



# 디젤기관의 흡기공기 온도변화에 대한 연소특성 연구

## A Study on the Characteristics of Combustion by Temperature Changing of Suction Air in Diesel Engine

조상곤\*†  
 Sang-Gon Cho\*†

(Received 08 February 2019, Revision received 18 June 2019, Accepted 19 June 2019)

**Abstract:** As global warming has been accelerated recently, climate change is rapidly changing. This phenomenon is caused by abnormal climate change all over the earth. These causes have focused on industrialization, neglected environmental problems, finally caused warming. Accordingly, industrial power generation facilities, emergency generators, automobiles, ships and various machines are used, the author intends to investigate the effect of the ambient temperature in diesel engine. Therefore, the author has investigated the effects of suction air temperature changing. This study showed that specific fuel consumption and smoke has increased slightly, on the other hand cylinder pressure, ratio of pressure rise and ration of heat release were decreased in the case of changing suction air temperature. In addition, it was found the combustion temperature is not significantly different.

**Key Words :** Diesel engine, Suction air temperature, Brake specific fuel oil consumption, Cylinder pressure, Ratio of pressure rise

### 1. 서 론

디젤기관이 발전되어 산업시설 및 운송수단으로 이용되면서 산업화 및 현대화에 많은 영향을 주었다. 또 화물 및 개인차량으로 발전하여 우리 사회에서 없어서는 안 될 필수 조건이 되었다. 이러한 디젤기관의 장점은 가솔린기관에 비하여 열효율이 높고 큰 출력을 발생시킬 수 있으며, 저렴한 연료를 선택하여 대형 기관에서도 많이 사용 대기오염원으로 알려져 이제는 각종 규제대상으로 지목하고 있다. 이에 따라 세계적으로 배출가

스 규제는 점점 더 강화되었고, 앞으로도 더욱더 강화될 전망이다. 그래서 새로운 에너지원을 찾아 연구하고 있는데, 확실하게 대체에너지원으로 만들어 사용하기까지는 많은 시간이 걸릴 것으로 판단된다. 최근 이상기후로 인한 전 지구촌이 몸살을 앓고 있는데, 이는 지구의 온실가스 배출량이 많이 늘어나서 온난화가 진행되고 있다고 인식하고 있다. 이것은 세계 각국이 산업화 및 경제 발전에만 집중하였기 때문으로 인식하고 있지만, 기후변화적응에 관한 국제적인 협력 상황을 보면, 상호협력과 지원이 필요함에 불구하고 현실적으

\*† 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

로 원만하게 진행되지 않고 있는 것이 현실이다<sup>1)</sup>. 기후변화협약(UNFCCC)에 따른 대응정책을 각 국가가 안고 있는 시급한 공동의 문제보다는 경제발전이 제일 정책과제이며, 환경문제는 뒤쳐져 다루어지고 있다. 기후변화에 대한 환경정책이 각 국가에 이익을 가져다 줄 새로운 혁신기술로 인식이 필요하며, 이러한 정책 및 기술개발이 향후 환경산업과 융합적인 기술개발로 새로운 성장 동력으로 추진해야 된다고 생각된다.

이러한 영향으로 태양열<sup>2)</sup>에 대한 연구가 활발하고, 태양광<sup>3)</sup> 발전 연구에도, 풍력<sup>4)</sup>, 펠릿 바이오매스<sup>5,6)</sup>, 조력발전<sup>7)</sup>, 바이오연료<sup>8,9)</sup> 등이 연구개발되면서 고용창출에도 기여하였다. 이에 기관에 관하여 온도변화의 연구가 필요하여 Park 등은 연료 온도에 대하여 연구하였다<sup>10)</sup>. 또한 Lim 등은 디젤 기관 흡기습도 변화에 대한 배기배출물<sup>11)</sup>에 대하여 연구하였고, Kim 등은 흡기조성에 따른 연소 특성에<sup>12)</sup> 대하여 연구하였다. 이에 따라서 대기온도의 증가로 인한 기관에 미치는 영향을 대상으로 연구하는 것은 의의가 있다.

