

소형 선박용 디젤엔진에서 엔진초기화 세팅을 통한 연소성능 및 배기배출물 개선에 관한 연구

류영현¹ · 정균식² · 남정길[†]

(Received June 20, 2019 ; Revised September 24, 2019 ; Accepted September 24, 2019)

Improvement of combustion performance and exhaust emissions through engine initialization in small marine diesel engines

Younghyun Ryu¹ · Kyunsik Jung² · Jeonggil Nam[†]

요약: 연안을 항해하는 소형선박(Tug boat)은 잦은 입·출항과 잦은 선속 변경으로 엔진의 연소성능이 저하될 수 있다. 연소성능의 저하는 연료 소비율 증가 및 유해 배기배출물 증가의 원인이 될 수 있다. 또한 그러한 이유로 엔진정비 주기가 짧아질 수 있어 엔진정비 비용이 증가될 수 있다. 소형 선박용 디젤엔진의 연소성능 및 배기배출물을 개선하기 위하여 제시된 방안으로 엔진을 신조시의 상태로 돌려보내는 초기화 방법으로 배기 과급기 초기화 매칭, 연료분사시기 및 연료분사량을 조정하는 것이며, 이 방법을 이용하여 향후 엔진의 사용부하영역을 고려한 최적화도 가능하다. 본 연구에서는 현재 운항되고 있는 4행정 디젤엔진이 탑재된 소형선박(Tug boat)의 연소상태를 계측하여 진단하였으며, 연소성능 개선 및 배기배출물 저감 방안을 제시하였다. 엔진초기화를 통해 엔진성능이 개선된 후에 최고압축압력은 34.9%, 최고폭발압력은 24.7%, 도시평균유효압력은 10.9%, 엔진 출력은 20.0% 증가하였으며, 연료소비율도 4.2% 향상되었다. 또한, 배기가스 온도는 평균 39.2 °C 감소하는 결과를 얻을 수 있었다. 배기배출물의 계측결과, Dust(PM)는 엔진성능 개선 후에 55.8% 감소하였으며 GHG(Green House Gas)로 알려진 이산화탄소는 12.5%, 일산화탄소는 74.4% 감소하였고 질소산화물도 4.4% 감소되는 결과를 얻었다.

주제어: 소형선박, 디젤엔진, 연소성능, 연료소비율, 배기배출물

Abstract: Tugboats that sail along a coast may experience poor engine combustion performance due to frequent entry and departure and frequent change of the ship's speed. Decrease in combustion performance may cause an increase in specific fuel consumption and an increase in harmful exhaust emissions. Consequently, the engine maintenance cycle may be shortened, and its maintenance cost may increase. An initialization method that returns a small marine diesel engine to the state of a new engine needs to be employed to improve the combustion performance and reduce exhaust emissions. This method involves adjusting the matching of the exhaust turbocharger initialization, fuel injection timing, and fuel injection amount. By using this method, it is possible to optimize the engine by considering its future load range. This study measured and diagnosed the combustion condition of a small ship (tugboat) equipped with a 4-stroke diesel engine, which is currently operated. The methods to improve combustion performance and reduce exhaust emissions were then suggested. When the engine performance was improved through engine initialization, the maximum compression pressure increased by 34.9%, maximum explosion pressure by 24.7%, indicated mean effective pressure by 10.9%, engine output by 20.0%, and specific fuel consumption by 4.2%. Additionally, the exhaust gas temperature decreased by an average of 39.2 °C. The result of exhaust emission measurement revealed that particulate matter decreased by 55.8%, carbon dioxide known as greenhouse gas by 12.5%, carbon monoxide by 74.4%, and nitrogen oxide by 4.4%.

