

混合燃料의 特性에 관한 研究

韓 圭 一

釜山水産大學校

(1990년 7월 31일 접수)

A Study on the Mixed Fuel Characterization

Kyuil HAN

National Fisheries University of Pusan

(Received July 31, 1990)

Two pure fuel oils (#1 oil, #6 oil), three pure alcohols (methanol, ethanol, propanol) were tested for the fuel characteristics such as miscibility (that established which pure fuels and fuel mixtures could be fired in the boiler), flash point, viscosity. Specific target of the study besides the oil/alcohol mixture characterization was that existing equipment (i.e. domestic boiler) could use 100% alcohols or oil/alcohol mixture without any modification and with safety.

#1 oil could be mixed without any problems at all concentrations with two of the alcohols; these were the ethanol and propanol. However, miscibility of #6 oil with any alcohols and #1 oil with methanol was not possible and very limited in this study. The measurements of flash point and viscosity for the mixtures were done for the comparisons with the pure fuels.

There was a marked change of flame shape and flame luminosity as the alcohol content of the mixtures was increased. The mixture flame shortened and became non-luminous compared with a pure fuel oil flame.

서 론

우리나라는 수차에 걸친 경제 개발 5개년 계획에 의한 국민 생활 환경의 질적 향상과 고도의 산업화에 따른 에너지 수요의 급증 현상에 의하여 석유 한방울도 생산하지 못하면서 세계 제6위의 석유 에너지 수입국이 되었다.

최근 점차 심화되고 있는 에너지 위기는 대체 에너지의 개발뿐 아니라 연료로서 석유만이 아닌 우리나라에서 생산 가능한 일정량의 액체 연료를 석유에 혼합하여 높은 열효율을 낼수 있다면 에너지 절약에 큰 기여를 할수 있으리라 생각된다.

본 연구는 석유계 연료에 알콜계 연료를 혼합한 혼합 연료를 일반 가정용 보일러에 연소시켜

이에따른 열효율 측정과 배기가스 분석등 제반 실험을 하기전, 혼합 연료 자체의 특성과 개방된 공간에서 버너를 사용하여 연소시켰을때의 화염의 패턴등을 분석하였다.

실험에 사용된 혼합 연료로는 혼합 비율이 틀린 #1오일/알콜, #6오일/알콜의 혼합체를 사용하였다. 혼합 연료의 연소도 중요한 사항이지만, 이질적인 성질을 가진 액체의 혼합시의 혼합가능유무와 물성치의 변화, 그리고 화염의 용적 변화 및 광도도 크게 고려할 사항이기 때문에 본 연구에서는 이러한 사항에 중점을 두었다.

재료 및 방법

실험에 사용된 시료는 석유계 연료로는 #1 오

일과 #6오일이고, 알콜계 연료로는 메타놀, 에타놀, 프로파놀이이다.

#1 오일 이란 증발식 쫓 타입 버너(vaporizing pot-type burner)에 사용할수 있는 증류유로서, 일반적으로 케로젠(kerosene)이라는 이름으로 판매되는 오일이다. #6 오일은 석유를 증류 시켰을 때, 증발될수 있는것이 모두 증발하고 난 잔류유로서 일명 벙커C유라고도 한다. 이 오일은 저장(storage)과 펌핑(pumping), 그리고 버너에의 분사(atomizing)를 위해서 예열 시키는 것이 필요하다¹⁾.

1. 혼합성 실험

혼합성 실험의 목적은 혼합체가 균일하게 혼합되며 보일러에 연소시키기에 적당한가를 가름하기 위한 실험이다. 이에는 두종류의 실험이 행해졌다. 그중 하나는 #1 오일에 알콜을 섞은 혼합체이고, 또 하나는 #6 오일에 알콜을 섞은 혼합체이다. Table 1, 2, 3은 #1 오일과 #6 오일, 그리고 3종류의 알콜에 대한 물성치를 표시하고 있다^{2,3,4)}.

