

바이오디젤의 난방유로서의 연료특성

김영중 강연구 강금춘 유영선

Fuel Qualities of Different Biodiesels in the Gun Type Burner

Y. J. Kim Y. K. Kang K. C. Kang Y. S. Ryou

Abstract

In this study, fuel qualities including kinematic viscosity and pour point in the various temperature, calorific value and combustion characteristics of two biodiesels based on the soybean and waste oil blended with light oil were investigated and discussed in order to figure out to confirm fuel compatibility taking the place of light oil in the hot air heater or boiler. As biodiesel content ratio increased calorific value of biodiesel decreased, and the difference was 13% between 100%-biodiesel and light oil. In general, pour points of the biodiesels were higher than light oil, and as biodiesel content ratio increased pour point increased. About 15 cSt was the pour point of biodiesels and light oil, which occurred at 3 to 4°C in the biodiesels and -25°C in the light oil. Flame dimensions of biodiesels and light oil were almost same at the same combustion condition in the burner of the hot air heater. CO concentrations in the exhaustion gas were far lower than those of the light oil. Though pour point of biodiesel is a little inferior to light oil, still biodiesel can be an alternative fuel substituting for light oil in combustion system without much modifying the current oil combustion mechanism.

Keywords : Biodiesel, Combustion, Hot air heater, Soybean oil, Waste oil, Heating fuel

1. 서론

바이오디젤은 신재생에너지에 포함되는 바이오에너지로 바이오에너지연구가 활성화됨에 따라 친환경청정에너지로 미래의 석유를 대신할 수 있는 에너지로 간주되고 있다. 바이오디젤은 식물유(대두, 폐식용유, 해바라기, 유채, 팜 등)를 기반으로 염기촉매제 NaOH, KOH, K₂CO₃로 에스테르화반응으로 조제되는 연료유다. 염기촉매제를 사용하지 않고 식물유를 수백도로 가열하여 바이오디젤로 제조하는 방법도 연구되고 있고 염기촉매제의 첨가 없이 생산되는 바이오디젤은 글리세린 성분이 없으므로 저온에서도 유동성이 우수하다는 장점이 있다. 디젤은 디젤기관을 발명한 독일의 엔지니어인

디젤을 기념하는 말로서 원래 디젤기관은 콩기름으로 작동되는 기관이었으나 콩기름은 식용으로 생산비용이 비싸서 경유로 작동하는 기관이 되었었고 근래에 석유자원의 고갈로 다시 식물유를 기반으로 하는 바이오디젤이 부상되고 있다. 바이오디젤은 경유보다 분자구조상 산소기를 2개 더 포함하면서 산소를 11% 더 함유함으로써 완전연소조건이 우수하고 배기가스 저감효과가 우수하다.

우리나라에서 바이오디젤 생산원료는 주로 대두와 폐식용유를 기반으로 하고 있으며 최근 유채재배를 통하여 바이오디젤생산을 도모하고 있다. 2006년 바이오디젤 보급현황은 45,800 kl로서 연간 최대생산량 16만 kl의 약 30% 정도에 그치고 있고 생산원료의 수급은 수입 대두류가 73%(21천 kl),

This article was submitted for publication on 2008-02-25, reviewed on 2008-03-12, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2008-04-03. The authors are Y. J. Kim, Y. K. Kang, Researcher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering (NIAE), RDA, K. C. Kang, Researcher, KSAM member, National Horticultural Research Institute, RDA, Y. S. Ryou, Senior Researcher, KSAM member, NIAE, RDA. Corresponding author: Y. J. Kim, Researcher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering (NIAE), RDA, Suwon, Korea; Tel: +82-31-290-1885, E-mail: <kim0yoj@rda.go.kr>.

국내수거 폐식용유가 27%(7.8천 kl)를 차지하고 있다. 바이오디젤 이용은 수송용 연료로 경유에 첨가하여 0.5% 바이오디젤을 조제하여 사용하고 있다. 바이오디젤 이용이 활성화된 선진외국에서는 도심버스와 난방용 연료로 100%바이오디젤을 사용하기도 한다. 내연기관에 20% 바이오디젤을 사용하면 매연은 -20%, 일산화탄소는 -12%, 미세분진은 -12%, NO_x는 +2%, SO_x는 -20%, 방향족화합물은 -13%가 경유와 차이가 난다는 보고가 있다(이진석, 2004). 내연기관에서 바이오디젤 연소시 NO_x의 증가원인으로는 바이오디젤의 세탄가가 경유보다 다소 높다는데 있으며, 일반적으로 세탄가가 높은 연료는 휘발성이 강해 공기와 혼합할 시간이 불충분하여 미연소의 원인이 된다(Hofman, 2003). 바이오디젤의 난방유 시험연구결과로는 바이오디젤 혼합비율이 높을수록 연료공급 시스템의 연료흐름에 영향을 미치는 gelling 현상이 증가하였고 이에 따라 유동점은 바이오디젤100(100% 바이오디젤)은 0°C 바이오디젤20은 -18°C, 반면 #2 디젤유는 -24°C라고 보고되었고, 바이오디젤20과 바이오디젤30은 버너 개조 없이 사용이 가능하지만 배합비율이 높을수록 연료펌프의 고무실링 부분에 내구성문제가 발생할 수 있고 불꽃을 감지하는 광전 센서의 성능에도 영향을 미칠 수 있다고 보고되었다(Environmental Building News, 2003). 바이오디젤의 NO_x 배출량 문제는 내연기관에서는 증가한다는 보고가 있고 연소버너에서는 감소한다는 논란이 있으며 이에 대한 추가적 연구가 요구되고 있다. 바이오디젤의 무화과 연소특성에 대한 연구(Lee et al., 2005)에 의하면 미강유바이오디젤과 대두바이오디젤의 혼합비율을 높일수록 동점도, 표면장력 및 세탄가가 증가하였으며 이에 따라 분사입자 또한 경유보다 컸었고 배기가스 중 하이드로카본화합물과 일산화탄소량은 감소했었고 NO_x는 증가하였다고 보고되었다. 한국에너지연구소(한국에너지연구소, 1997)에서는 난방유의 보일러 적용시험사업에서 온도에 따른 동점도와 배기가스성분을 계측하여 난방유의 적합성 평가기준을 삼았다.

