

# 바이오연료를 사용하는 소형어선 디젤발전기의 분사시기 변화가 연소특성에 미치는 영향

## An Effect of Injection Timing on Combustion Characteristics of Using Biofuel in Small Fish Diesel Generator Engine

조상곤\*†  
Sang-Gon Cho\*†

(Received 11 November 2021, Revision received 23 March 2022, Accepted 23 March 2022)

**Abstract :** Recently, vegetable oil biofuels have become a part of everyday life in modern society. Biofuels play a role in reducing carbon emissions as well as natural living environments. In addition, there is an advantage in reducing exhaust gas emissions if biofuel energy is efficiently used. We intend to utilize the necessary technology using biofuels until achieving the alternative world's future energy. 10%, 20% and 30% of biofuels were applied to the existing small fishing ship generators, and conditions the of optimal combustion were studied to control the timing of fuel injection appropriately. In the study, the test conditions were loaded at 0% to 100% at 1800rpm before TDC 18°, before TDC 22° and before TDC 28° from fuel injection timing in the small fish diesel generator engine. This study showed that cylinder pressure, rate of pressure rise and rate of heat release were increased in case of advancing fuel injection timing. Specific fuel oil consumption is indicated the least value at before TDC 28° of fuel injection timing.

**Key Words :** Small fish diesel generator engine, Brake specific fuel oil consumption, Cylinder pressure, Rate of pressure rise, Rate of heat release

### - 기호 설명 -

ATDC: After Top Dead Center  
ABDC: After Bottom Dead Center  
BTDC: Before Top Dead Center  
BBDC: Before Bottom  
 $P_{inj}$ : Injection pressure  
RPM: Revolution Per Minute

### 1. 서 론

지구에서 인류가 생존하기 위한 수단은 계속 발전하였으며 계속 발전할 것이라는 공통적인 생각이다. 하지만 인간이 삶을 편리하기 위한 방법으로 에너지 자원이 필수적인 요소로 알려져 있다. 이것은 기존 화석 에너지에서 새로운 미래의 에너지원 연구 개발이 필요하다. 최근 예측할 수

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

\*† 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

없는 가뭄, 홍수 및 폭설 등이 자주 발생하고 있기 때문이다. 이러한 원인은 온실가스가 기후변화를 일으키는 주요 원인 중 하나로 생각하고 있으며, 그 주요한 원인 중 하나는 화석연료의 연소에서 발생하는 대기오염으로 인식하고 있다. 따라서 국제적인 기후변화에 대응하기 위해서 여러 협력 체계를 갖추고 강력한 규제를 시행하고 있다. 이에 친환경 에너지로 전기에너지,<sup>1)</sup> 수소에너지,<sup>2)</sup> 태양광<sup>3)</sup>과 풍력발전<sup>4)</sup> 등이 정부 정책으로 추진되고 있으며, 그리고 다양한 에너지 수급을 위한 재생에너지 바이오매스<sup>5)</sup>와 조력발전<sup>6)</sup>이 대체 에너지로 연구되고 있다. 바이오연료는<sup>7,8)</sup> 국외 및 국내 등 다양하게 연구개발되고 있다. 또한 전세계적으로 배출가스 규제에 맞춰서 선택적환원 배기가스 후처리장치<sup>9,10)</sup> 등이 연구되고 있다. 이러한 연구는 다양한 환경문제 해결방안을 제시하여 온실가스 저감 기술개발에 기여하고 있다. 그러므로 기존에 사용하는 에너지 자원도 친환경적으로 사용할 수 있도록 연구하여 대기오염을 저감하고자 한다. 그래서 현재 사용되는 기관에 자연에서 생산할 수 있는 바이오연료를 사용하여 가장 적합한 조건을 제공하여 대기오염 저감 방법에 기초 자료로 활용하고자 한다.

