

## 선박 디젤기관의 배기배출물 특성이 흡기 온도변화에 미치는 영향

조상곤<sup>\*†</sup>

\* 군산대학교

## Effect of Changing the Intake Air Temperature in a Marine Diesel Engine on the Characteristics of Exhaust Gas Emission

Sang-Gon Cho<sup>\*\*†</sup>

\* Kunsan National University, Gunsan, 54150, Korea

**요약** : 최근 지구의 기후변화는 온실가스가 원인으로 전 세계적 대기환경문제로 크게 부각되고 있다. 국내에서도 기후변화에 적극 대응하기 위한 기술개발이 꾸준히 진행되고 있다. 날씨의 이상고온으로 인한 환경에 미치는 영향과 갑작스런 집중호우가 환경에 미치는 영향을 대상으로 하였다. 우리생활 주변 대기온도가 상승하였을 때 온도변화에 의한 대기오염발생에 미치는 영향을 연구하고자 한다. 본 연구의 실험조건은 선박 디젤기관에서 회전수 1400 rpm, 1600 rpm 그리고 1800 rpm, 부하는 0%에서 25%씩 100%까지 하였고, 흡기 온도변화는 20℃에서 50℃까지 구분하여 연구하였다. 연구한 결과 흡기온도가 증가함에 따라 일산화탄소 및 탄화수소는 약간 감소하였으나 연료소비율, 질소산화물, PM은 약간 증가하였다. 또한 연소온도는 큰 변화가 없었다.

**핵심용어** : 선박 디젤기관, 연료소비율, 일산화탄소, 질소산화물, 흡기온도

**Abstract** : Recently, global climate change caused by greenhouse gases has emerged as a significant air-environmental problem. Technical innovation in response to this phenomenon is ongoing, with an emphasis on the environmental impacts of unusually high temperatures and unexpected heavy rainfall. In this study, we investigated the effects of temperature change on air pollution for a concomitant rapid temperature increase. The test conditions include loading from 0% to 100% at 1400 rpm, 1600 rpm, and 1800 rpm for a change in the intake air temperature of a marine diesel engine from 20 °C to 50 °C. The experimental results revealed that CO and HC decreased slightly, whereas the brake specific fuel consumption, NOx, and PM increased slightly when the intake air temperature changed. In addition, it was determined that the combustion temperature did not change significantly.

**Key Words** : Marine diesel engine, Brake specific fuel oil consumption, CO, NOx, Intake air temperature

## 1. 서론

지구의 온난화현상으로 전 세계적으로 기후변화에 대한 관심은 날로 증가되고 있다. 현재 지구촌 곳곳이 이상기후로 인한 급격한 날씨변화가 우리생활 주위에서 가뭄, 홍수, 및 폭설 등이 자주 발생하고 있기 때문이다. 지구의 온실가스는 기후변화의 주요 원인 중 하나로 생각하고 있으며, 그 주요한 원인 중에 하나는 대기오염으로 인식하고 있다. 하지만 경제발전을 최우선으로 하고 있는 각국의 정책으로 온실가스에 대한 규제는 강력하게 추진하지 못하고 있는 현실이다. 따라서 국제적인 기후변화에 대응하여 긴밀한 협의가

필요하고, 규제 및 기술개발위한 각국의 공동 노력이 필요하다. 이러한 국제 협의체(ICPP, 2018)가 신속하고 빠르게 대응하기 위해서는 선진국과 개발도상국이 지구 환경문제를 최우선으로 협력하여 강화해야한다. 최근 지구의 기후변화가 급격하게 변화됨으로 인한 이상기온이 갑작스럽게 발생하여 평균 날씨 온도보다 상승한 이상고온으로 우리 일상생활에 어려움이 발생되었고, 또한 집중호우로 인한 홍수가 빈번하게 일어나고 있다. 이에 날씨변화에 대한 지속적인 연구가 필요하게 되었고, 본 연구자는 산업용 발전설비, 비상용 발전설비, 자동차 및 선박기관에 필요한 연구대상으로 고려하였다. 우리 일상생활에 기온이 1℃만 증가하여도 불편함이 발생하고 있는데 이러한 온도변화가 기관에 미치는 영향을 연구하고자 한다. 친환경 에너지로 최근 각광을 받