우리나라에서 온실난방은 주로 온풍난방기와 온수보일러로 하고 있으며 연료로는 면세경유를 사용한다. 면세경유의 시중판매가격은 2007년 12월 현재 800~900원/L에 이르고 있고 바이오디젤 생산가격은 900~1000원/L로 크게 차이나지 않는다. 최근에는 기후협약이나 탄소배출할당량에 대처할 수 있는 경유대체유로 관심을 끌고 있다. 비록 경유와 대비하여 가격이점이 다소 부족하더라도 전량 수입되는 석유자원을 대체하고 면세경유에 치우친 농업용 난방유 확보방안을 다양화하기 위해서도 바이오디젤 이용기술 연구가 수행되어야 할

것이다. 바이오디젤 제조방법은 인터넷상에서도 얼마든지 구할 수 있고 실제로 외국에서는 개인들이 바이오디젤을 조제하여 사용하기도 한다. 우리나라에서도 시설난방비 때문에 경영에 어려움을 겪는 창의적 농민이라면 대두유, 폐식용유 또는 유채유로 바이오디젤을 조제하여 사용할 수 있다.

본 연구의 목적은 바이오디젤을 농업용난방유로 사용하기 위해 바이오디젤의 연료특성과 경유온풍난방기에서 연소특성을 구명하는 데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 바이오디젤의 물성조사

1) 바이오디젤 조제

시험에 사용한 바이오디젤은 국내 바이오디젤생산업체인 K사의 대두유바이오디젤과 E사의 폐식용유바이오디젤을 구입하여 경유와 섞어 부피비로 5%, 20%, 50%, 80%, 100% 바이오디젤을 조제하였다.

2) 발열량조사

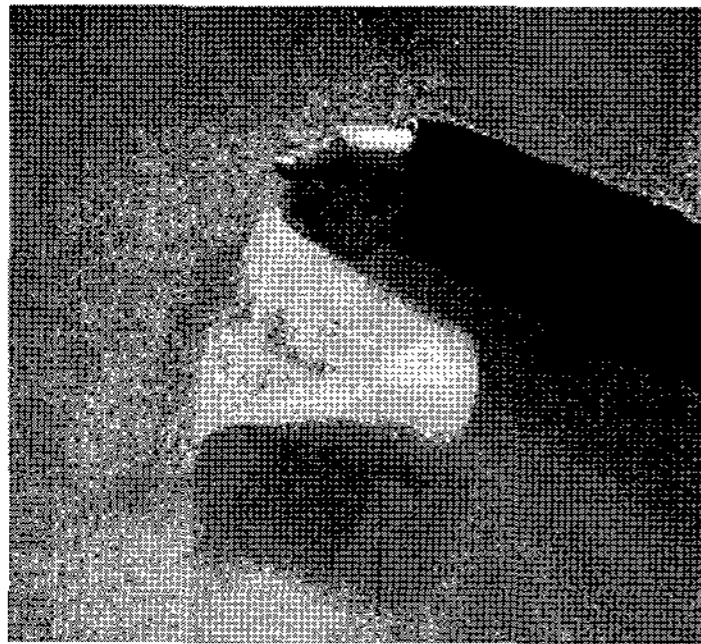
바이오디젤의 발열량은 IKA CAL2K 모델에 의해 측정하였다. 발열량은 3반복 측정하였으며 경유값과 비교하였다.

3) 동점도 조사

바이오디젤의 동점도와 유동점(pour point)을 조사하기 위해 온도범위는 -20~40°C에서 온도에 따라 점도와 밀도를 측정하여 점도를 밀도로 나누어 동점도를 취하였다. 점도는 점도측정계(Brookfield DV-II)를 사용하였으며 시료의 온도조절은 저온냉동고(그린쿨텍 GCT-250, -50°C)와 워터베스(WISEBATH, WB-22)를 사용하였다. 유동점은 바이오디젤의 유동성을 판단하는 요인으로 비이커에 바이오디젤을 넣고 그림 1과 같이 기우렸을 때 흐름이 없는 온도를 유동점으로 정하였다. 동점도도 3반복 측정하였으며 그 값을 경유와 비교하였다.

나. 바이오디젤 연소특성 구명 시험

바이오디젤의 연소특성시험을 위해 온풍난방기용 버너로 연소시험을 하였고 화염크기와 색깔을 관찰하였으며 연소가스분석기(Greenline Mk2, Eurotron, Italy)로 배기가스성분과 배기가스온도를 측정하여 경유와 비교하였다(Fig. 2).



measurement of pour point



measuring apparatus for calorific value



measuring apparatus for kinematic viscosity

Fig. 1 Method and apparatus for the investigation of physical properties of biodiesel.

