

고점도 폐유의 재활용에 의한 난방연료 제조

진 의 · 정영진[†]

강원대학교 소방방재공학과
(2009년 5월 6일 접수, 2009년 5월 22일 채택)

Preparation of Heating Fuel by the Recycling of High Viscosity Waste Oil

Eui Jin and Yeong-Jin Chung[†]

Department of Fire & Disaster Prevention, Kangwon National University, Gangwon 245-711, Korea
(Received May 6, 2009; accepted May 22, 2009)

고점도인 최저급 폐유를 난방유로 대체하기 위하여 폐유에 희석용제로 경유, 벙커C유를 이용하여 일정비율로 혼합한 후 연료 특성을 분석하였다. 혼합조건은 교반속도 3400~3600 rpm에서, 반응 시간을 30 s~30 min으로 조절하였고 반응온도는 75 ± 5 °C로 유지하였다. 벙커C유, 경유를 이용하여 폐유의 점도를 낮춘 결과 최소 81%, 최대 96% 정도 감소되었다. 난방연료로서 폐유 : 벙커C유 : 경유의 최적 혼합 비율은 1 : 1 : 1이었으며 이 경우 인화점 78 °C, 동점도 20.02 mm²/s, 발열량 9158 kcal/L을 가짐을 확인하였다.

To replace waste oil with the lowest grade which has high viscosity into heating fuel, light oil and bunker C oil in waste oil was used and the fuel characteristic was analyzed by its concentration after mixing oil. The mixture conditions were controlled by the reaction time (30 s~30 min) and kept by the reaction temperature (75 ± 5 °C) when mixing speed was stirred at 3400~3600 rpm. We used the bunker C oil and light oil to decrease viscosity of waste oil and the dynamic viscosity was decreased by 81~96%. Optimum mixing ratio (waste oil : bunker C oil : light oil) as heating fuel was 1 : 1 : 1. Flash point, dynamic viscosity and heating value of this case were identified 78 °C, 20.02 mm²/s, 9158 kcal/L respectively.

Keywords: waste oil, heating fuel, flash point, dynamic viscosity, heating value

1. 서 론

폐유의 자원화 방법에는 전처리하여 보조연료나 소각처리하여 발생하는 열을 이용하는 에너지화법과 폐유를 재생하는 방법이 있다. 에너지 수입 의존도가 높은 우리나라의 실정으로는 폐유를 자원화 하여 재활용함으로써 경제적 이득을 얻을 수 있다. 석유 정제 감압 잔사유와 같은 중질유분은 많은 종류의 고비점 탄화수소 화합물들이 복잡하게 분포되어있는 혼합물이므로 이들의 정확한 조성을 알아내는 것은 매우 어려운 일이다. 감압 잔사유는 그들이 원유(crude oil)의 40~50 w/w%를 구성하기 때문에 특별한 문제가 있다. 지난 10년간 화학적 조성 변화에 대한 많은 연구들이 발표되었을지라도 감압 잔사유가 높은 분자량과 끓는점을 가진 탄화수소와 비탄화수소 두 가지의 넓은 스펙트럼을 포함하기 때문에 몇몇 기본적인 문제는 해결되지 않고 남아있다[1]. 잔사유분의 처리 및 고부가화를 위하여 다양한 공정들이 개발되었으며 감압중류, 추출, 열분해, 촉매분해, 촉매 수소 열분해, 가스화 공정 등이 알려져 있다[2,3]. Ciajolo와 Barbella는 열분해를 조사하기 위해서 열중량 분석 기법을 사용했고 파라핀계, 방향족계, 극성 그리고 아스팔텐 분획으로 분리하였다. 그들은 또한 연료유의

열적거동은 파라핀계와 방향족계의 휘발성을 포함하는 저온상과 극성과 아스팔텐 분획이 열분해되고 특별한 잔류 탄소로 남겨지는 고온상으로 해석해야 함을 발견했다[4].