† haerimho@kunsan.ac.kr, 063-469-1845

## 선박 디젤기관의 배기배출물 특성이 흡기 온도변화에 미치는 영향

고 있는 태양광(Park et al., 2013)과 풍력발전(Yang et al., 2006)이 정부 정책으로 추진되고 있으며, 다양한 에너지 수급을 위한 바이오매스(Moon et al., 2012)와 조력발전(Cho et al., 2014)이 대체 에너지로 연구되고 있다. 미국과 유럽에서 활성화되어 있는 바이오연료(Park et al., 2012) 등이 다양하게 연구 개발되고 있다. 또한 전세계적으로 배출가스 규제에 맞춰 배기가스 후처리장치(Ryu and Park, 2018)도 연구되고 있다. 이러한 연구는 다양한 환경문제에 대한 해결방안을 제시하여 온실가스 저감 기술개발에 기여하고 있다. 이에 선박용 기관 및 산업용 기관에서도 흡기온도변화 대한 연구 필요성이 있어서 흡기조성 변화(Kim and Lim, 1994)로 기관의 연소특성 영향에 대하여 연구하였고, 디젤기관에서 흡기 습도 변화에 대하여 연구하였다(Lim and Kim, 2000). 또한 연료 온도변화(Cho, 2018)와 기관 연료온도(Park et al., 2003)에 대하여 연구하였다.

하여 기존에 생산되어 사용되는 기관이 기후변화에 의해서 발생하는 배출가스를 실증 계측하고, 가장 적합한 흡기 온도를 공급하여 대기오염 저감 방법에 기초자료로 활용하고자 한다.

본 연구는 현재 사용되는 기관을 대상으로 하였으며, 직접분사식 4행정 선박 디젤기관에 흡입공기 온도를 변화시켜서 배기배출물 특성에 미치는 영향을 분석·고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험장치 구성은 기관에 공급하는 흡입공기의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 가열기를 설치하였으며, 흡기의 흐름을 균일하게 공급하도록 Surge tank를 설치하였다. 연소실 압력은 압전식(Piezo-electric type) 변환기를 통해서 증폭기(Kistler-5011)로 증폭하였고, 동력측정기(HE-130)와 연료소비율은 용적식 유량계(HW-530)를 사용하였다. 또한 배기배출가스는 분석기(Signal emirak rag4873)와 PM(Bosch ETD 020, PM10)은 광분사식을 사용하였다. 본 디젤기관(DB-33) 실험장치는 Fig. 1에 구성하였으며, 실험장치 제원 및 실험연료는 Table 1, 2에 구성하였다.

### 2.2 실험방법

본 실험방법은 기관회전속도 1,400 rpm, 1,600 rpm, 1,800 rpm의 경우에 대하여 기관부하를 0%에서 100%까지 25% 간격으로, 흡기온도를 20℃에서 온도변화를 50℃까지 10℃ 간격으로 실험하였다. 동일한 조건하에서 기관회전수의 변동율은  $\pm 0.5\%$ , 기관부하의 변동율은  $\pm 1.5\%$  이하였다. 기관의 냉

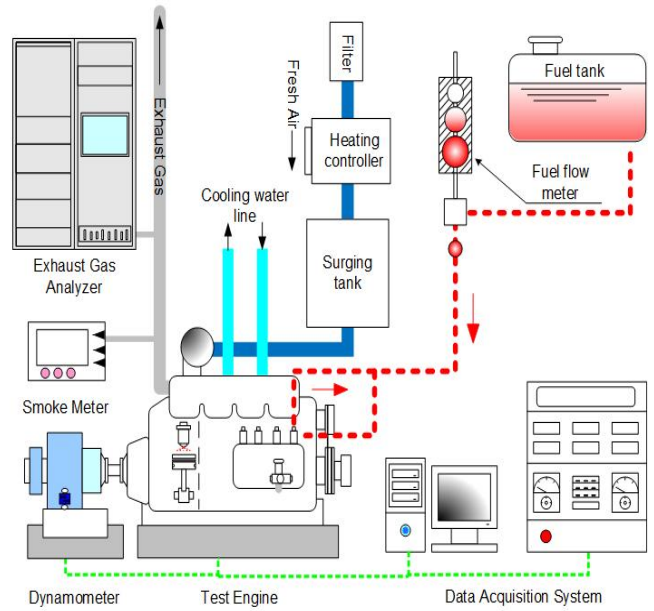


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

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 ( 31.63 kW / 1800 rpm )
Compression ratio	17 : 1
Fuel injection timing	BTDC 18°
Fire order	1 - 3 - 4 - 2

