Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 41, No. 6 pp. 501~506, 2017
J. Korean Soc. of Marine Engineering (JKOSME)
https://doi.org/10.5916/jkosme.2017.41.6.501

ISSN 2234-7925 (Print)
ISSN 2234-8352 (Online)
Original Paper

Ⅴ 타입 디젤엔진의 성능 예측에 관한 연구

백현민[1] · 이지웅[2] · 정균식[3] · 최재성†

(Received January 24, 2017 ; Revised May 23, 2017 ; Accepted July 4, 2017)

A study on performance prediction of V type diesel engines

Hyun-Min Baek[1] · Ji-Woong Lee[2] · Kyun-Sik Jeong[3] · Jae-Sung Choi†

요약: 해군의 신형 함정들에 채택되고 있는 V 타입 디젤엔진에는 IMO Tier II 규제를 만족할 수 있도록 엔진의 효율 향상과 에미션 감소를 위한 기술들이 적용되고 있으며 이에 따라 엔진의 시스템은 더욱 복잡해지고 있다. 따라서 앞으로 함정용 엔진에 대한 최적의 시스템을 제시하고 시스템의 효과를 검토할 수 있는 시뮬레이션 기법은 매우 유용하게 활용될 것이다. 따라서 본 연구에서는 흡배기 매니폴드를 포함하는 파동모델을 이용한 디젤엔진의 성능 예측 프로그램을 이용하여 V 타입 디젤엔진의 성능을 예측하였다. 예측 결과는 계측 결과와 비교하여 프로그램의 신뢰성을 확인하였다. 또한 프로그램과 성능 예측 결과를 응용하여 함정에 채택되고 있는 시퀀셜 과급 방식의 효과를 검토하였고 함정용 디젤엔진의 운전 패턴에 적합한 과급기 매칭 기술을 고찰하였다. 그 결과, 시퀀셜 과급 방식은 25% 부하에서 과급기 효율을 증가시켜 연료소비율을 감소시키며 부하별 효과에 대한 충분한 검토를 거쳐 적용할 필요가 있음을 확인하였다. 또한 과급기를 운전 시간 비율이 가장 높은 75% 부하에 매칭 시킬 경우, 함정의 단위 시간 당 연료소비량이 감소함을 확인하였다.

주제어: V 타입 디젤엔진, 성능 예측, 시퀀셜 과급, 과급기 매칭, 흡배기 매니폴드

Abstract: The Newly delivered warships of the Republic of Korea Navy use V-type diesel engines that meet the IMO Tier II standards. Therefore, various diesel engine techniques for enhancing performance and reducing emissions have been introduced into naval engines, making the engine system more complicated. Hence, simulation methods that can be utilized for the performance prediction of these engine systems are attracting increased attention. These methods will be useful in obtaining the optimal system configurations for the newly delivered naval engines. In this study, a simulation is conducted that uses the wave model, and deals with the intake & exhaust manifolds in a V-type diesel engine. The calculations of the simulation were compared to the measurement results to evaluate the reliability of the program. Further, the effects of a sequential turbo-charging(STC) system for newly delivered naval engines and the change of turbocharger matching are considered. As a result, it was confirmed that the STC system would reduce the fuel consumption by increasing the turbo-charging efficiency at 25% load, Further, it was confirmed that the fuel consumption per unit time of the naval engines decreases when the turbocharger is matched to 75% load, with the highest operation time ratio.

