한국동력기계공학회지 제21권 제6호 pp. 110-116 2017년 12월 ISSN 1226-7813(Print) ISSN 2384-1354(Online)
Journal of the Korean Society for Power System Engineering http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2017.21.6.110
Vol. 21, No. 6, pp. 110-116, December 2017

디젤연료 온도변화가 기관성능 및 연소특성에 관한 연구
A Study on the Characteristics of Combustion and Performance by Changing Temperature in Diesel Fuel

조상곤*†
Sang-Gon Cho*†

(Received 08 September 2017, Revision received 05 December 2017, Accepted 05 December 2017)

Abstract: Recently the global warming caused by greenhouse gas has emerged as a global environmental problem. For this reason the continued efforts to reduce greenhouse gas emission by international cooperation and each country are in progress. Climate changing has been recognized as the world economy development from fossil fuel use is the culprit. The international maritime organization marine environment protection committee of the global warming reduction emerged restrictions on air pollution have been strengthened. Therefore, the author has investigated the effects of fuel temperature on the characteristics of combustion and performance, using an four-cycle, six cylinders and direct injection diesel engine. The results of cylinder pressure, rate of pressure rise, rate of heat release and specific fuel consumption were increased by changing of fuel temperature.

Key Words : Greenhouse gas, Fuel temperature, Engine performance, Cylinder pressure.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 자원과 에너지는 한정되어 있어서 대체 에너지가 절실히 필요하다. 하지만 아직도 뚜렷한 대체 에너지는 개발 연구 중에 있다. 그러므로 현존하는 화석에너지에 의존하는 우리나라는 에너지 부존자원을 거의 수입에 의존하기에 자원의 효율성과 에너지 효율이 중요한 정책과제이다. 이러한 에너지 절약 및 이용효율을 향상시키는 기술은 화석연료의 사용과 관련 에너지 사용을 저감시키고, 이러한 노력으로 기존 차량 및 선박의 연비개선에 의한 이산화탄소 배출을 저감하고 있다. 그래서 열효율성을 높이기 위해 대부분의 기관들은 단위부피당 상대적으로 큰 열발생량을 가진 액체연료를 채택한 디젤기관을 이용하고 있다. 디젤기관은 연소율이 높고 연료경제성이 우수하며[1], 대출력의 기관[2]에 용이하면서 내구성과 신뢰성이 좋다. 이러한 장점으로 화석연료의 사용이 점점 계속 증가하고 있어 지구온난화가 빠르게 진행되면서 자연재해 등 사건사고가 자주 발생하고 있다. 이러한 기후변화의 주요 원인으로 대기오염 생산물질로 그 중 기관에서 배출되는 유해성분 물질이다. 그래서 육상기관 유해배기가스 규제[3] 뿐만 아니라, 선박기관에 대

*† 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

해서도 이미 국제해사기구에서 합의하여 TierⅢ가 발효되었다. 2016년 1월 1일부터 건조되는 선박의 NOx는 규제가 적용되었다. 그러므로 기후변화에 지속적으로 대응하기 위하여 우리 주위환경에 미치는 여러분야별로 다양하게 연구가 진행되고 있으며[4], 이에 기관에도 디젤연료 온도변화가 연소특성[5] 및 배출특성[6]에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 디젤연료 온도의 변화에 대한 기초자료 연구이며, 디젤연료 온도변화가 기관성능과 연소특성에 미치는 영향을 주는 주요 인자는 연료의 성분, 비중, 점도, 분사압력, 분사시기[7], 연료분무특성의 무화성[8] 및 관통성 등 등 여러 가지가 있다.

따라서 본 연구에서는 디젤연료 온도변화가 기관성능과 연소특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구하고자 하며, 실험하여 기관에 경제적인 연료효율과 운전에 도움을 주고자 한다.

2. 연료온도기기 및 실험장치

2.1 연료온도조절 장치

본 연료온도 조절과정은 냉각 및 간접 가열함으로 엔진의 연료온도 및 압력을 일정하게 유지시켜 엔진에 최적의 조건을 만들어주는 실험장치이다. 실험하는 동안 기관의 상태 및 부하 시험 중 가열되는 기관 연료냉각을 위하여 뜨거워진 상태로 배출된 기관의 연료를 온도조절장치를 통하여 적절히 냉각된 상태의 연료로 만들어 기관에 공급하도록 Fig. 1에 구성하였으며, Table 1은 디젤연료 온도조절장치 제원이다.