Table 1. Properties of #1 oil

Density at 15°C	0.8142
Kinematic Viscosity at 40°C	1.6 cSt
Flash Point	49°C
Sulfur, wt%	0.01
Heating Value	37040-38180kJ/L

Table 2. Properties of #6 oil

Flash Point	60°C
Kinematic Viscosity (Min.)	92 cSt
(Max.)	638 cSt
Pour Point	15.6°C
Sulfur, wt% (Min.)	0.32
(Max.)	4.00
Heating Value	42170-43450 kJ/L

Table 3. Properties of three alcohols

	Methanol	Ethanol	Propanol
Density at 20°C	0.792	0.789	0.804
Dynamic Viscosity(Centipoise)	0.65(17°C)	1.07(30°C)	1.50(41°C)
Flash Point(°C)	—	10.0	22.0
Boiling Point(°C)	65.0	78.5	97.4

혼합성을 판단하는 사항으로서는, 전혀 혼합이 되지 않는 경우, 즉 혼합후 즉시 분리되는 상태, 혼합은 되나 그 혼합체가 오랜 시간 유지되지 않고 서서히 분리되는 경우, 그리고 혼합된 후 장기간이 지나도 혼합체의 성질을 계속 유지하고 있는가로 분리될 수 있다.

석유계 연료와 알콜계 연료의 혼합은 1000ml의 투명한 용기를 사용하여, 알콜계 연료의 체적비율(volume percentage)로 두 종류의 연료를 혼합 시켰을때 합이 1000ml가 되게 하였다. 혼합시 전기 구동식 교반기(electric sturrer)를 구동하여 균일하게 혼합되게 했다. 특히 #6 오일과 알콜의 혼합은 #6 오일을 40°C로 가열하여 혼합했다. 혼합을 시킨 용기는 10일씩 보관하였다.

2. 인화점 측정

인화점이란 화염의 접촉에 의하여 점화 가능할 수 있도록 연료로부터의 충분한 증발 가스를 만들수 있는 온도를 말한다. 또한 본 연구의 인화점 측정의 목적은 알콜의 함량을 증가시킴에 따라 인화점이 천천히 감소하는가, 아니면 급격히 감소하는가를 알아보는데 있다. 오일과 알콜이 혼합된 경우 인화점 측정이 중요한 이유는, 순수한 오일의 인화점은 대기 온도보다 훨씬 높아 (#1 오일의 경우 49°C) 밀폐 공간에서도, 정상적인 안전 규칙과 환기만 잘 시켜준다면 별로 위험하지 않지만, 알콜의 경우는 인화점이 여름의 대기 온도나 보통의 실내 온도보다 낮기 때문에 안전하지 않다고 할수 있다. 그러므로 알콜 혼합유의 인화점 측정은 사용 연료의 안전도 문제상 중요하다.

인화점의 측정은 정상적인 시험절차에 따라서⁵⁾ Tag closed cup tester(Humbolt mfg)를 사용하였다. Tag tester법은 시료의 동점도(kinematic viscosity)가 25°C에서 9.5cSt이하인 경우에만 적용되며, 실험 방법은 50ml의 시료를 100ml의

용량의 컵에 넣어 1분에 1°C씩 상승 할때, 컵의 상부에서 나오는 유증기가 천연 가스 화염에 의 하여 점화될때의 시료 온도를 수은 온도계로 측정했다.

측정하는 대부분의 혼합체의 경우, 인화점이 상온보다 낮았기 때문에 표본의 초기 온도를 낮추기 위해, 작은 얼음 덩어리를 이용한 찬물이 담긴 용기를 사용하였다.

3. 점성 측정

점성은 분사에 중대한 영향을 미친다. #6 오일의 예를 들어 보더라도 상온에서는 점성이 너무 높기 때문에 이를 가열시키지 않으면 분사기에서 분사시킬 수 없다. 점성은 점화 시간에 관계되는 입자의 크기, 분사각, 분출속도등에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 연료 공급 속도에 큰 영향을 끼쳐 펌프저항을 증가시킨다.