Ranjbar와 Pusch는 기름 조성의 효과를 가벼운 탄화수소, 수지와 아스팔텐 함량과 기름의 열분해 동역학을 기초로 연구했다. 열분해 매질의 운반능력과 열운반 특성이 기름의 콜로이드 조성은 물론 연료형성과 조성에 뚜렷한 영향력을 미침을 확인했다[5]. 일반적으로 다양한 기름으로부터 유도된 석유탄화수소는 물리적, 화학적 성질이 폭넓은 범위를 갖는 매우 복잡한 화합물이다. 이것은 끓는점과 탄소수 범위에 따라 나프타(bp. 42~175 °C, C₃~C₁₀), 등유(bp. 175~240 °C, C₁₀~C₁₅), 디젤(bp. 240~340 °C, C₁₃~C₂₀), 가스경유(bp. 340~450 °C, C₂₀~C₃₀), 가스중유(bp. 450~538 °C, C₃₀~C₄₄)와 비중류액(bp. > 538 °C, > C₄₄) 등으로 분류된다. 또한 그들의 일반적인 화학적 조성에 따라 포화(알케인과 고리파라핀), 방향족, 수지, 그리고 아스팔텐의 부류로 나누어진다. 알케인은 메테인부터 n-hexacontane (C₆H₁₂)까지의 범위가 이에 속한다. 방향족은 알킬 측쇄를 갖고 있거나 그렇지 않은 단일핵, 이핵 그리고 다핵 방향족 탄화수소를 포함한다. 수지는 황산화물(sulfoxide), 아마이드, 티오펜, 피리딘, 퀴놀린과 카바졸과 같은 기초요소로 이루어진 다수의 집합체를 포함한다. 아스팔텐은 핵산에 불용성이고 광범위한 다원자, 나프텐산, 황화물, 다수소 페놀, 지방산 그리고 금속포르피린의 집합체로 구성되어 있다[6].

[†] 교신저자(e-mail: yjchung@kangwon.ac.kr)

기름의 점도는 가열, 물/기름 계면활성제를 이용한 에멀전화 그리고 가벼운 기름으로 증유를 혼합하는 것 등의 방법으로 감소시킬 수 있다[7,8]. 디젤 연료에 에멀전 기법의 적용은 디젤엔진 연료소비 속도는 물론 오염원의 생성을 감소시키기 위한 가능한 방법 중의 하나이다. 분산된 상에서 극히 작은 물방울은 물/기름 2상 에멀전의 기름층에 퍼진다. 물의 끓는점이 디젤연료의 끓는점보다 낮기 때문에 극히 작은 물방울은 기화되고 그들을 둘러싼 기름 층을 통하여 미세 폭발 현상을 일으켜 외부로 폭발한다. 소위 2차 원자화를 일으키며 이때 연소반응의 폭은 증가한다. 디젤연료나 가솔린에 대해 일반적으로 적용된 에멀전화 기법은 주로 물/기름 2상 에멀전화로 제한된다. 기계적 혹은 전기적 교반력은 연속적인 디젤유상에 서로 섞이지않는 액체층으로 극히 작은 물방울을 균일하게 분포시키기 위해 일반적으로 사용된다. 또한 유화제는 분산된상과 연속된상의 분리된 시간을 연장하기 위해 그리고 에멀전의 안정성을 증진 시키기위해 에멀전에 첨가되어 진다[9]. 일반적으로 에멀전은 점도있는 기름, 물(기름 : 물 = 90~70 : 10~30)과 계면 활성제(0.01~10 wt%)의 다른 비율로 혼합함으로써 형성된다. 때때로 물 용해성 고분자(10⁻⁴~1 wt%)가 안정성을 증진시키기 위해 사용된다. 최근 연구는 받은 액체의 점도와 다른 물리화학적 성질에 관해 계면활성제를 첨가함으로써 복잡한 효과를 서술했다 [10]. 적당한 계면활성제의 선택에 어려움이 있음에도 불구하고 이러한 접근은 점도가 급격히 감소되므로 주목 할만한 연구이다.

고점도 폐유를 재활용하여 난방유로 대체 한다면 연료비가 절감되고 고부가가치의 사업이 되므로 효율 높은 난방유의 개발이 필요하다. 점도를 낮추기 위하여 용제를 사용하는 방법은 용제 자체가 고가이기 때문에 경제적인 문제점이 발생한다. 그러므로 고점도 폐유를 경유, 에탄올 등의 용제에 희석시켜 효율 높은 난방유로 사용하기에 적합한 혼합비율을 찾아야 한다. 혼합 연료유가 발열량이 증가하는 쪽으로 개발 된다면 연료비 절감 효과를 기대 할 수 있다.