2.2 실험장치

기관의 출력은 와류형 전기동력계를 사용하여 측정하였고, 연소실의 압력측정은 첫 번째 실린더에 압전식(Piezo-electric type) 압력변환기를 설치하였다. 그리고 크랭크 각 1도마다 측정하였으며, 크랭크축과 직결로 엔코더를 설치하여 피스톤 TDC 시점부터 데이터를 수집하였다. 연소온도는 각 실린더(No. 2~6)의 연소실 내에 열전대(R-type)를 설치하여 측정하였으며, 연료소비율은 용적식

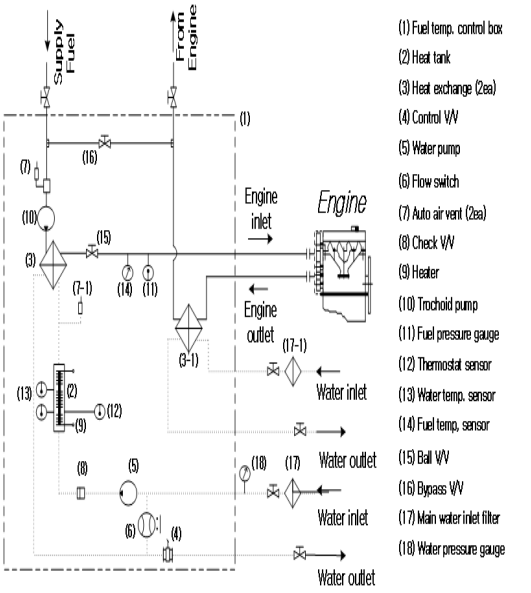

Fig. 1 Schematic diagram of fuel temperature control system

Table 1 Specification of engine fuel temperature control system

Item	Specification
Fuel pressure	0～0.5 bar
Cooling water pressure	1～2 bar
Control temperature accuracy	±1℃
Control temperature range	15～60℃
Engine fuel temp' control Max' pressure	5 bar
Heat exchange cooling water Max' pressure Required pressure	5 bar 2 bar
Water circulation pump Capacity back pressure Max' pressure	25 L/min 0.5 bar
Temperature controller	UT-550

유량계 및 고정도 연료소비량계(FM-257)를 사용하였다. 연료온도를 일정하게 유지하기 위하여 연료온도 조절기를(FTCH-0906) 사용하였으며, 흡입공기량의 계측은 오리피스식 공기유량계와 유량계(50MC-4F)를 사용하였다. 그리고 기관의 흡기측에 서지탱크(Surge tank)를 설치하여 흡기의 흐름

이 균일하도록 하였다. 또한 배기배출물 분석기(Signal emirak rag 4873), 매연은 광투과식(Mexa-130S)을 사용하였다. 본 실험기관은 디젤기관으로 주요 제원은 Table 2에 실험장치도는[6] Fig. 2에 각각 나타내었다.

Table 2 Specification of test engine

Item	Specification
Number of cylinder	6
Type of engine	Water-cooled, supercharged
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

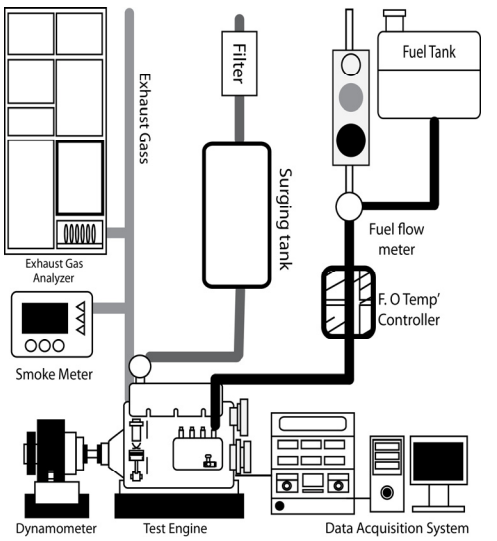

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

2.3 실험방법

연료온도 조절기(FTCH-0906)를 사용하여 연료온도를 15℃로 일정하게 하였다. 기존 연료시스템 장치는 연료공급필터 전의 온도가 연료탱크의 온도보다 연료온도가 약 3℃ 정도 상승하고 있고, 필터 후에서도 온도는 필터 전에서의 온도보다 상승하고 있었다. 또한 순환되는 연료온도는 공급연료보다 3℃ 정도 높게 나타나고 있어서 온도변화에 대한 편차 없게 실험하였다.

