

바이오 분사 디젤연료 혼합율 및 바이오 연료 온도변화에 따른 연소특성에 미치는 영향

Effect on Characteristics of Combustion by Changing in Biofuel Temperature and Ratio of Bio Injection Diesel Fuel

최재훈* · 조상곤*†
Jae-Hoon Choi* and Sang-Gon Cho*†

(Received 11 May 2020, Revision received 16 June 2020, Accepted 16 June 2020)

Abstract : In recent years, biodiesel fuels are attracting more attention because of the development of electric and hydrogen energy. Furthermore, there are numerous advantages of the carbon emissions of existing equipment; hence, existing research should be continued. Recently, changes in the world's weather patterns are endangering the global ecosystem. Industrialization with new energy sources is a slow process; therefore, various studies on how biofuels can be used as an alternative energy source should be conducted. This study investigates the effect of the rate of biofuel mixing and the combustion characteristics caused by the rise of biofuel temperature in diesel engines. The results showed that fuel consumption slightly increased with an increase in biodiesel fuel ration, the decrease in pressure and reduced heat generation rate. Furthermore, fuel consumption increased with a rise in biofuel temperature and an increase in the pressure and heat generation rate.

Key Words : Bio diesel fuel, Brake specific fuel oil consumption, Cylinder pressure, Rate of pressure rise, Rate of heat release

1. 서 론

최근 지구의 날씨 변화 현상이 세계 곳곳에서 이상 기후변화로 나타나고 있다. 이런 지구촌 온도변화는 온난화에 의한 영향이라고 연구자들에 보고되고 있다. 우리나라도 이런 기상재해가 자주 발생하고 지속적으로 발생되리라 생각되어 국가

적인 정책지원이 필요하다. 또한 국제적인 협력도 각국의 이익에 따라 정책적으로 차이는 있지만 생태계파괴에 따른 재앙을 피하기 위해 국제협력이 적극 필요하고 이에 협력이 강화되어야 한다. 국내에서도 국제 기후변화 위기대응에 맞춰서 위원회가 출범하여 공동대응하고 있다. 자연에서 생산 가능한 바이오연료는 지속가능할 뿐만 아니라 탄소 절감이 가능한 탄소세 도입으로 활성화되고

*† 조상곤(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-1937-8674) : 교수, 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부 마린엔지니어링전공
E-mail: haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

*최재훈(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-1923-6449) : 대학원생, 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부 마린엔지니어링전공

*† Sang-Gon Cho(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-1937-8674) : Professor, Marine Engineering Major, Division of Marine Industry Transportation Science and Technology Marine Production System, Kunsan National University.

E-mail : harimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

* Jae-Hoon Choi(ORCID:http://orcid.org/0000-0002-1923-6449) : Graduate Student, Kunsan National University.

있으며, 태양광, 수력, 풍력 등 에너지는 수송 연료에너지로 활용하기 어렵지만 바이오 디젤연료는 가능한 장점이 있다. 그리고 재생성이 가능한 연료로 매장량으로 고갈될 문제가 없으며 화석연료에 발생하는 배출가스 오염에 비해 자연에서 생성하는 에너지로 이산화탄소 흡수하는 탄소 절감 자연 재생에너지이다. 이런 바이오연료는 지속적인 재생산이 가능한 에너지 작물로 인정하고 있다. 그 중에서 사탕수수, 팥, 대두유, 유채유 등 다양한 식물자원이 많이 사용될 수 있다. 하지만 바이오 동물성 및 식물성 기름은 그대로 기관에 사용하기에는 높은 점도이다. 그러므로 촉매 등 방법으로 이용하여 알코올과 반응시키면서 글리세린을 분리하여 메틸에스테르 과정을 거쳐 사용할 수 있는 바이오 디젤연료이다.

이러한 연구는 바이오매스,¹⁾ 바이오연료²⁾ 등이 연구 개발되면서 다양한 에너지 활용으로 환경문제 해결에 도움이 되었으며, 새로운 정책 및 고용 창출에도 기여하고 있다. 하지만 농업을 기반으로 생산하는 문제로 원료의 가격 상승에 수급불안 문제가 있다. 그러므로 식용으로 재사용하기 어려운 폐식용유를^{3,4)} 활용하려는 연구가 있다. 이러한 바이오디젤연료의 단점을 극복하기 위한 연구로 바이오연료 비율에 일정한 바이오디젤연료 온도를 상승시켜 저온의 단점을 극복하고 사용할 수 있는 연료로 기초연구를 상세하게 할 필요성이 있어서 연구하였다. 이에 디젤연료 온도변화의⁵⁾ 연구가 있으며, Park 등은⁶⁾ 연료온도에 대하여 연구하였다. 또한 Yoon 등은⁷⁾ 배기배출물에 대한 바이오디젤유의 영향에⁸⁾ 대하여 연구하였고, Jung 등은 연소특성에⁹⁾ 대하여 연구하였다.

