

디젤기관의 Soybean-Oil 혼합을 및 연료 분사시기 변화가 배기배출물특성에 미치는 실험적 연구

An Experimental Study of Effect on Characteristics of Exhaust Emissions by Changing for Fuel Injection Timing and Ratio of Soybean-Oil in Diesel Engines

한승훈* · 조상곤**†
Senug-Hun Han* and Sang-Gon Cho**†

(Received 11 August 2021, Revision received 18 October 2021, Accepted 18 October 2021)

Abstract : In recent years, the issue of energy in the world is the part of most interest, and it is also a problem that is linked to the economic growth of each country. It has been reported to several scholars that the environmental problems of the earth are caused by the abnormal climate change all over the world. Such disasters of climate change frequently occur outside of the predictable range as the cause of the global ecosystem change. This study investigates the effect of the rate of biofuel mixing and the exhaust emissions characteristics caused by changing the fuel injection timing in diesel engines. As a result of experimets in test engines, specific fuel oil consumption is slightly increased in case of increasing biodiesel fuel ration and the NOx was also slightly increased. The specific fuel oil consumption is slightly decreased with leading fuel injection timing, but the NOx was increased.

Key Words : Bio diesel fuel, Brake specific fuel oil consumption, CO, NOx, Soot.

1. 서 론

전 세계적으로 에너지에 대한 이슈는 인간이 지구상에 존재하는 한 제일 관심이 있는 분야이고, 또한 각국의 경제성장과 연결된 문제이다. 인간의 생활환경에 미치는 에너지는 생존문제로 경

제성장에 최우선하여 지구 온난화에는 관심이 멀어졌던 것이 현실이다. 그래서 최근 지구의 환경 문제가 세계 곳곳에서 이상 기후변화로 발생하고 있고, 기후변화의 재난이 예측가능한 범위 밖에서 자주 일어나고 있는 것이 지구촌 생태계 변화에 따른 원인이라고 여러 학자들에게 보고되고 있다.

**† 조상곤(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-1937-8674>) : 교수, 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부 마린엔지니어링전공

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

*한승훈((ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-9125-7439>) :

교수, 경상국립대학교 기계시스템공학과

**† 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 : haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

*Seun-Hun Han(ORCID:<http://orcid.org/0000-0002-9125-7439>) :

Professor, Department of Mechanical System Engineering, Gyeongsang National University.

이것은 화석 에너지원에서 배출되는 환경오염원으로 알려졌으며, 그 중에 내연기관에서 발생하는 배출가스도 포함되어 있다. 현재 사용되는 디젤기관은 열효율이 좋은 장점이 있으나 배출되는 배출가스는 대기오염으로 지구의 온난화를 일으키는 문제로 대두되어서 이제 배출가스 저감이란 새로운 규제에 적응해야 한다. 최근 21세기를 위한 국제 재생에너지 정책 네트워크 (Renewable energy policy network for the 21st century) 재생에너지 활용 현황에서¹⁾ 건축물 분야 보고에 의하면 넷 제로 에너지 빌딩(Net zero energy building) 탈 탄소화 하려는 노력이 지속되고 있으며, 국내 재생에너지 분야에서도 바이오 에너지 생산에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그 중에서 최근 재생가능한 수소를 생산하고 있으며, 풍력발전에서도 육상 및 해상에서도 다양하게 진행하고 있다. 운송 분야는²⁾ 대부분 화석연료에 의존하고 있으며, 바이오 연료^{3,4)} 및 재생에너지⁵⁾가 차츰 증가하고 있으며, 특히 전기자동차⁶⁾와 수소 관련 운송이 주목을 받고 있다. 많은 국가에서 정책적으로 화석연료를 제한함에 따라 앞으로 계속 발전할 것으로 생각되며, 운송 분야에서도 탈탄소화를 목표로 진행하고 있다. 에너지 발전분야는 대부분 태양광⁷⁾과 해상풍력 발전설비를⁸⁾ 이용하여 생산한 전력이 화력발전보다 더 효율적으로 이용되리라 생각한다. 이에 현재 운용하고 있는 기관에 대한 바이오연료 연구를 상세하게 할 필요성이 있어서 연구하였다. 이에 Seo는⁹⁾ 질소산화물 저감 연구하였고, 바이오 연료 온도¹⁰⁾ 그리고 Zeman¹¹⁾이 차세대 바이오 연료를 연구하고 있다.