Keywords: Small ship, Diesel engine, Combustion performance, Specific fuel consumption, Emission

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4453-3971>): Professor, Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Haeyangdaehak-ro 91, Mokpo-si, Jeollanam-do, 530-729, Korea, E-mail: jgnam@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7220

¹ Assistant professor, Division of Marine Mechatronics, Mokpo National Maritime University, E-mail: yhryu@mmu.ac.kr, Tel: 061-240-7243

² President, MECA Tech, E-mail: ksjung@meca-tec.co.kr, Tel: 02-730-6850

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

연안 항해를 하는 소형선박(Tug boat)은 잦은 입·출항과 잦은 선속 변경으로 엔진의 연소성능이 저하될 수 있다. 연소성능의 저하는 연료 소비율 증가 및 유해 배기배출물 증가의 원인이 될 수 있다[1][2]. 또한 저 부하 운전으로 인한 흡기압력의 저하는 밸브 오버랩 시 배기가스가 흡기계통으로 역류되어 흡기계통의 오손이 가속화 되기 때문에 운전시간이 경과함에 따라 성능이 저하된다[3]. 따라서, 연소성능의 개선은 엔진 성능 향상 및 연비개선, 배기배출물 저감 효과를 가져 올 수 있다[1][2]. Y. Ryu *et al.* [4][5]의 연구에서는 2행정 대형 디젤엔진의 성능을 개선하기 위하여 유용성 칼슘계 유기금속화합물 연료첨가제를 선박용 연료로 사용되는 중유에 첨가하여 연소성능을 개선하였으며 연료소모량 및 질소산화물, 입자상 물질의 저감을 시도하였다. 또한, Y. Ryu *et al.* [6]의 연구에서는 경유를 사용하는 발전용 4행정 디젤엔진에 유용성 칼슘계 유기금속화합물 연료첨가제를 연료에 투입하여 연료소모량 및 질소산화물, 일산화탄소가 저감됨을 보고하였다. 그리고, K. S. Jung [7]의 연구에서는 선박발전기용 과급 디젤엔진의 연소성능을 정확히 파악하기 위하여 개발된 측정 장치를 소개하고 엔진 성능개선 사례를 소개하였으며, K. S. Jung [8]에서는 선체 해양생물의 선저오염이 운항하는 선박용 디젤엔진의 성능 및 마찰저항 그리고, 연료소비율에 미치는 영향을 보고하였다.

본 연구에서는 디젤엔진의 엔진초기화 세팅을 통한 연소성능 및 미세먼지를 포함한 배기배출물을 개선하기 위하여 현재 운항되고 있는 소형선박(Tug boat)에 승선하여 엔진의 상태를 계측·진단하였다. 본 논문에서는 성능개선을 위해 엔진의 초기화 작업 과정을 소개하고 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 현재 운항되고 있는 소형선박(Tug boat)에 실제로 승선하여 항해 중인 엔진을 대상으로 엔진성능을 진단하고 개선하여 연소성능 향상을 시도하였다. 엔진성능 진단은 MECA-Tech에서 제작한 i-MEP System을 사용하여 계측하였으며, i-MEP System은 크게 다음의 네 가지로 구성되어 있다.

- 1) i-MEP 메인보드(Combustion Analyzer Main Board)
- 2) i-MEP 각도센서(Angle encoder)
- 3) i-MEP 압력센서(Piezotron quartz pressure sensor 7613CP)
- 4) 연소성능분석용 Software

첫 번째로 i-MEP 메인보드 사양을 소개하고자 한다. MCU는 STM32F407이며, RAM은 192 kBytes, Flash ROM은 1,024 kBytes이다. A/D Converter는 16 bit 500 kSPS($\pm 5V$) 이

