디젤기관에 사용하여 그 연소특성을 기존의 경유 사용시와 비교 설명하고자 한다.

2. 어유의 조성 및 특성^{4), 5)}

어유의 주성분은 거의가 지방산으로 이루어져 있고 이 중에서 포화지방산이 약 30%, 2중결합을 포함한 불포화지방산이 약 70%를 차지하고 있다. 지방산의 구성형태는 3개의 지방산이 결합하여 하나의 작은 집단(화합물)을 만들고, 이와 같은 집단이 다수 모인 것이 유지(어유)이다. 그러므로 유지는 지방산이 3개씩 결합한 것이 기본단위가 되고, 이것을 트리글리세라이드(triglycerides)라 한다. 트리글리세라이드는 3개의 지방산이 직접 연결되어 있지 않고 1개의 짧은 다린鎖(glyceline)에 연결되어 있다. 이 경우 3개의 지방산중 2개 이상이 포화지방산이면 그 유지는 융점이 높고 상온에서 고형을 나

타내는 우지, 돈지 및 경화유 등의 주성분이 된다. 또한 2개 이상이 불포화지방산일 경우는 상온에서 액상을 나타내는 대두유, 채종유 및 면실유 등의 식물유와 어유의 주성분이 된다.

지방산의 구성원소는 C.H.O 등으로 이루어져 있고, 그 분자구조는 알킬기(CH₃, CH₂)의 말단에 산성기(COOH)가 결합한 형태로 종류에 따라 2중 결합과 드물게는 3중결합을 하고 있는 경우도 있다. 표 1은 경유와 어유의 공업분석과 원소분석의 결과를 나타낸다.

어유는 약 70% 정도의 불포화지방산을 함유하고 있기 때문에 육상 동·식물의 유지에 비하여 요오드가 높고 가열에 의한 변화를 받기 쉬운 특징이 있다. 또한 유허분을 함유하고 있지 않으며, 석유계 연료에 비하여 비중, 점도, 인화점 및 유동점이 높고 산소를 함유하고 있기 때문에 발열량이 다소 떨어진다.

표 2는 표 1의 원소분석결과를 이용하여 이론공기량식에 의해 각 어유 및 경유의 연소에 필요한 이론공기량 및 연소가스량을 계산한 결과를 나타냈다. 표에 의하면 어유는 완전연소에 필요한 이론공기량이 경유에 비해 약 12% 정도 적었다. 이러한 결과는 실린더내에 흡입되는 공기량이 동일할 경우, 일정량의 연료를 연소시키기 위해서는 경유보다 어유가 공기과잉률이 크게 되어 연소에 도움이 되고 Soot 등의 배기특성이 개선될 것으로 생각된다.

3. 정용연소기에서의 어유의 연소특성

3.1 착화특성

그림 1은 연소기내에 연료를 분사한 후에 증발 및 착화과정을 상세히 알기 위하여 연소기내의 초기압력과 온도를 2.55MPa 및

표 1 어유와 경유의 공업분석과 원소분석

Test fuels	Proximate analysis %(wt)				Ultimate analysis %(wt)				
	Moisture	Volatile matter	Fixed carbon	Ash	10	H	N	S	O
Diesel oil	0.008	21.13	78.31	0.56	85.1	13.1	0.2	0.3	0.59
Sardine oil	Trace	1.31	98.61	0.08	76.2	11.7	0.43	Trace	11.48
File fish oil	Trace	0.89	99.00	0.11	76.2	11.4	0.81	Trace	11.41
Alaska pollack oil	0.1	0.35	99.58	0.07	77.1	12.2	Trace	Trace	10.56

표 2 어유와 경유의 이론공기량과 연소가스량

Theoretical quantity	Alaska pollack oil	Sardine oil	File fish oil	Diesel oil
$O_o(Nm^3/kg)$	2.05	2.00	1.98	2.30
$A_o(Nm^3/kg)$	9.76	9.52	9.44	10.93
$G_{ov}(Nm^3/kg)$	9.15	8.97	8.95	10.29
$G'_{ov}(Nm^3/kg)$	10.53	10.28	10.23	11.69