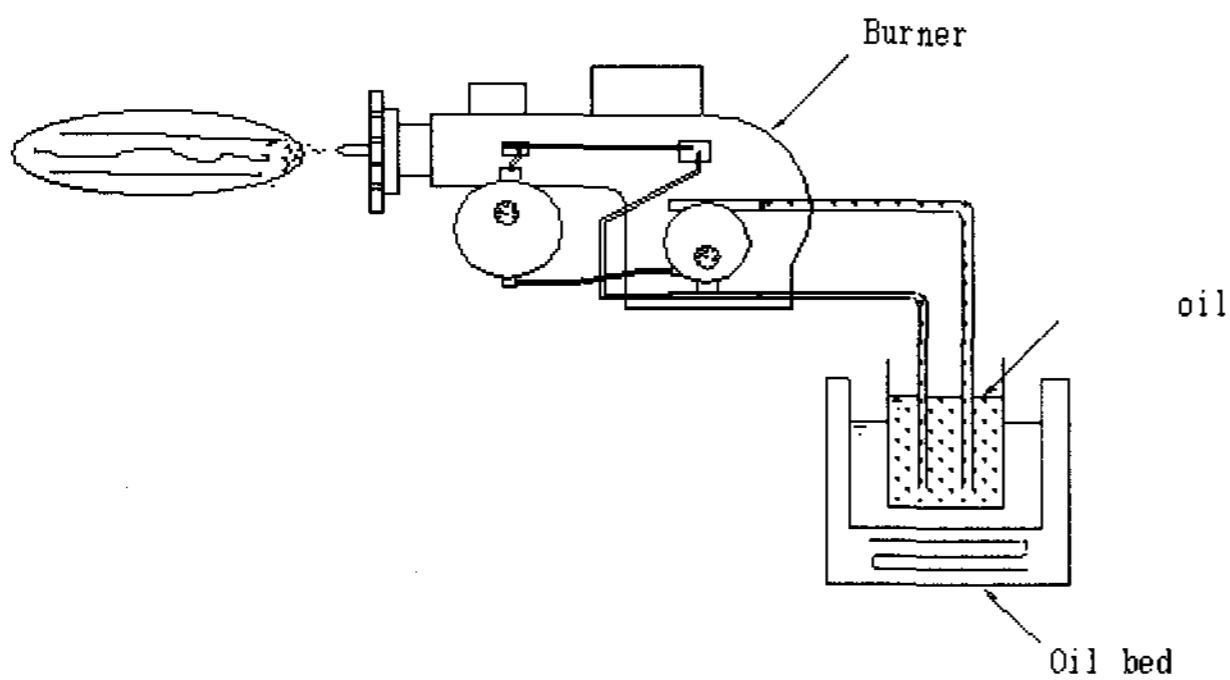


Fig. 2 Overview of the biodiesel combustion test.

3. 결과 및 고찰

가. 발열량

그림 3은 본 시험에 사용되었던 바이오디젤의 발열량을 표시하고 있다. 측정값의 반복수는 3회로 평균값을 취하였다. 대두100%바이오디젤과 폐식용유100%바이오디젤의 발열량은 각각 39,958, 39,676 J/g으로 차이가 거의 없었고 이때 경유의 발열량은 45,722 J/g으로 경유발열량 기준으로 약 13% 차이가 있었다. 경유와 혼합비율이 높을수록 발열량은 거의 직선적으로 감소함을 알 수 있었다.

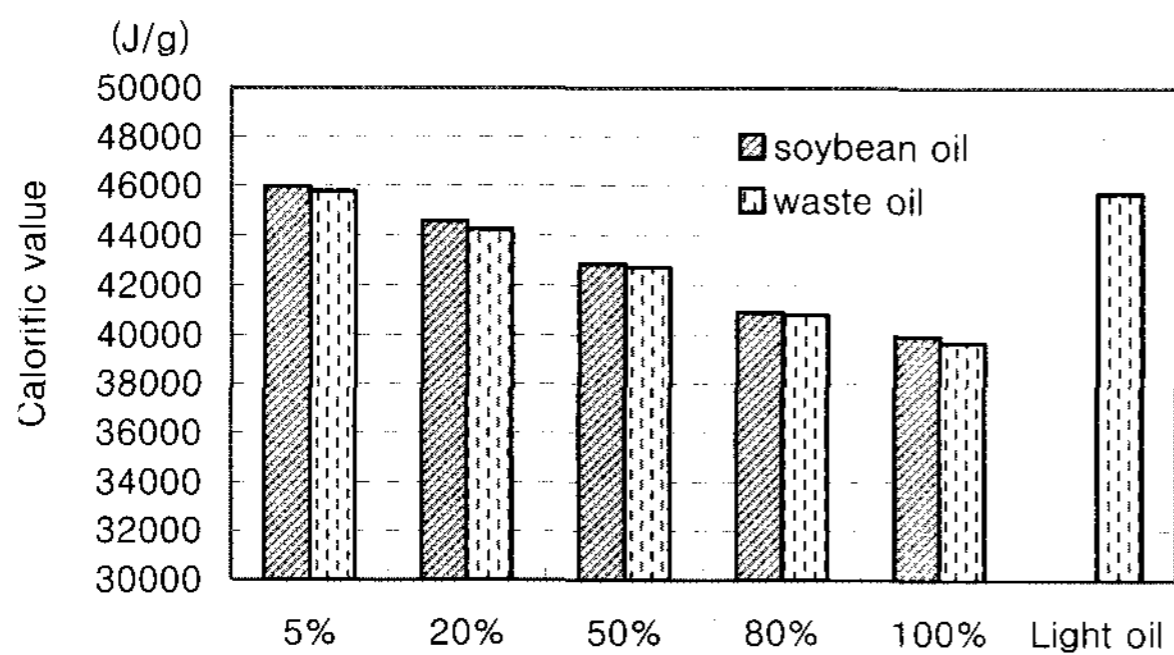


Fig. 3 Calorific values of the mixed biodiesels and light oil.

나. 동점도와 유동점

그림 4와 5는 온도변화에 따른 대두유바이오디젤과 폐식용유의 동점도와 각 혼합비율에서 유동점을 보여주고 있다. 유동점은 그림 4, 5에서 각 심볼 옆에 표시된 온도로 표시되고 각 심벌의 X축 값이 유동점에서의 동점도를 나타낸다. 동점도와 유동점은 유류의 연료공급시스템에서 유동성을 나타내는 성질로 사용온도환경을 규정하는 중요한 인자다. 동점도의 측정범위는 우리나라 동절기 난방온도환경을 고려하여 -20°C에서 40°C까지 10°C 간격으로 측정하였다.