며, 펄스입력은 Line driver 방식이고 Option은 신호컨버터 모듈(Push-pull, Open-collector) 이다. 두 번째로 i-MEP 각도센서(Angle encoder) 사양이다. 8.5020.494A.0720.0030 type 이며 Push pull type이고, 720 resolution 이다. 마지막으로 i-MEP 압력센서(Piezotron quartz pressure sensor 7613CP)의 사양은 다음과 같다. Range는 0~250 bar, Overload는 300 bar, Sensitivity는 -20 mV/bar, Natural frequency는 90 kHz, Acceleration sensitivity axial은 0.002 bar/g 보다 작으며, Acceleration sensitivity transverse도 0.001 bar/g 보다 작다. Operating temperature range는 -50~350°C 이며, Output impedance는 100Ω 이하이다. 연료소비량은 실선의 플로우미터를 계측하여 계산하여야 하나 대상선박에 플로우미터가 설치되어 있지 않아서 열발생률 선도를 이용하여 계산하였다. 열발생률 선도의 면적이 전체 연료가 발생한 열량이 된다. 이 열량을 저위발열량으로 환산하면 부피(L)가 되고, 여기에 비중량을 곱하면 중량(g)이 된다. 본 연구에서는 7가지의 배기배출물을 계측하여, 비교분석하였다. 항목은 Dust(PM), O₂, CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x 이다. Dust(PM)는 반자동식 측정법으로 측정하였으며, 그 이외의 항목들은 전기화학식법으로 측정하였다. Dust sampling system의 제조사는 APEX-Instrument이고 모델명은 KXC572-O 이다. Gas analyzer의 제조사는 MRU(독일) 이며, 모델명은 OPTIMA7이다. 배출가스 중 입자상 물질(Dust; PM)의 시료 채취방법은 배출가스 중에 함유되어 있는 입자상 물질을 등속 흡입하여 표준상태(0°C, 760mmHg)의 건조 배출가스 1m³ 중에 함유된 입자상 물질의 질량농도를 측정하였다. 측정위치는 배기관이 굴곡부나 단면모양이 급격히 변하는 부분을 피하여 배출가스의 흐름이 안정되는 곳으로 선정하였다. Figure 1은 엔진의 연소성능을 계측하기 위하여 설치된 i-MEP System의 개략도를 보여준다. 각 실린더에 i-MEP 압력센서를 설치하여 계측된 데이터를 i-MEP 메인보드에서 전송받아 노트북으로 전송하여 데이터를 수집하였다. Figure 2는 배출가스를 계측하는 사진을 보여주고 있으며, Table 1은 대상엔진의 사양을 보여준다. 엔진은 직접분사식 6기통 디젤엔진이며 압축비는 12.6:1이고 사용연료는 MDO 이다.

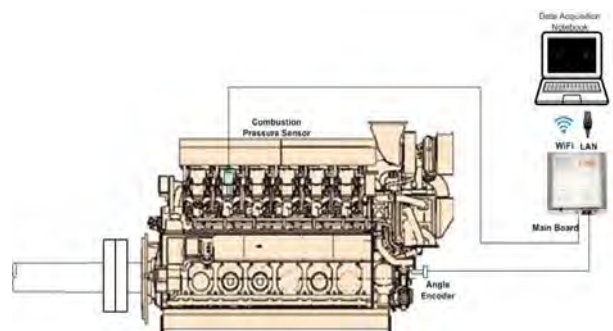


Figure 1: Schematic diagram of experimental apparatus



Figure 2: Exhaust emission measurement

Table 1: Engine specification

Item	Description
Engine type	STX S.E.M.T PIELSTICK 6PA5L
Fuel	MDO
Bore × Stroke	255×270mm
Combustion type	Direct injection type
Compression ratio	12.6:1
Con-rod length	540mm
MCR output	1,192kW
MCR rpm	900rpm
Max. explosion pressure	147bar
Firing order	1-3-5-6-2-4

엔진성능을 개선하기 위한 초기화 과정은 크게 다음의 세 가지를 시행하였다.

- 1) 배기 과급기 초기화 매칭
- 2) 연료분사시기 진각
- 3) 연료분사량 조정

여기서, ‘+’는 시계방향 회전을 의미하며, ‘-’는 반시계방향 회전을 의미한다.

첫 번째로, 배기 과급기 초기화 매칭 작업이다. 엔진 연소성능을 분석한 결과 공연비가 부족한 연소로 분석되었으며, 이러한 원인으로 배기 과급기 노즐링 단면적이 초기의 노즐링 단면적보다 큰 사이즈가 장착된 것으로 판단 되었다. 따라서 배기 과급기를 분해하여 노즐링 사이즈를 측정한 결과 초기의 노즐링 단면적 73.12cm²보다 큰 단면적인 83.0cm²의 노즐링이 장착되어 있는 것을 확인하고, 초기 노즐링으로 교체하였다. 두 번째로, 연료분사시기를 진각 하였다. Table 2는 지연된 연료분사시기를 초기에 설정된 연료분사시기로 각 실린더마다 조절한 값을 보여주며, 심두께와 크랭크각도를 조절하였다. 세 번째로, 연료분사량을 조정하였다. Table 3은 연료 분사량 조절값을 보여주는데

기본 세팅값 및 조절 각도이다. 여기서 조절 각도는 육각렌치를 이용하여 조정하며, 조정 각도는 회전된 각도를 나타내고 360도는 1바퀴를 의미한다.