본 연구는 현재 사용되는 기관을 대상으로 하였으며, 소형어선 직접분사식 4행정 디젤발전기에 바이오연료 비율(BDF)과 연료분사시기(BTDC)를 변화시켜서 연소특성에 미치는 영향을 분석·고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

실험장치 구성은 기관에 공급하는 연료 온도를 일정하게 유지하기 위하여 가열 및 냉각기를 설치하였으며, 흡입 공기의 흐름을 균일하게 공급하도록 Surge tank를 설치하였다. 실린더 내의 연소실 압력은 압전식(Piezo-eletric type) 변환기를 통해서 증폭기(Kistler-5011)로 증폭하고 실시간 확인하여 데이터를 저장하였다. 부하계측 동력측정기(HE-300)와 연료소비율은 용적식 유량계(HW-530)를 사용하였다. 본 디젤기관(6BB1) 실험장치는

Fig. 1에 구성하였으며, 실험장치 제원 Table 1에 구성하였다.

Table 1 Specification of test engine

Item	Specification
<b>1. Test engine</b>	
Number of valve	2-Intake, 2-Exhaust
Fuel injection system	Bosch
Max. output	60 kw/1,800 rpm
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
Fuel injection timing	BTDC 22°CA
Firing order	1-5-3-6-2-4
<b>2. Test conditions</b>	
Engine speed	1,800 rpm
Injection pressure	195 kg/cm <sup>2</sup>
Injection timing	18°, 22°, 28°
F.W cooling temperature	85°C
L.O cooling temperature	65°C

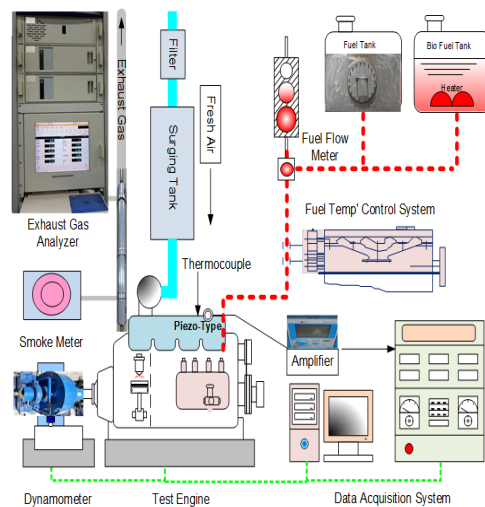


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

본 실험방법은 발전기 회전속도 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 하였고, Fig. 2에 연료분사 온도장치를 제작하여 15°C에 일정하게 공급한 후 재순환시켜 냉각기를 통해 다시 15°C에 일정하게 재공급하도록 하였다. 본 실험기관의 동일한 조건에서 기관회전수의 변동율은  $\pm 0.5\%$ , 저부하 및 고부하 변동율은  $\pm 1.5\%$  이하였다. 기관의 수냉식 열교환장치는 온도조절장치로 일정하게 유지하였으며, 실린더 윤활유는 열유화를 방지하기 위한 일정한 온도로 유지하였다. 기관 실린더 내의 분사 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도를 촬취하고, 각 부위(배기관 입출구, 냉각수 입출구, 윤활유, 흡입 공기)의 온도를 계측하여 정상 운전상태를 유지하였다. 기관의 부하시험을 위해서 동력계 표준중량(5 kg)추를 사용하여 압축인장의 보정실험 조정하였고, 정확한 토오르크 값을 확인한 후 출력을 측정하였다.