그림 4와 5에서 보면 전체적으로 경유의 동점도가 바이오디젤보다 낮다는 것을 알 수 있었다. -10°C를 기준으로 경유의 동점도는 11.5 cSt인 반면 5%대두유와 5%폐식용유바이오디젤은 13.5 cSt를 나타내고 있으며 100%대두유, 바이오디젤의 동점도는 각각 18.5, 19 cSt로 측정되었다. 바이오디젤의 유동점은 대체적으로 13~17 cSt 범위에 있었다. 100% 대두유바이오디젤과 폐식용유바이오디젤의 유동점은 3°C, 4°C로서 이때 동점도는 13.5~14 cSt 범위에 있었으며 이러한 유

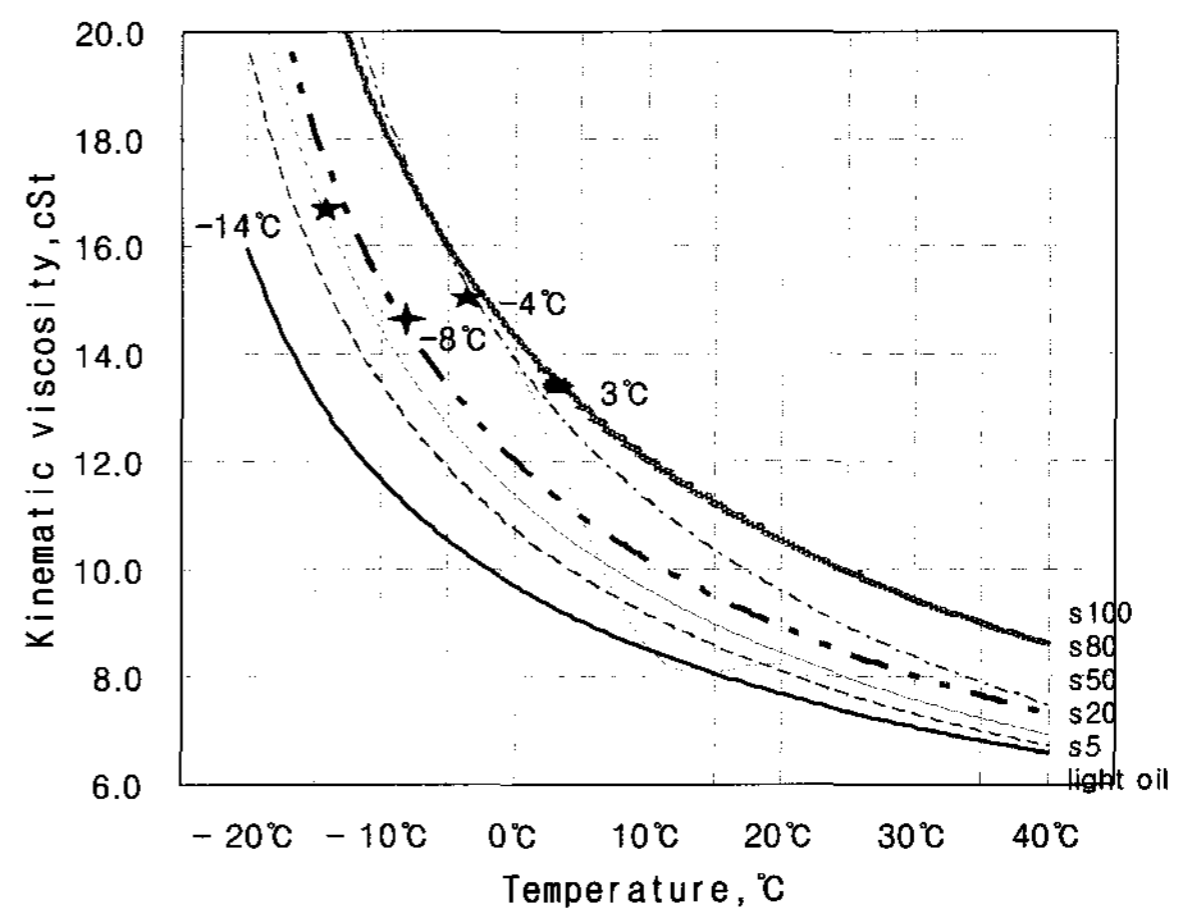


Fig. 4 Kinematic viscosities and pour points of soybean biodiesels (s50: s means soybean biodiesel and 50 is amount of biodiesel in percents (%)).