Table 2: Fuel injection timing adjust

No.	Shim adjust	Angle adjust
No.1 Cylinder	-0.6mm	+4CA
No.2 Cylinder	-0.5mm	+3.5CA
No.3 Cylinder	-0.5mm	+3.5CA
No.4 Cylinder	-0.6mm	+4CA
No.5 Cylinder	-0.5mm	+3.5CA
No.6 Cylinder	-0.75mm	+5CA

Table 3: Fuel injection(rack) adjust

No.	Basic setting	Adjustment angle
No.1 Cylinder	5.2mm	+540 degree
No.2 Cylinder	5.45mm	-135 degree
No.3 Cylinder	5.2mm	+30 degree
No.4 Cylinder	5.5mm	No adjustment
No.5 Cylinder	5.35mm	No adjustment
No.6 Cylinder	5.35mm	No adjustment

3. 실험결과 및 고찰

3.1 엔진출력성능

대상엔진의 각종 성능을 측정하였다. 엔진은 6실린더로 구성되어 있으며, 각각의 실린더에 대해서 Pcomp(최고압축압력), Pmax(최고폭발압력), IMEP(Indicated mean effective pressure; 도시평균유효압력), BHP(Brake horse power; 제동마력), SFC(Specific fuel consumption; 연료소비율)를 측정하였다. Table 4에서는 성능개선 전의 엔진성능을 보여주고, Table 5는 성능개선 후의 엔진성능을 보여준다. 엔진의 성능개선 후에 최고압축압력은 34.9%, 최고폭발압력은 24.7%, 도시평균유효압력은 10.9%, 제동마력, 즉 엔진 출력은 20.0% 증가하였으며, 연료소비율은 4.2% 감소됨을 확인하였다. 배기 과급기의 초기화 매칭의 결과 노즐링의 단면적이 줄었기 때문에 배기 과급기의 회전수가 증가하여 소기압력이 상승하였고, 증가한 소기압력을 압축함으로써 압력상승을 뿐만 아니라 최고압축압력과 최고폭발압력이 상승하였다. 또한 연료분사시기가 전반적으로 진각되어 최고폭발압력을 더욱 상승하게 하는 역할을 하게 되었다. 따라서 유효일이 증가되었음을 알 수 있으며, 연비가 개선됨을 확인하였다. 연료분사량 조정은 연료분사시기를 먼저 세팅한 후 실린더 별 출력이 동일하게 되도록 조절되어야 하며, 본 실험에서는 측정부하 100%(엔진부하 93%)에서 오차율 1% 이내로 조정하였다. Table 6은 배기가스 온도변화를 보여주는데, 이것은 엔진 성능 개선 후에 배기가스 온도가

Table 4: Engine performance before engine performance improvement

No.	Pcomp (MPa)	Pmax (MPa)	IMEP (MPa)	BHP (PS)	SFC (g/ps.h)
1	8.71	11.15	1.81	217.73	134.49
2	8.76	11.09	1.67	199.34	132.91
3	8.92	11.37	1.74	209.12	131.09
4	8.58	10.65	1.67	199.27	136.28
5	8.82	11.31	1.73	207.42	134.00
6	8.53	10.96	1.85	222.97	135.56
Ave/Total	8.72	11.09	1.75	1255.85	134.10

Table 5: Engine performance after engine performance improvement

No.	Pcomp (MPa)	Pmax (MPa)	IMEP (MPa)	BHP (PS)	SFC (g/ps.h)
1	11.62	13.75	1.96	252.75	127.96
2	12.00	13.98	1.95	251.65	127.43
3	11.92	13.77	1.91	247.19	127.6
4	11.71	13.85	1.96	252.61	128.97
5	11.82	14.05	1.94	251.05	127.5
6	11.49	13.55	1.94	251.24	131.8
Ave/Total	11.76	13.83	1.94	1506.49	128.54