본 연구는 직접분사식 4행정 디젤기관에 바이오 디젤연료 혼합물 및 바이오 연료 분사시기를 변화시켜서 기관에서 배출되는 대기오염이 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 기관의 회전수는 1,800 rpm과 와전류 전기

동력계를 부하 0%에서 100%까지 일정하게 출력을 제어하였으며, 1번 실린더 연소실에 압전센서를 장착하여 실시간 압력을 계측하였고, 회전에 대한 각도는 축계 끝에 엔코더를 설치하였다. 실험결과에 대한 자료수집은 회전수 1°씩 취득하여 프로그램에 저장하였다. 또한 기관에 흡입되는 흡

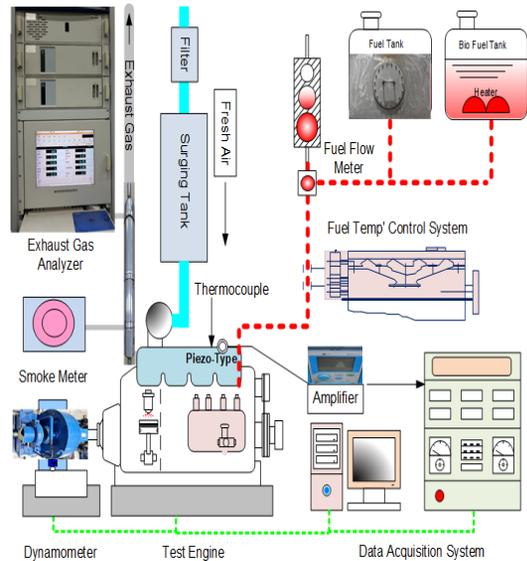


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

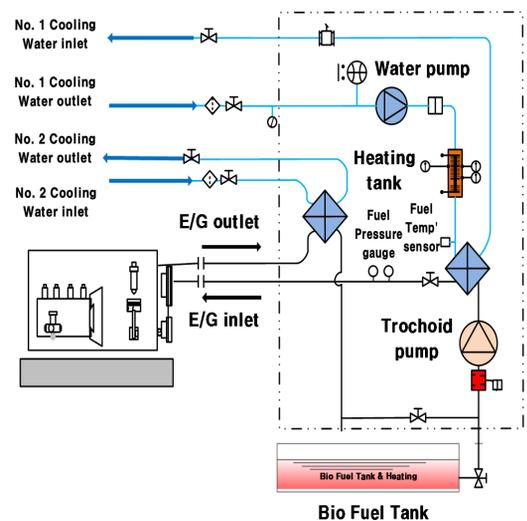


Fig. 2 Schematic diagram of bio fuel temperature control system

입 공기를 공급하기 위한 서어지탱크를(Surge tank) 제작하여 공기에 대한 저항을 줄여 균일하게 흡입하여 공기에 대한 저항을 줄여 균일하게 흡입공기를 공급하였고, 본 실험의 배기배출물 분석기는 Signal emirak-1780를 사용하여 계측하였으며, 매연분석기는 광투과식 측정기로 계측하였다.

Table 1 Properties of test fuels

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

Table 2 Specification of test engine

Item	Test fuels	
	Diesel fuel	Bio fuel 100
Specific gravity (15/4℃)	0.8342	0.8808
Kinematic viscosity (cSt@40℃)	2.67	4.382
Flash point (℃)	75℃	134℃
Sulfur (%)	0.04	0
Water (%)	0	0.1396
Lower heating value (MJ/kg)	42.8	36.79
Carbon (wt.%)	85.83	77.26
Hydrogen (wt.%)	13.82	12.96
Nitrogen (wt.%)	0.16	0.08
Oxygen (wt.%)	0	9.7
Cetane number	51.4	58.65

그리고 Fig. 2는 바이오 연료 온도 조절장치를 제작하여 기관에 공급되는 연료를 15℃로 유지하기 위하여 가열장치 및 냉각시스템을 구성하였다. 실험기관에 공급되는 연료온도를 일정하게 공급 및 재순환 되는 연료온도를 일정하게 유지하도록 하였으며, 공급되는 연료 온도의 오차 허용 범위는 ±0.5℃로 유지하였다. 기존 바이오 연료의 저온 필터 막힘 현상 등 예방하였으며, 실험장치 제원은 Table 1, 실험 연료는 Table 2에 구성하였다.