혼합 연료의 점성은 Brookfield 점성계로 상온에서 측정하였다. 계기의 측정 원리는 스피ن들에 연결된 디스크를 측정액 속에 담가 스피인들이 모터에 의하여 회전하면 디스크 표면에 점성 저항이 생기는데 이에 의한 토크를 측정하여 점성을 계산하였다.

4. 화염의 패턴 측정

본 연구에서의 화염 패턴이란 순수 연료 또는 혼합 연료를 가정용 보일러의 버너를 사용하여 개방 공간 내에서 연소시켰을 때, 화염의 길이와 용적등의 변화를 말한다. 버너는 표준형 고압 제트 분사형(Beckett type AF)으로 40KW의 용량을 가졌으며 연료 공급 속도는 0.5~2.0ml/s이고 60도의 분사각으로 분출된다. Fig. 1은 실험에

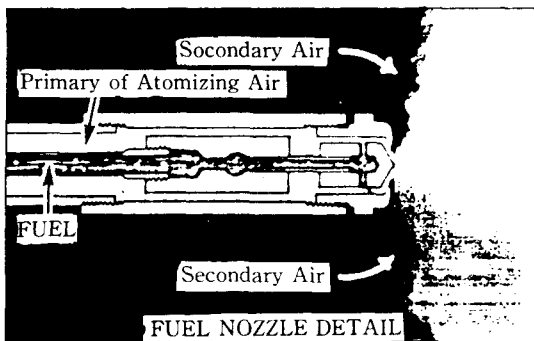


Fig. 1. Air atomizer detail (Cleaver-Brooks).

서 사용된 노즐을 나타낸다.

본 실험에서 사용된 연소실은 내화 벽돌로 직육면체의 공간 (0.6m×0.6m×1.0m)을 만들어 화염의 모양을 관측 촬영하였다. 화염 측정을 위해 한쪽을 개방시켰기 때문에 공기량은 제어하지 못하였다.

화염의 크기는 300장 이상의 사진을 촬영하여 이를 모눈지에 투영 함으로써 용적을 산출하였다. 화염의 모양을 노즐의 중심선의 연장선 중심으로 확대칭이라고 가정하여, 원통형의 좌우에 두개의 원추형이 꼭지점을 서로 반대 방향으로 위치한 형태로 붙은 형상이라고 가정하여 화염의 부피를 계산하였다.

알콜이 많이 포함된 혼합 연료의 경우, 대부분 공기의 주입 속도가 빠를때 화염이 불안정하고 심지어 blow-off 되었으므로, 화염 외관상 가장 안정된 상태로 공기의 주입 속도를 조절하여 화염을 얻었다.

결과 및 고찰

1. 혼합 연료의 특성

*혼합 특성 : 시료들의 혼합 특성을 조사한 결과, #1 오일은 에타놀과 프로파놀과의 혼합시, 어떤 비율에서도 충분히 혼합되었으나 메타놀과의 혼합은 부피 비율로 5% 이내로밖에 혼합되지 않았다. 한편 #6 오일은 모든 알콜에 있어서 조금도 혼합되지 않고 즉시 분리층을 형성하여 혼합이 전혀 불가능하였다. #1 오일의 경우, 혼합이 잘될 때에는 균일한 상태(homogeneous condition)로 3개월 이상이 경과하여도 분리가 일어나지 않았으나, 혼합이 불가능한 연료끼리의 혼합시에는 순식간에 분리가 일어나 초음파 진동기(ultrasonic vibrater)를 작동시키면, 미세 유화 상태(micro emulsion)를 형성하며 혼합이 되었으나, 진동기의 작동을 멈추면 곧 두개의 층으로 분리되었다.

*인화점 : Table 4는 인화점을 측정한 결과를 나타낸다.