각장치는 수냉식 열교환장치로 청수온도와 윤활유온도를 일정하게 유지하였고, 기관의 연소상태를 파악하기 위하여 지압선도를 활취하고, 각 부위(배기관 입출구, 냉각수 입출구, 윤활유, 흡입공기)의 온도를 계측하였다. 부하시험을 위해서 동력계 표준중량(5 kg) 추를 사용하여 압축·인장의 보정 실험 하여 정확한 토오크 값을 확인한 후 출력을 측정하였다. 또 배출가스 분석기와 PM측정기를 “0”점 조정하고, 표준가스(측정범위 80%인 보정용 가스)농도와 일치하도록 보정 실험을 한 후에 각종 배기가스 배출물을 측정하였다. 연료

소비량 계측은 용적식이고, Fig. 1에 연료 재순환 시스템으로 구성되어 실험하였다.

Table 2. Properties of test fuels

Item	Korea Petroleum Quality	
	Test fuels	
	Diesel fuel	
Specific gravity (15/4°C)	0.8342	
Kinematic viscosity (cSt@40°C)	2.67	
Flash point (°C)	75°C	
Sulfur (%)	0.04	
Water (%)	0	
Lower heating value (MJ/kg)	42.8	
Carbon (wt.%)	85.83	
Hydrogen (wt.%)	13.82	
Nitrogen (wt.%)	0.16	
Oxygen (wt.%)	0	

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 연료소비율

Fig. 2는 기관회전수 1,400 rpm, 1,600 rpm, 1,800 rpm에서 흡기온도변화와 부하증가에 대한 연료소비율을 나타낸 그래프이다. 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이며, 부하 75%, 100%에서는 기관출력당 크게 감소하는 경향이었다. 그리고 흡기온도 증가에 따라 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가하는 경향이다. 기관회전수 1,400 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 25%의 평균증가율은 4.89%이며, 부하 50%의 평균증가율은 1.82%, 부하 75%의 평균증가율은 0.95%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 2.08%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 25%의 평균증가율은 1.01%이며, 부하 50%의 평균증가율은 1.77%, 부하 75%의 평균증가율은 3.30%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 1.89%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 25%의 평균증가율은 0%이며, 부하 50%의 평균증가율은 1.85%, 부하 75%의 평균증가율은 3.73%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 1.63%로 증가하였다.

기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 2.43%, 1,600 rpm에서 1.99%, 1,800 rpm에서 1.80%로 증가하였다. 그 이유는 흡기온도 상승으로 혼합비가 연료의 미립화에 활용되어 연소가

촉진되는 요인보다는 흡기온도 상승으로 인한 흡기공기량 전체가 감소되어 불완전연소가 증가하는 원인으로 크게 작용되었다. 그러므로 전체적인 연료소비율이 약간씩 증가한 것으로 사료된다.