기관회전속도 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로 연료온도를 15℃로 일정하게 유지하면서 40℃까지 5℃ 간격으로 변화시키면서 실험하였다.

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

Table 3 Properties of test fuels

Item	Test fuels
	Diesel fuel
Flash point (℃)	75°C
Specific gravity (15/4℃)	0.8342
Kinematic viscosity (cSt@40℃)	2.67
Sulfur (%)	0.04
Water (%)	0
Calorific value (MJ/kg)	42.8
Carbon (Wt.%)	85.83
Hydrogen (Wt.%)	13.82
Nitrogen (Wt.%)	0.16
Oxygen (Wt.%)	0
Cetane number	51.4

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연료소비율

Fig. 3은 디젤연료 온도의 변화를 5℃씩 상승시키고, 기관회전수 1,800 rpm에서 부하의 변화와 연료 온도변화에 따른 연료소비율을 나타낸 것이다.

연료소비율은 부하가 증가함에 따라 점점 감소하는 경향을 보였고, 연료온도 상승에 따라서 약간씩 증가하였다. 연료온도 15℃ 기준으로 온도 40℃까지 일정하게 증가하는 경향을 보이고 있으며, 연료소비율 증가는 부하 50%의 경우에 최대

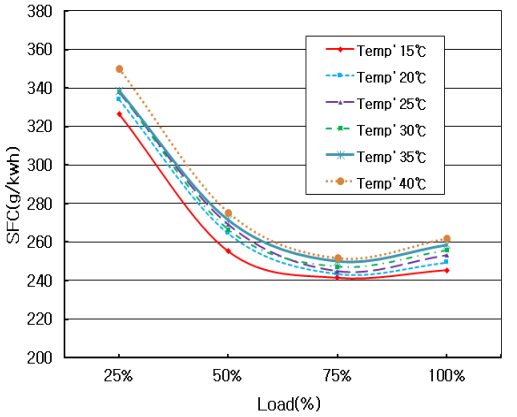

Fig. 3 Brake specific fuel consumption on various fuel temperature at 1.800 rpm

5.56% 증가하였으며, 부하 75%에서 최소로 증가하였다. 연료온도 변화에 따라서 상승하는 평균값은 온도 20℃에서 2.19%, 25℃에서 3.37%, 30℃에서 4.74%, 40℃에서 6.52% 증가하였다. 그리고 부하 75%에서 20℃ 경우 0.87%, 25℃ 경우 1.40%, 30℃ 경우 2.36%, 35℃ 경우 3.56%, 40℃ 경우 4.25% 증가하였으며, 평균 2.49%로 최소로 증가하였다. 그 이유는 디젤경유의 연료온도 상승으로 인하여 연료소비율이 약간씩 증가하였고, 부하변화에 따른 연료소비율은 경제적인 부하 75%에서 최소로 나타내었다. 연료온도가 상승하면서 표면장력이나, 점도가 약간씩 감소하는 영향으로 연료소비율이 약간씩 증가되었고, 또한 실린더압력 및 열발생율도 증가하였음을 알 수 있었다.

3.2 실린더압력(Cylinder pressure)

Fig. 4는 온도와 부하변화에 따른 연료온도 변화 압력그래프이다. Fig. 5는 연료온도 변화에 따른 압력을 나타내는 그래프이며, 부하 100%에서 연료온도가 상승하면서 압력은 증가하는 경향을 보이고 있다. 연료온도 상승과 부하변화 따른 일정한 경향으로 압력이 상승하는 경향을 나타내고 있다. 최고 압력은 연료온도 40℃에서 가장 높았으며, 평균증가율 0.61% 증가하였다. 그 이유는 연료온도가 상승함에 따라서 약간 연료소비율이 증가하여 실린더 압력도 점진적으로 상승되었다.