특기할만한 것은 혼합 연료의 인화점이 알콜의 첨가에 의하여 급격히 감소하며, 에타놀과의 혼합체일때는 대부분의 경우 인화점이 상온보다 낮

Table 4. Flash point of the mixed fuel

#1 oil+ethanol		#1 oil+propanol	
alcohol %	Flash Point (°C)	alcohol %	Flash Point (°C)
0	49	0	49
0.1	42	0.1	46
1.0	18	1.0	29
2.0	12	2.0	27
8.0	11	8.0	23
10.0	11	10.0	23
20.0	11	20.0	22
50.0	10	50.0	22
100.0	10	100.0	22

다. Fig. 2에서 보는 바와같이 알콜 함량이 10% 되기 전까지 인화점은 급격히 하락하여 20%가 넘으면 인화점은 순수 알콜과 차이가 없었다. 이것은 알콜 함량이 지극히 작은 혼합 연료(알콜 함량 5% 미만)인 경우에도, 인화점이 매우 민감하게 변하기 때문에 안전도에 세심한 주의를 하여야 할 필요가 있는 것을 의미한다.

그렇지만, 알콜 증가에 의한 인화점의 감소와 증발율의 증가는 연소로 안에서의 점화시 점화속도가 빠름으로써 하나의 이점이 될수 있다.

* 점성 : Fig. 3은 #1 오일에 에타놀과 프로파놀을

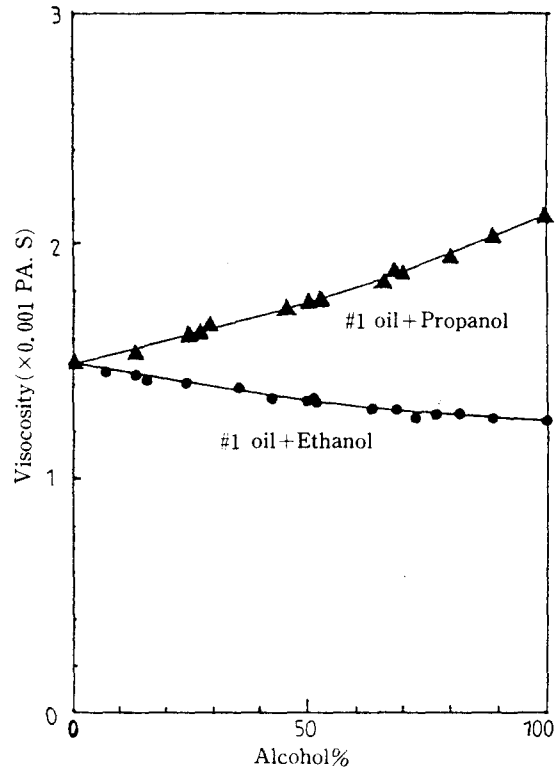


Fig. 3. The relation between viscosity and alcohol %.

