



분사연료 온도변화에 의한 연소 및 배기배출물특성에 미치는 영향 Effects on the Characteristics of Exhaust Gas Emission and Combustion by Changing Injection Fuel Temperature

조상곤*†
 Sang-Gon Cho*†

(Received 26 July 2018, Revision received 01 October 2018, Accepted 01 October 2018)

Abstract: Climate change threatening the ecosystem of the earth caused by global warming is major problem. Generally diesel fuel is liquid fuel to power diesel engines used mainly in road vehicles, ships, rail vehicles and industry engines. However, the diesel fuel has a number of components causing air pollution. An important parameter for the quality of a diesel fuel is the viscosity, which also influences on the fuel delivery rate and the atomization of the fuel during injection. Therefore, the author has investigated the effects of changes in diesel fuel temperature. This study showed that CO is decreased slightly; however, specific fuel consumption, NOx and Soot were increased slightly in the case of changing fuel temperature, and pressure and rate of pressure rise were also increased. In addition, it was found the combustion cylinder temperature was not significantly different.

Key Words : Diesel fuel, Brake specific fuel consumption, CO, NOx, Soot

1. 서 론

최근 기후변화에 따라 기온이 상승하고, 강수량이 증가하면서 생태계에는 많은 영향을 미치고 있다. 이러한 기후변화는 생태계의 교란이 심각해지면서 세계 각국은 기후변화에 대한 관심과 영향에 연구하고 있다. 우리나라에서도 기후변화에 대한 저탄소 녹색성장을 추진하고 있으며, 국제협력을 위한 많은 활동을 하고 있다. 그리고 기후변화적응에 관한 국제흐름 등을 고려할 때, 국제적인 협력 지원이 필요하다.¹⁾ 따라서 기후변화에 따른 대응정책을 각 국가가 안고 있는 시급한 공동

의 문제로 인식하는 것은 기후변화에 대한 노력이 각 국가에 이익을 가져다 주기 때문이다. 이러한 자연적인 생태계뿐만 아니라 산업분야에서도 기후변화에 대응하기 위한 노력이 절실하다. 특히 지구온난화가 주범으로 인식되고 있는 상황에서 여러 가지 영향을 미칠 것으로 보고 있다. 탄소절감을 위한 화석연료와 에너지소비 절감은 대기질 개선에 도움이 주었으며, 대기오염 물질로 인한 건강피해 등 사회적 비용을 줄이는 효과가 있었다. 또한 지구의 온실가스를 흡수하는 자원인 산림 및 녹지보존은 에너지소비를 줄이고, 에너지 효율성과 시설 운영비용 절감이라는 경제적 이익

*† 조상곤(교신저자) : 군산대학교 해양산업·운송과학기술학부 마린엔지니어링전공
 E-mail : haerimho@kunsan.ac.kr, Tel : 063-469-1845

*† Sang-Gon Cho(corresponding author) : 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

이 수반되었다. 이러한 영향으로 태양열²⁾, 태양광 발전³⁾, 풍력⁴⁾, 바이오매스⁵⁾, 조력발전⁶⁾, 바이오연료⁷⁾ 등이 개발과 창출되면서 여러 환경문제 해결, 복지환경 조성 및 고용창출에도 기여하였다. 이에 산업용 기관에서도 연료온도변화의 연구가 필요하였고, Park⁸⁾이 연료온도에 대하여 연구하였다. 또한 Lim 등^{9,10)}은 배기배출물에 대한 바이오디젤유의 영향에 대하여 연구하였고, Jang¹¹⁾ 및 Cho¹²⁾는 연소특성에 대하여 연구하였다.

본 연구는 직접분사식 4행정 디젤기관에 분사 연료온도를 변화시켜서 기관연소 및 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석·고찰한다.