본 실험방법은 바이오 연료 온도 조절장치 (FTCH-0906)를 사용하여 연료온도를 15℃로 일정하게 유지하였다. 기관회전속도 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 하였으며, 바이오 연료 체적비율 10%, 20%, 30%하였고, 바이오 연료 분사시기는 BTDC 18°, BTDC 22°, BTDC 28°로 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료소비율

Fig. 3은 실험엔진 회전수 1,800 rpm에서 연료 분사시기와 바이오 연료 비율에 따른 연료소비율을 나타낸 그래프이다. 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이며, 연료소비율은 바이오 혼합비율이 증가하면서 약간 증가하였고, 연료 분사시기 변화에 따라서 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가 및 감소가 Fig. 3에서 보여주고 있다. 바이오 연료비율에 대한 15℃ 온도 기준으로 부하 BTDC 22°에서 바이오 연료 비율을 증가시키는 경우에 BTDC 18°에서 연료소비율이 DF 5.1%, BDF10 4.0%, BDF20 6.5%, BDF30 11%로 증가하였다. BTDC 28°에서 DF -3.1%, BDF10 -4.2%, BDF20 -3.7%로 감소하는 특성을 보였다. 바이오 연료의 Table 2에 표시된 발열량 감소로 인한 연료소비율이 증가하는 경향이 보이고 있으며, 연료 분사시기에 지각분사 특성보다 진각 특성이 연소에 좋은 조건을 만들어 완전 연소에 기여하였다. 또한 바이오 연료의 산소함유량과 세탄값이 연소촉진에 기여하여 연료소비율에 많은 영향이 있다고 판단된다.

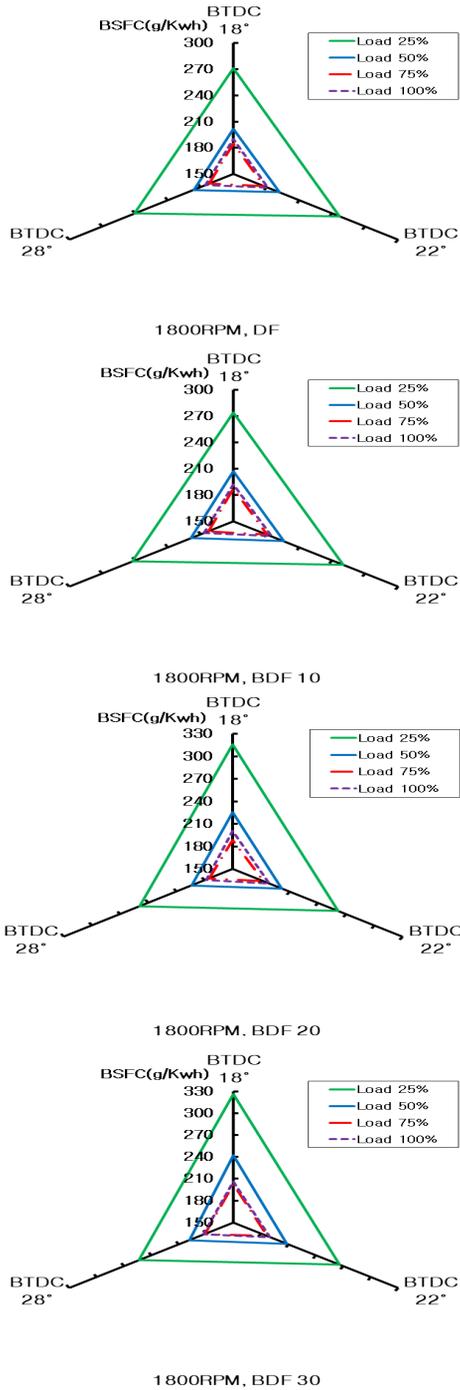


Fig. 3 Brake specific fuel consumption on various of biofuel injection timing and biofuel ratio at 1,800 rpm