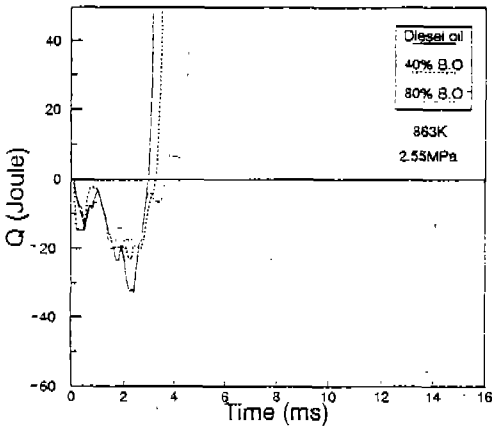


그림 1 경유와 어유-경유 혼합유의 착화과정 패턴(863K)

비교적 고온인 863K로 각각 유지했을 때의 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 누적열발생량(cumulative heat release)의 흡열부분을 확대하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 분사 시작점으로부터 최대

흡열점까지의 흡열량은 경유가 가장 크고, 다음이 40% 어유혼합유, 그리고 80% 어유혼합유 순으로 나타났다. 또한 분사후로부터 최대 흡열점까지의 기간은 80% 어유혼합유가 가장 짧고, 다음이 40% 어유혼합유, 그리고 경유 순으로 길게 되고, 최대흡열점에서 누적열발생량이 처음으로 회복하기까지의 기간은 반대로 경유가 가장 짧고, 다음이 40% 어유혼합유, 그리고 80% 어유혼합유 순으로 길게 나타났다. 흡열량이 어유혼합유가 경유보다 적은 이유는 어유혼합유는 경유에 비해 점도와 비중이 크므로 무화(atomization)가 불량하고 또 기화성이 나쁜 데에 기인 한다고 생각된다. 분사후로부터 최대 흡열점까지의 기간은 가열 및 증발에 요하는 시간으로서, 이 기간이 어유혼합유가 경유보다 짧은 것은 경유가 어유에 비해 무화와 휘발성이 우수하므로 연소기내에서의 초기증발은 어유혼합유중의 경유분이 먼저 일어난다

고 분다. 이때 연소기내의 일정온도하에서 증발량이 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 크게 되어 분무의 증발잠열이 증가한다. 또한 어유의 혼합비율이 증가하면 합산 소량도 증가하여 어유증의 산소는 수소와 결합하는 결과로 함수율이 높아져 결국 물의 증발잠열과 분무의 증발잠열로 인하여 초기 분위기온도(ambient temperature)가 저하되는 것으로 분다. 한편, 최대흡열점에서 누적열발생량이 零으로 회복되는 기간은 최대 흡열점에서 열발생이 일어나 이전의 증발에 의한 흡열과 상쇄되면서 마침내 누적열발생량이 零으로 회복하게 된다. 이 기간이 경유에 비하여 어유혼합유가 길게 되는 것은 분사후로부터 최대 흡열점까지의 기간이 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 길기 때문에 그 동안에 연료의 증발과 확산이 충분히 이루어지고 활성화된 가연혼합기량이 증가하여 열발생속도가 크게 되기 때문으로 생각된다.

그림 2는 연소기내의 초기압력을 2.55MPa, 초기온도를 비교적 저온인 653K로 유지했을 때의 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 누적열발생량의 흡열부분을 확대하여 각각 나

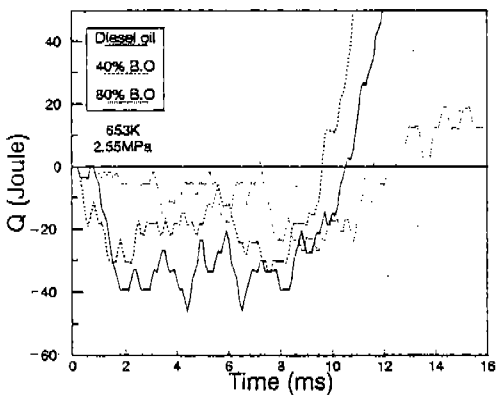


그림 2 경유와 어유-경유 혼합유의 착화과정 패턴(653K)

타낸 것이다. 그림에서와 같이 흡열량은 고온시와 마찬가지로 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 크게 나타났고 증발에 의한 흡열의 형태는 대단히 완만하며, 분사후로부터 최대흡열점까지의 기간은 고온시와 반대 현상으로 나타났다. 최대흡열점에서 누적열발생량이 零으로 회복되는 기간은 경유와 80