2. 연료온도기기 및 실험장치

2.1 연료온도조절 장치

기관의 회전수와 부하상태를 고려하여 적절한 온도조절장치가 필요하므로 기관에 맞춤형 냉각 시스템을 구성하였다. 디젤연료가 연료시스템으로 공급 후에 연료펌프에서 분사하여 남은 연료를 재순환하도록 장치를 구성하였으며, 냉각장치는 1

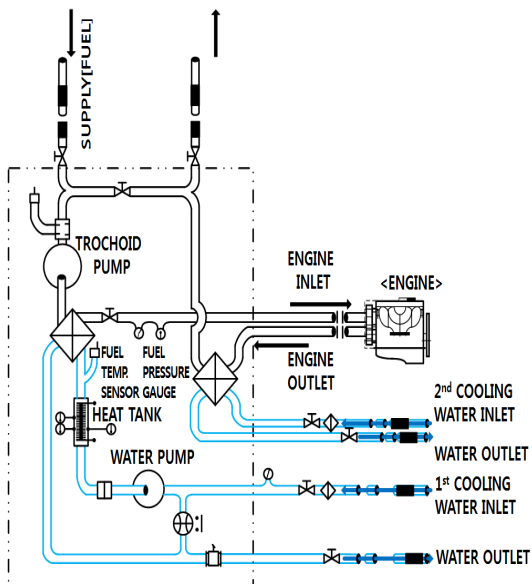


Fig. 1 Schematic diagram of fuel temperature control system

차, 2차의 관을 통하여 기관으로 공급하였다. 또한 가열기를 설치하여 연료온도가 낮을 경우에 일정하게 유지하도록 하였으며, 연료온도 조절장치는 Fig 1에 구성하였다.

2.2 실험장치

기관 연소실의 압력측정은 첫 번째 실린더에 압전식(pressure transducer type) 압력변환기를 설치하였다. 그리고 크랭크 각 1도마다 측정하였으며, 크랭크축과 직결로 엔코더를 설치하여 피스톤 TDC 시점부터 데이터를 수집하였다. 연소실 온도는 각 실린더(No. 2~6)의 연소실 내에 열전대(R-type)를 설치하여 측정하였으며, 연료소비율은 용적식 유량계 및 고정도 연료소비량계(FM-257)를 사용하였다. 연료온도를 일정하게 유지하기 위하여 연료온도 조절기를(FTCH-0906) 사용하였으며, 기관에 공급하는 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기유량계와 유량계(50MC-4F)를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름이 균일하도록 하였다. 또한 배기배출물 분석기(Signal emirak rag 4873), 매연은 광투광식을 사용하였고, 기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여 측정하였다. 본 실험

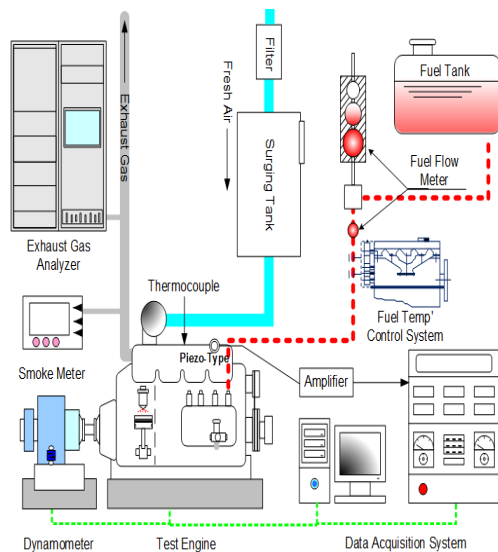


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

기관은 디젤기관으로 주요 제원은 Table 1에 실험 장치도는 Fig. 2에 각각 나타내었다.