본 연구는 고점도인 최저급 폐유를 재활용한 연료유 가능성의 기초 연구로서 에멀전 방법과 난방연료유의 발열량 기준(8950 kcal/L)[11]에 적합하도록 희석용제를 선별하여 연료의 최적 혼합비율을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

계면 활성제인 sorbitan trioleate (span 85)는 Showa Chemical INC. 제품을 사용하였고 sorbitan monooleate (span 80)와 polyoxyethylene sorbitan monooleate (tween 80)는 Samchun Pure Chemical Co., LTD 에서, sorbitan sesquioleate (span 83)는 Sigma 시약으로 extra pure급을 사용하였으며 polyoxyethylene sorbitan trioleate (tween 85)는 Junsei Chemical Co., sorbitan tristearate (span 65)와 polyoxyethylene sorbitan tristearate (tween 65)는 Wako Chemical Co.에서 구입하였으며 모든 시약은 정제없이 사용하였다. 경유는 GS 칼텍스에서 생산된 제품을, 병커C유는 SK사에서 생산된 제품을 구입하여 그대로 사용하였고, 폐유는 우레탄 원료의 잔재물로서 세호테크(주)에서 공급받아 사용했다.

2.2. 연료유 특성 측정

시료는 공인 시험 기관인 한국기화시험연구원에 분석 의뢰하여 인화점, 잔류탄소량, 동점도, 발열량 등을 측정하였다. 인화점은 KS M 2010[12], 동점도는 KS M 2014[13]로 측정하였다. 잔류 탄소분

Table 1. HLB Value of Surfactant

Lipophilic surfactant (HLB value)	Hydrophilic surfactant (HLB value)
Sorbitan trioleate (1.6, span 85)	Polyoxyethylene sorbitan trioleate (11, tween 85)
Sorbitan sesquioleate (3.7, span 83)	Polyoxyethylene sorbitan monooleate (15, tween 80)
Sorbitan tristearate (2.4, span 65)	Polyoxyethylene sorbitan tristearate (11, tween 65)
Sorbitan monooleate (4.3, span 80)	

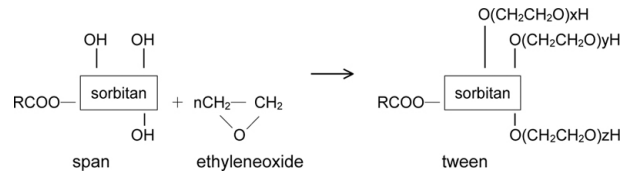


Figure 1. Chemical structure of span and tween.

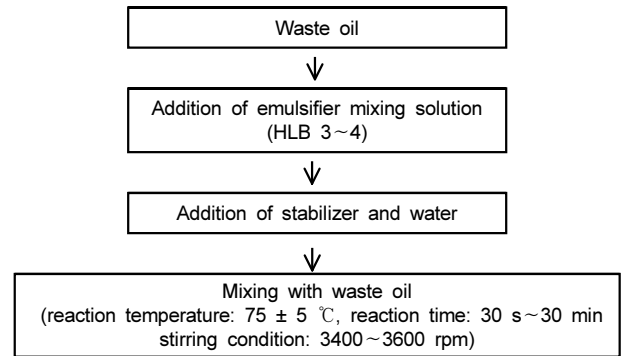


Figure 2. Preparative scheme of heating fuel by the recycling of waste oil.

은 KS M 2017[14]로 측정하였으며 발열량은 KS M 2057[15]로 측정하였다.

2.3. 연료유 제조

유화제는 분자 구조상 기름에 용해되기 쉬운 친유기와 물에 용해되기 쉬운 친수기를 가지고 있다. 따라서 분산상 입자의 계면에 응집하여 분산상 입자와 연속상 입자사이의 계면장력을 작게 한다. Hydrophile-lipophilic balance (HLB)값은 비이온성 계면활성제 분자에서 친수성과 친유성 특성의 상대적 세기를 나타낸다. HLB값이 큰 것은 친수성 특성이 더 크고 HLB값이 작은 것은 친유성 특성이 더 크다[16].

그러므로 연료의 물리적, 화학적 특성에 따라 적절한 유화제를 선정하여야 하고 또 그 양을 결정하여야 한다. 비이온성 계면활성제의 HLB값에 따른 분류는 Table 1에 나타내었다. 제조된 에멀전의 형태는 W/O (water in oil type)이 된다.