본 연구는 직접분사식 4행정 디젤기관에 바이오 디젤연료 혼합을 및 바이오연료 분사온도를 변화시켜서 기관 연소에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 바이오연료 온도조절장치

본 실험장치 제원은 Table 1로, 기관의 회전수와 부하상태를 고려하여 적절한 바이오연료 온도

조절장치가 필요하여 기관성능 맞춤형 가열장치 및 냉각시스템을 Fig. 1에 구성하였다. 기관의 연료가 연료시스템으로 공급된 후 연료펌프 분사시기에 맞춰 분사하여 남은 연료를 재순환하는 장치를 구성하였으며, 순환되어 상승하는 연료를 냉각하는 장치는 1차, 2차 시스템을 통하여 일정한 온도로 기관에 공급하였다. 또한 가열기를 설치하여 연료 온도를 일정하게 유지하여 분사연료 펌프에 공급하였으며, 오차 허용 범위는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다. 본 실험장치 분사 바이오 실험연료는 Table 2에 구성하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
Model	6BB1(ISUZU)
Max. output	60kW/1,800rpm
Bore× stroke(mm)	102 × 110
Type of engine	Water-cooled, supercharged
Stroke	4
Type of fuel injection	Direct injection
Number of cylinder	6
Piston displacement(cc)	5,393
Compression ratio	17.5 : 1
Fuel injection timing	BTDC 22°CA
Firing order	1-5-3-6-2-4

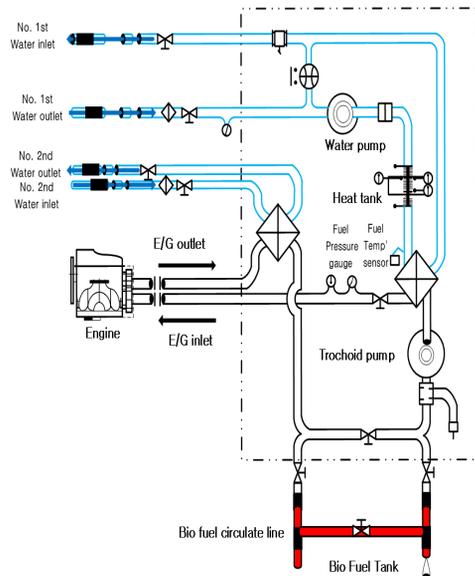


Fig. 1 Schematic diagram of bio fuel temperature control system

Table 2 Properties of test fuels

Item	Test fuels	
	Diesel fuel	Bio fuel 100
Specific gravity(15/4℃)	0.8342	0.8752
Kinematic viscosity (cSt@40℃)	2.67	3.754
Flash point(℃)	75℃	128℃
Sulfur(%)	0.04	0
Water(%)	0	0.1387
Lower heating value(MJ/kg)	42.8	36.76
Carbon(wt.%)	85.83	77.29
Hydrogen (wt.%)	13.82	12.68
Nitrogen (wt.%)	0.16	0.08
Oxygen(wt.%)	0	9.7
Cetane number	51.4	58.67

2.2 실험방법

본 실험방법은 분사 바이오연료 온도 조절기 (FTCH-0906)를 사용하여 연료온도를 15℃로 일정하게 하였다. 기존 연료 공급시스템 장치는 연료 공급 필터 온도가 연료탱크의 온도보다 연료온도가 약 3℃ 정도 상승하고 있었으며, 또한 연료 분사펌프 필터 후부에서도 온도는 필터 전에서의 온도보다 상승하고 있었다. 이런 연료 공급 순환 시스템에 연료 온도는 공급 연료보다 3℃ 정도 높게 나타나고 있어서 온도변화에 대한 편차를 줄이고 일정한 연료 온도를 공급하도록 하였다. 기관회전 속도 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 하였으며, 바이오 연료 비율을 10%, 20%, 30%로 하였고, 분사 바이오 연료 온도는 15℃ 기준에서 25℃, 35℃, 45℃ 간격으로 일정하게 온도를 유지하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료소비율