Table 1 Specifications of test engine

Item	Specification
Number of cylinder	6
Type of engine	Water-cooled
Cycle	4
Type of fuel injection	Direct injection
Bore× stroke (mm)	102 × 110
Piston displacement (cc)	5,393
Max. output	60kW/1,200 rpm
Compression ratio	17.5 : 1
Fuel injection timing	BTDC 22°CA
Firing order	1-5-3-6-2-4

2.3 실험방법

이전의 연료시스템 장치는 연료공급필터 전의 온도가 연료탱크의 온도보다 연료온도가 약 3°C 정도 상승하고 있고, 연료펌프의 필터 후에서도 온도는 필터 전에서의 온도보다 상승하고 있었다. 이에 연료온도 조절장치(FTCH-0906)를 제작하여 연료온도를 15°C로 일정하게 하였다. 또한 재순환되는 연료의 온도는 공급되는 연료보다 3°C 정도 높게 나타나고 있어서 연료 고압펌프에 공급되는 연료온도변화가 일정하게 하여 실험하였다.

본 실험기관의 회전속도 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 연료온도를 15°C로 일정하게 유지하면서 35°C까지 5°C 간격으로 변화시키면서 실험하였다.

동일한 조건하에서 기관회전수의 변동율은 ±0.5%이었고, 기관부하의 변동율은 ±1.5% 이하이었다. 그리고 3개의 파라미터 중 2개를 고정하고 하나만을 변화시키면서 실험하였다.

열교환기는 수냉식방법 이용하여 실험을 하는 동안 기관의 냉각수 70°C와 윤활유 온도 75°C로 일정하게 유지하였고, 기관의 작동 및 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도, 각 부취(배기관 입출구, 냉각수 입출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를

측정하였다. 동력계는 표준중량(5 kg)추를 사용하여 압축·인장의 보정실험을 하여 정확한 토오크 값을 확인한 후 동력을 측정하였다. 또 배기가스 분석기와 매연측정기를 “0” 점 조정하고, 표준가스(측정범위 80%인 보정용 가스)농도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 각종 배기배출물을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료소비율

Fig. 3은 기관회전수 1,800 rpm에서 연료온도변화와 부하증가 따른 연료소비율을 나타낸 그래프이다. 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이며, 연료온도 변화에 따라 일정하게 약간씩 증가하는 경향이다. 연료온도 변화는 15°C에서 35°C씩까지 일정한 비율로 증가 하였는데, 부하 100% 경우 20°C에서 1.61%, 25°C에서 3.13%, 30°C에서 4.14%, 35°C에서 5.30% 증가하였다. 그리고 평균 증가율은 부하 25%에서 3.58%, 50%에서 5.41%, 75%에서 2.44%, 100%에서 4.19% 증가하였고, 부하 75%에서 평균값 최소로 증가하였다.

그 이유는 연료온도 증가로 인한 점도가 약간 감소하고, 표면장력도 감소하여 연소율이 낮아져서 전체적인 연료소비율이 약간씩 증가하였다.

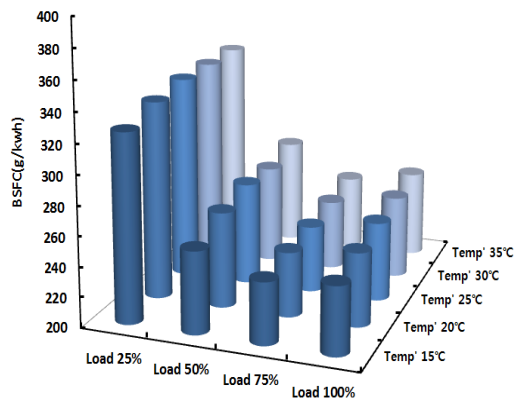


Fig. 3 Brake specific fuel consumption on various changing fuel temperature at 1,800 rpm

3.2 질소산화물(NOx)