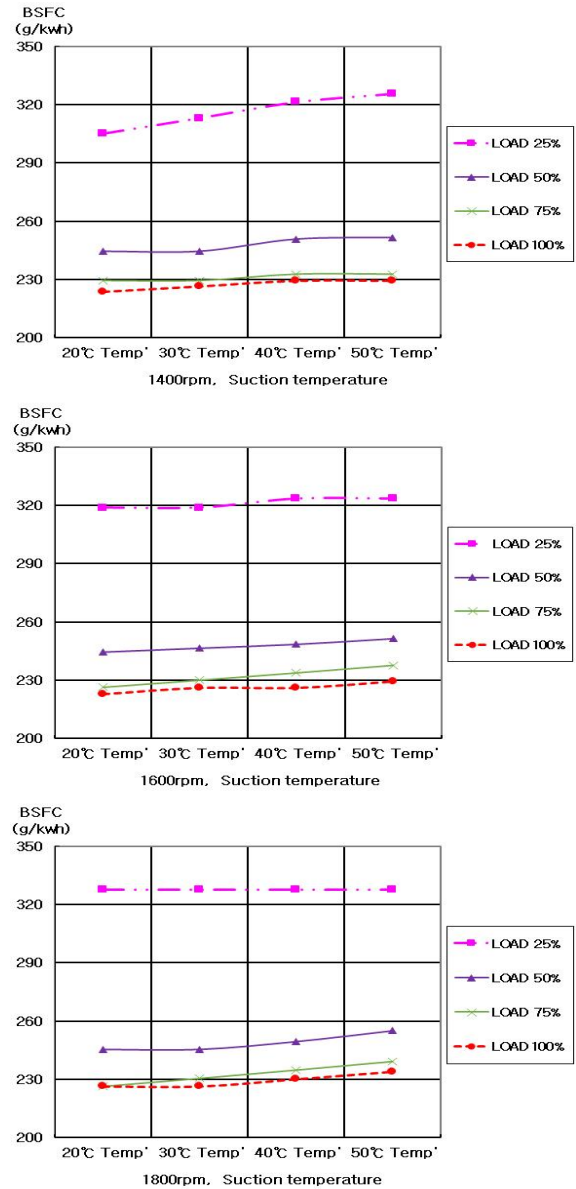


Fig. 2. Brake specific fuel consumption on various intake air temperature change at RPM.

#### 3.2 질소산화물(NOx)

Fig. 3은 NOx 배기배출물 그래프이며, 기관회전수 1,400 rpm, 1,600 rpm, 1,800 rpm에서 부하증가에 따라 일정하게 증가하였으며, 또한 흡기온도가 증가함에 따라서 일정하게 증가하였다. 부하 100%에서 최대 증가하는 경향을 알 수 있었다.

## 선박 디젤기관의 배기배출물 특성이 흡기 온도변화에 미치는 영향

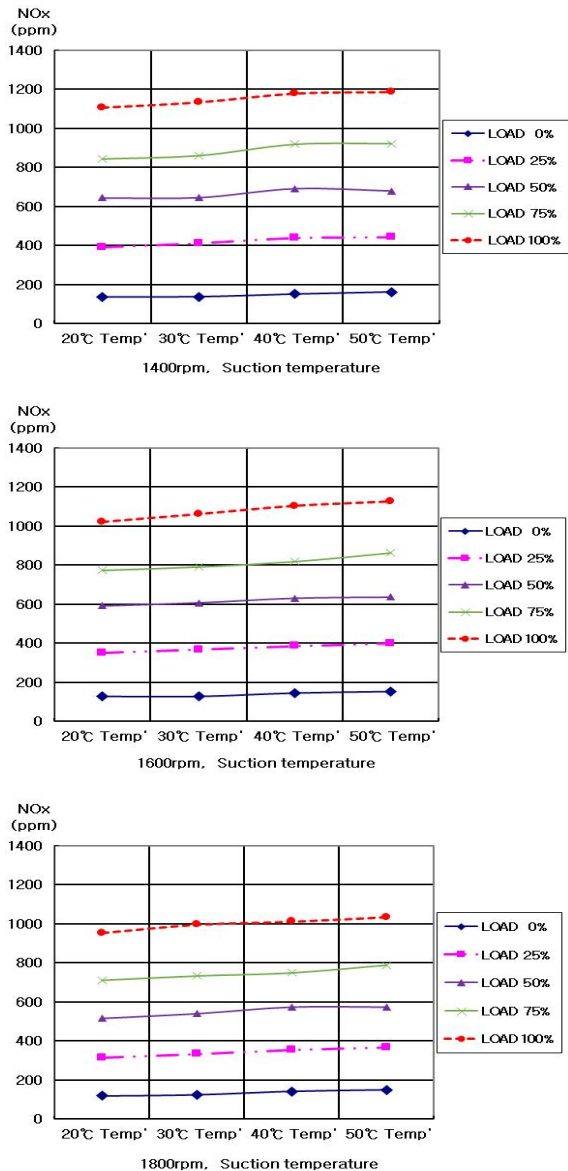


Fig. 3. NOx emission characteristics of various intake air temperature change at RPM.

기관회전수 1,400 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 0% 평균증가율은 10.54%이며, 부하 25%의 평균증가율은 10.80%이며, 부하 50%의 평균증가율은 4.38%, 부하 75%의 평균증가율은 6.79%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 5.30%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 0% 평균증가율은 11.02%이며, 부하 25%의 평균증가율은 10.21%이며, 부하 50%의 평균증가율은 5.77%, 부하 75%의 평균증가율은 6.54%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 7.50%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하

0% 평균증가율은 17.22%이며, 부하 25%의 평균증가율은 11.09%이며, 부하 50%의 평균증가율은 9.03%, 부하 75%의 평균증가율은 6.49%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 6.35%로 증가하였다.

기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 7.56%, 1,600 rpm에서 8.21%, 1,800 rpm에서 10.04%로 증가하였다.