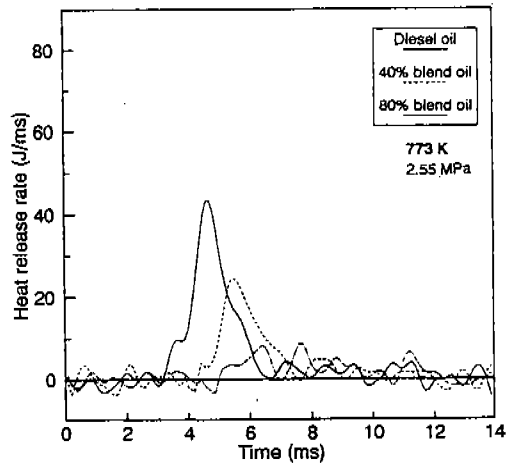


그림 3 경유와 어유-경유 혼합유의 열발생률 (773K)

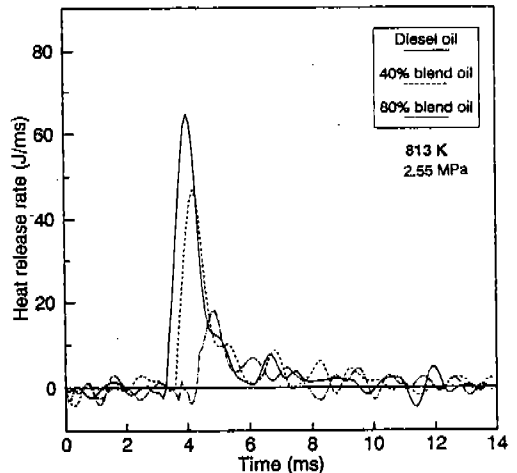


그림 4 경유와 어유-경유 혼합유의 열발생률 (813K)

% 어유혼합유는 비슷하고 40% 어유혼합유에서 특히 짧게 나타났다. 이와 같이 저온분위기하에서 어유의 혼합비율에 따라 이 기간이 일정하지 않는 이유는 어유혼합유의 가열 및 증발형태가 고온 분위기때와 근본적으로 상이하고 어유혼합비율에 따라 합산소량의 차이로 인한 복합적인 요소가 존재하는 것으로 생각된다.

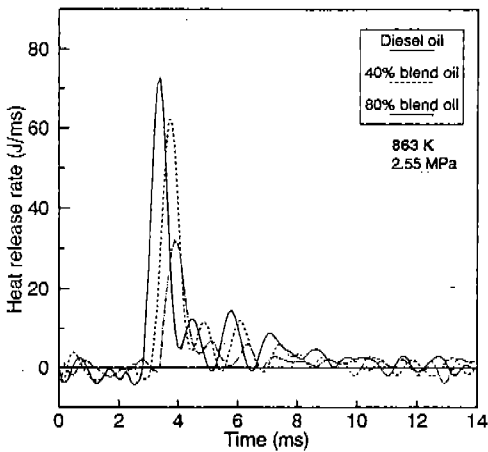


그림 5 경유와 어유-경유 혼합유의 열발생률 (863K)

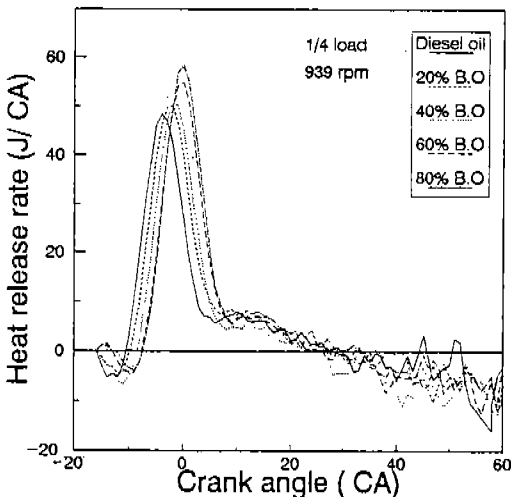


그림 6 경유와 어유-경유 혼합유의 열발생률 (저부하)

3.2 열발생률

그림 3, 4 및 5는 연소기내의 압력을 2.55MPa로 유지했을 때의 각 온도에서 경유, 40% 및 80% 어유혼합유의 열발생률 변화를 각각 나타낸다. 연료분사시간은 연소기내의 배압이 2.55MPa, 분사압력 11.76MPa 일때 2.5ms이다.