Fig. 4는 NOx 배기배출물 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하증가에 따라 일정하게 증가하였으며, 연료온도변화에 따른 감소와 증가를 하는 경향이다. 15°C에서 5°C씩 상승시켜 실험한 결과 저부하에서 NOx 증가율이 상대적으로 높았으며, 고부하에서는 증가율이 낮게 나타났었다. 하지만 35°C에서는 전체적으로 증가하는 경향이다. 이에 전체적인 온도변화에 대한 평균율을 비교하면, 20°C에서 2.89%, 25°C에서 2.72%, 30°C에서 4.42%, 35°C에서 11.03%로 증가하였다. NOx 배기배출물 특성은 연료중의 질소와 흡기중의 산소가 혼합 고온 반응하여 생성하며, 고부하 상태에서는 연료가 더 많이 분사되어 연소되기 때문에 부하가 증가할수록 실린더 내 연소실온도는 고온반응에 의해서 배기배출물이 증가한다고 하였다. 연료 온도증가율에 따라서 NOx 배기배출물이 약간이 증가하는 경향을 나타냈었다.

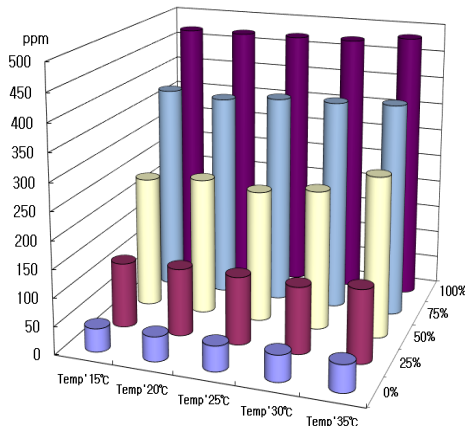


Fig. 4 NOx emission characteristics of various changing fuel temperature at 1,800 rpm

3.3 일산화탄소(CO)

Fig. 5는 일산화탄소 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하변화에 따른 연료온도변화를 나타내었다. 부하변화에 따라 다소 차이가 있지만 전체적으로 연료온도가 상승함에 따라 약간 감소하였다. 그 이유는 CO 배출가스는 연소상태가 불완전한 연소로 인하여 생성되는데, 연소상태가 양

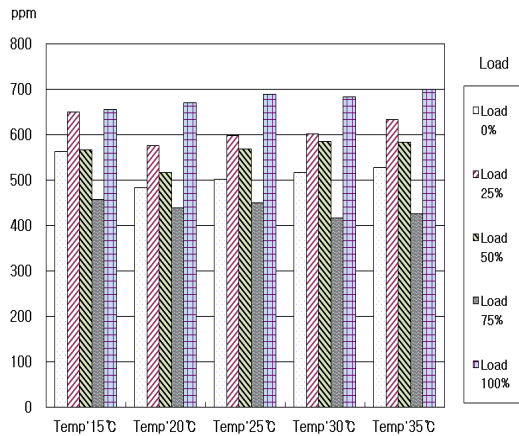


Fig. 5 CO emission characteristics of various changing fuel temperature at 1,800 rpm

호하여 감소하였다고 생각된다. 또한 일산화탄소 배기배출량은 부하 25%에서 부하 75%까지 감소하다가 부하 100%에서 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다. 15°C에서 5°C씩 상승시켜 실험한 결과, 전체적인 온도변화에 대한 평균율을 비교하면, 20°C에서 -8.0%, 25°C에서 -2.94%, 30°C에서 -4.22%, 35°C에서 -2.05%로 감소하였다.

3.4 매연(Soot)

Fig. 6은 매연배출물 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하변화에 따른 연료온도변화를

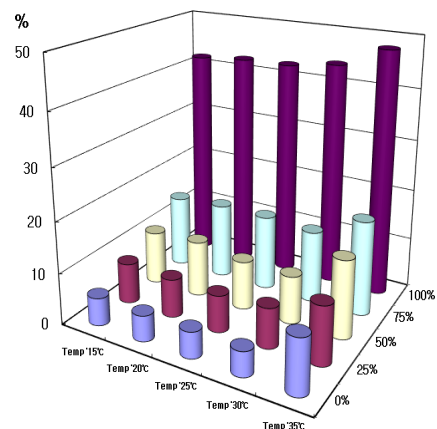


Fig. 6 Soot emission characteristics of various changing fuel temperature at 1,800 rpm