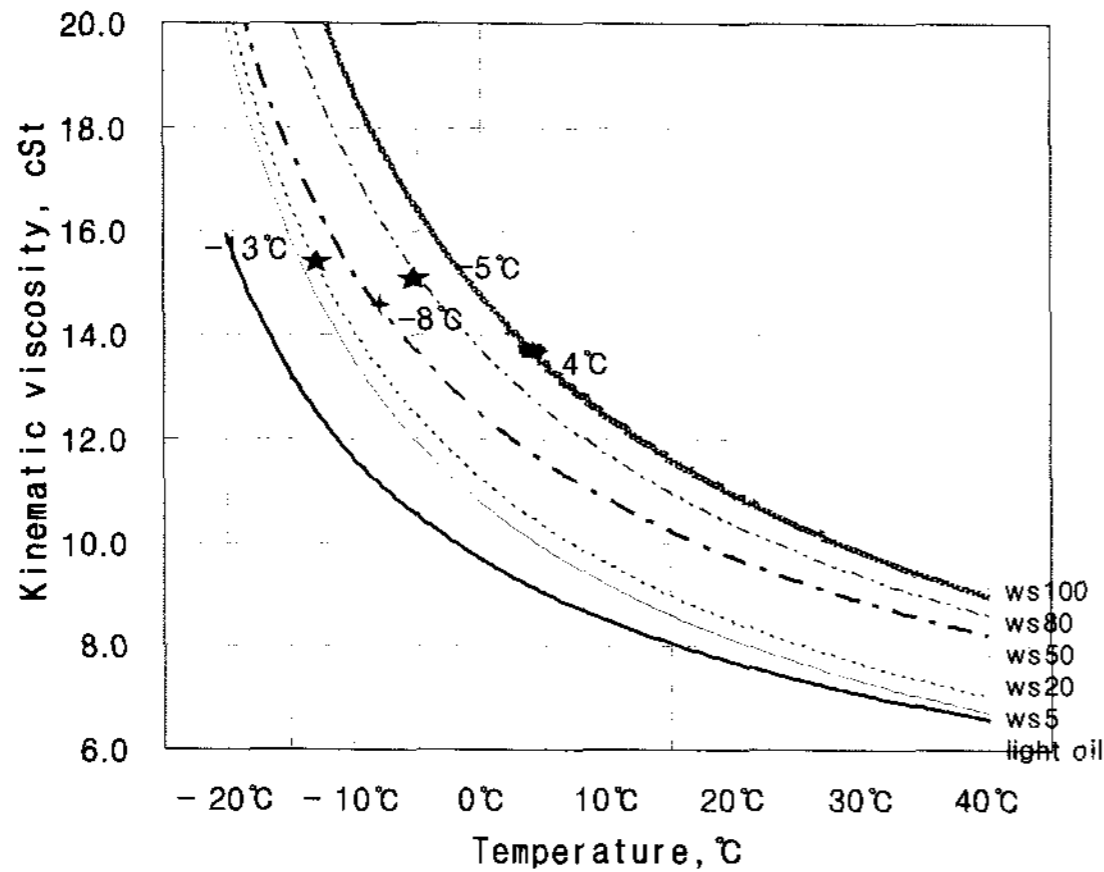


Fig. 5 Kinematic viscosities and pour points of mixed waste oil biodiesels (ws50: s means waste oil biodiesel and 50 is amount of biodiesel in percents (%)).

동점 이하에서 100%바이오디젤을 사용하기에는 어려움이 있을 것으로 사료된다. 그러나, 100%이하의 바이오디젤은 해당 유동점까지 사용이 가능할 것으로 판단된다. KS석유규격에서 규정하는 동점도는 40°C에서의 값으로 1.9~5.5 cSt로서 본 시험에서 사용한 경유는 조금 벗어났다고 볼 수 있으나 본 시험에서 사용한 경유는 면세용 난방경유로서 약간의 차이가 있는 것은 정상이라 판단된다. 전체적으로 보면 40°C에서 혼합비율이 높을수록 동점도는 크게 나타났고 100% 바이오디젤에서는 폐식용유바이오디젤과 대두유바이오디젤에서 약 9 cSt 정도가 되었다.

다. 화염특성

버너에서 연료의 화염특성은 분사압력, 공기량에 따라 다르다. 일반적으로 공기량이 과하면 화염길이는 길어지고 화염지름은 짧아지면서 끝단에서는 날리는 현상이 발생한다. 반면 공기량이 적을 때는 화염길이는 짧아지고 지름이 크며 이상적 화염형태는 화염의 날림이 없고 지름은 짧은 굽은 편이고 곧고 바르게 뿜어 나온다(김 등, 1999, 2000). 본 시험에

서 사용한 경유버너의 적정연소조건은 분사압력은 980 KPa, 공기량은 11.47 m³/min 으로 경유와 바이오디젤의 화염특성 시험에서도 연소조건을 조정하지 않고 그대로 사용하였다. 그 이유는 본 시험의 목적이 여러 다른 바이오디젤을 경유대체유로 이용하고자 함에 있었고 함량이 다른 바이오디젤의 분사조건을 다시 설정한다는 것은 그 실용성이 의심스럽기 때문이었다. 또, 예비시험에서 배기가스성분 분석에 의하면 경유와 바이오디젤의 연소조건이 크게 다르게 나타나지 않았다. 버너노즐은 hago 3.75(Hago, USA)로 분사조건은 동일하게 시행하였다. 그림 5는 경유와 대두유바이오디젤, 폐식용유 바이오디젤을 연료로 분사했을 때의 화염형상이다. 모든 바이오디젤에서 화염형상이 되었고 경유화염과 큰 차이는 없었다. 다만, 바이오디젤 화염색깔은 경유화염과 비교하여 흰빛이 많은 밝은 오렌지색을 띄우고 있었다. 화염크기 또한 큰 차이를 보이지 않았고 대략 지름 17~20 cm, 길이 35~45 cm의 범위에 있었다.

라. 배기가스

바이오디젤 연소시험에서 배기가스성분 측정은 연소가스 측정기 Greenline Mk2(eurotron)을 사용하였다. 대두유바이오디젤과 경유 배기가스 중 CO농도는 경유가 최소 25% 이상 높았고 폐식용유바이오디젤에서는 최소 50% 이상 정도 높았으며, 경유혼합비율이 높을수록 CO농도는 점차 감소함을 알 수 있었다. NO_x 농도는 경유와 바이오디젤에서 큰 차이를 보이지 않았다. 배기가스 온도 또한 300°C 근처에서 ±10°C 오차로 큰 차이를 보인다고 볼 수 없었다(Fig. 7).

그림 8은 배기가스중 O₂ 농도와 CO₂ 농도를 보여준다. 배기가스 중 CO₂ 농도는 대두유바이오디젤, 폐식용유바이오디젤, 경유 모두 14~16% 로 비슷하였고, O₂농도는 대두유바이오디젤에서는 1~2% 범위에 있었고 혼합비율이 증가할수록 조금씩 증가하였으며 경유보다는 약간 높았으나 폐식용유에서는 차이가 거의 없었다.