계면활성제인 솔비탄 에스테르류(span)는 주로 유화제로 사용하고 있으나 거의 물에 녹지 않기 때문에 에틸렌 옥사이드를 부가시켜 만든 tween이란 상품의 비이온성 계면활성제와 함께 사용하여야 한다. 화학 구조는 Figure 1에 보인 바와 같다.

폐유를 에멀전화 하는 방법은 폐유에 고급알코올 지방산에스테르와 폴리 옥시에틸렌 고급 알콜의 지방산에스테르의 축합물을 배합하여 HLB 값을 3~4로 맞춘다. 상안정제인 pectine을 물에 녹인 후 불순물을 걸러낸 폐유에 첨가하여 75 ± 5 °C에서 30 s~30 min 동안 3400~3600 rpm으로 교반하여 혼합 연료유를 제조하였다. 실험 과정은 Figure 2와 같다.

Table 2. Layer Separation of Mixed Fuel by Span 80 and Tween 80

Waste oil : light oil : water : span 80 tween 80 (wt ratio)	Phenomenon
95 : 5 : 0 : 2	2% layer separation after just mixing
90 : 10 : 0 : 2	2% layer separation after 9 days
80 : 20 : 0 : 2	2% layer separation after 1 days
70 : 30 : 0 : 6	2% layer separation after just mixing
85 : 5 : 10 : 2	1% layer separation after 3 days
80 : 10 : 10 : 2	7% layer separation after 1 days
60 : 30 : 10 : 2	35% layer separation after just mixing

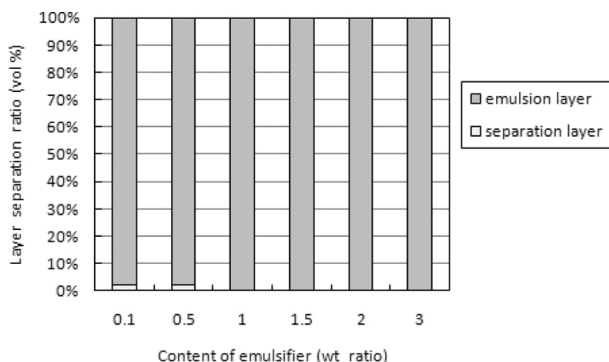


Figure 3. Layer separation by variation of concentration in span 83 and tween 80 (waste oil : light oil : water = 80 : 10 : 10 wt ratio).

3. 결과 및 고찰

3.1. 폐유/경유 연료

계면활성제는 친유성 계면 활성제와 친수성 계면활성제를 유수분리가 일어나지 않도록 HLB값을 이용하여 혼합비율을 조정하였다. 유화제는 HLB값이 작을수록 오일에 가까워지는 특성을 나타내며 HLB의 값이 클수록 물에 가까워지는 특성을 나타낸다. 폐유/경유 연료유 제조에 Span 80과 tween 80을 사용하였을 경우의 층분리도를 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 보여준 바와 같이 폐유에 경유를 10 wt ratio 첨가 할 경우 층 분리 속도가 가장 느리게 나타났다. 경유 10 wt ratio를 첨가한 경우가 가장 안정성 있는 연료로 나타났으며 물을 첨가한 경우 층 분리 속도가 물이 없을 때 보다 빠르게 나타났다. 연료에 물의 첨가는 에멀전을 2가지 상으로 더욱 쉽게 분리할 수 있게 만들고 그것으로 인해 에멀전의 안정성을 더 낮게 만들었다.

유화제 6종류를 사용하여 HLB값이 4가 되도록 조정하여 배합한 후 span 83과 tween 80의 농도를 변화 시키면서 유화 적합성 실험을 행하였다. Figure 3에서와 같이 적정 농도 비율은 유화제를 1 wt ratio 이상을 함유해야 상분리 없는 균일한 용액을 얻을 수 있었다. 0.5 wt ratio 이하인 경우 에멀전 분리는 2% 정도이며 분리되는 이유는 불안정한 용액을 만들기 때문으로 사료된다. 분리도가 크다는 것은 에멀전의 안정성이 나쁜 것이라고 생각 할 수 있다. 유화제를 1 wt ratio 이상 사용한 경우 분리현상이 관찰되지 않으므로 적어도 1 wt ratio를 첨가해야 안정한 에멀전 특성을 갖게 됨을 알 수 있었다.