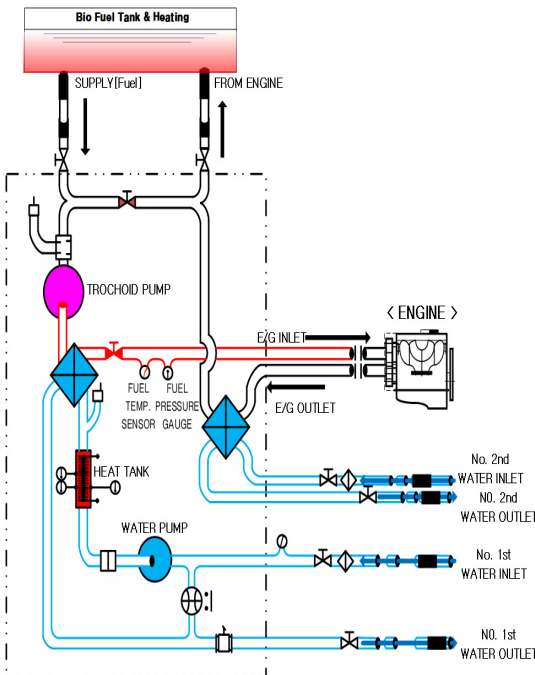


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 연료소비율

Fig. 3은 기관회전수 1,800 rpm에서 최대출력 60 kW로 부하가 증가함에 따라 연료 소비량은 증가하였으며, 연료소비율은 부하 75%에서 최저로 나타났다. 또한 바이오연료의 혼합율도 비슷하였으며, 연료분사시기에 따라 연료소비율도 75%에서 최저로 나타났다. Fig. 3의 x축 BTDC 18°에서 바이오연료 비율을 증가시키는 경우에 연료소비율이 증가하였다. 연료 BDF10 BTDC 18°에서 0.83% 증가하였으며, BDF20에서 5.6% 증가, BDF30 10.8% 증가하였다. BTDC 22°에서 바이오연료 비율을 증가시키는 경우에 BDF10 1.9% 증가, BDF20에서 4.1% 증가, BDF30 4.9% 증가하였다. 그리고 BTDC 28°에서는 BDF10 0.7% 증가, BDF20 1.86% 증가, BDF30 4.22%로 증가하였으며, 바이오연료 비율에 따라서 연료분사시기 변화에서도 일정하게 증가하는 경향이 있었다. 또한 평균 증가율은 BTDC 18°에서 바이오연료비율에 따른 5.74% 증가하였고, BTDC 22°에서는 3.63% 증가, BTDC 28°에서는 2.27% 증가하였다.

바이오연료 증가율에 따른 연료소비율은 증가하는 경향이 다소 점점 줄어드는 경향은 바이오연료에 포함되어 있는 연료의 산소함유량과 세탄가에 의한 약간의 영향으로 판단할 수 있다.

그 이유는 바이오연료의 전체적인 발열량 부족으로 연료소비율은 약간 증가하였으며, 바이오연료의 산소함유량에 의한 영향으로 연소 활성화가 촉진되어 바이오연료 미립화에 활성화되어 완전연소가 증가하는 원인으로 작용되었다. 그래서 전체적인 연료소비율이 약간씩 증가하지만 증가율은 감소된 것으로 사료된다.

#### 3.2 실린더 압력(Cylinder pressure)

Fig. 4는 실린더 내의 압력 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하 100% 전부하 상태이다. 따라서 x축 크랭크 각도와 부하에 따라 거의 일정하게 감소 및 증가하였으며, 무부하 및 부분 부하 실험에서도 100%와 경향이 비슷하였다.