본 연구는 직접분사식 4행정 디젤기관에 흡기 공기온도를 변화시켜서 기관 연소특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

기관 연소실 압력은 압전식(Piezo-electric type) 변환기를 통해서 증폭기(Kistler-5011)로 증폭하였고, 연료소비율은 용적식 유량계를 사용하였다. 기관에 공급하는 흡입공기의 압력을 일정하게 유지하기 위하여(Surge tank)를 설치하였으며, 흡입공기의 온도를 일정하게 조절하기 위한 가열기장치를 설계 제작하였다. 가열기는 220 V 500 W 3대를 장착하여 온도센서를 통해서 일정한 흡기온도를 조절하도록 하였다. 정확한 흡기온도 유지하기 위하여 기관 흡기측 입구에 온도센서를 설치하여 계측하였다. 또한 매연은 보쉬형 광반사식을 사용하여 계측하였다. 본 디젤기관 실험장치 체원은 Table 1에 구성하였으며, 실험장치도는 Fig. 1에 구성하였다.

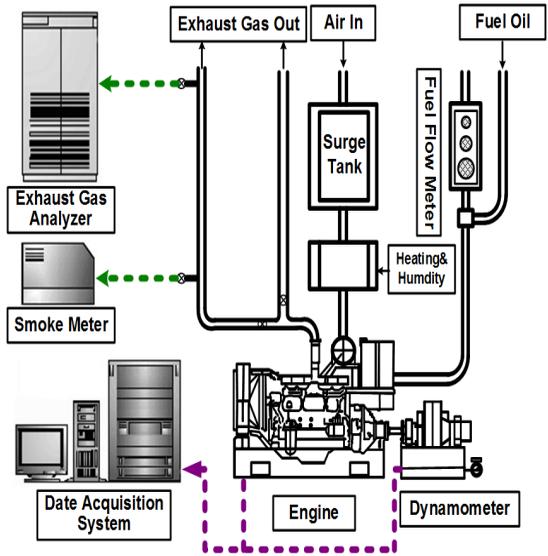


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of test engine

| Item                     | Specification                             |
|--------------------------|---|
| Cylinder number          | 4   |
| Cooling type             | Water-cooled                              |
| Cycle                    | 4   |
| Injection type           | Direct injection                          |
| Bore×Stroke (mm)         | 102 × 100                                 |
| Piston displacement (cc) | 3,268                                     |
| Max. output              | 43 PS / 1800 rpm<br>(31.63 kW / 1800 rpm) |
| Compression ratio        | 17 : 1                                    |
| Fuel injection timing    | BTDC 18°                                  |
| Fire order               | 1 - 3 - 4 - 2                             |

### 2.2 실험방법

기관실험 방법은 기관회전속도 1,400 rpm, 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로, 흡기온도를 20℃에서 온도변화를 50℃까지 10℃ 간격으로 실험하였다. 동일한 조건 하에서 기관회전수의 변동율은 ±0.5%, 기관부하의 변동율은 ±1.5% 이하였다. 그리고 3개의 파라미터 중 2개를 고정하고 하나만을 변화시키면서 실험하였다.

기관의 냉각장치는 수냉식 열교환장치로 청수 온도와 윤활유온도를 일정하게 유지하였고, 기관의 연소 상태를 파악하기 위하여 지압선도를 촬영하고, 각 부위(배기관 입출구, 냉각수 입출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 측정하였다. 부하시험을 위해서 동력계 표준중량(5 kg)추를 사용하여 압축·인장의 보정실험 하여 정확한 토오크 값을 확인한 후 출력을 측정하였다.