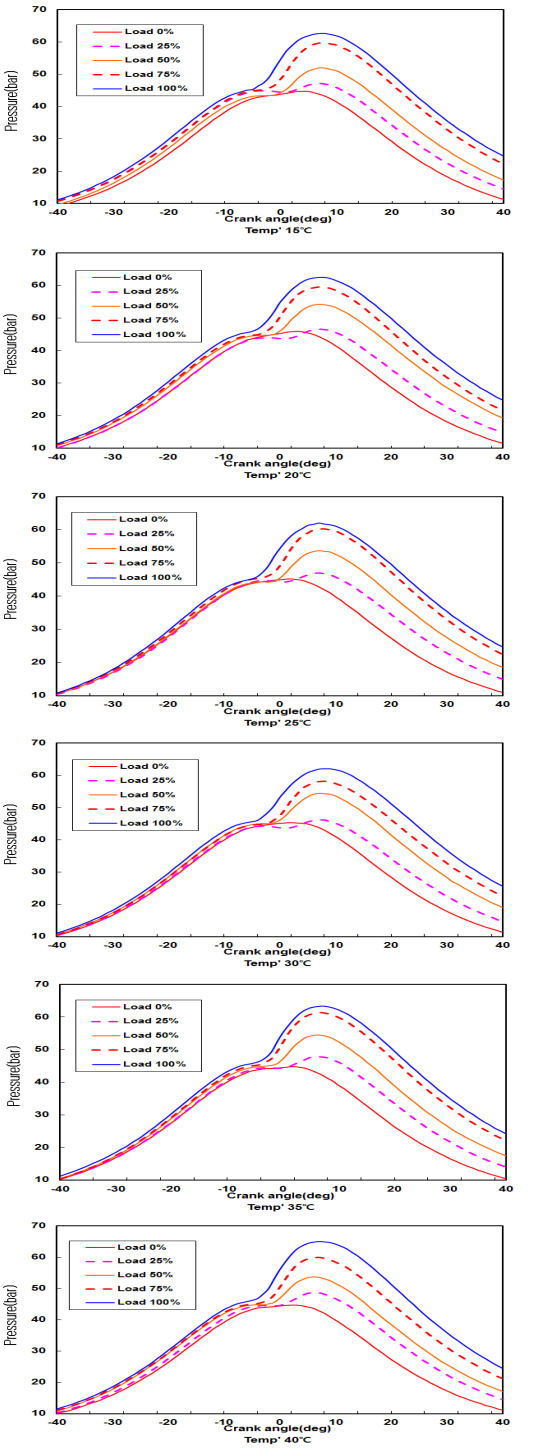

Fig. 4 Cylinder pressure on various fuel temperature at 1,800 rpm and load

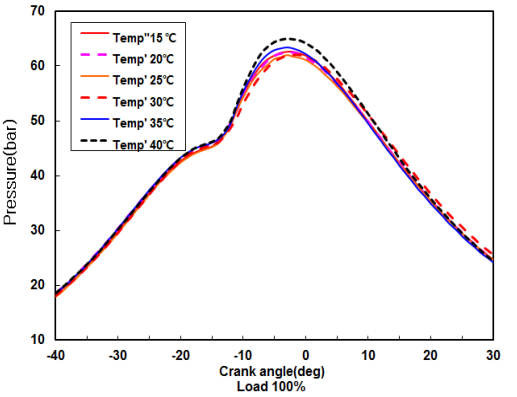

Fig. 5 Comparition of cylinder pressure on various fuel temperature at 1,800 rpm

3.3 압력상승율(Rate of pressure rise)

Fig. 6은 연료온도 변화에 의한 압력상승율을 나타내는 그래프이며, 부하 100%에서 연료온도가 상승하면서 압력상승율은 증가하는 경향을 보이고 있다. Fig. 7은 디젤연료 온도와 부하변화에 따른 연료온도 변화 압력상승율 그래프이다. 또한 연료온도 상승과 부하변화에 따른 일정한 경향으로 압력상승율이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

이에 연료온도 40℃에서 압력상승율이 최대가 되었다. 그 이유는 연소 중 연료온도가 상승되면 연료입자의 점성력 및 표면장력이 감소하여 입자의 미립화가 잘 이루어진다고 하였다.[9] 이러한 영향으로 약간의 기화가 촉진되어 압력상승률이 증가되었다고 생각된다.