나타내었다. 부하가 증가하면서 일정하게 매연배출물이 증가하였고, 연료온도가 상승하면서 미세하게 약간의 증가하였지만 연료온도 35°C에는 크게 증가하였다. 부하 100%에서 매연 7.41%가 증가하였다. 매연은 연소과정 중 확산단계 반응영역 연료가 농후한 쪽에서 발생하며 그 영역이 고온일수록 증가한다. 그러므로 부하가 증가하면서 고온영역이 형성되어 매연이 증가하였다.

3.5 이산화탄소(CO₂)

Fig. 7은 이산화탄소 배출물 그래프이며, 기관 회전수 1,800 rpm에서 부하변화에 따른 연료온도 변화를 나타내었다. 이산화탄소는 탄화수소계의 연료 중에 탄소와 공기의 산소가 화합하여 연소함으로써 생성된다. 이에 부하가 증가함에 따라 점점 증가하는 경향이고, 연료온도가 상승함에 따라서 약간씩 증가했다.

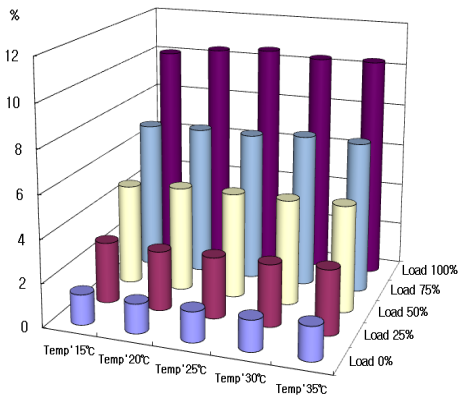


Fig. 7 CO₂ emission characteristics of various changing fuel temperature at 1,800 rpm

3.6 연소실 및 배기가스 온도

Fig. 8과 9는 기관회전수 1,800rpm에서 부하의 변화에 따른 연료온도변화에 연소실온도 및 배기가스 온도를 나타낸 그래프이다. 특히 연소실온도를 측정하기 위하여 각 실린더에 고온 온도측정기를 설치하여 각 연소실온도 측정하여, 본 결과는 부하가 증가함에 따라 점점 크게 증가하는 경향이며, 연료온도가 상승하여도 연소실 온도가 약