또 배출가스 분석기와 매연측정기를 “0” 점 조정하고, 표준가스(측정범위 80%인 보정용 가스)농도와 일치하도록 보정실험을 한 후에 각종 배기 가스 배출물을 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 연료소비율

Fig. 2는 기관회전수 1,400 rpm 및 1,800 rpm에서 흡기온도변화와 부하증가에 연료소비율을 나타낸 그래프이다.

연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이며, 흡기온도 증가에 따라 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가하는 경향이다. 기관회전수 1,400 rpm에서 흡기온도 변화에 따라서 20℃에서 50℃씩까지 일정한 비율로 증가하였는데, 부하 25%의 30℃에서 2.63%, 40℃에서 5.38%, 50℃에서 5.73%에서 증가하였으며, 평균증가율은 4.89%이다. 부하 50%의 30℃에서 0%, 40℃에서 2.54%, 50℃에서 2.90%에서 증가하였으며, 평균증가율은 1.82%이다. 부하 75%의 30℃에서 0%, 40℃에서 1.43%, 50℃에서 1.43%에서 증가하였으며, 평균증가율은 0.95%이다. 부하 100%의 30℃에서 1.23%, 40℃에서 2.50%, 50℃에서 2.50%에서 증가하였으며, 평균증가율은 2.08%이다. 기관회전수 1,800 rpm에서 흡기온도 변화에 따라서 20℃에서 50℃씩까지 일정한 비율로 증가하였는데, 부하 25%의 평균증가율은 0%이다. 부하 50%의 30℃에서 0%, 40℃에서 1.64%, 50℃에서 3.90%에서 증가하였으며, 평균증가율은 1.85%이다. 부하 75%의 30℃에서 1.82%, 40℃에서 3.70%, 50℃에서 5.66%에서 증가하였으며, 평균증

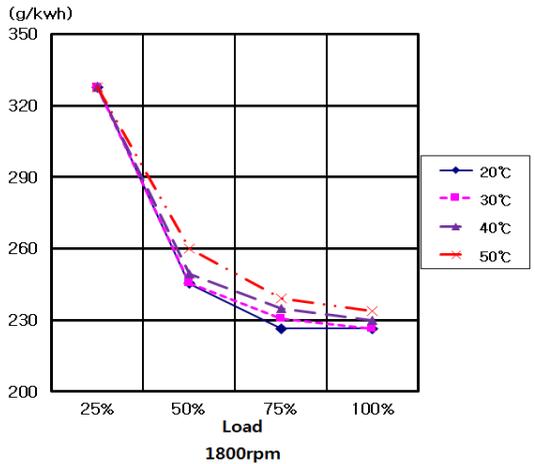
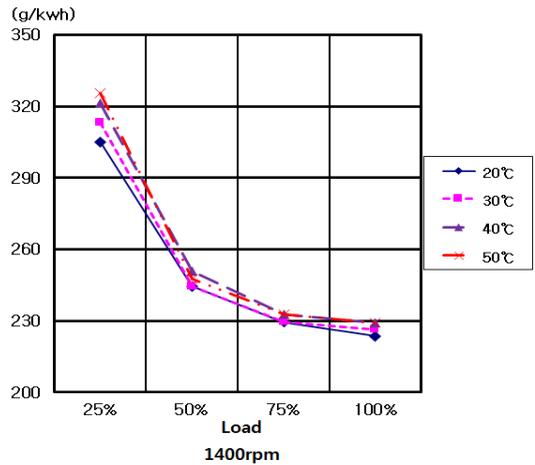


Fig. 2 Brake specific fuel consumption on various changing suction air temperature at 1,400 rpm, 1,800 rpm

가율은 3.72%이다. 부하 100%의 30℃에서 0%, 40℃에서 1.61%, 50℃에서 3.27%에서 증가하였으며, 평균증가율은 1.63%이다.