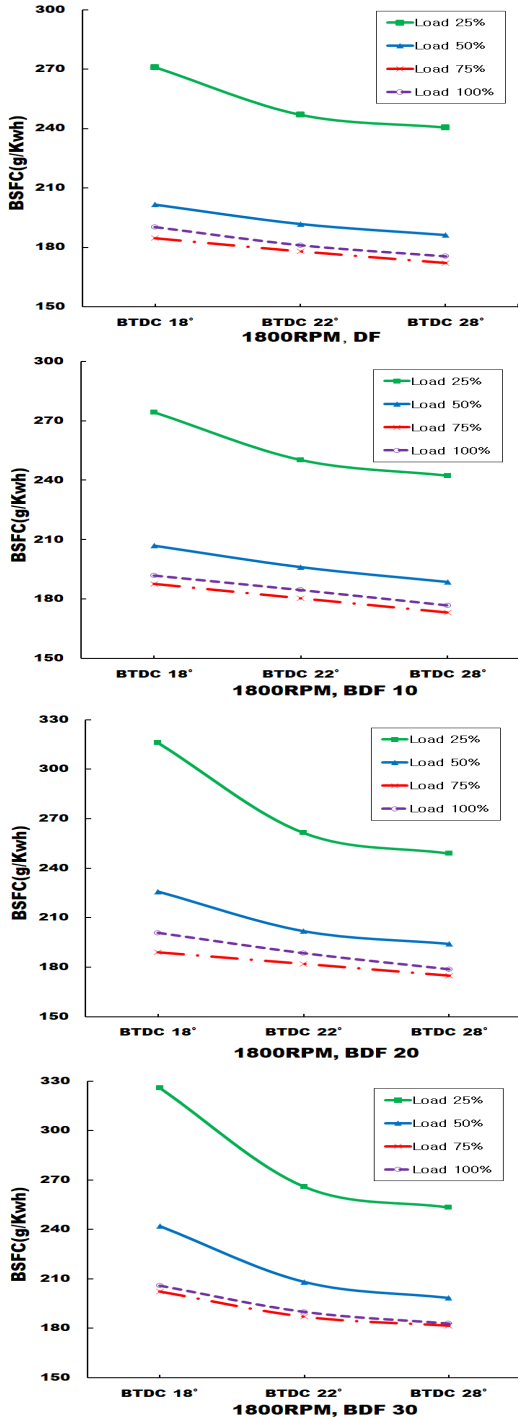


Fig. 3 Brake specific fuel consumption on various bio fuel and bio injection timing at 1,800 rpm

기관회전수 1,800 rpm에 부하 100%에서 연료분사시기 연료 DF100 기준 BTDC 22°에서 BTDC 18°로 하였을 경우 -6.11% 감소하였고, BTDC 28°는 12.3% 압력이 증가하였다. BDF10 BTDC 18°는 -8.0% 감소하였고, BTDC 28°는 30.35% 증가하였고, BDF20는 BTDC 18°는 -8.1% 감소, BTDC 28°는 31% 증가, BDF30는 BTDC 18° -8.0% 감소, BTDC 28°는 36.2%가 증가하였다. 바이오연료 실험 결과, 분사시기를 BTDC 28로 빠르게 하면 할수록 최고압력은 크게 증가하였으며, 분사시기를 BTDC 18° 늦게 하면 감소하는 경향으로 나타내었다. 실린더 내의 압력 최대치는 일정하게 유지되어야 하는데, 실제의 기관에 공급되는 여러 요인이 다르기 때문이며, 이것은 흡입공기량, 연료공급량의 변동 그리고 마찰손실에 의한 변동 등이 있으며, 본 실험의 점화시기 등에 압력의 최대치는 변동하였다.

또한 실린더 내의 압력의 최대는 일반적으로 TDC 후 10°deg 부근에서 나타내는데, 본 실험 연구결과 그래프도 비슷하게 나타내었으며, 분사시기의 결정 요소에 따라 진각의 경우는 좀 더 빠르게 형성하는 것을 볼 수 있다. 반대로 지각분사시기는 늦게 형성되는 것을 알 수 있다. 이것은 바이오연료의 연료에 의한 연소시기를 좀 더 정확히 조정하여 기관특성에 적용하면 바이오연료 운전에 도움이 될 것으로 생각한다.

### 3.3 압력상승율(Rate of Pressure rise)

Fig. 5는 실린더 내의 압력상승율 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 0%에서 100%까지 부하증가에 따라 일정하게 증가하였다. 바이오연료에 의한 실린더 내의 압력상승율도 비슷하였으며, 또한 바이오연료 비율이 증가하였을 경우도 비슷하였다. 그리고 바이오연료 분사시기에 의한 진각 및 지각에 따라 압력상승율은 감소 및 증가하는 경향을 나타내었으며, 그 실험결과는 전부하 그래프로 비교하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 BTDC 22° 기준으로 하여 BTDC 18°로 4° 지각하였을 경우는 감소하는 경향을 보이고 있다. 디젤 연료 DF BTDC 18°에서 -27.6% 감소하였으며, BTDC 28°에서는 78.3% 증가하였다. BDF10에서

BTDC 18°는 -23.1% 감소하였고, BTDC 28°에서는 84.6% 증가하였다. BDF20 BTDC 18°에서는 -28% 감소, BTDC 28°에서는 80% 증가하였다. 그리고 BDF30 BTDC 18°에서는 -26.1% 감소하였고, BTDC 28°에서는 82.6%가 증가하였다. 이런 압력 상승율은 회전 엔코더로부터 크랭크각도 1 deg를

받아서 나타내어지고 있는데, 실린더 내의 연소 변동에 대한 이상연소 발견이 쉽고, 이에 점화시기, 분사시기를 분석하여 점화지연 및 착화지연을 확인할 수 있다. 본 실험결과에서도 분사시기 BTDC 18°와 BTDC 28°의 직각 및 진각이 확연하게 구분되는 것을 볼 수 있다. BTDC 22° 기