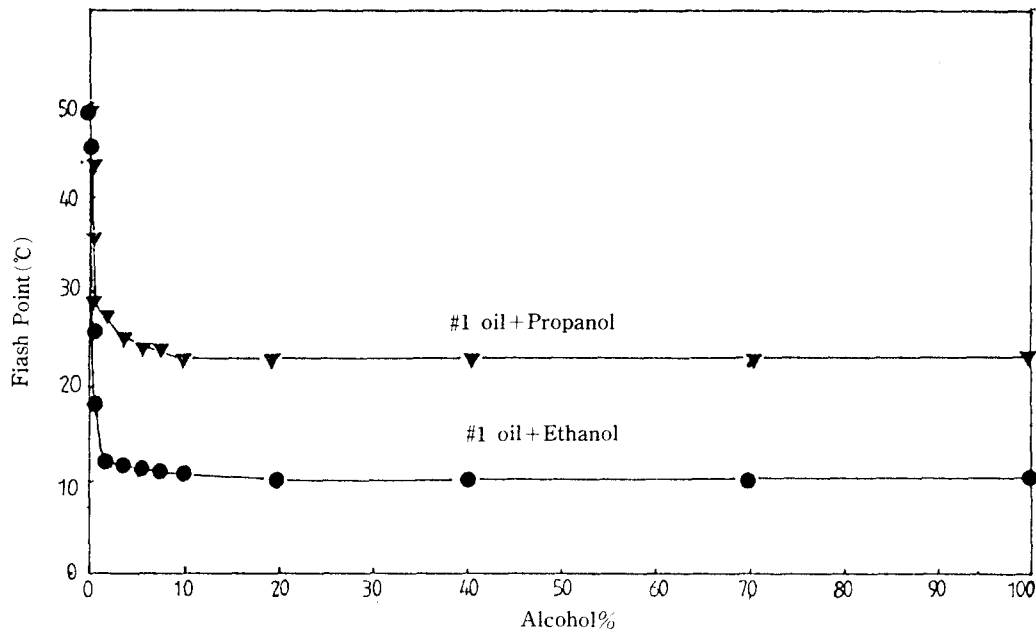


Fig. 2. Flash point variation of mixed fuels against alcohol %.

각각 혼합했을때의 점도의 변화를 나타낸다. 에타놀의 경우, 에타놀 함량이 증가함에 따라 순수한 #1 오일의 점성에 비하여 혼합 연료의 점성이 완만하게 감소하였으나, 프로파놀의 경우에는 완만한 증가를 보였다. 예상한대로 혼합류의 점성은 순수한 #1 오일과 순수 알콜의 점성 사이에 존재하였다.

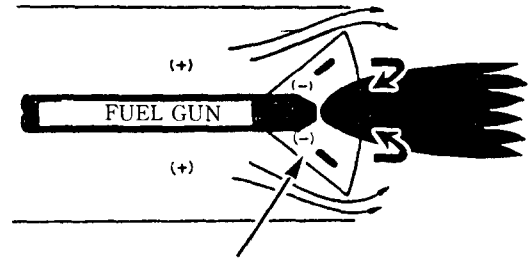
2. 혼합 연료의 화염 구조 특성

#1 오일의 혼합 연료유를 가정용 버너로 개방 공간에서 연소 시켰을때 다음의 특성들을 보였다. 알콜의 함량이 증가함에 따라 화염의 형상은 큰 변화를 보였다. 혼합 연료유의 화염은 순수한 #1 오일의 화염에 비하여 길이가 짧아졌으며 화염의 외각선이 매끄럽지 못하였다. 그렇지만, 순수한 오일의 화염에 비하여, 예혼합(premixing)과 가열(heating)이 일어나는 구역인 버너 머리와 화염 선단 사이의 면적(the area between the burner head and the flame front)이 적어졌다. 알콜 함량의 증가에 의한 혼합연료의 입자가 구역 안에서 빠른 속도로 증발하여, 화염 선단(flame front)과 버너 머리(burner head)사이의 간격이 작아진 것으로 생각된다. 이것은 버너 머리에 밀착하여 연소되는 콤팩트 화염(compact flame)을 얻기 위하여, 버너의 설계를 잘 하는 것도 중요하지만, 연료의 물성치도 이에 못지 않게 중요하다는 것을 보여준다.

Fig. 4는 버너 머리에 붙은 화염의 형상 구조를 나타내고 있다. 혼합 연료를 사용함에 의한 콤팩트 화염을 얻음으로써 연소로의 연소공간을 감소시킬수 있는 이점이 있다.

화염의 용적과 알콜 함량에 관한 곡선은 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 화염의 용적이 알콜 함량의 증가에 따라 전반적인 감소를 보였으나, 에타놀과 오일의 혼합체인 경우에는 예외를 보였다. 이경우에서는 에타놀 함량이 10%에서 15%사이에서 화염 용적이 커졌다가 함량이 증가함에 따라 다시 감소하는 현상을 나타내었다.

이는 동일한 공기의 공급 조건에서도 화염의 길이나 용적은 연료의 특성 변화에 의한 연소시간(burning time)의 차이에 의해서 많은 변화가 있다는 것을 알수 있다. 보일러에서 화염의 길이



FLAME RETENTION HEAD

Fig. 4. Flame retention of the burner head.