저부하에서 NOx 증가율이 약간 증가하였으며, 고부하에서도 증가율이 비슷한 경향을 낮게 나타냈었다. 흡기온도가 증가하면서 부하에 따른 경향도 비슷하였다. 또한 흡기온도 20°C에서 10°C씩 상승시켜 50°C까지 경향은 일정하게 약간씩 증가하는 경향이 보였다. NOx 배기배출물 특성은 연료와 흡입공기가 고온 반응하여 생성하는데, 고부하에서 연료를 더 분사되기 때문에 부하가 증가할수록 실린더 내 연소실 온도가 증가하여서 배기배출물이 증가 되었으며, 회전수가 증가하였을 때는 흡입공기량이 더 많이 공급되어 연소효율이 촉진하여 연소실 온도가 감소하였고, 이와 같은 연구와도 일치하였다(Jang et al., 2002).

### 3.3 일산화탄소(CO)

Fig. 4는 CO 배기배출물 그래프이며, 기관회전수 1,400 rpm, 1,600 rpm, 1,800 rpm에서 0%에서 75%까지 부하증가에 따라 일정하게 많이 감소하였으며, 부하 100%에서는 증가하였다. 흡기온도가 10°C 증가함에 따른 경향도 감소하다가 전부하에서는 증가하는 경향을 알 수 있었다. 또한 부하 100%에서 크게 증가하는 경향을 알 수 있었다.

기관회전수 1,400 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 0% 평균감소율은 -29.37%이며, 부하 25%의 평균감소율은 -23.92%이며, 부하 50%의 평균감소율은 -20.41%, 부하 75%의 평균감소율은 -8.86%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 26.34%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 0% 평균감소율은 -25.44%이며, 부하 25%의 평균감소율은 -28.01%이며, 부하 50%의 평균감소율은 -21.31%, 부하 75%의 평균감소율은 -6.72%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 18.70%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C까지 부하 0% 평균감소율은 -23.78%이며, 부하 25%의 평균감소율은 -28.23%이며, 부하 50%의 평균감소율은 -23.38%, 부하 75%의 평균감소율은 -6.96%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 33.04%로 증가하였다. 기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 -11.24%, 1,600 rpm에서 -12.55%, 1,800 rpm에서 -3.42%로 감소하였다.

일산화탄소는 연소되어야 할 연료가 불완전연소로 인하여 발생하는데, 배출가스 특성이 무부하 저온에서 가장 많이 배출되면서 부하 75% 경우에는 최대로 감소하고 부하

100%에서는 연료농도가 많아져서 다시 증가하는 경향을 가지고 있다. 본 실험에서도 비슷한 경향이 Fig. 4에서 보여주고 있으며, 흡기온도 증가로 인한 일산화탄소 배출가스는 점점 감소하였고, 부하 100%에서는 점점 증가하는 경향을 나타내었다. 전부하영역에서 일산화탄소 배출물특성으로 흡기온도 증가로 인한 흡기공기 산소량이 부족함과 연료소비율이 증가로 인한 불완전연소가 많이 발생하였다. 그러므로 일산화탄소 최소 배출경향은 75% 부하이고, 저부하와 전부하 상태에서 많이 배출된다는 다른 연구결과(Jang et al., 2002)와 같다고 사료된다.