그림에 의하면 일정 온도하에서의 열발생 시기와 최고열발생률의 크기는 경유, 40% 및 80% 어유혼합유 순으로 나타났다. 그리고 저온에서 고온으로 갈수록 예혼합연소부분의 폭이 좁아지는 반면 그 최대치는 증가하고 확산연소부분이 점차 감소하고 있음을 알 수가 있다. 이러한 결과는 착화과정에서 알 수 있는 바와 같이 경유는 혼합유에 비하여 착화시기가 빠르고 분사후로부터 착화시 까지의 증발량이 많고, 고온으로 됨에 따라 활성화된 혼합기의 연소속도가 빨라지기 때문으로 생각된다.

4. 디젤기관에서의 어유의 연소특성

4.1 열발생률

저부하(분사시간은 크랭크각으로 8°)에 있어서 경유와 혼합유의 예연소실내에서의 크랭크 각도에 대한 열발생률선도($dQ/d\theta-\theta$)를 그림 6에 나타낸다. 그림에 의하면 분사 직후의 흡열반응 유형을 보면 경유에 비해 혼합유는 어유혼합비율이 높을 경우에는 흡열량이 적고 그 시기도 크랭크 각도로 늦게 나타나고, 착화 이후의 열발생시기도 어유혼합비율이 높을수록 늦고 최고열발생율은 크게 나타났다. 이것은 경유에 비해 혼합유는 점도가 높고 휘발분의 함량이 적기 때문에 증발량이 적고, 착화지연기간이 길어 착화시기가 늦어지기 때문으로 생각된다. 착화 이후의 최고열발생률이 경유보다 어유혼합비율

이 높은 혼합유일 경우 크게 나타나는 것은 최고 압력점까지 형성되는 혼합기량이 경유보다 어유혼합비율이 높은 혼합유가 많은 데에 기인한다고 생각된다. 또한 저부하에서 경유의 착화지연은 혼합유에 비하여 크게 짧기 때문에 착화후의 유입은 화염속으로 분사되므로 산소농도가 부족하여 연소가 억제되는 반면 혼합유는 어유중의 산소작용으로 연소가 촉진되는 것으로 생각된다.

그림 7은 고부하(분사시간은 크랭크각으로 14°)에서의 경유와 혼합유의 열발생률선도를 나타낸 것으로, 60% 및 80% 혼합유는 분사 초기부터 발열반응을 보이다가 뒤늦게 미소한 흡열반응을 나타내고, 착화 이후의 열발생시기는 각 시료간에 비슷한 경향으로 나타났다. 그러나 어유의 혼합비율이 증가함에 따라 초기 연소시간이 크랭크 각도상 늦게 되고 최고열발생률은 역시 크게 나타났다. 이것은 저부하에 비해 고부하에서는 착화지연시간이 극히 짧아 60% 및 80% 혼합유중의 경유분의 증발에 의한 흡열량보다 공기의 압축열에 의한 영향이 크기 때문으로

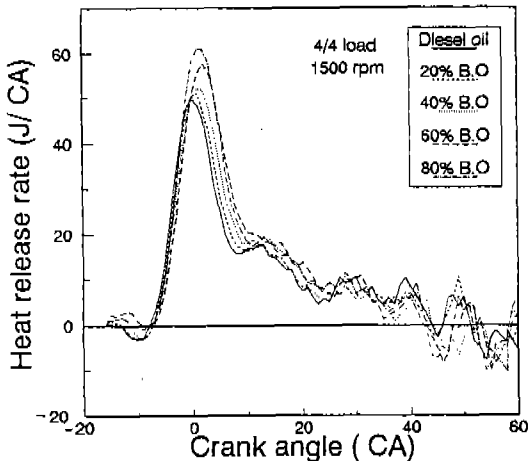


그림 7 경유와 어유-경유 혼합유의 열발생률 (고부하)

생각된다. 착화 이후는 고부하에서의 착화지연시간이 경유와 혼합유간에 큰 차이가 없고, 어유분의 지속적인 증발과 동시에 연소가 일어나는 소위 확산연소가 일부 이루어짐으로써 연소가 지연되기 때문이라 생각된다.