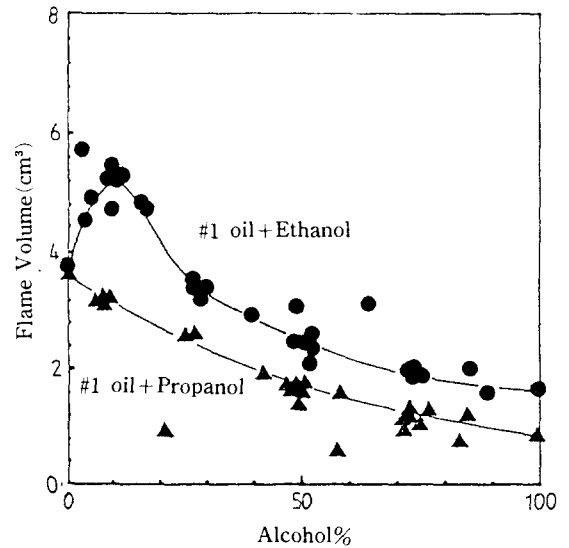


Fig. 5. Flame volume versus alcohol %.

가 짧아질 때는 별 문제점이 없으나, 화염 길이가 길어지고 용적이 증가할 경우 화염의 선단이 보일러의 열교환기에 부딪혀, 교환기 튜브의 과열에 의한 파열 손상과 검댕(soot)의 표면 부착에 의하여 연소 효율과 열효율을 떨어뜨리는 큰 폐단이 생기기 때문에, 화염의 특성인 길이와 체적은 보일러 연소실 설계에서 매우 중요하다. 물론 전열면을 손상만 시키지 않는다면 열전달을 증가시켜 열효율을 상승시키는 장점이 있다. 전열면에 부착되는 검댕의 증가는 열효율에 심대한 영향을 미친다. 부착된 탄소 입자는 연소로 내부 온도가 고온이 되고 충분한 산소가 공급되면 완전히 연소되어 밖으로 배출될수 있다.

화염의 휘도(flame luminosity)는 순수한 알콜의 경우 거의 발광하지 않았으나(nonluminous

flame), 혼합 연료유의 알콜이 많은 경우는 화염의 대부분이 푸른색을 띠었으며 꼬리 부분이 오렌지색으로 이어졌다. 이것은 연료의 증발을 향상에 의해 연료 가스가 빨리 생성되어, 가스와 공기가 점화 전에 충분히 혼합되기 때문이라 생각된다.^{6,7)}

오일의 양이 증가함에 따라 화염의 색깔은 오렌지색에 가까웠다. 이것은 오일 입자(oil droplet)가 가스로 되어가는 과정(gasification)에서 탄소분자의 산화 현상에 기인한다.

휘도는 화염이 가진 전체 열량의 많고 적음을 의미하는 것이 아니지만, 오렌지 색깔의 화염은 푸른색의 화염에 비하여, 많은 열량을 복사에 의해 전열면에 전달시킬 수 있으나, 푸른색의 화염 또는 휘도가 약한 화염(nonluminous flame)은 대부분의 열을 전도에 의해 전달한다. 따라서 푸른화염의 경우는 전열면에 접촉됨으로써 더 많은 열을 전달할 수 있다.

혼합유 연소의 이점으로 알콜 함량의 증가에 따라 전열면의 탄소입자 부착이 감소 될뿐 아니라, 화염의 안정도 면에서도 알콜 함량이 많은 혼합 연료가 오히려 점화 시간도 빨랐으며, 안정한 화염(stable flame)을 유지할 수 있었다.

서로 혼합되지 않는 #6 오일과 알콜의 연소, 그리고 #1 오일과 메타놀의 연소도, 분리된 연료의 화염을 얻는데 라인상에 약간의 문제점이 있었다. 그렇지만, 이것은 연소 라인만 교정하면 차후에 충분히 안정된 화염을 얻을 수 있으리라 생각된다.