그 이유는 흡기온도 상승으로 인한 실린더내의 온도가 높아져서 분사된 연료의 연소상태는 활성화되어 촉진되었으나, 전체적인 흡입공기량의 저하로 인한 불완전연소가 증가되어서 더 크게 작용한 것으로 생각되며, 1,400 rpm보다 1,800 rpm에서는 높은 회전수에 의한 마찰마모 증가와 충전효율이 감소로 인하여 전체적인 연료소비율이 약간씩 증가한 것으로 사료된다.

### 3.2 압력(Pressure)

Fig. 3은 실린더 압력 그래프이며, 기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 압력은 약간씩 감소하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 -0.58%, 40℃ -1.73%, 50℃ 0.72%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -1.01% 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 -0.78%, 40℃ -1.67%, 50℃ -0.252%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -1.66% 감소하였다. 그 이유는 흡기온도가 높아짐에 따라 실린더 내로 새로운 공기의 충전효율이 낮아지기 때문으로 생각된다. 이에 따라 회전수가 증가하면서 실린더 압력은 약간 감소하였는데, 그 이유는 연소실에 공기량 감소와 마찰로 인한 감소 원인으로 생각된다.

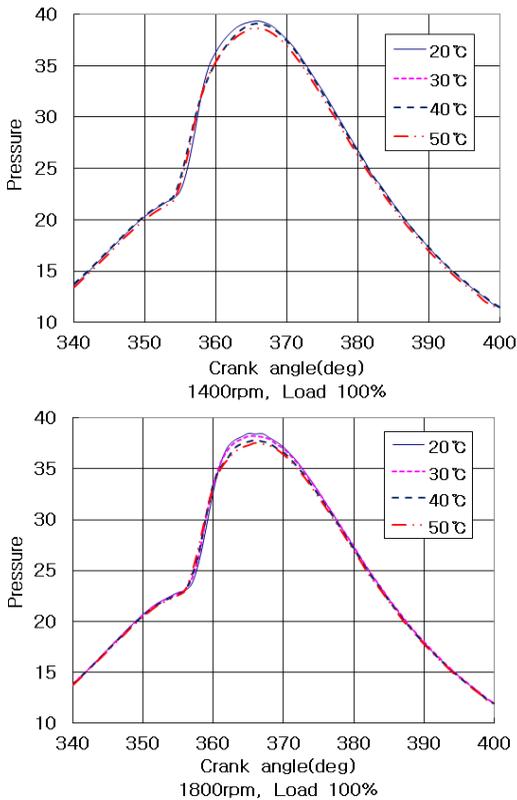


Fig. 3 Cylinder pressure on various suctionair temperature at 1,400 rpm, 1,800 rpm

### 3.3 압력상승율(Ratio of Pressure Rise)

Fig. 4는 압력상승율 그래프이며, 기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 압력상승율은 약간씩 감소하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 -4.13%, 40℃ -10.67%, 50℃ -14.39%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -9.73% 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 -5.66%, 40℃ -9.19%, 50℃ -19.18%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -11.35% 감소하였다.

그 이유는 실린더 압력의 감소와 비슷하며, 압력상승률은 그래프에서는 흡기온도 상승인한 연소실내의 온도가 상승하여 연료의 미립자에 의해서 기화가 촉진되어 점화시기가 빨라짐을 알 수 있었다. 또한 회전수가 1,800 rpm으로 증가했을