유화제 종류의 변화에 의한 실험 결과를 Table 3에 나타내었다. Span 83이 배합된 조합이 가장 적합한 유화제로 나타났으며 span83 tween65, span83tween80, span83tween85, span85tween65 배합이 층분리와 상분리없이 균일한 용액을 나타내는 유화제로 판단되었다. 이런

Table 3. Layer Separation by Variation of Emulsifier

Waste oil : light oil : water : emulsifier (80 : 10 : 10 : 2, wt ratio)	Phenomenon
Span83tween65	No separation
Span83tween80	No separation
Span83tween85	No separation
Span85tween65	No separation
Span85tween80	1% layer separation after 8 days
Span85tween85	0.68% layer separation after 8 days
Span80tween65	1.3% layer separation after just mixing

Table 4. Layer Separation by Variation of Stabilizer

Waste oil : light oil : water/stabilizer : span83tween80 (80 : 10 : 10 : 2, wt ratio)	Phenomenon
Pectine	No separation
Polyvinyl alcohol	No separation
After centrifuge (2000 rpm, 30 min.)	No separation

유화제는 물/기름 친화도를 증가시키고 물/기름 계면장력을 감소시켜 결과적으로 에멀전 안정성을 증가시킨다. Span85tween80, span85 tween85는 1% 이내에서 층분리 현상이 관찰되었으며, span80tween65 인 용액은 1.3% 정도의 층분리가 되었다. 모든 용액에서 상분리 현상은 관찰되지 않았으며 층분리 속도는 span80tween65, span85tween80, span85tween85순으로 빠른 것으로 나타났다. 층분리도(%)가 크다는 것은 에멀전이 더욱 더 불안정하고 더 빠른 속도로 분리되는 현상이라고 생각된다. 에멀전화가 안된 경우층은 용액의 맨 윗층에 존재한다. 이것은 경유의 비중이 에멀전의 비중보다 작기 때문에 생기는 현상으로 생각된다.

층분리 속도를 느리게 하기 위하여 상안정제로 pectine과 polyvinyl alcohol을 사용하였다. 혼합직후 에멀전의 안정성과 층분리도(%)를 측정하기 위해 2000 rpm에서 30 min 동안 원심 분리시켰다. 원심 분리 후 층분리가 관찰되지 않았으며 상온에서 한 달간 방치 한 후에도 층분리는 관찰 되지 않았다. Table 4에서 보듯이 span83tween80은 유화제로서 적합하며 펙틴과 폴리 비닐 알콜도 상안정제로 적합함을 알 수 있었다.

3.2. 폐유/병커C유/경유 연료

폐유와 병커C유 혼합시 유동성은 있으나 난방연료로 사용하기에는 점도가 높아 경유를 첨가하였다. 폐유, 병커C유, 경유의 3 성분계에서 폐유의 농도가 진해질수록 균일한 혼합용액을 얻을 수 있지만 점도가 높아져 연료로 사용 할 수 없는 에로사항이 관찰되었다. Table 5에서 보여준 바와 같이 3 성분의 농도를 변화시킨 결과 가라앉은 폐유가 관찰되었다. 폐유, 병커C유, 경유 비율이 2 : 6 : 2, 2 : 5 : 3, 2 : 4 : 4, 3 : 6 : 1, 1 : 1 : 1인 경우가 가장 좋은 균일한 용액을 만들므로 적합한 시료로 사료된다.

3.3. 폐유/병커C유/경유/물 연료

3 성분계에 발열량을 높여주고 에멀전 연료를 만들기 위하여 물을 첨가하는 실험을 시도하였다. 물을 첨가한 결과 경유를 첨가했을 때와는 다른 상태의 균일한 용액을 얻을 수 있었다. 그 결과를 Table 6

Table 5. The Mixture of Waste Oil/Bunker C Oil/Light Oil at 25 °C

Waste oil : Bunker C oil : Light oil (wt ratio)	Sunken waste oil (vol%)
20 : 60 : 20	5.9
30 : 60 : 10	6.8
20 : 50 : 30	11.8
30 : 50 : 20	23.5
40 : 50 : 10	62.5
20 : 40 : 40	11.4
30 : 40 : 30	24.4
40 : 40 : 20	37.5
33.3 : 33.3 : 33.3	11
20 : 30 : 50	15.3
30 : 30 : 40	23.5
40 : 30 : 30	35.3