Table 6: Exhaust gas temperature

No.	Before	After	Deviation
Load (%)	77.5	77	-
Engine speed (rpm)	814	816	-
Scav' pressure (bar)	1.3	1.6	+3
Scav' temperature (°C)	38	37	-1
Exhaust gas temperature (°C)	No.1	420	-50
	No.2	390	-20
	No.3	415	-45
	No.4	360	-15
	No.5	410	-35
	No.6	450	-70
	Mean	407.5	368.3

평균 39.2 °C(9.6 %) 낮아졌다. 이 결과는 성능개선 작업 후가 작업 전보다 안정적인 연소가 되었음을 의미한다. 이러한 결과는 배기 과급기의 초기화 매칭 및 연료분사시기, 연료분사량 조정의 영향이라고 판단된다. **Figure 3**은 성능개선 작업 전·후의 연소압력 곡선을 보여준다. 이 곡선으로 연소최고압력이 상승하였음을 알 수 있다. **Figure 4**는 성능개선 작업 전·후의 P-V(체적에 대한 압력변화) 선도를 보여

준다. 선도를 통해서 성능개선 작업 후가 작업 전보다 출력이 증가했음을 알 수 있다. **Figure 5**는 압력상승률 선도를 보여주고 있다. 이 선도는 성능개선 작업 후에 연소최고압력이 상승하여 압력상승률도 함께 상승되었음을 보여준다. 또한, TDC 이후에 압력과의 맥동이 현저히 감소함을 알 수 있는데, 이러한 결과는 연소 불안정 현상이 현저히 줄어들어 연소가 안정적으로 이루어졌음을 의미한다.