3.2 질소산화물(NOx)

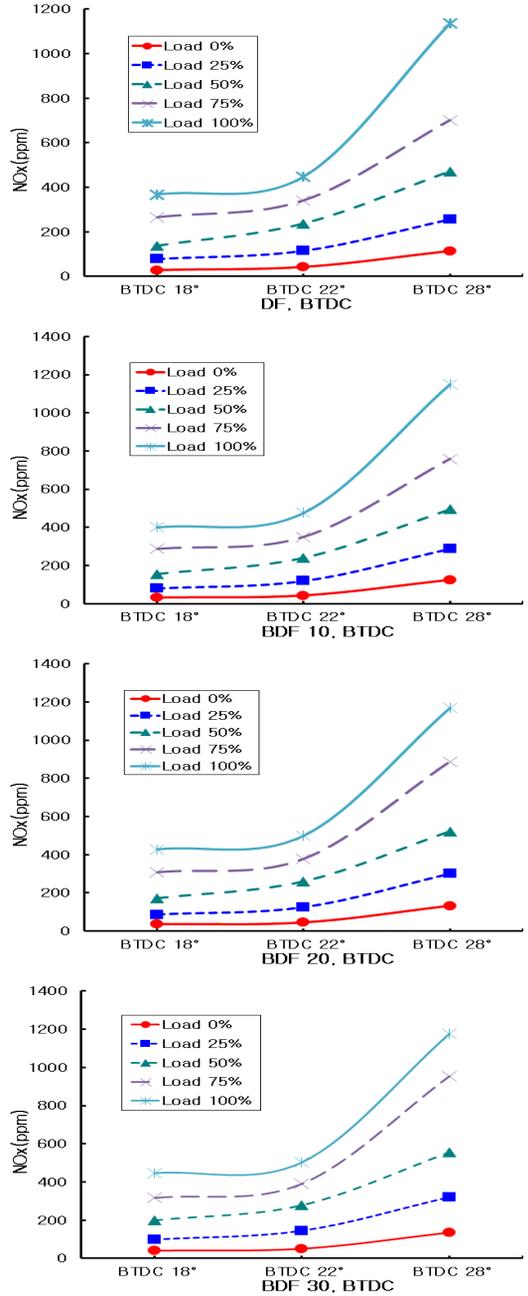


Fig. 4 NOx emission characteristics on various of biofuel injection timing and biofuel ratio at 1,800 rpm

Fig. 4는 질소산화물 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하증가에 따라 일정하게 증가하였으며, 바이오 연료비율에 의해서 DF 100%에서 BDF 30%까지 바이오 온도변화 15°C에 부하에 따른 그래프이고, 무부하 0%에서 전부하 100%로 일정하며 이것은 엔진에 필요한 마력당 부하 연료량이 분사되어 연소실에서 발생하는 발열량에 의해서 일관되게 출력이 발생된 것으로 나타나고 있다. Fig. 4에는 15°C에서 바이오 연료 혼합비율이 증가하여도 부하 증가함에 의한 NOx는 일정하게 나타나고 있으며, BTDC 18°에서 바이오 연료 비율을 증가시키는 경우에 바이오 연료 BDF10 8.92%, BDF20 16.5%, BDF30 21.3%로 증가하였다. BTDC 22°에서 바이오 연료 비율을 증가시키는 경우에 BDF10 6.29% 증가, BDF20에서 11.44% 증가, BDF30 12.2%로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 BTDC 28°에서는 BDF10 1.2% 증가, BDF20 3.0% 증가, BDF30 3.65%로 증가하는 경향을 보이고 있다. 바이오 연료 비율에 따라서 연료 분사시기 변화에서도 일정하게 증가하는 경향을 알 수 있었다. 또한 BTDC 18°에서 바이오 연료 비율에 따른 15.6% 증가하였고, BTDC 22°에서는 10.03% 증가, BTDC 28°에서는 2.61% 증가하였다. 이것은 바이오연료에 포함된 산소성분이 착화시기를 약간 빠르게 하는 연소와 분사시기에 의한 연소기간이 길어서 연소실 온도의 증가로 NOx는 증가하였으며, 바이오 연료 분사시기가 지각하였을 경우보다 진각 경우에 감소율이 많았다. 그 이유는 바이오 연료비율 증가로 인하여 연료소모량이 약간씩 증가하였는데, 주 원인은 발열량이 10% 정도 적은 원인으로 생각된다.