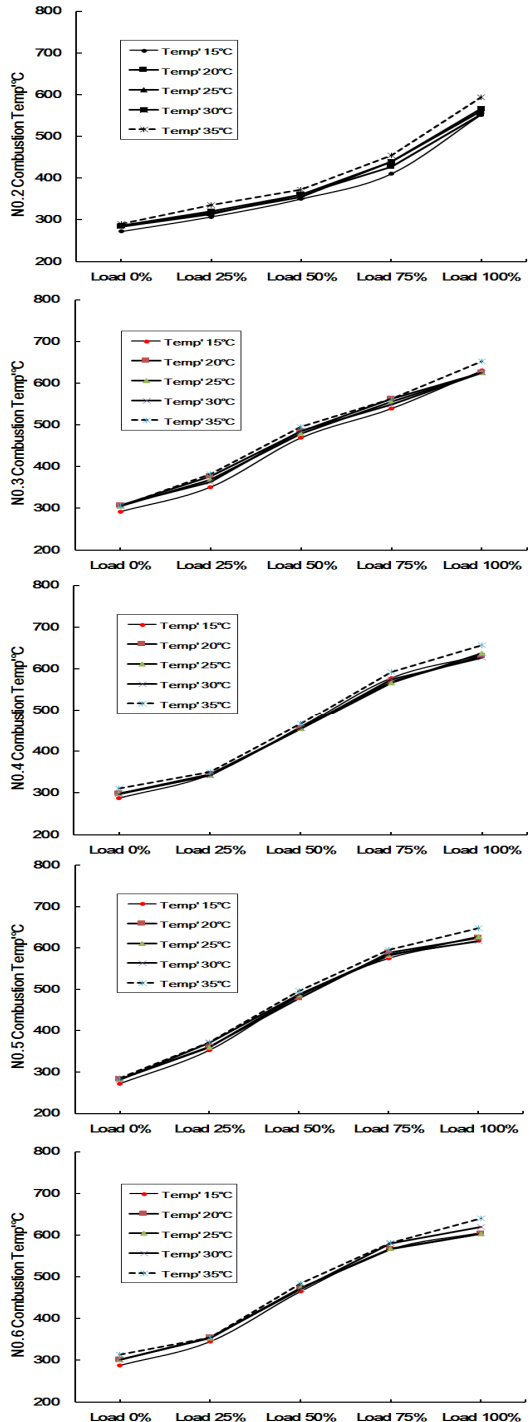


Fig. 8 Combustion cylinder temperature of various changing fuel temperature at 1,800 rpm

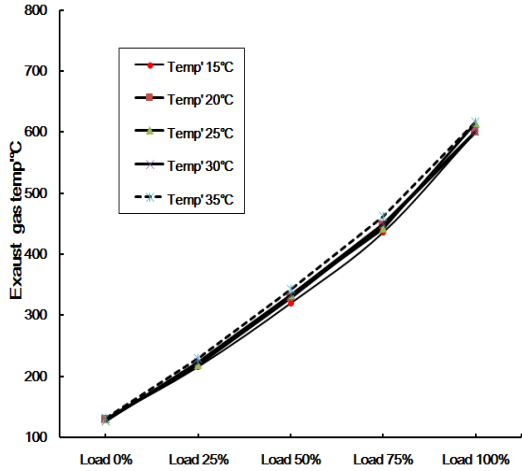


Fig. 9 Exhaust gas temperature on various fuel temperature at 1,800 rpm

간 증가하였고, 또한 배기가스 온도도 약간 증가하는 경향으로 큰 영향이 없음을 알 수 있었다.

3.7 압력 및 압력상승율(Cylinder Pressure and Rate of Pressure rise)

Fig. 10은 연료온도 변화에 따른 압력 및 압력상승율 그래프이다. 실린더 압력은 부하가 증가하면서 압력도 일정하게 증가하였고, 압력상승율 그래프도 일정하게 증가하였다. 또한 연료온도상승율의 증가함에 따라서 약간 증가하는 경향을 알 수 있었다. 실린더 압력 최대 압력은 35°C에서 발생하였으며 평균증가율은 0.55%로 증가하였다. 연료온도 상승으로 인한 연료소비율이 약간 증가함에 따라서 압력증가율도 미미하게 증가하는 경향을 확인하였다.¹²⁾

3.8 연소율(Rate of Burnt Mass)

Fig. 11은 연료온도 변화에 의한 연소율 그래프이며, 기관회전수 1,800 rpm에서 연료온도 변화와 부하의 변화에 의한 그래프이다. 연소율은 연소시작과 연소완료에 대한 열발생량으로 크랭크 각도 값이며, 부하 0%에서 연소가 크랭크 각도 상사점에서 일정하게 연소가 이루지고 있으며, 부하가 점진적으로 증가함에 따라 빠르게 진행되는 경향을 보이고 있다. 부하 100%에서 연소율 시작점은

약 최고 4° 정도 빠르게 연소가 시작되었고, 이와 반대로 연소율이 끝나는 연소각은 부하 100%에서 약 10° CA 정도 늦게 연소되는 것을 알 수 있었다. 또한 연료온도 변화에 의한 각도변화는 1~2° 정도 증가를 하여 큰 영향이 발생하지 않았지만 향후 대형엔진 및 바이오연료 연구에는 많은 영향이 미칠 것으로 사료된다.