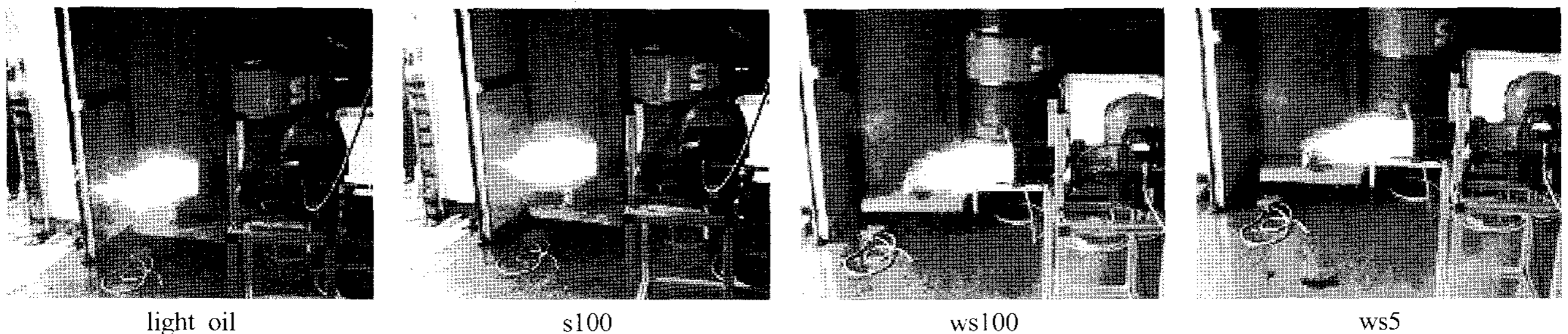


Fig. 6 Combustion flames of different biodiesel in the burner.

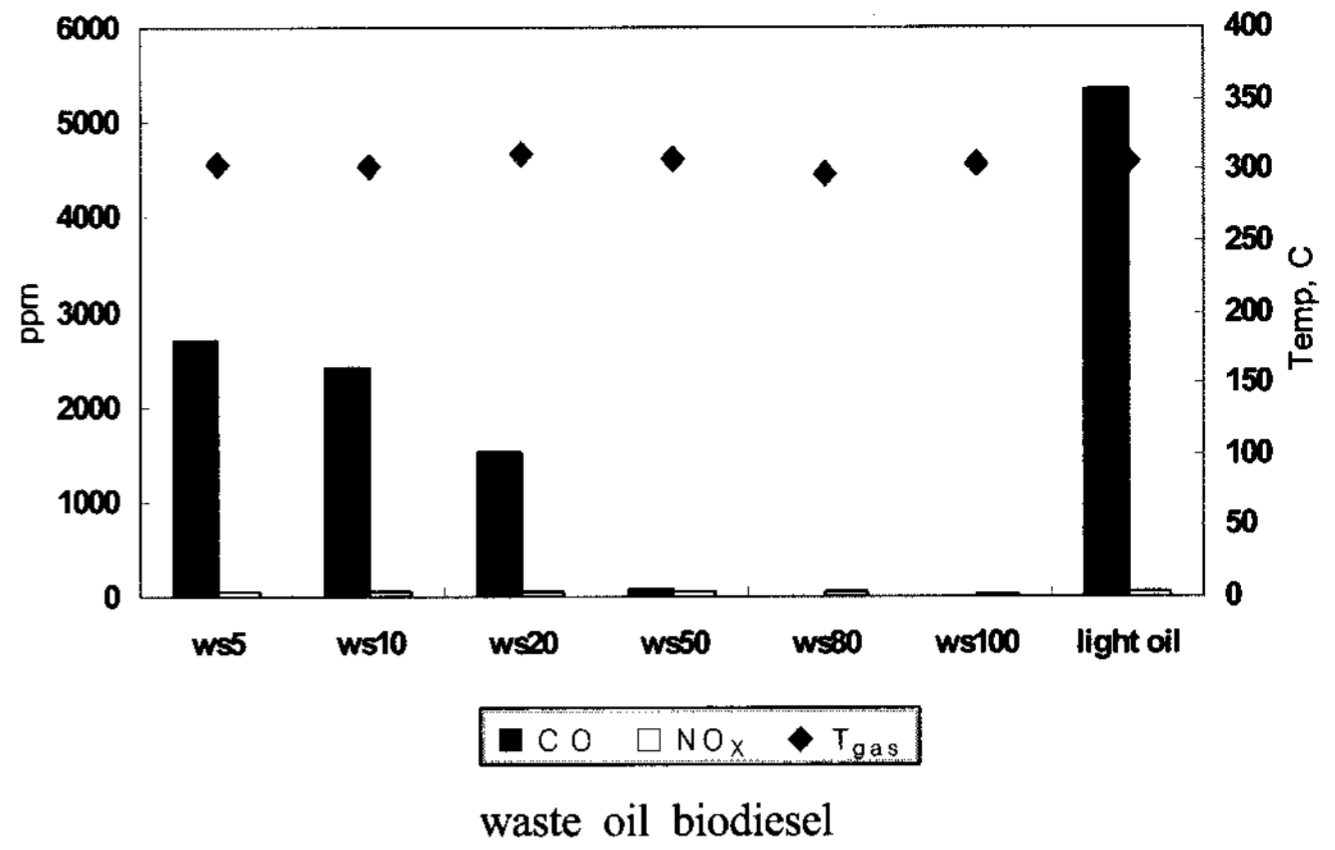
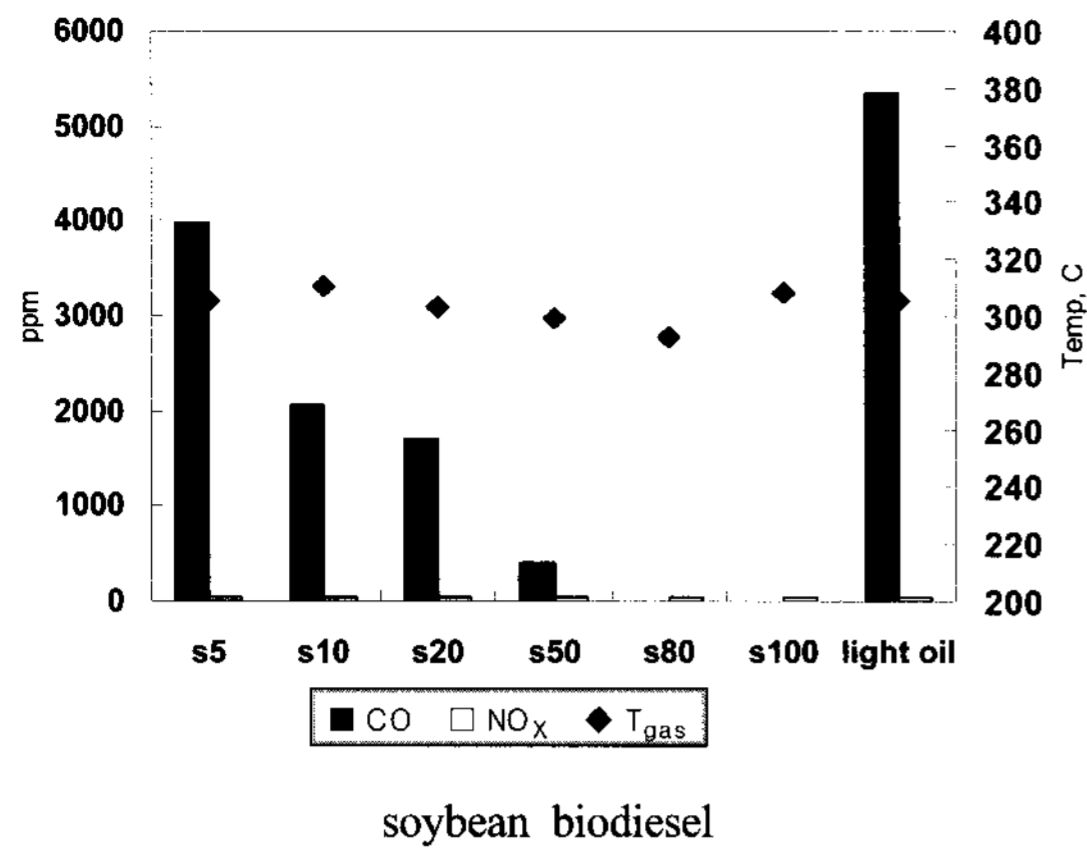