Fig. 3은 실험엔진 회전수 1,800 rpm에서 바이오 연료 비율과 바이오연료 온도변화에 따른 연료소비율을 나타낸 그래프이다. 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는

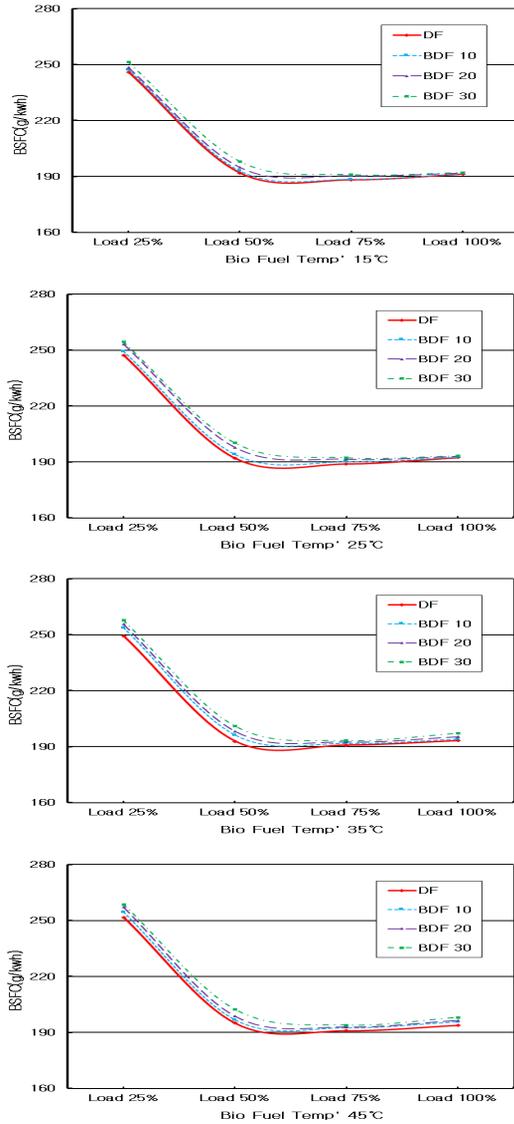


Fig. 3 Brake specific fuel consumption on various of biofuel temperature and Biofuel ratio at 1,800 rpm

경향이며, 연료소비율은 바이오 혼합비율이 증가하면서 약간 증가하였고, 바이오 연료온도 증가에 따라 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가하는 경향이다. 바이오 연료 비율에 대한 15℃ 온도 기준으로 부하 100%에서 15℃ BDF 10 0.11%, BDF 20 0.26%, BDF 30 0.37%로 증가하는 경향을 알

수 있었다. 부하 100%에서 바이오 연료 45℃ 온도에 대한 기준으로 45℃ BDF 10 0.87%, BDF 20 1.34%, BDF 30 2.11%로 증가하는 경향을 알 수 있었다. 전체적인 바이오 연료 비율과 온도 상승 비율이 연료소비율에 큰 영향이 없이 사용 가능함을 알 수 있었으며, 바이오 연료에 대한 무더운 여름 및 추운 겨울에도 적절한 바이오 연료 온도를 조절하여 산업용 및 비상용 발전기에 적용하여 배기가스 대기오염 저감뿐만 아니라 탄소배출권 확보에도 좋은 장점이 되리라 생각된다. 그 이유는 저점도유 특성상 바이오 연료 온도 증가로 인한 점도의 감소가 연료분무 특성을 악화로 전체적인 연료소비율이 약간씩 증가하지만 사용 가능하다고 판단된다.

3.2 실린더 압력(Cylinder pressure)