모든 대체 연료의 경우도 마찬가지겠으나 혼합 연료의 사용시 무엇보다도 중요한 것은 경제성이다. 오일에 알콜을 혼합했을 때 오일만의 연소에 비하여 혼합 연료의 열효율이 매우 높다면, 오일에 비해 알콜의 가격이 고가인 경우라 할지라도 높은 열효율은 이를 상쇄할 수 있으나, 혼합 연료를 사용하였을 때 열효율 면에서 크게 떨어진다 면, 경제적인 면에서는 고려의 대상이 될 수 있다.

요 약

혼합 연료의 혼합성에서 보았을 때, #6 오일은

메타놀, 에타놀, 프로파놀등 어느 알콜과도 혼합하지 않고 급격한 분리 현상을 일으켰으며, #1 오일과 메타놀의 혼합에서도 알콜 함량이 매우 낮을 때를 제외하고는 거의 혼합되지 않았다. 에타놀과 프로파놀만이 #1 오일과 균일한 상태(homogeneous condition)로 혼합되었다. 인화점은 알콜 함량의 증가에 의해 급격히 하락하다가 알콜 함량 20% 이상에서 순수한 알콜과 차이를 보이지 않았으며, 점성은 에타놀 혼합의 경우는 혼합비의 증가에 따라 완만히 감소하였으나, 프로파놀의 경우는 증가하였다. 화염의 용적은 알콜 증가에 따라 감소하고 길이도 짧아졌으나 에타놀 혼합체의 경우에만 예외를 나타내었으며, 휘도도 알콜 증가에 따라 눈에 띄게 감소하였다.

미래 연구 과제

1) 식물유와 오일, 식물유와 알콜 또는 동물유와 오일, 동물유와 알콜의 혼합 가능성 여부 및 물성치에 관한 연구, 여기에서 식물유란 제주도에서 다량으로 생산되는 유채꽃유를, 그리고 동물유에는 어유등을 예로 들 수 있겠고, 오일이란 #1 오일, #6 오일등 석유 산물을 말한다.

2) 1)에서의 혼합 가능한 연료의 연소시, 두 연료의 혼합 비율과 과잉공기의 변화에 따라 연소 효율과 열효율의 측정, 분리된 연소 라인에 의한 연소 가능성 여부와 이에 따른 버너의 개발, 혼합 연료를 사용함에 따른 배기 가스 변화에 의한 대기 오염 문제⁸⁾.

3) heavy oil (#6 oil등)과 혼합 했을 때의 버너의 끝부분에 있는 분사기의 마모 가능성 여부와 이에 따른 분사기의 재질 개발.

4) 혼합 연료의 연소시, 화염의 크기 변화에 따른 전열면 손상 방지의 극소화, 열전달율의 극대화를 위한 최적 연소 공간의 설계.

5) 순수 오일이 아닌 혼합 연료를 사용했을 때의 인화점 감소에 의한 안전도 문제와, 펌프를 비롯하여 부속 장치 연료 라인의 마모에 대한 분석.

6) 노즐에의 분사시, 점성 변화에 따른 분무 입자의 크기 변화 및 분사각의 변화에 대한 분석.

참고 문헌

- 1) Faulker, E.A. (1981): Guide to efficient burner operation : gas, oil and dual fuel. The Fairmont Press, Inc., 91-100, 147-164.
- 2) Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers (1978), 8th edition, Mcgraw-Hill Inc., New York, 7.1-7.60.
- 3) Spiers, H.M. (1937): Technical data on fuel. 4th edition, Brit. Nat. Comm. World Power Conf. London, 182-193.
- 4) ASHRAE HANDBOOK (1981), 15.4.
- 5) ASTM D56, Standard Test Method for Flash Point by Tag Closed Tester (1978), Annual Books of ASTM Standards, Part 23.
- 6) Glassman, I. (1977): Combustion. Academic Press, Inc., New York, 64-125.
- 7) Thring, M.W. (1952): The science of flame and furnace. John Wiley and Sons, Inc., New York, 252-279.
- 8) Probstein, R.F. (1982): Synthetic fuels. McGraw-Hill Inc., New York, 420-430.