3.3 이산화탄소(CO₂)

Fig. 5는 이산화탄소 배기배출 그래프이며, 바이오 연료 온도 15°C 기준이고, 바이오 연료 혼합비율에 대한 분사 바이오 비율 경향은 부하 변화에 의하여 일정하게 증가하는 경향을 나타내었다. 분사시기 변화에도 일정하게 나타내고 있다. BTDC 28°에서는 BDF10 1.2% 증가, BDF20 3.0% 증가, BDF30 3.65%로 증가하는 경향을 나타내었

다. 이것은 연료의 연소 화학반응으로(탄소, 질소, 산소) 연소율에 의해서 발생되며, 불완전연소는 일산화탄소로 발생된다. 바이오연료에 포함된 산소성분이 이 착화시기를 약간 빠르게 하는 연소에 영향을 주었다고 생각된다.

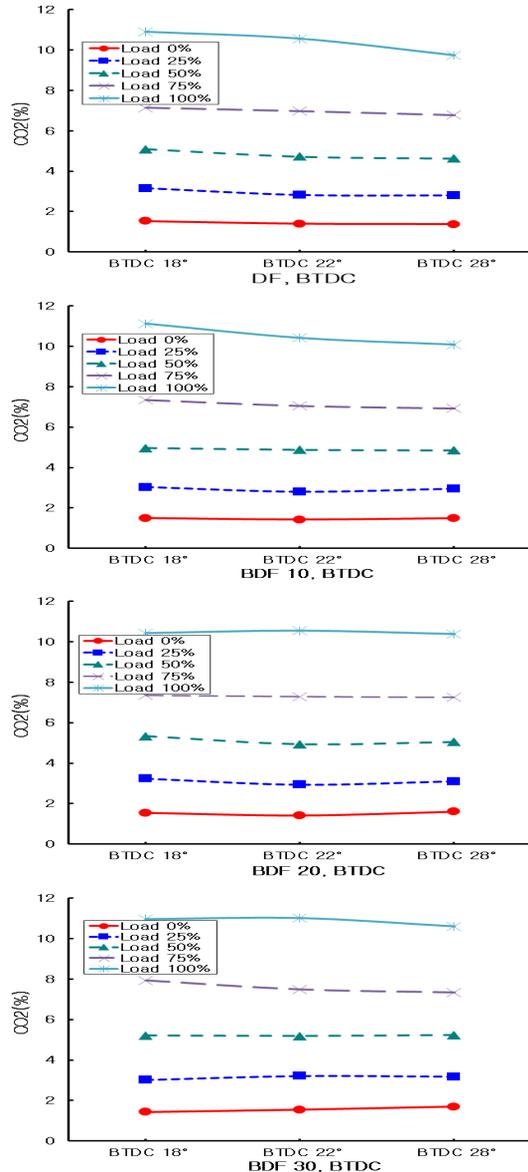


Fig. 5 CO₂ emission characteristics on various of biofuel injection timing and biofuel ratio at 1,800 rpm

3.4 일산화탄소(CO)

일산화탄소 배기배출물 그래프로 Fig. 6은 기관 회전 1,800 rpm에서 부하 변화에 따라서 분사바이오 연료비율과 분사시기 변화를 나타내었다. 바이오 연료비율에 의한 부하가 증가할수록 일정한 부하 75%에서 오목한 곡선으로 감소하는