Fig. 4는 연소실 실린더압력 그래프이며, 기관 회전수 1,800 rpm에서 부하증가에 따라 일정하게 증가하였으며, 바이오 분사연료 비율에 의해서 DF 100%에서 BDF 30%까지 바이오 온도변화에 따른 압력을 나타내는 그래프이며, 무부하 0%에서 전부하 100%로 일정하며 이것은 엔진의 필요로 요구하는 마력당 부하에 맞게 연료량의 분사로 연소실에서 발생하는 발열량이 일관되게 출력이 발생된 것으로 나타나고 있다. Fig. 4에도 15℃에서 바이오연료 혼합비율이 증가하여도 일정하게 나타나고 있으며, Fig. 4-1 분사 바이오연료 온도 45℃에서도 일정하게 증가하였다. 바이오 연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균감소율을 살펴보면, 15℃ -1.47%, 25℃ -1.51%, 35℃ -1.70%, 45℃ -1.48% 감소하였으나, 바이오 연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 바이오 연료 15℃ 온도에 대한 기준으로 평균증가율을 살펴보면, 25℃ 0.76%, 35℃ 2.03%, 45℃ 2.83%로 증가하는 경향을 알 수 있었다. 본 실험결과, BD 10%, BD 20%, BD 30% 혼합비율이 증가하면서 약간 감소하였으며, 바이오연료 온도 15℃, 25℃, 35℃, 45℃에서는 약간 증가하였다. 그 이유는 바이오 연료의 발열량이 디젤연료에 비하여 10% 정도 낮기 때문이며 실험결과, 그래프 값도 일치하게 나타났다. 바이오 연료의 온도에 의한 그래프는 너무 많

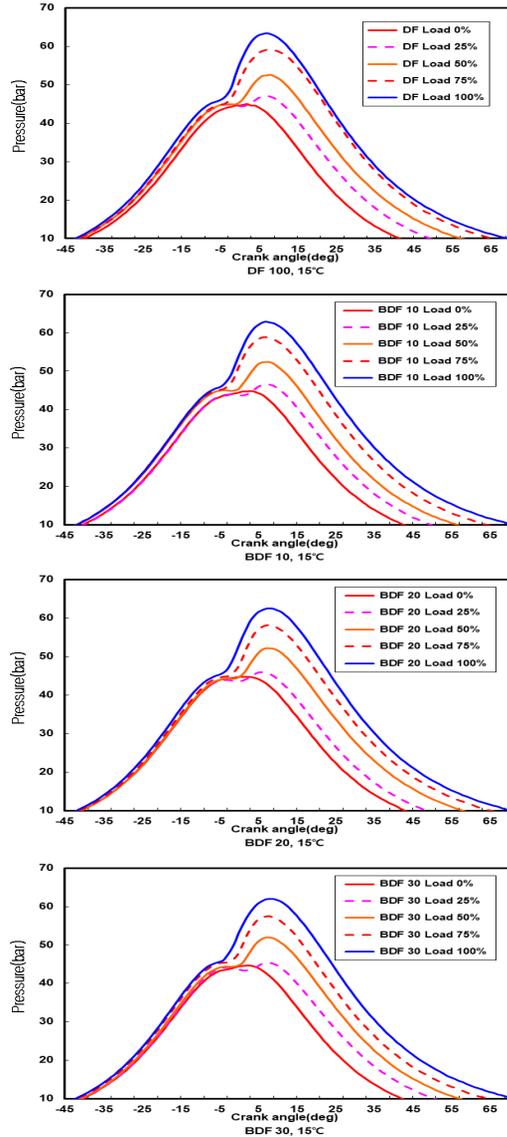


Fig. 4 Cylinder pressure on various biofuel temperature and biofuel ratio at 1,800 rpm

은 그래프로 인하여 15℃와 45℃만 그래프 기준으로 분석하였으며, 바이오연료온도가 상승하면서 압력은 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 그 이유는 바이오연료 온도 상승으로 인하여 연료소모량이 약간씩 증가하였다. 그 이유는 연료온도가 상승함에 따라서 약간 연료소비율이 증가하므로 인한 실린더 압력도 약간 상승되었다.