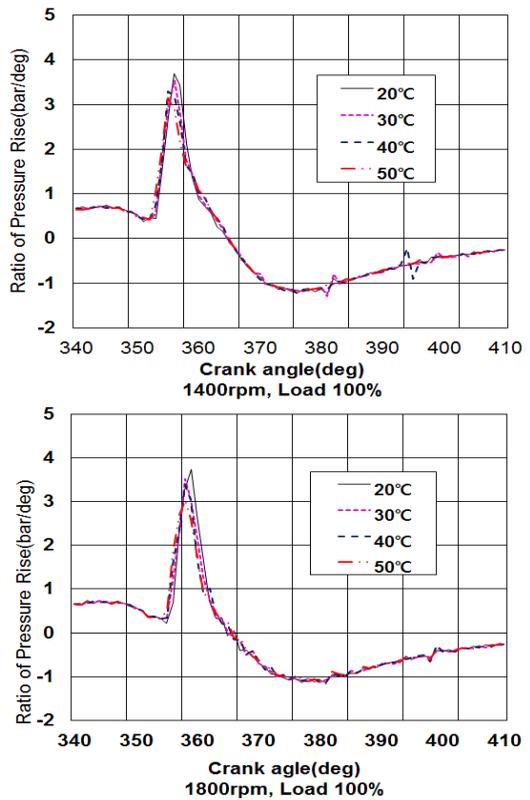


Fig. 4 Rate of pressure rise on various suction air temperature at 1,400 rpm, 1,800 rpm

경우는 압력상승율은 약간 밀려서 6~7°CA 정도 늦어짐을 Fig. 4에서 확인할 수 있었다.

### 3.4 열발생율(Ration of Heat Release)

Fig. 5는 열발생율 그래프이며, 기관회전수 1,400 rpm의 경우 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 열발생율은 약간씩 감소하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 -6.29%, 40℃ -10.70%, 50℃ -18.48%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -11.83% 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 -7.58%, 40℃ -10.78%, 50℃ -16.05%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -11.47% 감소하였다.

그 이유는 흡기온도가 높아짐에 따라 열발생율이 감소하는데 이것은 흡기온도가 증가로 인하여

공기의 비중량이 떨어져서 흡기공기량이 감소하기 때문으로 생각되며, 또한 부하가 증가하면서 열발생율은 감소율이 많아졌다. 기관회전수가 1,400 rpm 경우에 고부하에서 그 영향이 크게 발생하였다. 그 원인은 저속 고부하일수록 공기과잉율이 감소하는 경향이 많기 때문으로 생각된다.

### 3.5 연소온도(Combustion Temperature)

Fig. 6은 기관회전수 1,400 rpm 및 1,800 rpm에서 흡기온도변화와 부하 100%의 연소온도를 나타낸 그래프이다.

기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 압력은 약간씩 감소하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 -0.11%, 40℃ -0.07%, 50℃ -1.02%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -0.40% 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm의

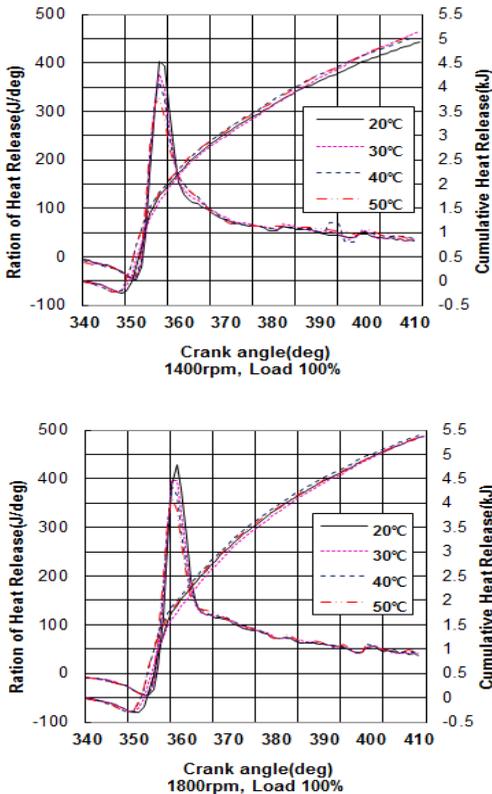


Fig. 5 Comparison of ROHR and CHR on various suction air temperature at 1,400 rpm, 1,800 rpm