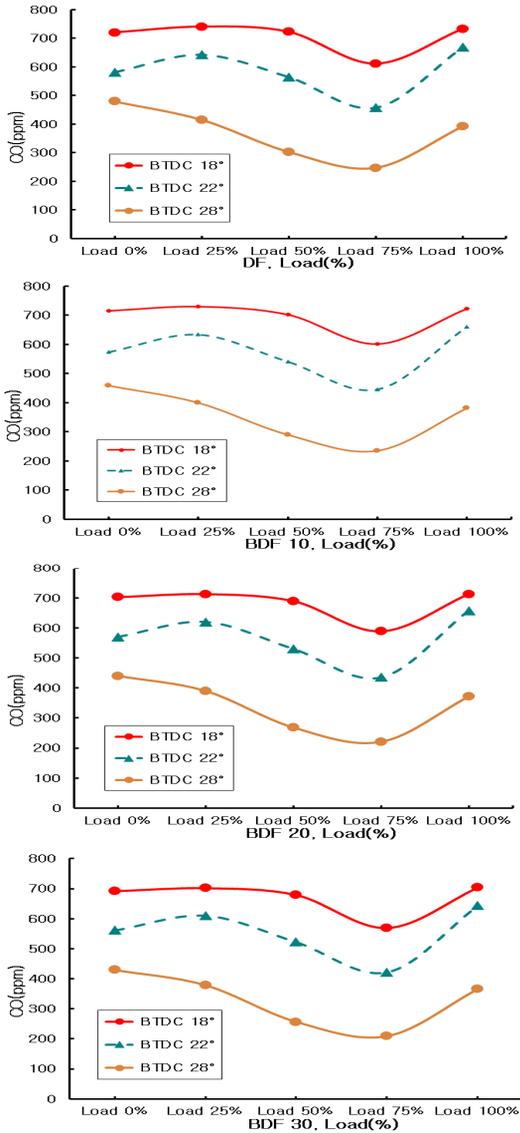


Fig. 6 CO emission characteristics on various of biofuel injection timing and biofuel ratio at 1,800 rpm

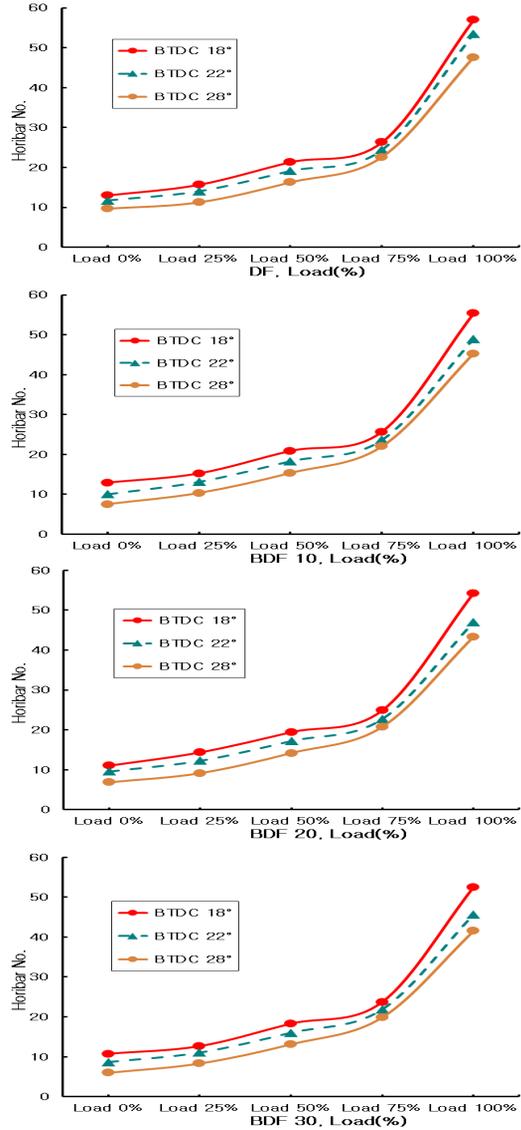


Fig. 7 Soot emission characteristics on various of biofuel injection timing and biofuel ratio at 1,800 rpm

경향에서 100% 부하에서 다시 많이 증가하였으며, 분사 바이오 연료 비율에서도 일정하게 증가하는 경향을 나타내었다. BTDC 18°에서 바이오 연료 비율을 감소하였다. BTDC 22°에서 바이오 연료비율을 증가시키는 경우에 BDF10 -1.04%, BDF20에서 1.64%, BDF30 -3.62%로 감소하는 경