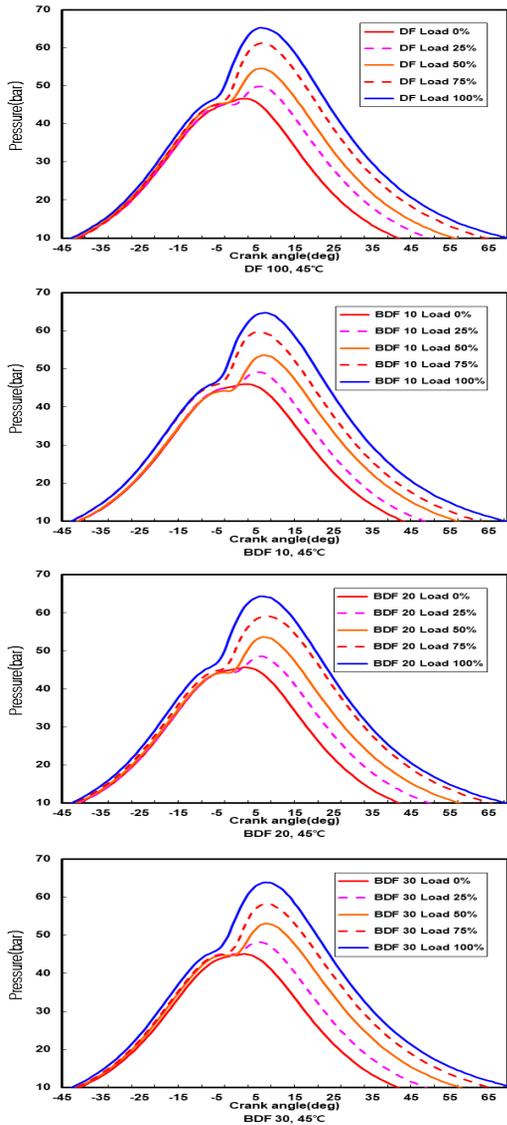


Fig. 4-1 Cylinder pressure on various biofuel temperature and biofuel ratio at 1,800 rpm

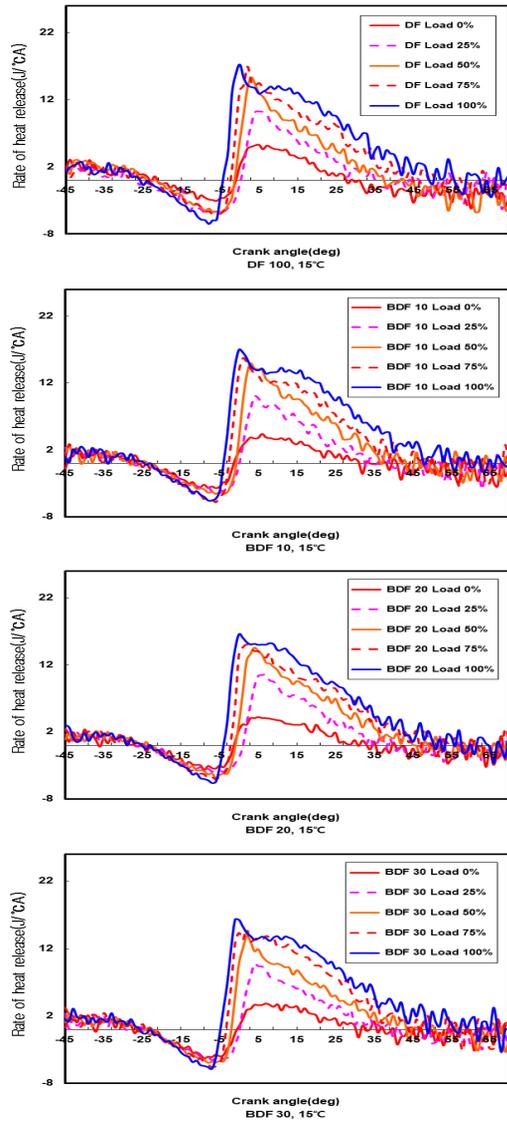


Fig. 5 Rate of heat release on various biofuel temperature and biofuel ratio at 1,800 rpm

3.3 열발생율(Rate of heat release)

열발생율은 Fig. 5는 바이오연료 온도 15°C 기준이고, Fig. 5-1은 바이오연료 45°C 결과이다. 바이오 연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균 감소율을 살펴보면, 15°C -3.87%, 25°C -2.75%, 35°C -1.64%, 45°C -8.77% 감소하였으나, 바이오 연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 바이오

연료 15°C 온도에 대한 기준으로 평균 증가율을 살펴보면 25°C 3.85%, 35°C 7.34%, 45°C 3.94%로 증가하는 경향을 알 수 있었다. 본 실험결과, BD 10%, BD 20%, BD 30% 혼합비율이 증가하면서 열발생율은 약간 감소하였으며, 바이오연료 온도 15°C, 25°C, 35°C, 45°C에서는 약간 증가하였다. 분사 바이오 온도 비율 경향은 부하변화에 의하