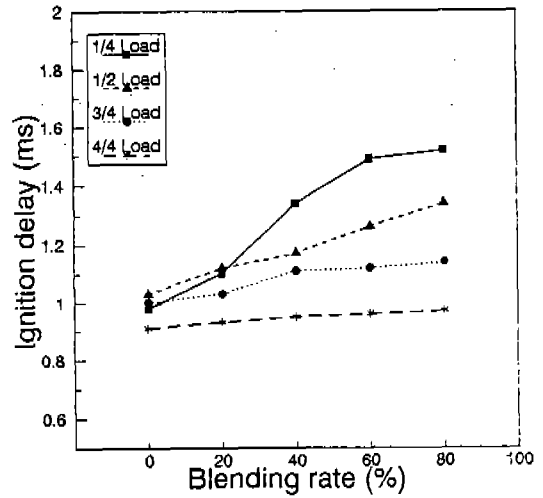


그림 8 부하에 따른 경유와 어유-경유 혼합유의 착화지연

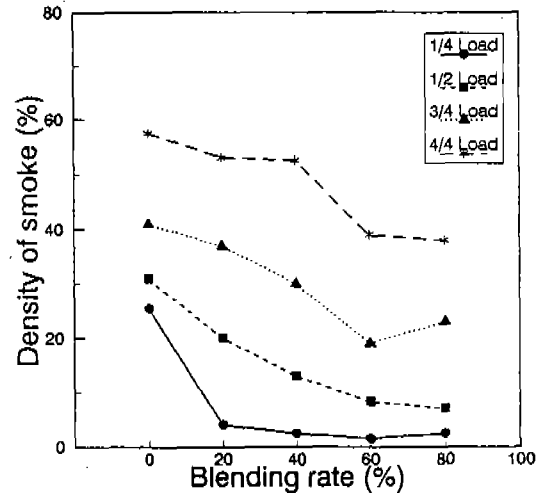


그림 9 부하에 따른 경유와 어유-경유 혼합유의 그을음 농도

4.2 착화지연

착화지연을 정의하는 방법에는 여러가지가 있으나 본 해설에서는 그림 6 및 7의 열발생률선도에서 분사시작점의 열발생률이 零이 되는 지점부터 분사후 분무의 증발로 인해 흡열반응을 거쳐 열발생률이 다시 零으로 회복되는 지점(착화점)까지의 시간으로 정의하였다.

그림 8은 각 부하에 있어서 경유와 혼합유의 착화지연기간의 변화를 나타낸 것으로, 동일 부하에서는 어유의 혼합비율이 증가할수록 착화지연이 크게 되고 부하가 증가함에 따라 혼합비율에 따른 착화지연의 차이는 작게 나타났다. 이것은 경유에 비하여 어유는 점도가 높고 휘발성이 떨어지므로 혼합기 형성에 필요한 가열과 증발에 요하는 시간이 길어지고 어유의 고분자 구조가 화학적으로 분해되는 시간도 함께 길어지기 때문이다. 특히 저부하의 저온저압 분위기중에서 어유의 혼합비율이 증가되면 어유의 물리적 및 화학적 성질이 강하게 작용하여 착화지연에 미치는 영향은 더욱 크게 될 것으로 본다. 徐 등⁶⁾의 정용연소장치에 의한 어유의 착화지연에 관한 보고에 의하면 일정압력하에서 온도를 변화시켰을때 773K를 경계로 하여 저온 및 고온부로 나누어 지고, 고온부에 비하여 저온부에서 착화지연의 온도의존성이 크게 나타난 것으로 보아 저온의 저부하에서는 어유의 혼합비율이 증가할수록 착화지연의 변화율이 크게 됨을 알 수 있다. 그러나 池上 등⁷⁾과 藤本 등⁸⁾의 정용연소장치 및 급속압축장치를 이용한 연구에서는 온도와 압력이 어느 일정치를 초월하면 착화지연은 거의 변화하지 않는다고 지적하였으며, 이것은 결국 고부하의 고온고압하에서 착화지연은 주로 물리적 과정에서 지배되고 온도와 압력위존성이 모두 작게 된다고 볼 수 있다.