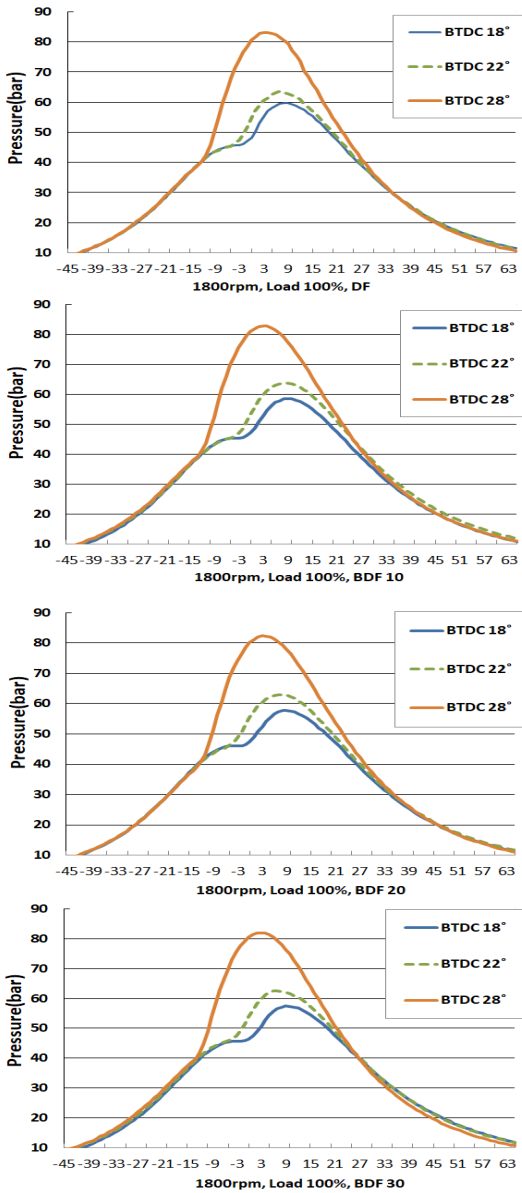


Fig. 4 Cylinder pressure characteristics of various bio fuel and bio injection timing at 1,800 rpm

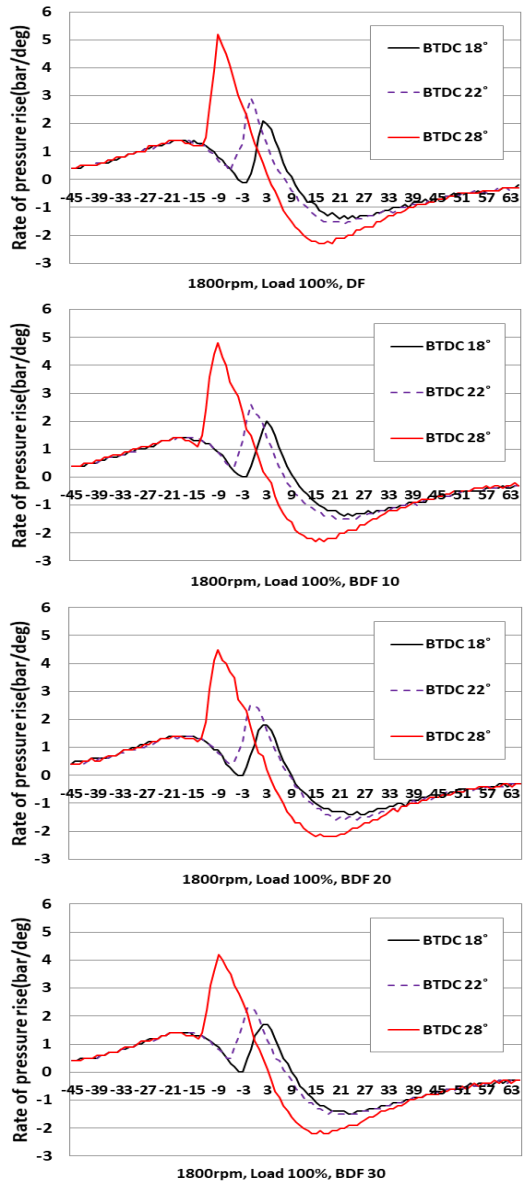


Fig. 5 Rate of pressure rise characteristics of various bio fuel and bio injection timing at 1,800 rpm