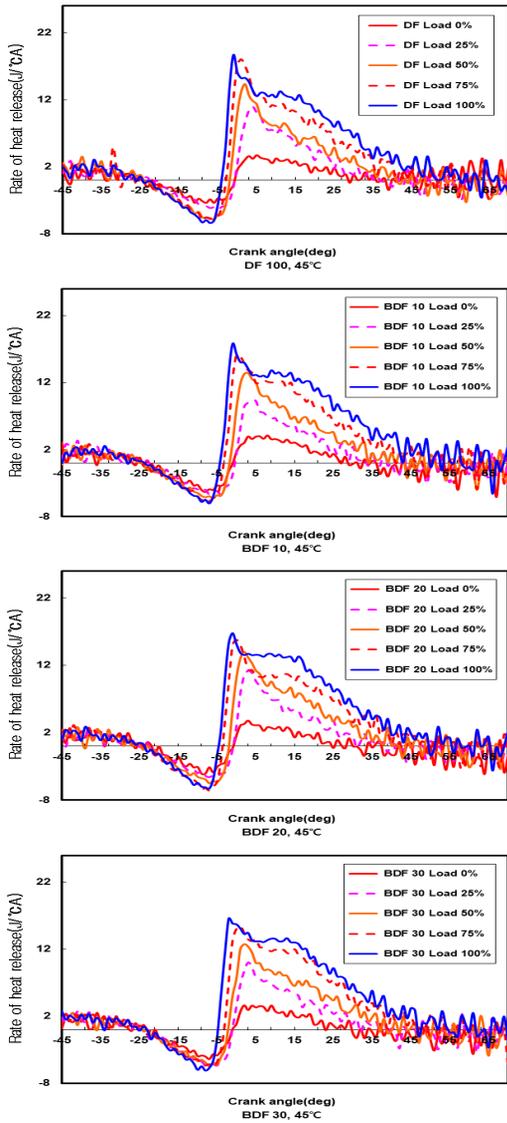


Fig. 5-1 Rate of heat release on various biofuel temperature and biofuel ratio at 1,800 rpm

여 일정하게 증가하는 경향을 나타내고, 열발생율 상승률도 일정한 간격으로 상승함을 알 수 있었는데 그 이유는 바이오 연료 성분 Table 1에서 산소함유량이 기준 디젤연료에 비하여 9.7% 많이 함유하고 있으며, 세탄값도 약간 적은 영향이 있을 것이라고 생각된다. 이러한 영향은 바이오연료에 포함된 산소성분이 착화시기를 약간 빠르게

하는 영향이 있다는 연구와 일치하며 또한 바이오 연료 상승에 의한 연소 활성화로 완전연소에 영향을 주었다고 생각된다. 그 이유는 연소 중 연료온도가 상승되면 연료입자의 점성력 및 표면장력이 감소하여 입자의 미립화가 잘 이루어진다고 하였다. 이러한 영향으로 약간의 연소가 촉진되어 열발생율이 증가되었다고 생각된다.

3.4 압력상승율(Rate of pressure rise)

Fig. 6은 압력상승율 그래프이며 바이오연료 15°C 기준이고, Fig. 6-1은 바이오연료 45°C 그래프이며, 기관회전 1,800 rpm에서 부하변화에 따라서 분사바이오 연료비율과 분사 바이오연료 온도 변화를 나타내었다. 바이오연료 비율에 의한 부하가 증가할수록 일정한 곡선으로 많이 증가하였으며, 분사 바이오연료 비율에 의한 온도 증가에서도 일정하게 증가하는 경향을 나타내었다. 바이오연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균감소율을 살펴보면 15°C -12.64%, 25°C -13.33%, 35°C -9.68%, 45°C -6.45% 감소하였으나, 바이오 연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 바이오연료 15°C 온도에 대한 기준으로 평균증가율을 살펴보면 25°C 2.75%, 35°C 9.61%, 45°C 12.57%로 증가하는 경향을 알 수 있었다. 그 이유는 디젤엔진에서 압력상승율은 연소과정 중 확산단계 반응 영역 연료가 농후한 쪽에서 많이 발생하며 그 영역이 고온일수록 크게 증가한다. 또한 연료온도 상승으로 연료입자의 점성력 및 표면장력이 감소하여 입자의 미립화가 잘 이루어져 기화가 촉진되었다. 그러므로 부하가 증가하면서 고온영역이 형성되어 증가되었다고 생각된다.