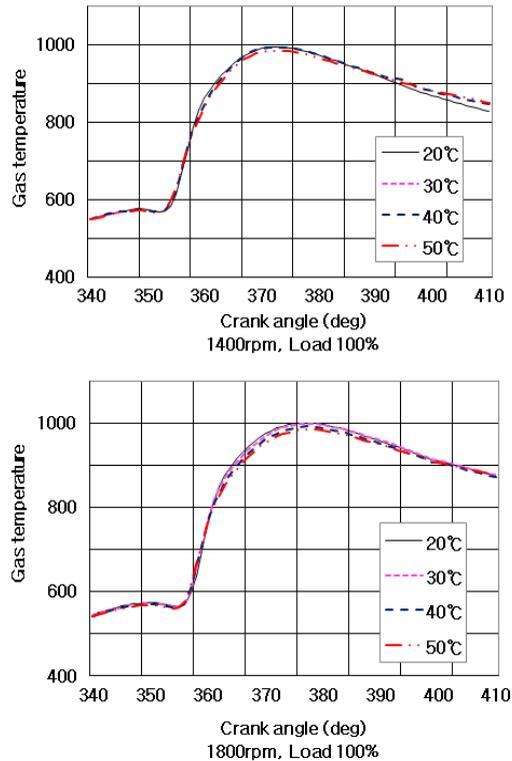


Fig. 6 Exhaust gas temperature on various suction air temperature at 1,400 rpm, 1,800 rpm

30℃에서 -0.07%, 40℃ -0.83%, 50℃ -1.45%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -0.78% 감소하였다.

그 이유는 연소실에 공급되는 흡기온도에 의해서 흡입공기량이 감소하여 전체적인 연소온도가 낮아지는 경향을 알 수 있었다. 회전수에는 큰 영향이 없지만 연소온도가 회전수 증가로 인한 발생 온도가 2~3℃ 정도 늦게 이루어져 발생하였다.

### 3.6 매연(Smoke)

Fig. 7은 기관회전수 1,400 rpm 및 1,800 rpm에서 흡기온도변화와 부하 100%의 매연을 나타낸 그래프이다. 기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 압력은 약간씩 증가하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 1.08%, 40℃ 3.13%, 50℃ 2.98%가 증가하였으며,

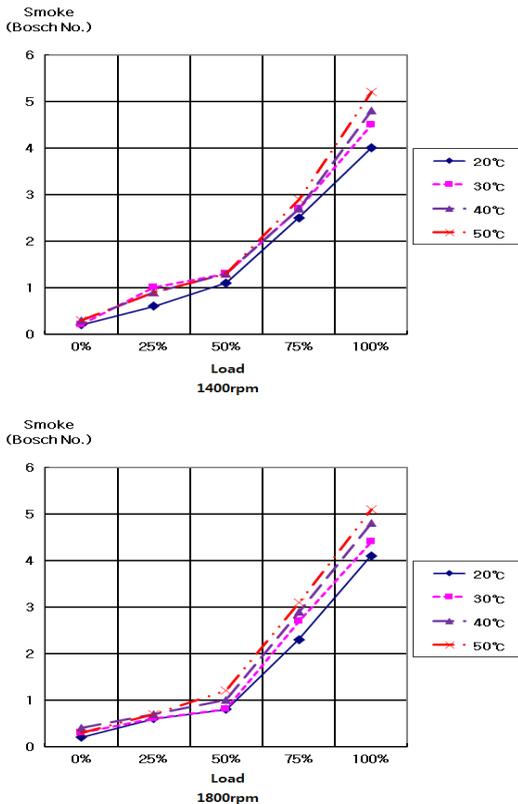


Fig. 7 Smoke emission characteristics on various suction air temperature at 1,400 rpm, 1,800 rpm

평균 증가율은 2.40% 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 0.40%, 40℃ 1.57%, 50℃ 3.40%가 증가하였으며, 평균 증가율은 1.34% 증가하였다. 매연이 발생하는 농도는 모든 영역에서 부하가 증가할수록 증가하였는데, 그것은 부하가 증가하면서 그만큼의 연료의 소모량이 증가하여 발생하였기 때문이며, 또한 연소과정에서 연료량에 비례하여 불완전연소의 생성물이 증가하여 발생하였다고 생각된다.