Table 6. Mixing Solution of Waste Oil/Bunker C Oil/Light Oil/Water/Emulsifier

Mixing ratio (wt ratio)	Phenomenon
Waste oil : light oil : water (80 : 10 : 10)	10.3% layer separation
Waste oil : bunker C oil : light oil (30 : 60 : 10)	No layer separation high viscosity
Waste oil : bunker C oil : water (30 : 60 : 10)	Mixing better than with emulsifier, no layer separation
Waste oil : bunker C oil : light oil : water (25 : 55 : 10 : 10)	Low viscosity than with emulsifier, no layer separation
Waste oil : bunker C oil : water : S83/T80 (30 : 60 : 10 : 2)	Low viscosity than without emulsifier, 11.8% layer separation
Waste oil : bunker C oil : light oil : water : S83/T80 (25 : 55 : 10 : 10 : 2)	10.6% layer separation

에 나타내었다. 유화제로 span83tween80을 사용하여 에멀전 용액을 얻은 결과 층분리가 관찰되었다. 유화제가 없이 물만 첨가한 경우 균일한 에멀전 연료를 얻을 수 있었으며 발열량도 높은 값을 보였다. 병커 C유가 첨가되면 span83tween80을 사용하여 만든 에멀전 용액의 안정성이 떨어지는 것으로 관찰되었다.

3.4. 연료특성

동점도는 유체의 점도를 밀도로 나눈 값으로 특히 보일러 연소로의 노즐분사에 영향을 주며 원활한 분사와 분사연료의 완전연소를 위해서는 어느 정도의 동점도 확보가 필요하다. 잔류 탄소분은 얻어진 난방연료에 다량 함유된 타르와 같은 고분자 물질의 농도를 측정하는 인자로 분석하였다. 인화점은 연료의 기체에 불꽃을 가까이 했을 때 순간적으로 섬광을 내면서 연소하는 최저 온도로서 연료의 저장, 운반시 안전성과 관련이 있다. 본 실험에서는 인화점을 난방유 사용에 적합하도록 40 °C 이상이 되는 시료를 선별하였다. 폐유만의 고유 특성을 측정하기 위하여 원소분석, 잔류탄소분, 동점도, 발열량을 측정하였으며 Table 7에 폐유연료를 분석하여 기본적인 성질을 나타내었다. 원소분석 결과 질소와 황 함량이 소량이므로 환경오염의 원인 물

Table 7. The Characteristics of Waste Oil by the Elemental Analysis

C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	Dynamic viscosity at 40 °C (mm ² /s)	Carbon residue (wt%)	Heating value (kcal/L)
46.95	8.15	0.00	0.04	522.6	1.42	6,406

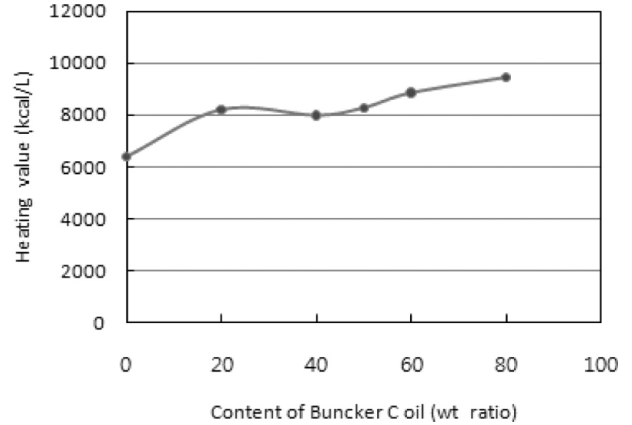


Figure 4. Heating value by the fuel contents of waste oil/bunker C oil.

질에서 제외되며 연소 시 발생하는 대기오염 물질을 줄일 수 있어 친환경 연료로 사용하는 것이 가능한 것으로 나타났다. 동점도 측정으로 고점도 물질임을 알 수 있으며 폐유 자체로는 난방유로 사용하기에 발열량이 낮은 결과를 얻었다(6406 kcal/L).