준 분사시기는 TDC에서 압력상승율이 형성되어 있다. 하지만 이 연구로부터 바이오연료의 BTDC 18° 후에 형성되어지고, BTDC 28° 앞에서 이루어지는 것을 알 수 있었다. 그리고 바이오연료 비율이 증가하면서 약간씩 앞으로 당겨서 나타내었다. 그러므로 이 부분은 연소율이 약간 빠르게 증가하였다고 생각된다.

### 3.4 열발생율(Rate of heat release)

Fig. 6은 실린더 내의 열 발생율 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 연소가스로부터 연소실로 열이 전달되어 온도가 증가함에 따른 경향을 알 수 있었다. x축 크랭크 각도에 따라 바이오연료의 분사시기가 빠를수록 최대 열발생율이 보이고 있다. 기관회전수 1,800 rpm에서 BTDC 22° 기준으로 BTDC 18°로 4° 지각하였을 경우는 감소하는 경향을 보이고 있다. 디젤연료 DF BTDC 18°에서 -3.6% 감소하였으며, BTDC 28°에서는 34.8% 증가하였다. BDF10에서 BTDC 18°는 -2.9% 감소하였고, BTDC 28°에서는 36.7% 증가하였다. BDF20 BTDC 18°에서는 -2.3% 감소, BTDC 28°에서는 35.2% 증가하였다. 그리고 BDF30 BTDC 18°에서는 -3.3% 감소하였고, BTDC 28°에서는 34.7%가 증가하였다. 본 기관의 성능특성으로 열발생 형태는 확산연소로 구분할 수 있는데, 확산연소는 연소열에 의한 증발되는 연료와 공기의 혼합특성에 의해 연소하는 특성이 있어서 바이오연료의 액상 연료 분사에 기화, 무화 및 연료증기 혼합과 공기로 물리적인 반응하에 순간적인 연소가 이루어진다. 이것은 연소실 내의 연소가 급격하게 이루어지는데 점화지연 동안 공기와 연료가 혼합되는 연소형성이 함께 순간 연소하여 아주 짧은 동안 급격하게 열발생을 보이는 연소형성에 따른 열발생율이 보이고 있다. 또한 지각하는 경우는 이와 반대로 형성되어 나타내어 주고 있다. 이런 경우는 연료의 압력 및 분사 그리고 흡입공기의 적절한 공급 등이 이루어지는 상황에 만들어지고, 불량분사 및 불량연소로 연료가 완전 연소되지 않는 형태로 진행되는 경우에 있어서, 이것은 압축과 연소에 따라서 실린더 내 연소과정에서 연소