향을 나타내고 있다. 그리고 BTDC 28°에서는 BDF10 -2.75%, BDF20 -5.32%, BDF30 -6.68%로 감소하는 경향을 보이고 있다. 바이오 연료 분사 시기 BTDC 22° 기준에서 BTDC 18°에서 바이오 연료비율에 따른 DF 9.62%, BDF10 9.26%, BDF20 8.41%, 9.39% 증가하였으며, BTDC 28°에서는 증가시키는 경우에 바이오 연료 BDF10 -1.36%, BDF20 -2.73%, BDF30 -3.82%로 DF -41.31%, BDF10 -42.33%, BDF20 -43.50%, BDF30 43.18% 크게 감소되었다. 일산화탄소는 저부하 영역에서는 연소가스 온도가 낮아지고, 분무확산 연소로 연료와 공기 혼합이 불안정하여 많이 발생하며, 고부하 영역에서 다시 증가한다. 하지만 부하 75%에서는 연료소비율이 가장 낮아서 완전 연소에 의한 일산화탄소 배출물이 가장 적게 나타났다고 생각된다.

3.5 매연(Soot)

Fig. 7은 매연 배기배출물 그래프이고, 바이오 연료비율이 증가하였을 경우, 매연배출물은 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 바이오 연료 분사 시기 경우도 비슷한 경향을 나타내고 있으며, 연료 분사시기 진각을 할 경우는 많이 감소하는 것으로 나타내고 있다.

BTDC 18°에서 바이오 연료 비율을 증가시키는 경우에 바이오 연료 BDF10 -4.42%, BDF20 -7.28%, BDF30 -12.98%로 감소하였다. BTDC 22°에서 바이오 연료비율을 증가시키는 경우에 BDF10 -14.49%, BDF20에서 -23.91%, BDF30 -27.82%로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그리고 BTDC 28°에서는 BDF10 -4.13%, BDF20 -29.31%, BDF30 -40.52%로 감소하는 경향을 보이고 있다. 바이오 연료 분사시기 지각 경우에 BTDC 22° 기준에서 BTDC 18°에서 바이오 연료 비율에 따른 DF 1.59%, BDF10 13.56%, BDF20 23.81%, BDF30 22.49% 증가하였으며, BTDC 28°에서는 DF -15.94%, BDF10 -5.76%, BDF20 -21.90%, BDF30 -30.72% 크게 감소하였다. 바이오 연료의 성분에 따른 산소함유량과 세탄값에 의한 바이오 연료와 공기의 혼합이 양호하게 촉진되어 완전연소를 형성하여 매연배출물이 크게 감소하

였고, 또한 연료분사시기 진각의 경우에도 예혼합 연소기간이 길어져 연소시간이 많아 완전연소에 영향을 미친 것으로 생각된다.

4. 결 론

디젤기관에서 바이오 연료비율 및 바이오 연료 분사시기를 조정하여 배기배출물에 어떠한 영향이 있는지 연구하였으며, 대기오염을 줄이기 위한 배기배출물 최적의 조건을 찾아 기존 엔진에 적용 가능하도록 기초실험 연구자료에 도움이 되고자 한다. 본 실험결과는 바이오연료 저온에서 발생하는 필터막힘과 추운 겨울철에도 항상 운전가능하도록 온도조절장치를 설치한 결과이다.

1) 바이오 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이며, 연료소비율은 바이오 혼합비율이 증가하면서 약간 증가하였고, 분사시기 변화에 따라서 연료소비율은 BTDC 18°에 일정하게 약간씩 증가 및 BTDC 28° 감소하는 경향이다. 바이오 연료 사용에 대한 비율을 확대시키고, 분사시기를 BTDC 2~4° 조정하여 운전이 가능하다고 생각된다.

2) 질소산화물은 바이오 연료비율에 따라서 연료 분사시기 변화에서도 일정하게 증가하는 경향을 알 수 있었다. 또한 BTDC 18°에서 바이오 연료비율에 따른 15.6%로 증가하였고, BTDC 22°에서는 10.03% 증가, BTDC 28°에서는 2.61% 증가하였다. 이것은 바이오연료에 포함된 산소성분이 착화시기를 약간 빠르게 하는 연소와 연소기간이 약간 증가된 것으로 생각된다.