## 4. 결 론

최근 기후변화에 의한 온도가 급상승하고 있어서 이에 대한 디젤기관의 흡기공기 온도가 변화하면 어떤 영향이 있는지 연구하였으며, 연구한 결과는 다음과 같다.

1) 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이며, 흡기온도 증가에 따라 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가하는 경향이다. 기관회전수 1,400 rpm에서 흡기온도 변화에 따라서 20℃에서 50℃씩까지 일정한 비율로 증가하였는데, 부하 25%에서 평균증가율은 4.89%이다. 기관회전수 1,800 rpm에서 흡기온도 변화에 따라서 20℃에서 50℃씩까지 일정한 비율로 증가하였는데, 부하 75%에서 평균증가율은 3.72%이다.

2) 실린더 압력은 기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 압력은 약간씩 감소하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 -0.58%, 40℃ -1.73%, 50℃ -0.72%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -1.01% 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 -0.78%, 40℃ -1.67%, 50℃ -0.25%가 감소하였으며, 평균 감소율은 -1.66% 감소하였다.

3) 압력상승율은 기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 압력상승율은 약간씩 감소하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 -4.13%, 40℃ -10.67%, 50℃ -14.39%가 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 -5.66%, 40℃ -9.19%, 50℃ -19.18%가 감소하였다.

4) 열발생율은 기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 열발생율은 약간씩 감소하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 -6.29%, 40℃ -10.70%, 50℃ -18.48%가 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 -7.58%, 40℃ -10.78%, 50℃ -16.05%가 감소하였다.

5) 매연은 부하가 증가함에 따라 일정하게 증가하였으며, 기관회전수 1,400 rpm의 경우는 1,800 rpm 부하보다 약간 증가를 하였으며, 그리고 흡기공기 온도가 증가함에 따른 매연은 약간씩 증가하였다. 기관회전수 1,400 rpm의 30℃에서 1.08%, 40℃ 3.13%, 50℃ 2.98%가 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm의 30℃에서 0.40%, 40℃ 1.57%, 50℃ 3.40%가 증가하였다.

## References

1. Y. H. Park, C. S. 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.
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. S. S. Jung, 2014, "A Study on the Benefit-Cost Analysis of Photovoltaic System in the Greenhome", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 18, No. 3, pp. 112-117.
4. S. G. Park, Y. I. Shin, D. M. Kim and C. K. Song, 2017, "A Study on Mass Reductiion of Planetary Gear in Pitch Drive of Medium-sized Wind Turbine", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 21, No. 1, pp. 5-10. (DOI:10.9726/kspse.2019.21.1.005)
5. J. H. Bae, J. Y. Jung and M. J. Kim, 2015, "Economic Feasibility and Impact Analysis on Energy Transformation Project of Macro-Algae Biomass", *New&Renewable Energy*, Vol 11, No. 2, pp. 29-36.
6. H. M. Park, C. S. Mock, C. K. Ryu and S. C. Choi, 2019, "Combstion Characteristics of Single Biomass Pellets in a Hot Gas Flow", *Journal of the Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 23, No. 2, pp. 91-104. (DOI:10.9726/kspse.2019.23.2.091)
7. B. 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.
8. 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.
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.
10. 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.
11. J. K. Lim and D. H. Kim, 2000, "Effects of Effects of Suction Air Humidity on the Combustion and Exhaust Emissions Characteristics in Diesel Engine", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 24, No. 4, pp. 421-426.
12. S. W. Kim and J. M. Kim, 1994, "A Study on the Combustion Characteristics of Diesel Engine by the Change of the Intake Air Composition", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 18, No. 2, pp. 215-220.