Figure 4에서는 폐유의 병커C유 함량 변화에 의한 발열량을 나타내었다. 병커C유의 농도가 높아질수록 발열량이 증가함을 알 수 있었다. 이것은 병커 C유 연료의 에너지 함량이 폐유보다 크기 때문이다[17]. 난방유로 사용 가능한 발열량의 범위는 병커C유 함량이 65 wt ratio 정도로 나타났다.

폐유/병커C유/경유/물의 비율을 변화시킨 시료의 연료특성을 Table 8에 보인다. 측정시료의 비율(wt ratio)은 sample 1은 20 : 60 : 20 : 0, sample 2는 20 : 50 : 30 : 0, sample 3은 33.3 : 33.3 : 33.3 : 0이며, 시료 sample 4는 20 : 40 : 30 : 10인 시료이다. 폐유의 점도(522.6 mm²/s)를 낮추기 위해 병커C유, 경유, 물을 첨가시킨 결과 최소 81% (sample 1: 100.3 mm²/s), 최대 96% (sample 4: 19.91 mm²/s)정도 동점도를 감소시킬 수 있었다. 폐유에 병커C유/경유를 첨가시킨 비율이 33.3 : 33.3 : 33.3인 sample 3 (20.02 mm²/s)과 병커C유/경유/물 첨가 비율이 20 : 40 : 30 : 10인 sample 4 (19.91 mm²/s)는 동점도가 비슷한 값으로 나타났다. 동점도가 높다는 것은 에멀전에서 분산된 상의 액체 방울들 사이에 정전기적 힘과 마찰력이 증가하기 때문이다[18]. Sample 2 (41.11 mm²/s)와 sample 4 (19.91 mm²/s)를 비교하면 병커C유가 감소되고 물이 첨가됨으로써 동점도가 52% 감소되어 물이 기름 사이의 정전기적 힘과 마찰력을 감소시키는 결과를 보인다. 동점도가 차이가 나는 것은 기름들로만 섞여있을 때와 에멀전 연료가 되었을 때 구조가 서로 다르기 때문에 발생하는 것으로 사료된다. 잔류탄소분은 sample 2 (0.44 wt%)와 sample 4 (0.24 wt%)를 비교하면 45% 감소현상을 보인다. 이는 물이 첨가됨으로써 불완전 연소 부분이 완전 연소로 전환되는 것으로 사료된다. 그 결과는 발열량에서도 관찰할 수 있다. 발열량의 측정 결과에 따르면 경유의 함량은 33.3 wt ratio 정도는 되어야 난방유로 사용가능하다. 물을 첨가함으로써 가라앉는 폐유가 관찰되지 않았으며 발열량이 증가함으로써 완전 연소 효율이

Table 8. Fuel Characteristic of Waste Oil/bunker C Oil/light Oil/water (wt ratio)

Item of Test	Unit	Experimental Value			
		Sample 1 ^{a)}	Sample 2 ^{b)}	Sample 3 ^{c)}	Sample 4 ^{d)}
Dynamic viscosity (40 °C)	mm ² /s	100.3	41.11	20.02	19.91
Carbon residue	wt%	0.76	0.44	0.26	0.24
Heating value	kcal/L	8345	8497	9158	10116
Flash point	°C	108	88	78	106

^{a)}Waste oil (20) : bunker C oil (60) : light oil (20)

^{b)}Waste oil (20) : bunker C oil (50) : light oil (30)

^{c)}Waste oil (33.3) : bunker C oil (33.3) : light oil (33.3)

^{d)}Waste oil (20) : bunker C oil (40) : light oil (30) : water (10)

증가함을 알 수 있었다. 물은 에너지 함량이 작아 첨가되면 연료의 발열량이 감소된다. 바이오 디젤과 바이오디젤 에멀전의 경우 첨가된 증류수 부분을 발열량 계산에서 제외시킨 결과 에멀전의 발열량이 더 큰 값을 가짐을 확인하였다[19]. 그 이유는 물 입자 둘레에 기름이 둘러 쌓여있는 상태에서 기름을 연소시키게 되면 열의 전도에 의하여 물 입자는 기화하게 되며 기화된 수증기는 그 부피가 증대되어 이 수증기가 기름층을 확산시켜 완전연소에 도움을 주기 때문이다. 일차적으로 연소되는 동안 미세 폭발 현상이 더 큰 폭으로 발생함으로써 더 큰 연소효율을 초래하게되어 발열량이 커지게 된다. 물과 함께 연소되고 있는 많은 연구들이 에멀전화된 연료로부터 미세 폭발 현상에 관하여 설명하고 있다[20,21]. 폐유/병커C유/경유/물 연료는 연소시 기름만으로 이루어진 연료보다 미세폭발이 폭발적으로 더 많이 발생하여 액적 파괴의 정도가 더 커지므로 발열량이 8497 kcal/L에서 10116 kcal/L로 16%정도 증가한 것으로 생각된다[22].