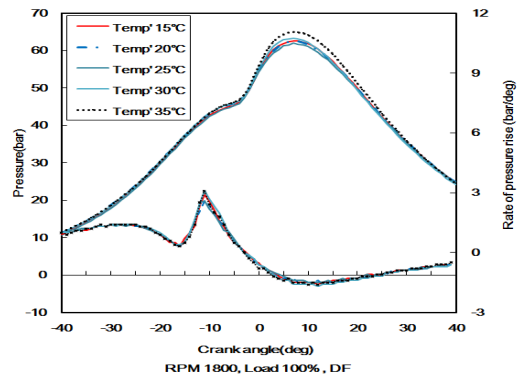
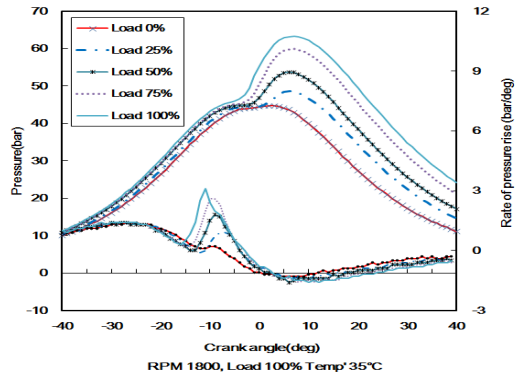


Fig. 10 Cylinder pressure & Rate of pressure rise on various fuel temperature at 1,800 rpm

4. 결 론

최근 지구의 온난화에 의하여 기온이 상승하여 생태계에 많은 영향을 미치고 있다. 따라서 디젤 기관에서 연료온도가 변화하면 어떤 영향이 있는지 연구하였다. 이에 연료온도 변화에 의한 연소 및 배기배출물특성에 미치는 영향을 분석·고찰한 결과는 다음과 같다.