Fig. 7 Concentrations of CO and NO_x and exhaust gas temperature of different biodiesels and light oil.

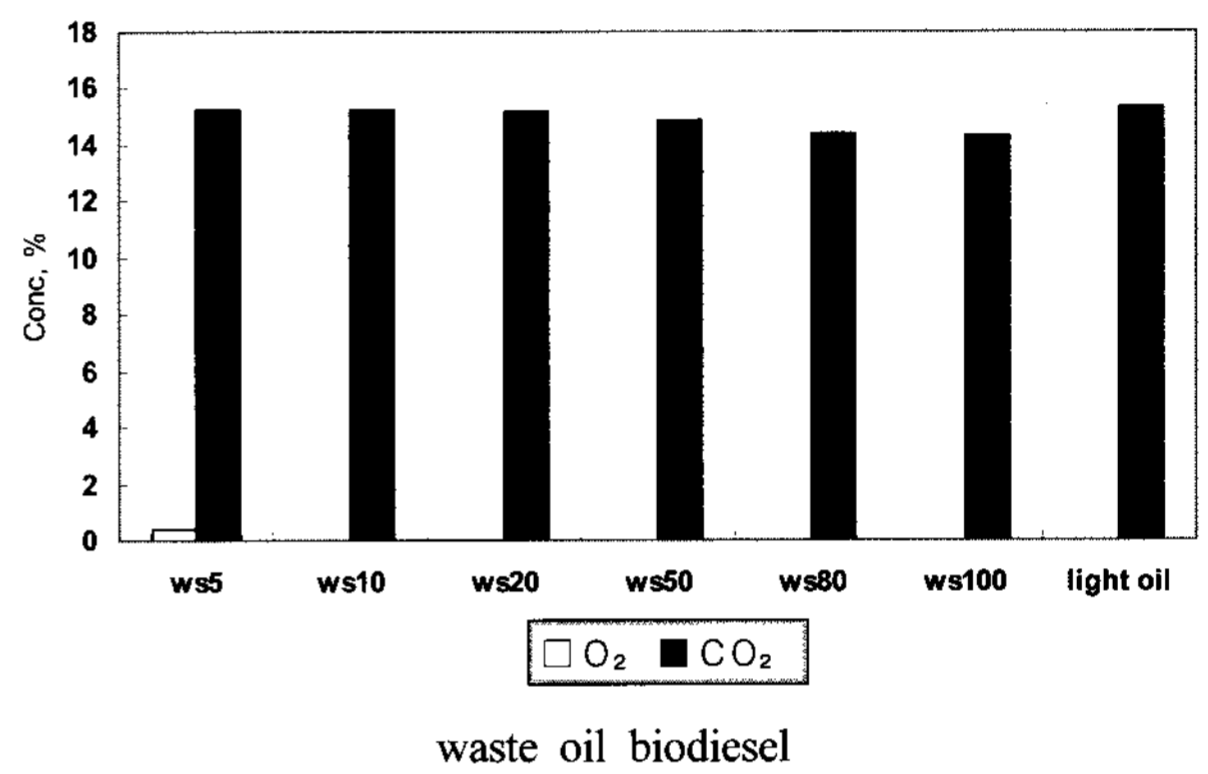
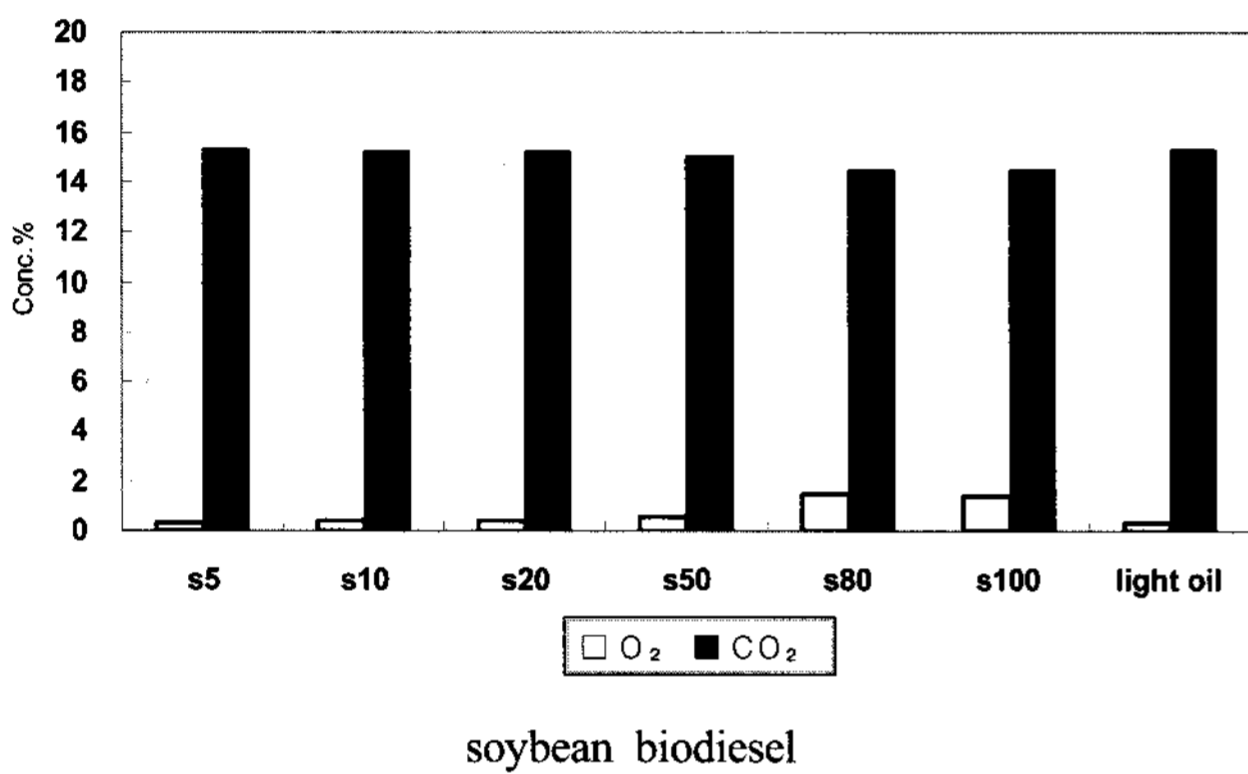


Fig. 8 Concentrations of O₂ and CO₂ of exhaust gas in the different biodiesels and light oil.

5. 결론

바이오디젤의 온실난방유로서의 적합성을 구명하기 위해 동점도와 연소특성시험을 하였고 이를 경유와 비교하였다. 시험유류는 대두유바이오디젤과 폐식용유바이오디젤을 경유와 혼합하여 5%, 10%, 20%, 50%, 80%, 100% 바이오디젤을 조제하여 시험하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 바이오디젤의 발열량은 배합비율이 높을수록 작았으며 100% 바이오디젤의 경유 경유보다 약 13% 정도 낮았다.
- (2) -10°C에서 경유의 동점도는 11.5 cSt인 반면 5%대두유와 5%폐식용유바이오디젤은 13.5 cSt를 나타내었고 100% 대두유, 바이오디젤의 동점도는 각각 18.5, 19 cSt로 측정되었다.
- (3) 바이오디젤의 유동점은 대체적으로 13~17 cSt 범위에 있었다. 100% 대두유바이오디젤과 폐식용유바이오디젤의 유동점은 3°C, 4°C로서 이때 동점도는 13.5~14 cSt 범위에 있었으며 이러한 유동점 이하에서 100%바

이오디젤을 사용하기에는 어려움이 있을 것으로 사료된다.