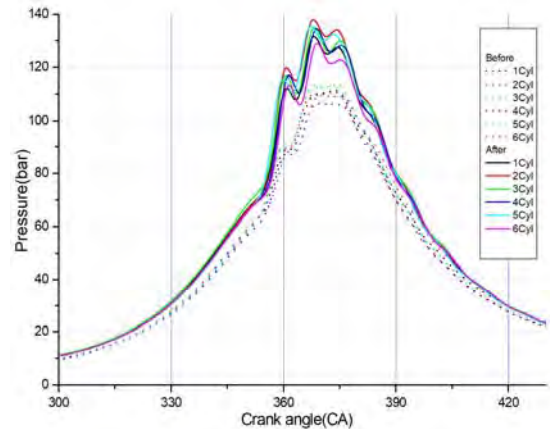


Figure 3: Combustion pressure

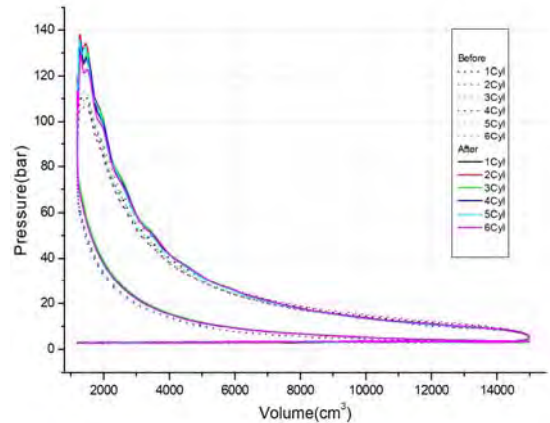


Figure 4: P-V diagram

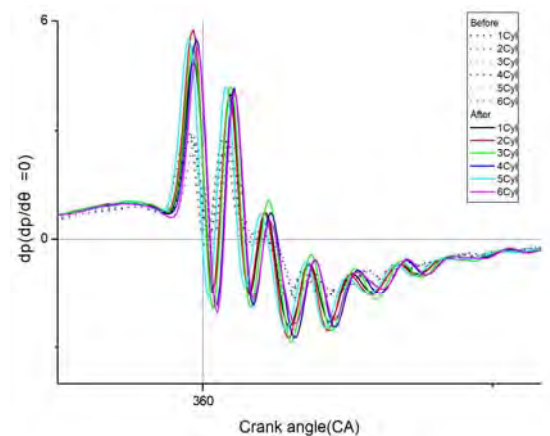


Figure 5: dp-dθ diagram

3.2 엔진연소성능

Figure 6은 열발생률 선도를 보여주고 있으며, 엔진연소 성능 분석의 핵심이라고 말할 수 있다. 이 선도로부터 연소실에 분사된 연료의 점화시점을 확인 할 수 있으며, 열발생율선도의 면적이 연료가 연소실에서 연소되어 발생된 열량을 계산하게 되며, 이 열량은 저위발열량과 비중으로 환산하여 연료소모량을 계산하게 된다. 여기서 문제는 공연비가 부족하여 후 연소가 발생하면 연소실에서 연소가 이루어지지 않는 부분에 대하여 계산하지 못하는 한계가 있다.

Figure 7의 연소온도 선도에서 보여주듯이 연소기간(350°CA ~ 420°CA) 이후 팽창과정에서 엔진 세팅 전/후 온도가 현격하게 차이가 있음을 볼 수 있다. 이는 엔진 초기화 세팅 전의 경우 배기 과급기의 노즐링 단면이 과도하게 크기 때문에 공연비가 부족하여 후 연소가 발생하여 연소기간 이후에 연소가 일어나고 있음을 확인할 수 있다. 또 배기밸브 오픈(495°CA부근) 시기 전/후에 온도 차이가 크게 발생함을 알 수 있다. 따라서 공연비의 정도에 따라 후 연소의 경향을 알 수 있으며, 엔진 초기화 세팅 전/후의 배기온도의 차이가 발생하는 원인을 확인할 수 있다. 또한 이러한 연소상태의 경우 열발생율선도의 면적으로 연료소모량을 계산할 때 후 연소가 발생하는 엔진의 연료소모량 계산은 연소되어 에너지로 전환하지 못한 부분에 대하여 계산되지 못 하기 때문에 계산상 한계가 있을 수 있다. 따라서 계산상의 연료소모량은 4.2% 저감되었지만 실제 플로메터로 측정하였다면 그 차이가 더 발생하였을 것이라는 것을 확인할 수 있다. 이는 열발생율선도에서 연료소모량은 정상적인 연소과정에서의 계산에 적용되는 것으로 비정상적인 경우 반드시 연료소모량을 측정하는 장치로 확인 하는 것이 필요하다고 하겠다.

연소성능을 분석하기 위한 방법은 Figure 3 ~ Figure 7까지 모든 선도를 동시에 확인하여야 제대로 해석이 될 수 있으며, 특정한 선도만으로 해석하게 되면 잘못된 해석이 될 수 있기 때문에 반드시 동시에 해석하여야 한다.