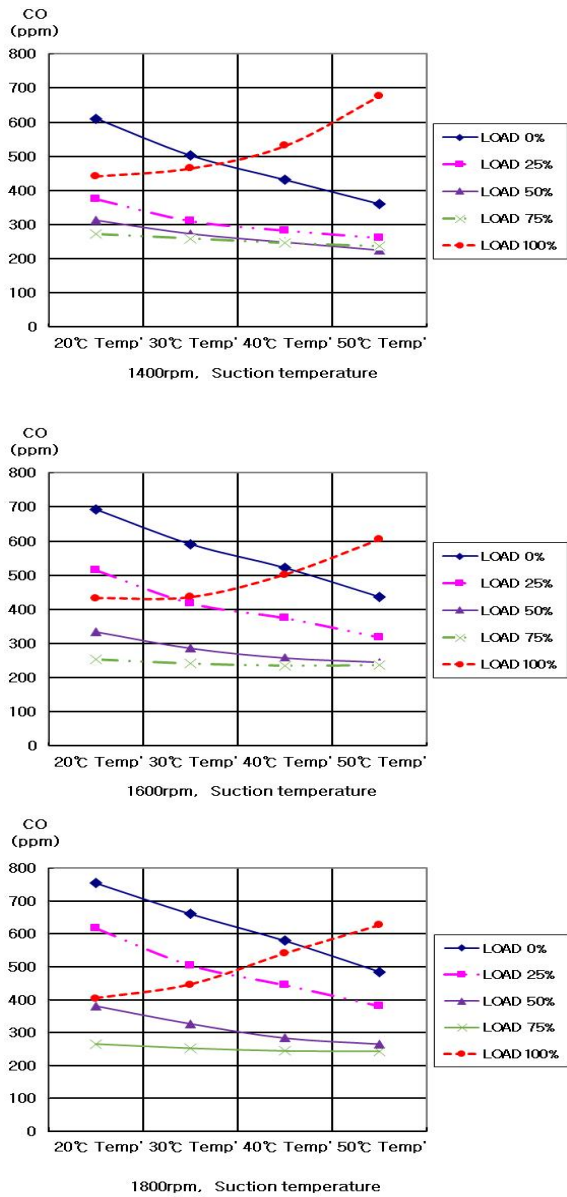


Fig. 4. CO emission characteristics of various intake air temperature change at RPM.

### 3.4 탄화수소(HC)

Fig. 5는 탄화수소 배기배출물 그래프이며, 기관회전수 1,400 rpm, 1,600 rpm, 1,800 rpm에서 흡기온도 증가함에 따른 감소하는 경향을 알 수 있었다.

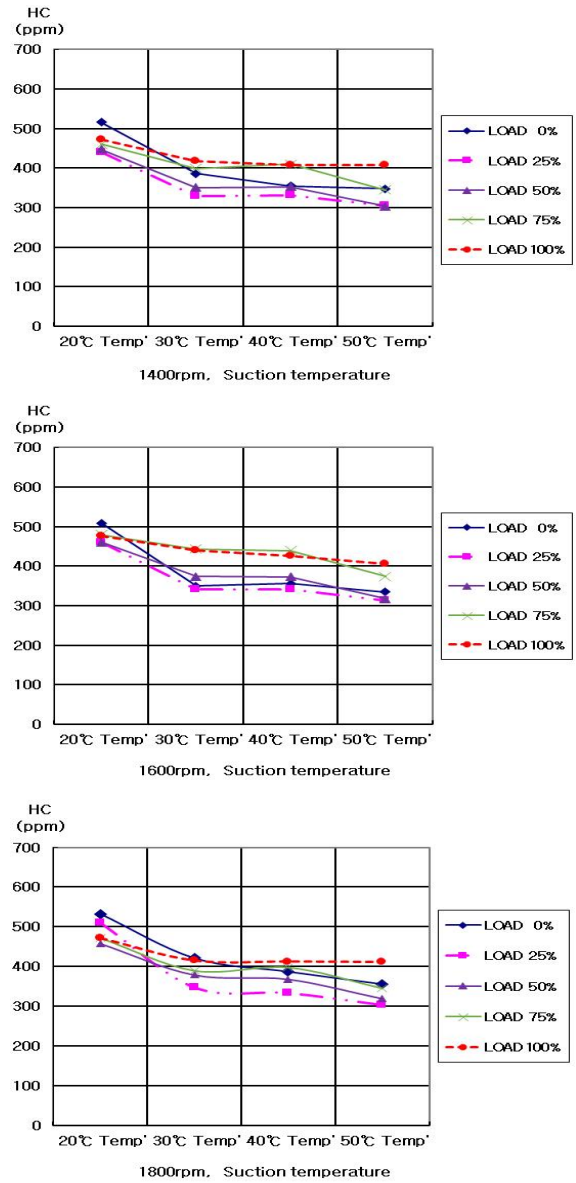


Fig. 5. HC emission characteristics on various intake air temperature change at RPM.

기관회전수 1,400 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C씩까지 부하 0% 평균감소율은 -31.87%이며, 부하 25%의 평균감소율은 -27.96%이며, 부하 50%의 평균감소율은 -22.92%, 부하 75%의 평균감소율은 -12.77%이다. 하지만 부하 100%의 평균감소율은 -11.14%로 감소하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 흡기온도 20°C에서 50°C씩까지 부하 0% 평균감소율은

## 선박 디젤기관의 배기배출물 특성이 흡기 온도변화에 미치는 영향

-29.74%이며, 부하 25%의 평균감소율은 -26.86%이며, 부하 50%의 평균감소율은 -24.98%, 부하 75%의 평균감소율은 -16.59%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 -12.85%로 감소하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 흡기온도 20℃에서 50℃씩까지 부하 0% 평균감소율은 -27.14%이며, 부하 25%의 평균감소율은 -35.55%이며, 부하 50%의 평균감소율은 -22.40%, 부하 75%의 평균감소율은 -19.98%이다. 하지만 부하 100%의 평균감소율은 -12.65%로 감소하였다.