Keywords: V type diesel engine, Performance prediction, Sequential turbo-charging, Turbocharger matching, Intake and Exhaust manifold

1. 서 론

해군 함정(warship)의 디젤엔진은 효율성이 크게 강조되는 상선(ship)의 디젤엔진과 달리 함정의 작전운용성능(ROC, Requirement Operational Capability)에서 요구되는 최대속력 또는 순항속력을 만족하기 위한 높은 연속최대출력(continuous maximum power)과 함정의 무기체계 탑재 및 승조 공간 확보를 위한 부피와 무게에 주목하여 비출력(specific power)이 가장 큰 선택 기준으로 여겨져 왔다. 그러나 고유가에 대비하고 환경 규제(IMO Tier III)를 만족하기 위한 시장의 관심과 노력은 함정용 디젤엔진 시장으로까지 확대되어 강조되게 되었다. 경제적 측면에서의 효율성 향상은 군함이라는 특수성에 비추어 다소 주목받기 어려우나 엔진 효율의 향상은 고정된 연료량 대비, 함정 운용 기간(작전 지속성) 확대, 항속거리(작전 반경) 확장으

† Corresponding Author (ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8274-3471): Division of Maritime Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: jschoi@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4262
1 R.O.K Navy Headquarters, E-mail: jeapo2812@naver.com, Tel: 051-410-4262
2 Offshore training team, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, E-mail: woongsengine@gmail.com, Tel: 051-620-5814
3 Ship Training Center, Korea Maritime and Ocean university, E-mail: vikings99@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4477

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.

Copyright ⓒ The Korean Society of Marine Engineering

로 이어져 작전 효율성의 향상을 가능케 한다.

또한, 군수 운영 측면에서 친환경성이 부각되기 시작하였고 엔진 시장의 변화에 맞춰 해군 또한 2011년부터 IMO Tier II를 만족하는 디젤엔진을 함정에 채택하기로 결정하였다**[1]**.

함정에서 사용되는 디젤엔진은 주로 높은 비출력을 갖는 8 기통 이상의 V 타입 엔진으로, 매우 높은 비출력이 요구되는 고속 전투함용 엔진은 MTU 엔진이 주를 이루고 있고 비전투함용 엔진은 MAN B&W, Wartsila 사 등의 최신 엔진과 국산 최신 디젤엔진(HiMSEN) 또한 채택되기 시작하였다. 이들 엔진은 모두 IMO Tier II를 만족한다.

이에 따라, 최근 건조되어지고 있는 함정에 채택된 디젤엔진에는 VIT(Variable Injection Timing), VVT(Variable Valve Timing) 등 효율 향상과 에미션(emission) 감소를 위한 대책들과 함께 함정의 상황변화에 따라 요구되는 다양한 운전 조건 즉, 출력 성능, 배기 성능 및 가속 성능 등의 만족을 위한 2단 T/C, 시퀀셜(sequential) T/C, waste gate와 같은 기술들도 함께 적용되어 기존의 함정용 디젤엔진에 비해 엔진을 구성하는 각각의 시스템들이 매우 복잡해지고 있다**[2][3]**.

이러한 변화에 따라 다양한 운전 조건에서 엔진과 과급기 매칭은 물론 과급방법에 따른 흡배기계통의 매니폴드 시스템 등의 설계가 복잡하게 된다. 따라서 엔진이 최적의 시스템을 갖추기 위해서는 이러한 많은 시스템들의 성능을 파악할 필요가 있다. 또한 다양한 운전 조건에서의 성능 변화를 고찰할 수 있는 시뮬레이션(simulation) 기법은 함정에 요구되는 엔진의 성능을 검토하고 결정하는 계획, 설계 초기 단계에서부터 매우 유용하게 이용될 수 있다.

본 연구에서는 이미 개발된 엔진 성능 시뮬레이션 프로그램**[4]**을 이용하여 V 타입 4행정 디젤엔진의 성능을 예측하였다. 또한 실제 엔진의 실린더 압력 변화와 계산된 실린더 압력 변화를 비교함으로써 시뮬레이션의 신뢰성을 확인하였다. 이후 그 결과와 예측 기법을 응용하여 대상엔진에 대한 시퀀셜 과급 방식과 과급기 재매칭의 효과를 고찰하였다.