4.3 그을음농도

그림 9는 각 부하에 있어서 어유혼합비율에 따른 배기가스중의 그을음농도 변화를 나타낸 것이며, 고부하에서 저부하로 갈수록, 또한 동일부하에서는 어유의 혼합비율이 증가함에 따라 그을음농도는 낮게 나타난다. 디젤기관의 그을음의 생성원인 아직 정확히 규명된 바는 없으나 大八木 등⁹⁾에 의하면 공기량이 부족할 때나 공기량이 충분하더라도 연소실내의 공간적 및 시간적으로 산소가 부족한 부분이 있을 때 또는 화염의 온도를 저하시키는 요인에서는 탄소립을 증가시킨다고 보고하였다. 고부하가 될수록 연료의 매회 분사량은 증가하는 반면 공기과잉률은 감소하고, 압축행정중 주연소실에서 예연소실로 유입하는 공기의 속도가 최대가 되는 상사점 전 10~20°에서 연료가 분사됨으로써 결국 고부하의 경우, 예연소실내에서는 공기가 부족한 상태로 되어 그을음이 증가하는 것으로 생각된다. 또한 고부하는 착화지연이 짧기 때문에 착화후에 공급되는 유류에 의해 화염이 냉각되므로 탄소립의 연소를 저해시키는 것도 하나위 요인이라 생각된다. 동일부하에서는 일정한 흡기량에 대하여 경유에 비하여 어유의 혼합비율이 높을수록 공기과잉률이 크게 되는 이유와 어유중의 산소가 연소의 개선에 기여하는 것으로 생각할 수 있다.

5. 결 언

석유 대체연료개발의 일환으로 어유(정어리유)를 경유와 여러 비율로 혼합한 경우-어유 혼합유를 정용연소기와 선박용 디젤기관에 사용하여 어유의 혼합비율과 부하변동에 따른 연소특성을 기존의 경유 사용시와 비교 설명하였다.

정용연소기의 경우 일정온도 및 압력하에

서의 착화지연은 어유의 혼합비율이 증가할 수록 길었으며, 기관의 고부하(3/4부 이상)에서는 어유의 혼합비율에 관계없이 연소 및 성능면에서 경유에 뒤지지 않으며 그을음농도는 오히려 낮은 결과를 나타내는 것으로 보아 기관의 구조변경 없이 경유에 적당한 어유를 혼합하여 사용하는 것이 가능할 것으로 본다.

본 실험에서는 어유-경유 혼합유를 가열하지 않은 상태로 시행하였으나 적정온도로 가열하여 점도를 저하시킬 경우에는 연소특성 및 기관성능은 더욱 개선될 것으로 기대된다.

또한 어유-경유 혼합유를 사용하여 기관을 장시간 운전할 경우에 발생할 것으로 예측되는 카본퇴적물, 피스톤 고착문제 및 윤활상미치는 영향에 대해서는 앞으로 더욱 연구되어야 할 과제라 생각된다.

참고문헌

1. 原 晝造, 松本隆一, “트롤러漁船主機關における魚油とA重油の混合燃焼運轉について”, 日本船用機關學會誌, 第19卷, 第3號, pp. 274~285, 1984.
2. 水沼達夫, “ディーゼル機關の魚油燃焼試驗について”, 漁船, No.271, pp. 389~399, 1987.
3. 長谷川 勝男, 小田建一, 山田敏夫, “小型高速機關における魚油の燃焼”, 日本船用機關學會誌, 第25卷, 第4號, pp. 277~285, 1990.
4. 安田耕作, 複永 良一郎, “油脂製品の知識”, 幸書房, pp. 1~40, 1985.
5. 原田一郎, “油脂化學の 知識”, 幸書房, pp. 73~118, 1986.
6. 徐政周, 王宇慶, 安秀吉, “定容燃焼裝置에 의한 魚油의 着火漏延에 관한 研究”, 韓國自動車工學會論文集, 第1卷, 第1號, pp. 50~58, 1993.
7. 池上 詢, 三輪 恵, 西谷敏雄, “急速壓縮裝置によるテ”ィーゼル噴霧の着火漏れに關する研究”, 日本機械學會論文集(B編), 第53卷, 485號, pp.274~279, 1987.
8. 藤本 元, 島田俊夫, 左藤 豪, “定容燃焼裝置によるテ”ィーゼル機關の燃焼に關る研究”, (燃焼室内初期溫度の影響), 日本機械學會論文集(B編), 第45卷, 第392號, pp.599~609, 1979.
9. 大八木, 吉原計一, 森下晋一, 金岡 浩, “小形デ”ィーゼル機關の性能特性(1)”, 內燃機關, Vo.29, No.370, pp. 9~21, 1990.