3) 일산화탄소는 바이오 연료 분사시기 BTDC 22° 기준에서 BTDC 18°에서 바이오 연료비율에 따른 DF 9.62%, BDF10 9.26%, BDF20 8.41%, 9.39% 증가하였으며, BTDC 28°에서는 DF -41.31%, BDF10 -42.33%, BDF20 -43.50%, BDF30 43.18% 크게 감소하였다.

4) 매연은 바이오 연료 분사시기 지각 경우에 BTDC 22° 기준에서 BTDC 18°에서 바이오 연료 비율에 따른 DF 1.59%, BDF10 13.56%, BDF20 23.81%, BDF30 22.49% 증가하였으며, BTDC 28°에서는 DF -15.94%, BDF10 -5.76%, BDF20 -21.90%, BDF30 -30.72% 크게 감소하였다.

후 기

본 논문은 군산대학교 수산과학연구소 학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

Author contributions

S. H. Han; Investigation, Formal analysis, Data curation, Visualization. S. G. Cho; Project administration, Supervision, Writing-review & editing.

References

1. Renewable energy policy network for the 21st century. (<https://www.ren21.net/gsr-2020/pages/summary/summary>)
2. S. K. Han and J. Y. Kim, 2015, "Scenario-based Design and Life Cycle Cost Analysis of Energy Supply System for Transportation Sector", *The Korean Institute of Chemical Engineers*, Vol. 53, No. 2, pp. 164-173. (<https://doi.org/10.9713/kcer.2015.53.2.164>)
3. Z. A. Khan, A. Saeed, O. Gregory and A. Ghyafour, 2016, "Biodiesel performance within internal combustion engine fuel system- a review", *Tribology in Industry*, Vol. 38, No. 2, pp. 197-213.
4. S. H. Baek, J. H. Yoon, W. S. Jung, H. S. Ha, S. S. Chung and J. K. Yeom 2014, "Estimation of the Exhaust Characteristics of Biodiesel Used in Diesel Engine", *The Korea Society of Mechanical Engineers B*, Vol. 38, No. 2, pp. 129-137. (<https://doi.org/10.3795/KSME-B.2014.38.2.129>)
5. B. B. Lee and J. W. Lee, 2021, "Power Routing Modeling between Renewable Microgrids Using Simulink Power Modules", *Journal of the Korea Society for Railway*, Vol. 24, No. 2, pp. 143-155.
6. M. G. Choi, K. W. Rho, J. C. Kim and J. P. Cha, 2021, "A Study on the Energy Efficiency Prediction Model of Electric Vehicles Using Numerical Simulation", *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*", Vol. 29, No. 3, pp. 211-217.
7. J. H. Park and J. D. Kim, 2021, "A Basic Study on the Airflow inside the Tower of Solar/Wind Hybrid Power Generation System", *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 43-48.
8. M. H. Kang, K. N. Ko and M. Y. Kim, 2020, "Application of WRF-OML Model for Offshore Wind Resource Prediction", *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol. 24, No. 6, pp. 108-115.
9. C. K. Seo, 2021, "Effect on TiO₂ Addition of the Durability of Cu-SCR Catalysts for Nitrogen Oxide Reduction", *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol. 25, No. 1, pp. 70-77.
10. J. H. Choi and S. G. Cho, 2020, "A Study on the Characteristics of Exhaust Gas Emission by Changing in Biofuel Ratio and Biofuel Temperature in Diesel Fuel", *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*", Vol. 24, No. 2, pp. 94-102.
11. P. Zeman, V. Honig, M. Kotek, J. Taborsky, M. Obergruber, J. Marik, V. Hartova and M. Pechout, 2019, "Hydrotreated Vegetable Oil as a Fuel from Waste Materials", *MDPI, Catalysts*, Vol. 9, No. 4. (<https://doi.org/10.3390/catal9040337>)
12. 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. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2012.16.3.016>)