4. 결 론

디젤엔진에서 분사 바이오연료 비율 및 바이오연료 온도에 대한 연소특성에 어떤 영향을 미치는지 연구하였으며, 바이오 연료 연소 최적의 조건을 찾아 기초실험 연구자료에 도움이 되고자 한다. 본 실험은 디젤엔진 6 실린더 4 행정으로 분사바이오 비율 및 분사 바이오연료 온도 15°C

바이오 분사 디젤연료 혼합율 및 바이오 연료 온도변화에 따른 연소특성에 미치는 영향

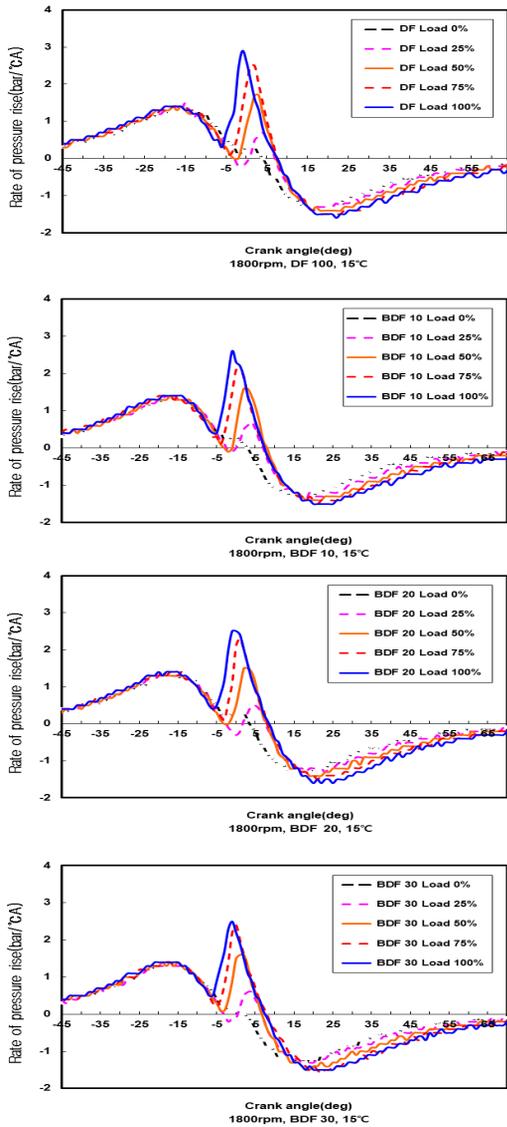


Fig. 6 Rate of pressure rise on various of bio fuel temperature and biofuel ratio at 1,800 rpm

기준으로 증가시킨 기초 연구자료이다. 기준에 생산된 발전설비, 비상용 발전기 및 산업용 기계에 적용 가능하며 연구한 결과는 다음과 같다.

1) 연료소비율은 바이오 혼합비율이 증가하면서 약간 증가하였고, 바이오 연료온도 증가에 따라 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가하는 경향이다. 현재 바이오 연료 비율에 BD 5%, BD 7%,

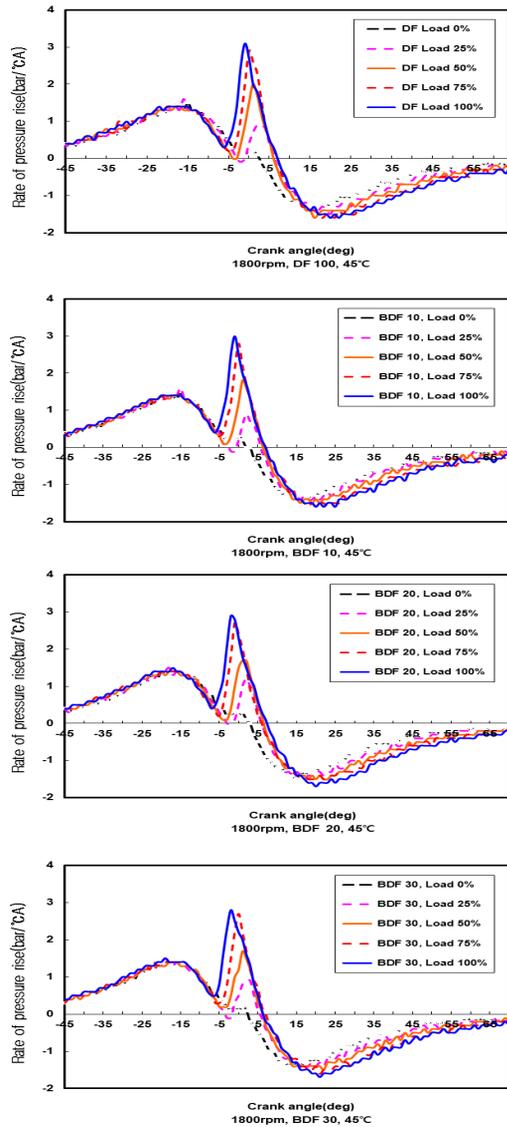


Fig. 6-1 Rate of pressure rise on various of bio fuel temperature and biofuel ratio at 1,800 rpm

BD 10%로 적용 가능성을 확인하였으며, 날씨에 제한되는 단점 등이 해결 가능하고, 탄소배출권에도 많은 장점이 있다고 판단된다.