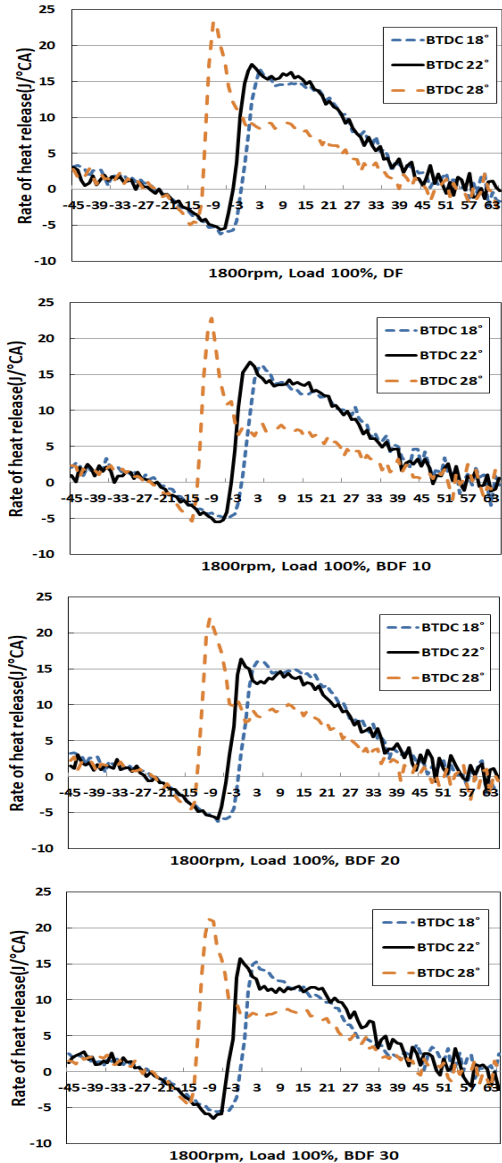


Fig. 6 Rate of heat release characteristics of various bio fuel and bio injection timing at 1,800 rpm

되지 못하고 남은 미연공기가 배출된다. 그러므로 기관성능에 따라 다르게 형성되므로 그 특성에 맞게 연료분사시기를 조정하므로 바이오연료의 최적화를 이루기 위한 실험적 연구가 필요하다.

### 3.5 질량 연소율(Burnt mass)

Fig. 7은 실린더 내의 연료의 연소율 그래프이



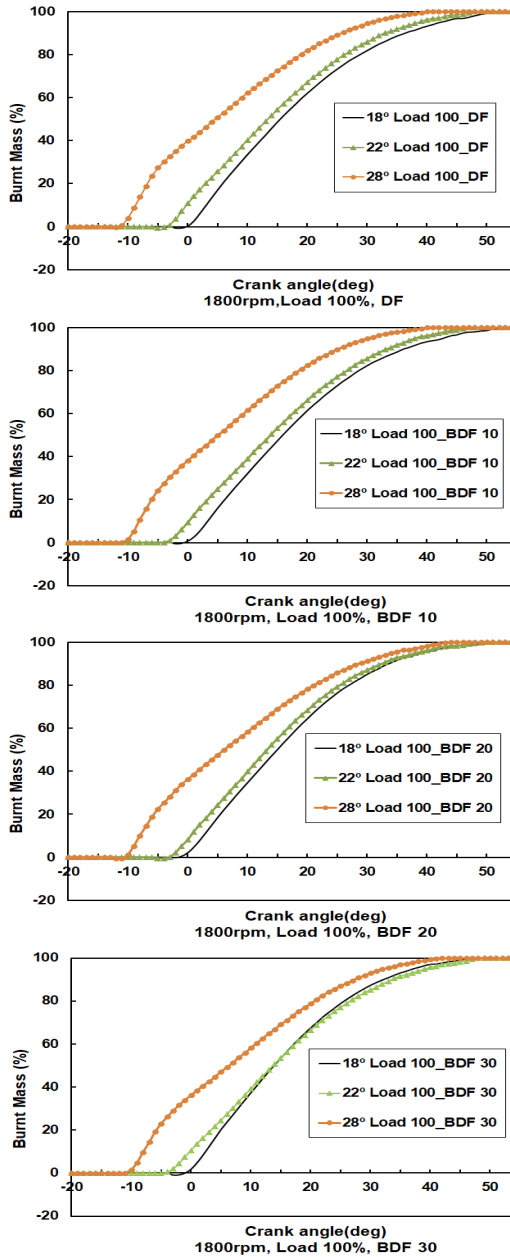


Fig. 7 Burt mass characteristics of various bio fuel and bio injection timing at 1,800 rpm

며, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하의 변화에 따라 일정하게 연소하였으며, 바이오연료의 연소율도 비슷한 경향을 알 수 있었다. 기관회전수 1,800 rpm에서 x축 크랭크 각도에 따라 부하 100%의 연

소율이 바이오연료 비율이 증가하면서 약간 빠르게 나타내었으며, BTDC 22° 기준으로 하여 지각하였을 경우 BTDC 18°로 4° 지각하여 약간 뒤쳐짐으로 인해 늦게 형성되었다. 하지만 BTDC 22° 기준으로 하여 진각하였을 경우, BTDC 28°로 6° 진각하여 빠르게 나타나는 경향으로 바이오비율에서도 비슷하게 나타내었다. 그러므로 본 실험 결과, 바이오연료의 비율과 분사시기의 최적 기준을 찾아 기존에 사용하는 기관에도 가능할 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 실험은 현재 사용하는 소형어선 4행정 디젤 발전기에 연료온도 15°C 기준으로 바이오연료 비율을 증가시키고, 분사시기를 조정한 기초연구자료이다. 최근 기후변화에 인한 디젤기관의 배출가스 규제에 대응하기 위한 바이오연료 비율을 증가시켜서 바이오연료 분사시기 최적에 맞는 연소 상태를 연구하였다. 특히 겨울철 추운 날씨에 바이오연료 단점을 극복하기 위한 연구로 결과는 다음과 같다.