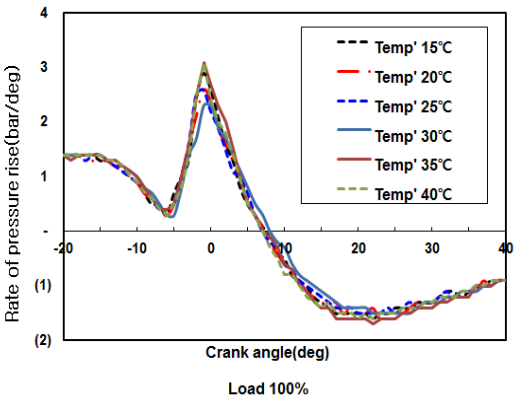

Fig. 6 Rate of pressure rise on various fuel temperature at 1,800 rpm

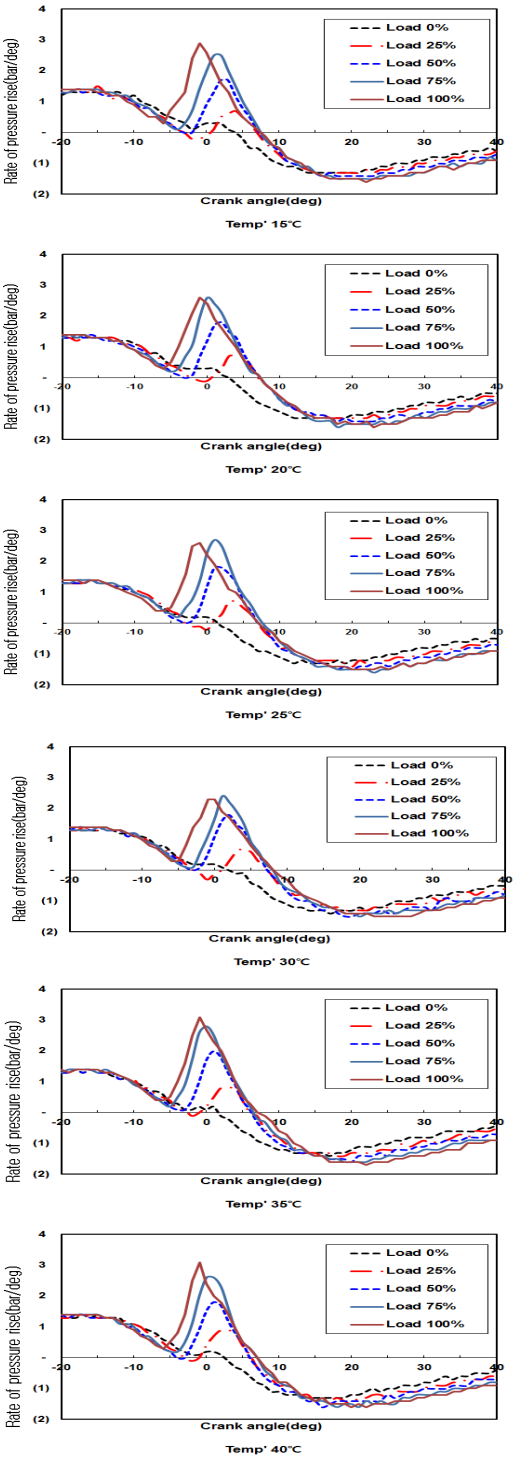

Fig. 7 Rate of pressure rise on various fuel temperature at 1,800 rpm and load

3.4 열발생율(Rate of heat release)