- (4) 온풍난방기용 버너에서 바이오디젤은 배합비율에 관계 없이 연소가 가능했고 화염특성도 경유에 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다. 배기가스성분 중 일산화탄소성분은 경유에 비해 적게 배출되었다.

참고 문헌

1. Environmental Building News. 2003. 12(1).
2. Hofman, V. 2003. Biodiesel fuel. NDSU Extension Service. February. North Dakota State University, Fargo, North Dakota 58105.
3. Kim, Y. J., Y. S. Ryou, J. T. Chang, J. H. Yun and T. Y. Yeon. 1999. Spraying and combustion characteristics of heavy oil in the gun type burner for hot air heater. J. KSAM. 24(2): 107-114.
4. Kim, Y. J., Y. S. Ryou, K. C. Kang, K. C. Lee and J. H. Yun. 2000. Combustion qualities of waste tire oil as substituting light oil for greenhouse heating. J. KSAM 25(6):481-488.

5. Lee, C. S., S. W. Park and S. I. Kwon. 2005. An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels. *Energy & Fuels*. 19:2201-2208.
6. 이진석. 2004. 바이오디젤의 상용화 현황 및 전망. 설비저널. 제33권 제 10호. pp.45~49.
7. 한국에너지기술연구소. 1997. 신설 난방유의 보일러 적용시험 사업 최종보고서. KIER-972130.