2) 실린더압력은 바이오 연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균감소율을 살펴보면, 15°C -1.47%, 25°C -1.51%, 35°C -1.70%, 45°C -1.48% 감소하였으나, 바이오 연료 온도가 상승하면서 증가

율이 증가하였다. 바이오 연료 15℃ 온도에 대한 기준으로 평균증가율을 살펴보면, 25℃ 0.76%, 35℃ 2.03%, 45℃ 2.83%로 증가하는 경향을 알 수 있었다.

3) 열발생율은 바이오 연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균감소율을 살펴보면, 15℃ -3.87%, 25℃ -2.75%, 35℃ -1.64%, 45℃ -8.77% 감소하였으나, 바이오 연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 바이오 연료 15℃ 온도에 대한 기준으로 평균증가율을 살펴보면 25℃ 3.85%, 35℃ 7.34%, 45℃ 3.94%로 증가하는 경향을 알 수 있었다.

4) 압력상승율은 바이오 연료 혼합비율에 대한 온도 기준으로 평균감소율을 살펴보면, 15℃ -12.64%, 25℃ -13.33%, 35℃ -9.68%, 45℃ -6.45% 감소하였으나, 바이오 연료 온도가 상승하면서 증가율이 증가하였다. 바이오 연료 15℃ 온도에 대한 기준으로 평균증가율을 살펴보면, 25℃ 2.75%, 35℃ 9.61%, 45℃ 12.57%로 증가하는 경향을 알 수 있었다.

Author contributions

J. H. Choi; Funding acquisition, Methodology, Resources, Visualization. S. G. Cho; Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Investigation, Project administration, Supervision, Validation, Writing - original draft, Writing - review & editing.

References

1. J. H. Moon, J. S. Yu, H. J. Kim and N. J. Cho, 2012, "Design of Scroll Expander for Electric Power Generation System using Organic Rankine Cycle with Biomass Energy Source", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. 30-36. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2012.16.4.030>)
2. S. H. Jang, 2012, "The Characteristics on the Engine Performance for Variation of Fuel Injection Timing in DI Diesel Engine Using Biodiesel Fuel", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 16, No. 3, pp. 16-21. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2012.16.3.016>)
3. S. Ahn, W. I. Kim and C. S. Lee, 2013, "A Study on Spray Characteristics of Biodiesel Derived from Waste Cooking Oil", Journal of Ilass-Korea, Vol. 18, No. 4, pp. 182-187.
4. S. G. Cho, 2015, "A Study on the Characteristics of Exhaust Emissions by Biodiesel Blend Waste Oil in Marine Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 39, No. 4, pp. 381-386. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2015.19.2.090>)
5. S. G. Cho, 2017, "A Study on the Characteristics of Combustion and Performance by Changing Temperature in Diesel Fuel", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 21, No. 6, pp. 110-116. (<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2015.21.6.110>)
6. B. S. Park, H. Y. Kim and J. T. Chung, 2003, "The Influence of Fuel Temperature on the Spray Characteristics", KOSCO SYMPOSIUM, Vol. 26, pp. 73-78.
7. S. K. Yoon, M. S. Kim and N. J. Choi, 2014, "Characteristics of Canola Biodiesel Fuel Blended with Diesel on the Combustion and Exhaust Gas Emissions in a Compression Ignition Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 38, No. 9, pp. 1081-1086. (<http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2014.38.9.1081>)
8. J. K. Yeom and H. S. Ha, 2012, "Basic Study on Spary Behavior for Application of Biofuel to Diesel Engines(Palm Oil-Considering Viscosity)", Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers-B, Vol. 36, No. 7, pp. 745-752. (<http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2012.36.7.745>)
9. S. H. Jung, M. S. Kim, S. H. Jang, D. K. Koh and S. K. Ahn, 2004, "Analysis of Combustion Characteristics of Bio Diesel Fuel in a DI Diesel Engine Using PXI and LabVIEW", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 12-17.