4. 결 론

본 연구는 고점도 최저급 폐유 자체의 발열량이 낮으므로 발열량을 높이기위하여 희석 용제로 경유, 병커C유를 선택하였고 혼합연료의 최적조건을 찾기 위하여 농도별 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 폐유와 에멀전 연료를 제조하여 층분리 현상을 관찰한 결과 가능한 유화제의 조합 S83T65, S83T80, S83T85, S85T85이 적합한 것으로 나타났다.
- 2) 유화제의 적정농도는 1 wt ratio 이상을 사용하였을 때, 에멀전이 안정화되어 층분리 현상이 없었다.
- 3) 병커C유와 경유를 이용하였을 경우, 폐유의 점도는 81~96% 정

도 감소하였다.

4) 폐유/병커C유/경유의 최적 혼합 비율이 1 : 1 : 1 인 경우가 난방유와 근접한 발열량을 갖는 것으로 나타났다.

5) 폐유/병커C유/경유 연료에 물을 10 wt ratio 첨가함으로써 발열량이 16%정도 높은 균일한 용액을 얻을 수 있었으며 열효율성이 개선된 연료로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Z.-G. Cheng, ed. Heavy Oil Processing Technology, China Petrochemical Press, Beijing, China (1994).
2. T. Noguchi, Heavy Oil Processing Handbook, Research Association for Residual Oil Processing (RARAP), Japan (1991).
3. 이득기, 이인철, 석유와윤활, **9**, 68 (1992).
4. A. Ciajolo and R. Barbella, *Fuel*, **63**, 657 (1984).
5. M. Ranjbar and G. Pusch, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **20**, 185 (1991)
6. W. E. Rudzinski and J. M. Aminabhavi, *Energy & Fuels*, **14**, 464 (2000).
7. G. R. Crandall and T. H. Wise, *Can. Pet.*, **25**, 37 (1984).
8. W. A. Hardy, S. P. Sit, and A. Stockwell, *Oil Gas J.*, **87**, 39 (1989)
9. J. L. Zata and G. H. Cuman, *J. Soc. Cosmet. Chem.*, **39**, 211 (1988).
10. P. A. Babay, R. T. Gettar, M. F. Silva, B. Thiele, and D. A. Batistoni, *J. Chromatogr. A*, **1116**, 277 (2006).
11. 에너지 기본법 시행규칙(2008. 3. 3 시행, 지식경제부령 1호) 제5조 1항 (2008).
12. KS M 2010, 원유 및 석유제품 인화점 시험방법 (2004).
13. KS M 2014, 원유 및 석유제품의 동점도 시험방법 및 석유제품 점도지수 계산방법 (2004).
14. KS M 2017, 석유제품-잔류탄소분 시험방법 (2006).
15. KS M 2057, 원유 및 연료유의 발열량 시험방법 (2006).
16. M. J. Rosen, Surfactants and Interfacial phenomena, 2nd ed., 310, John Wiley and Sons, New York, USA (1989).
17. B. Likos, T. J. Callahan, and C. A. Moses, SAE technical paper no. 821039, SAE : Warrendale, PA., USA (1982).
18. C.Y. Lin and K. H. Wang, *Fuel*, **83**, 537 (2004).
19. C.Y. Lin and S. A. Lin, *Fuel*, **86**, 210 (2007).
20. T. H. Defries, S. Kishan, M. V. Smith, and J. Anthony, SAE technical paper no. 2004-01-0090, SAE: Warrendale, PA., USA. (2004).
21. G. Chen and D. Tao, *Fuel Processing Technology*, **86**, 499 (2005).
22. C. Y. Lin, C. M. Lin, and C. S. Chen, *J. Ship Research*, **39**, 95 (1995).