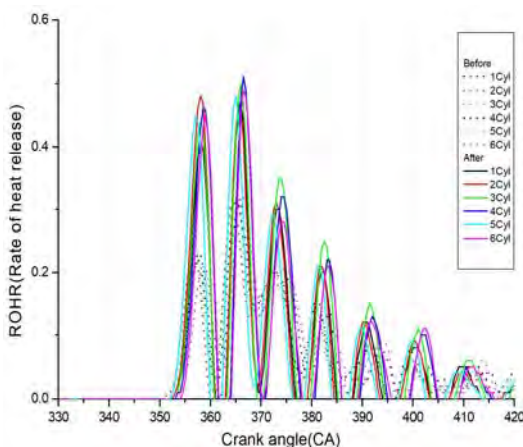


Figure 6: Heat release rate

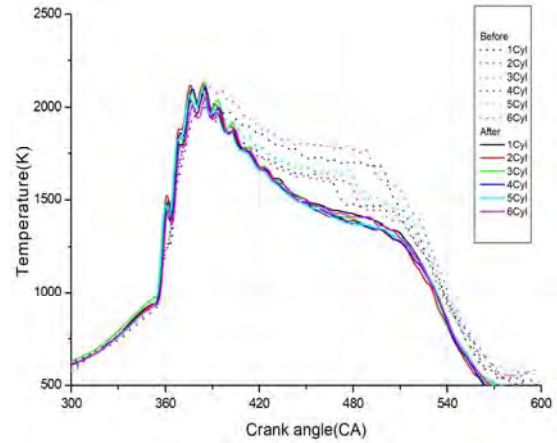


Figure 7: Combustion temperature

3.3 진동과 소음 분석

Figure 8은 엔진의 초기화 세팅 전/후의 순간속도변동을 보여주고 있다. 이는 세팅 전/후의 진동과 소음의 정도를 측정하기 위한 것이며, 크랭크샤프트 끝단에 설치된 각도 센서에서 트리거 신호로 사용되는 A펄스의 매 샘플(0.5deg)마다 카운팅을 하여 내부 클락신호로 환산하여 순간속도를 나타낸 것이다.

여기서 평균속도는 실제 측정된 회전수와 일치하고 있음을 알 수 있으며, 초기화 세팅 전의 순간속도변동 폭은 58rpm에서 세팅 후 36rpm으로 진폭이 상당히 개선되었음을 확인할 수 있다. 이는 그만큼 엔진의 진동과 소음이 줄었음을 확인하는 것이며, 이러한 결과는 각 실린더의 연료 분사타이밍 조정과 연료량조정이 매우 양호하게 조정되었음을 재차 확인하는 결과이다.

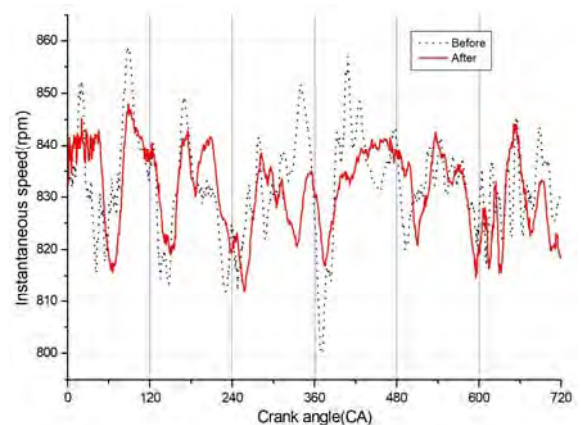


Figure 8: Instantaneous speed

3.4 배출가스

대상엔진의 성능개선 전·후의 배기배출물에 대해서 비교·분석을 해 보았다. 총 7가지 유해 배기배출물을 측정하였

으며, Table 7에서 7가지 배기배출물의 측정량을 보여준다. Dust(PM)는 엔진성능 개선 후에 4.8 mg/sm³가 감소하여, 비율로는 55.8% 감소하였다. 온실가스의 주범으로 지목되고 있는 이산화탄소는 12.5%, 일산화탄소는 74.4% 감소하였다. 이 결과는 안정적인 연소, 즉 연료중의 탄소가 남지 않고 완전 연소되어 연소성능이 개선되었고, 따라서 연료소비율이 저감되었음을 의미한다. 질소산화물은 4.4% 저감되었다. 이러한 결과는 성능개선 전/후에서 배기가스 중 산소농도가 10.5% 증가하였으며, 성능개선 후 증가한 공연비는 연소를 촉진하는데 사용되지만 연소실 내에 냉각작용도 하고 있기 때문인 것으로 판단된다[9]. 또한 이상기체 상태방정식으로 계산한 연소온도 선도(Figure 7)에서 보여주는 것과 같이 연소기간 후의 팽창과정에서의 온도 하강부분을 고려하면 성능개선전의 경우 과도한 연료가 분사되었음을 추정할 수 있으며, 성능개선 후 정상연소에 의해 연료분사량이 줄었기 때문으로 판단된다.