- 1) 연료소비율은 부하가 증가하면서 일정하게

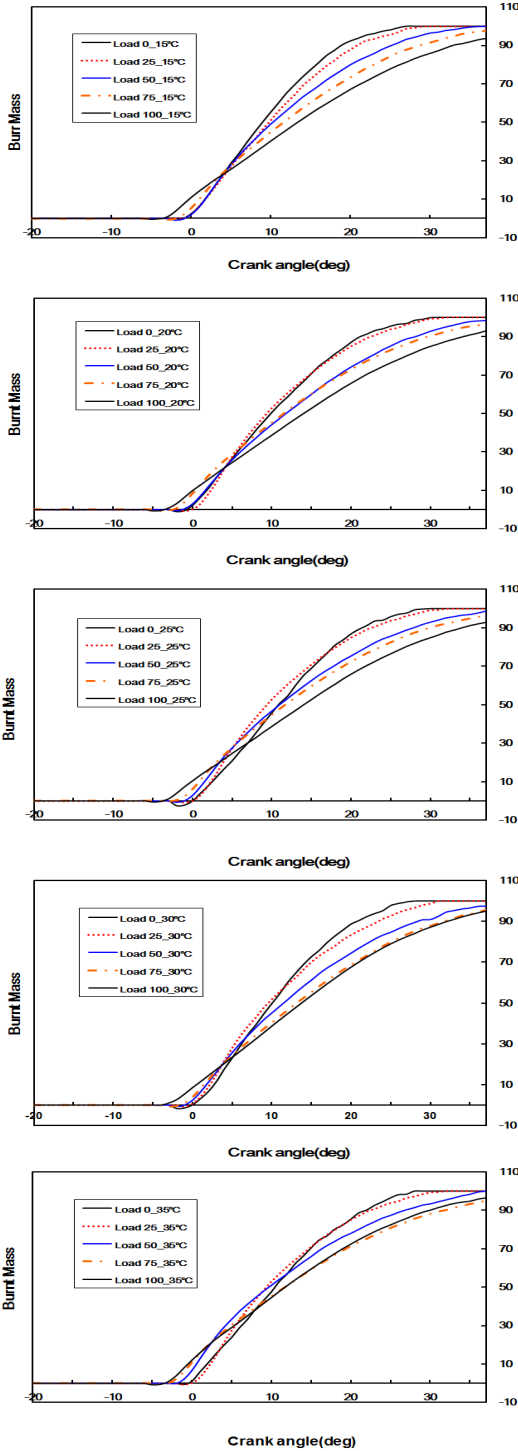


Fig. 11 Rate of burnt mass on various fuel temperature at 1,800 rpm

감소하였고, 연료온도변화에 따라 일정하게 약간씩 증가하였다. 연료온도변화는 15°C에서 35°C까지 일정한 비율로 증가하였는데, 부하 100% 경우 20°C에서 1.61%, 25°C에서 3.13%, 30°C에서 4.14%, 35°C에서 5.30% 증가하였다.

2) 질소산화물은 연료온도변화에 따른 감소와 증가를 하는 경향이다. 저부하에서 NOx 증가율이 상대적으로 높았으며, 고부하에서는 증가율이 낮게 나타났었다. 하지만 35°C에서는 전체적으로 증가하는 경향이다. 이에 전체적인 온도변화에 대한 평균율을 비교하면, 20°C에서 2.89%, 25°C에서 2.72%, 30°C에서 4.42%, 35°C에서 11.03%로 증가하였다.

3) 일산화탄소는 부하 25%에서 75%까지 감소하다가 부하 100%에서 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다. 연료온도변화에 대한 평균율을 비교하면, 20°C에서 -8.0%, 25°C에서 -2.94%, 30°C에서 -4.22%, 35°C에서 -2.05%로 감소하였다.

4) 매연배출물은 연료온도가 상승하면서 미세하게 증가하였지만 연료온도 35°C에는 많이 증가하였다. 부하 100%에서 매연 7.41%가 증가하였다.

5) 압력 및 압력상승율은 부하가 증가하면서 일정하게 증가하였고, 연료온도변화에 의한 최대 압력은 35°C에 발생하였다. 평균증가율을 0.55%로 증가하였다.

6) 연소율은 부하 0%에서 연소가 크랭크 각도 상사점에서 일정하게 연소가 이루어지고 있으며, 부하가 점진적으로 증가함에 따라 빠르게 진행되는 경향을 보이고 있다. 부하 100%에서 연소율 시작점은 약 최고 4°CA 정도 빠르게 연소되었다.

References

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2015.
2. J. H. Shin and H. J. Hong, 2013, "A Numerical Study on the Thermal Performance of a Solar Air Heater Depending on the Hole Configuration and Geometry in the Absorber", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 35, No. 1, pp.

- 69-80.
3. J. W. Park, C. U. Shin, G. D. Kim and J. H. Yoon, 2013, "A Study on generation characteristic of building integrated Photovoltaic system", Journal of the Korean Solar Energy Society“, Vol. 33, No. 3, pp. 75-81.
 4. S. C. Yang, C. J. Moon, Y. H. Chang, S. Y. Soh, J. Y. Chung and E. S. Kim, 2006, "Internet Monitoring of Wind-Photovoltaic Hybrid Generation System", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 20, No. 4, pp. 43-48.
 5. 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.
 6. QB. O. Cho and C. W. Park, 2014, "Development of Start-Stop Control System at Water Turbine Generator for Tidal Power Plant", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 28, No. 6, pp. 106-112.
 7. K. H. Park, J. Y. Kim, C. J. Kim, J. H. Ko and H. I. Park, 2012, "The Effect of Bio-diesel Fuel on Industrial Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 36, No. 1, pp. 72-77.
 8. 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.
 9. J. K. Lim, S. Y. Choi and S. G. Cho, 2008, "Effects of Biodiesel Fuel on Exhaust Emission Characteristics in Diesel Engine", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 27-32.
 10. 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.
 11. 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.
 12. 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.