Fig. 8은 부하 100%에서 연료온도가 상승하면서 열발생율이 증가하는 경향을 보이는 그래프 있다. Fig. 9는 부하와 온도변화에 따른 연료온도 변화 열발생율 그래프이다. 또한 연료온도 상승과 부하변화 따른 일정한 경향으로 열발생율이 상승하는 경향을 나타내고 있다. 이에 연료온도 40℃에서 열발생율이 최대가 되었다. 그 이유는 연소생성 조건이 양호하게 형성되어서 열발생율이 약간 증가되었다. 또한 연료온도가 상승하면서 연료소비율과 압력상승율이 점진적으로 증가하는 경향으로 나타났으며, 그것은 저부하시보다 고부하시에서 착화시기가 약 1℃A 앞당겨짐이 있는데, 이는 부하가 증가하면서 약간 빠른 것은 연소실 온도의 상승으로 인해 착화시기가 빠르므로 기화가 촉진되어 저부하시보다 고부하시에는 연소실 온도가 높게 생성하므로 실린더 내의 부하 온도에 따라 약간 증가되었다고 생각된다. 그리고 15~30℃에서 부하일 때 착화지연이 짧고, 부하 75%는 적절한 착화지연으로 많이 모아진 연료가 함께 연소되어 열발생량이 최대가 된 것으로 생각된다.

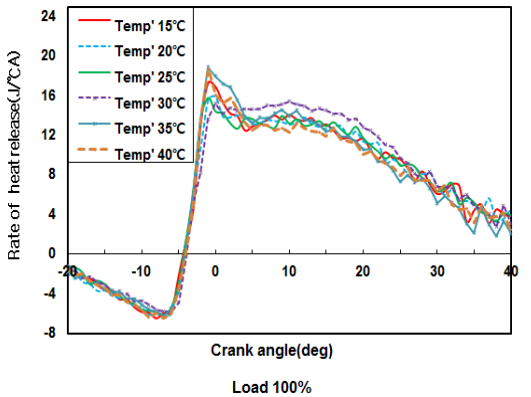

Fig. 8 Rate of heat release on various fuel temperature at 1,800 rpm

5. 결 론

에너지 부존자원을 거의 수입에 의존하기에 자원의 효율성과 에너지 효율이 중요한 과제이다.