기관회전수의 평균은 1,400 pm에서 -21.33%, 1,600 rpm에서 -22.20%, 1,800 rpm에서 -23.55%로 감소하였다.

탄화수소 배출물은 불량분사 및 불량연소로 연료가 완전연소되지 않는 배출가스로 증가되는데 이것은 압축과 연소에 따라서 실린더 내 연소과정에서 연소되지 못하고 남은 미연공기가 배출된다. 흡기온도 증가에 의한 영향이 많이 미쳐서 연소실 연소상태를 양호하게 형성하였으며, 이것은 완전연소가 활성화되어서 미연탄화수소 배출가스가 감소함을 알 수 있었다.

### 3.5 입자상 물질 (PM)

Fig. 6은 PM 배기배출물 그래프이며, 기관회전수 1,400 rpm, 1,600 rpm, 1,800 rpm에서 부하증가에 따라 일정하게 증가하였으며, 부하 75%, 100%에서는 크게 증가하였으며, 흡기온도가 증가함에 PM 배출물이 증가하는 경향을 알 수 있었다.

기관회전수 1,400 rpm에서 흡기온도 20℃에서 50℃씩까지 부하 0% 평균증가율은 33.33%이며, 부하 25%의 평균증가율은 55.55%이며, 부하 50%의 평균증가율은 18.18%, 부하 75%의 평균증가율은 10.67%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 21.00%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 흡기온도 20℃에서 50℃씩까지 부하 0% 평균증가율은 16.67%이며, 부하 25%의 평균증가율은 33.33%이며, 부하 50%의 평균증가율은 20.83%, 부하 75%의 평균증가율은 27.27%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 11.90%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 흡기온도 20℃에서 50℃씩까지 부하 0% 평균증가율은 66.67%이며, 부하 25%의 평균증가율은 11.11%이며, 부하 50%의 평균증가율은 25.00%, 부하 75%의 평균증가율은 24.64%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 16.26%로 증가하였다. 기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 27.75%, 1,600 rpm에서 22.00%, 1,800 rpm에서 28.74%로 증가하였다.

그 이유는 고부하 영역에서 많이 분사된 연료가 연소하면서 생성되었는데, 이러한 연소과정에서 연료량에 비례하여 불완전연소 생성물이 많이 발생되어 증가 되었다고 생각된다. 또한 PM 배출물이 대부분은 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 이것은 NOx와 PM trade-off 상관관계에서 NOx는 연소실 고온에 의한 생성과정에 발생하는데 연소실 연소시기와 기간에 의해서 많이 좌우되기 때문에 연소실 온도를 낮게

하기 위한 연구로 수분첨가나 EGR 그리고 SCR 촉매가 사용된다. PM은 불완전연소에서 기인하기 때문에 흡입공기량이 부족으로 발생하였다. 이러한 운전조건에 의해서 무더운 날씨에 미미하게 배기가스 저감하는 최적의 시스템이 필요하다고 생각된다.