- 1) 실린더 압력은 연료 DF100 기준 BTDC 22°에서 BTDC 18°로 하였을 경우 -6.11% 감소하였고, BTDC 28°는 12.3% 압력이 증가하였다.
- 2) 압력상승율은 기관회전수 1,800 rpm에서 BTDC 22° 기준으로 BTDC 18°로 4° 지각하였을 경우는 감소하였다.
- 3) 열발생율은 바이오연료의 분사시기가 빠를수록 최대 열발생율이 나타났다.

#### References

1. G. H. Choi, T. Y. Jeong and S. K. Jeong, 2020, "Comparison of Output Characteristics on SEIG and PMSG for a Hybrid Electric Propulsion System", Vol. 24, No. 1, pp. 39-46. (DOI:10.9726/kspse.2020.24.1.039)
2. K. T. Kim, H. N. Choi and M. C. Kim, 2020, "Methods to reduce conflicts of energy

- transition to hydro energy: Focused on the application of design thinking", Korean Society for Energy, Vol. 29, No. 2, pp. 30-39. (<https://doi.org/10.5855/ENERGY.2020.29.2.030>)
3. Y. S. Yun, K. J. Cho and D. W. Cho, 2020, "Economic analysis of a photovoltaic system for zero-energy multi-residential houses", Korea institute of ecological architecture and environment, Vol. 20, No. 6, pp. 93-99. (DOI:10.12813/kieae.2020.20.6.093)
  4. H. S. Lee, K. H. Kim, H. M. Jeong, H. S. Lee, H. S. Kim and J. H. Park, 2020, "A study on wind power forecasting using LSTM method", The transactions of the korean institute of electrical engineers, Vol. 69, No. 8, pp. 1157-1164. (DOI:10.5370/KIEE.2020.69.8.1157)
  5. J. Y. Lee, C. H. Kim, Y. J. Sung, H. G. Nam, H. H. Park, S. Kwon, K. H. Park, S. Y. Joo, H. T. Yim, M. S. Lee and S. B. Kim, 2016, "Study of oil palm biomass resources(part 5)", Journal of Korea technical association of the pulp and paper industry, Vol. 48, No. 2, pp. 34-45. (<https://doi.org/10.7584/ktappi.2016.48.2.034>)
  6. C. H. Jo, Y. H. Lee, S. Y. Lee and S. J. Hwang, 2018, "Development of a general algorithm for optimal operation of tidal power plant", The korea society for new and renewable energy, Vol. 14, No. 3, pp. 67-77. (DOI:10.7849/ksnre.2018.9.14.3.067)
  7. C. S. Lim, 2015, "Analysis of Stakeholder perspectives for biofuel pollicy using Q-methodology in Korea", The Korean society for new and renewable energy, Vol. 11, No. 1, pp. 36-48. (DOI:10.7849/ksnre.2015.03.1.036)
  8. J. H. Choi and S. G. Cho, 2020, "Effects on the characteristics of combustion by changing in biofuel temperature and ratio of bio injection diesel fuel", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 43-50. (DOI:10.9726/kspse.2020.24.3.043)
  9. H. G. Kim and K. W. Namm, 2021, "Study of the Adsorption Possibility of SOx and NOx Using Porous Diatomite Ceramic", Journal of Power System Engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 05-12. (DOI:10.9726/kspse.2021.25.1.005)
  10. K. H. Ryu and J. K. Park, 2018, "A study on the development of an aftertreatment system for PM/NOx reduction in diesel engines", Journal of the Korea Society for Power System Engineering, Vol. 22, No. 4, pp. 47-54. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2018.22.4.047>)