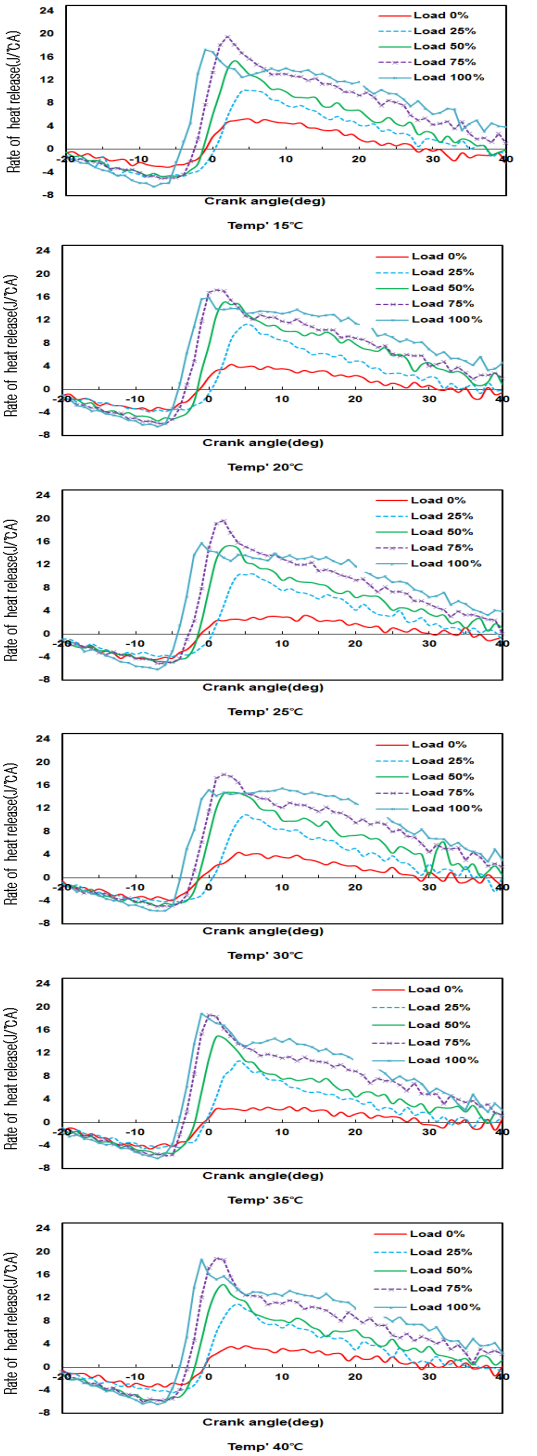

Fig. 9 Rate of heat release on various fuel temperature at 1,800 rpm and load

에너지 절약 및 이용효율 향상 기술은 화석연료의 사용 및 에너지 사용을 저감시키고, 기존 차량의 연비개선에 의한 배출가스를 저감하고 있다. 디젤연료온도 변화에 의한 기관성능과 연소특성에 미치는 영향을 종합적으로 분석·고찰한 결과, 그 주요한 내용은 다음과 같다.

1) 연료소비율 증가는 부하 50%의 경우에 최대 5.56% 증가하였으며, 부하 75%에서 최소로 증가하였다. 연료 온도변화에 따라서 증가하는 평균값은 온도 20℃에서 2.19%, 25℃에서 3.37%, 30℃에서 4.74%, 40℃에서 6.52% 증가하였다.

2) 압력은 부하변화 따른 일정한 경향으로 압력이 상승하는 경향을 나타내고 있다. 최고 압력상승은 연료온도 40℃에서 높았으며, 평균 증가율 0.61% 증가하였다.

3) 압력상승율은 부하변화 따른 일정한 경향으로 압력상율이 상승하는 경향을 나타내고 있다. 연료온도 40℃에서 압력상승율 최대가 되었다.

4) 디젤연료 온도변화에 열발생율이 약간 증가되었다. 저부하시보다 고부하시에는 착화시기가 약 1℃A 앞당겨지는데, 기화가 촉진되어 저부하시보다 고부하시에는 연소실 온도가 높게 생성됨으로 연료온도 증가에 의해서 약간 증가하였다.

후 기

이 논문은 2017학년도 군산대학교 신임교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Reference

1. K. S. Jung, 2014, "Improvement of combustion efficiency for marine auxiliary diesel engine", KSME, Vol. 38, No. 3, pp. 233-239.
2. J. K. Lim, S. G. Cho, H. H. Lee and H. S. In, 2013, "Effects of Fuel Injection Timing on performance in Old Marine Diesel Engine", KOSME, Vol. 19, No. 5, pp. 525-530.
3. V. Pradeep, and R. P, Shama, 2007, "Use of HOT EGR for NOx control in a compression ignition engine fuelled with bio-diesel from Jatropha oil", Renewable Energy, Vol. 32, pp. 1136-1154.
4. Y. H. Park, S. Y. Chung, Y. H. Son and W. K. Lee, 2010, "Investigation on Enhancing Efficiency in International Cooperation for climate Change Adaptation of Republic of Korea", Climate Change Research, Vol. 1, No. 2, pp. 179-188.
5. d. Y. Kim, I. E. Cho, S. W. Lee and S. I. Oh, 2007, "A study on spray and combustion characteristics affected by temperatures of Bio-Diesel fuel", KSAE07-S0082, pp. 533-538.
6. J. K. Lim and S. G. Cho, 2012, "Effects of Fuel Injection Timing on Exhaust Emissions Characteristics of Biodiesel Blend Oil in Diesel Engine", KOSME, Vol. 36, No. 5, pp. 603-608.
7. D. S. Baik and S. W. Lee, 2008, "A Study on Spray and Combustion Characteristics by Temperature of Biodiesel Fuel", Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 1, pp. 152-157.
8. J. K. Kim, G. Ainll, K. K. Song, J. Y. Jung and H. G. Kim, 2011, "An Experimental Study on Spray Characteristics of Diesel and Bio-diesel Fuel", KSME, Vol. 35, No. 1, pp. 53-59.
9. M. L. Lee, H. U. Kim, J. S. Lee, K. G. Cha, K. N. Choi and D. S. Jeong, 2003, "A Study on the Design of a Mixer at Industrial engine according to the Fuel change", KSAE03- S0024, pp. 143-150.