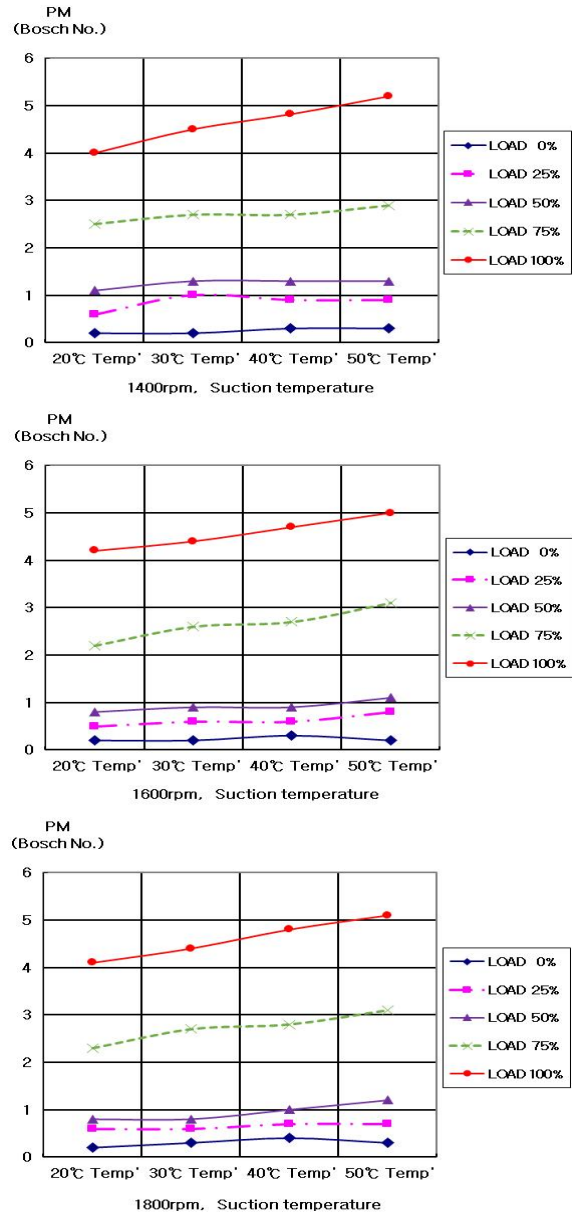


Fig. 6. PM emission characteristics on various intake air temperature change at RPM.

## 4. 결 론

본 실험은 현재 사용하는 선박 디젤기관 4행정 4기통에 흡기온도 20℃ 기준으로 증가시킨 기초연구자료이다. 최근

기후변화에 인한 대기온도 증가를 기준으로 디젤기관의 흡기온도변화에 대한 어떤 영향이 있는지 연구하였다. 선박기관, 자동차 및 일반 산업용 발전설비에서 운용되는 흡기온도를 적절한 조정이 필요하며 기초연구자료가 되리라 생각된다. 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 연료소비율은 부하가 증가하면서 전체적으로 일정하게 감소하는 경향이며, 부하 75%, 100%에서 기관출력당 크게 감소하는 경향이다. 그리고 흡기온도 증가에 따라 연료소비율은 일정하게 약간씩 증가하였다. 기관회전수 1,400 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 2.08%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 1.89%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 1.63%로 증가하였다. 기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 2.43%, 1,600 rpm에서 1.99%, 1,800 rpm에서 1.80%로 증가하였다.

2. 질소산화물은 기관회전수 1,400 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 5.30%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 7.50%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 6.35%로 증가하였다. 기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 7.56%, 1,600 rpm에서 8.21%, 1,800 rpm에서 10.04%로 증가하였다.

3. 일산화탄소는 기관회전수 1,400 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 26.34%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 18.70%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 33.04%로 증가하였다. 기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 -11.24%, 1,600 rpm에서 -12.55%, 1,800 rpm에서 -3.42%로 감소하였다.

4. PM 배출물은 기관회전수 1,400 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 21.00%로 증가하였다. 기관회전수 1,600 rpm에서 부하 100%의 평균증가율은 11.90%로 증가하였다. 기관회전수 1,800 rpm에서 부하 75%의 평균증가율은 24.64%이다. 하지만 부하 100%의 평균증가율은 16.26%로 증가하였다. 기관회전수의 평균은 1,400 rpm에서 27.75%, 1,600 rpm에서 22.00%, 1,800 rpm에서 28.74%로 증가하였다.

## References

- [1] Cho, B. O. 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.
- [2] Cho, S. G.(2018), Effects on the characteristics of exhaust gas emission and combustion by changing injection fuel temperature, *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol. 22, No. 5, pp. 76-83.
- [3] IPCC(2018), Intergovernmental panel on climate change.
- [4] Jang, S. H., D. K. Koh, and S. K. Ahn(2002), An effect of operating conditions on exhaust emissions in a small turbocharger D.I. engine, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 6, No. 2, pp. 12-17.
- [5] Kim, S. W. and J. M. Lim(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.
- [6] Lim, J. K. and D. H. Kim(2000), 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.
- [7] Moon, J. H., 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.
- [8] Park, B. S., 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] Park, J. W., 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.
- [10] Park, K. H., 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.
- [11] Ryu, K. H. and J. K. Park(2018), A Study on the development of a 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.
- [12] Yang, S. C., 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.

Received : 2018. 12. 17.

Revised : 2019. 02. 14. (1st)  
: 2019. 03. 27. (2nd)

Accepted : 2019. 10. 28.