Table 7: Exhaust emissions before engine performance improvement

Item	Unit	Before	After	Deviation	Ratio (%)
Dust	mg/sm ³	8.6	3.8	-4.8	-55.8
O ₂	%	11.4	12.6	+1.2	+10.5
CO ₂	%	7.2	6.3	-0.9	-12.5
CO	ppm	468	120	-348	-74.4
NO	ppm	1,439	1,391	-48	-3.3
NO ₂	ppm	75	57	-18	-24.0
NOx	ppm	1,514	1,448	-66	-4.4

4. 결 론

본 연구에서는 디젤엔진의 연소성능 및 배기배출물을 개선하기 위하여 현재 운항되고 있는 소형선박(Tug boat)에 승선하여 엔진의 상태를 계측하여 진단하였으며, 그 결과를 토대로 연소성능 및 배기배출물을 개선하기 위하여 배기 과급기 초기화 매칭, 연료분사시기 및 연료분사량을 조정하였다. 엔진 개선작업 전/후에 최고압축압력 및 최고폭발압력, 도시평균유효압력, 제동마력(엔진출력), 연료소비를 그리고 배기배출물을 비교, 분석하였으며, 다음과 같은 연구 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 엔진의 성능개선 후에 최고압축압력은 34.9%, 최고폭발압력은 24.7%, 도시평균유효압력은 10.9%, 엔진 출력은 20.0% 증가하였으며, 연료소비율은 4.2%가 향상되었음을 확인하였다. 이 결과는 배기 과급기의 초기화 매칭의 결과로 최고압축압력이 상승하였고, 이와 더불어 연료분사시기 및 연료분사량을 조절하여 최고폭발압력이 상승함으로써 엔진출력 및 연료소비율이 개선됨을 확인하였다.

(2) 엔진의 성능개선 후에 배기가스 온도가 평균 39.2 °C 감소하였다. 이 결과는 성능개선 작업 후가 작업 전보다 안정적인 연소가 되었음을 의미한다. 이러한 결과는 배기 과급기의 초기화 매칭 및 연료분사시기, 연료분사량 조정의 영향이라고 판단된다.

(3) 엔진성능 개선 전과 개선 후의 순간속도 변동을 선도를 통해서 엔진성능 개선 후 순간속도 변동의 진폭이 초기 58rpm에서 개선후 36rpm으로 약 38% 감소하였다. 따라서 진동과 소음이 줄었음을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과로부터 연료분사타이밍 조정과 연료분사량 조정이 양호하게 되었음을 확인할 수 있었다.

(4) 배기배출물의 계측결과, 입자상 물질로 불리우는 Dust (PM)는 엔진성능 개선 후에 55.8% 감소하였으며 GHG (Green House Gas)로 알려진 이산화탄소는 12.5%, 일산화탄소는 74.4% 감소하였고 질소산화물도 4.4% 감소하였다.

Author Contributions

Conceptualization, Y. Ryu; Methodology, K. Jung; Investigation, K. Jung; Writing-Original Draft Preparation, Y. Ryu; Visualization, K. Jung; Writing-Review & Editing, J. Nam; Resources, Y. Ryu and K. Jung; Supervision, J. Nam; Validation, J. Nam; Project Administration, J. Nam;

References

- [1] John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, New York, USA, McGraw-Hill, Inc., 1988.
- [2] Willard W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Second Edition, Pearson, 2004.
- [3] J. D. Kim, A Study on Low Load Operation of Marine Auxiliary Diesel Engine (in Korean), M.S. Theses, Department of Marine System Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Korea, 2011 (in Korean).
- [4] Y. Ryu, Y. Lee, and J. Nam, "An experimental study of the fuel additive to improve the performance of a 2-stroke large diesel engine," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 6, pp. 620-625, 2015 (in Korean).
- [5] Y. Ryu, Y. Lee, and J. Nam, "Performance and emission characteristics of additives-enhanced heavy fuel oil in large two-stroke marine diesel engine," Fuel, 182, pp. 850-856, 2016.
- [6] Y. Ryu, Y. Lee, and J. Nam, "Improvement of the performance and emission in a four-stroke diesel en-

gine using fuel additive,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 40, no. 9, pp. 762-767, 2016 (in Korean).

- [7] K. S. Jung, “Improvement of combustion efficiency for marine auxiliary diesel engine,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 3, pp. 233-239, 2014 (in Korean).
- [8] K. S. Jung, “Influences of the surface pollution cause by the marine growth on ship hulls on engine performance and output,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 4, pp. 399-404, 2015 (in Korean).
- [9] Bertrand D. Hus, “Practical diesel-engine combustion analysis”, Society of Automotive Engineers, Inc. pp. 108-110, 2002.