2. V 타입 디젤엔진의 성능 예측

2.1 성능 예측 프로그램

본 연구에서 이용하는 프로그램은 과급기 및 흡배기계를 포함하는 가스 흐름계의 해석을 목적으로 하여 실린더 내의 가스 교환과정을 포함한 흡배기 매니폴드에 관하여는 파동 모델을 이용하고 있으며, 실린더 내 연소과정은 열발생율(ROHR, Rate of Heat Release) 패턴을 이용하여 표현하고 있다. 따라서 매니폴드의 형상 및 배치, 과급기와의 매칭, 밸브 타이밍 등의 영향 파악에 유용하다. 이 프로그램에 관한 상세한 사항은 연구**[4]**에서 언급하였다.

Table 1에서 본 연구의 대상엔진인 HiMSEN 12V 3240 디젤엔진의 기본 제원을 보인다.

Table 1: Specification of the test engine

Bore / Stroke	320 mm / 400 mm
Power / speed	6,120 kW / 720 rpm
Comp. Ratio / Vee angle	15.0 / 50°
Firing Order	B1-A1-B4-A4-B2-A2-B6-A6-B3-A3-B5-A5
Pmax / Pme	190 bar / 25.9 bar @ 100% load
SFOC (be)	193.8 g/kWh @ 100% load

2.2 흡·배기계 매니폴드 모델링

Figure 1은 대상 엔진의 매니폴드 구성을 나타낸다. 대상 엔진은 발전용 V 타입 엔진으로 A, B 뱅크는 서로 마주보면서 50°(Vee) 각도를 이루고 있으며, 두 뱅크 사이 공간에 흡기 매니폴드가 좌우 대칭 구조를 이루고 있다. 배기 매니폴드는 엔진의 좌우 외측에 위치하며 매니폴드 끝단에는 각각 과급기가 위치하고 있다.

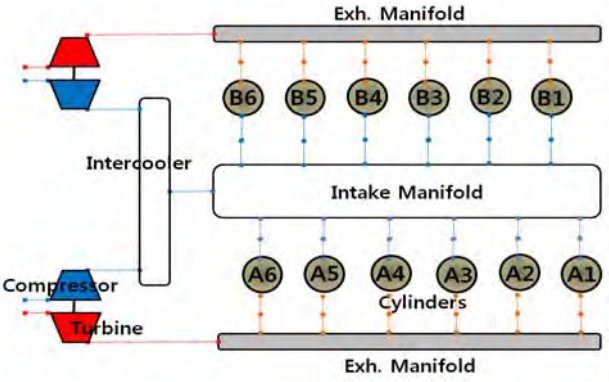

Figure 1: Calculation model of manifold for the test engine

중간냉각기와 같이 벽면과의 열전달을 고려하는 구성 요소의 경우 용기(volume)로 모델링하여 치환하였고, 관(pipe)에 비해 단면적과 용적이 큰 흡·배기 매니폴드의 경우에도 용기로 모델링하였다. 밸브 포트(port)나 압축기 출구, 터빈 입구와 같이 가스의 유속 및 압력파 영향을 무시할 수 없는 곳은 관으로 모델링하고, 마찰손실 및 곡간손실을 고려하였다. 흡·배기 밸브, 용기와 관의 경계 등은 두께가 없는 오리피스로 모델링하였고 단면적과 유량계수를 이용하여 실제 공기와 가스의 흐름을 고려하였다. 매니폴드를 구성하는 관과 용기의 길이, 직경 등은 실제 엔진으로부터 측정된 자료를 통해 모델링하였으며 관은 매니폴드측 관과 밸브 포트측 관을 구분하였다.

과급기는 압축기와 중간냉각기를 거친 공기의 상태(압력과 온도)를 입력 데이터로 하여 표현하고 터빈은 배기 매니폴드 끝단의 오리피스로 모델링하였다. 이후, 유량계수를 포함하는 오리피스 등가면적(turbine orifice equivalent area)을 변경하면서 엔진의 가스 유량이 실험 결과에 수렴 될 때 시뮬레이션을 종료하는 시행착오 방법을 이용하였다.

2.3 열발생률(ROHR) 패턴

열발생률은 시뮬레이션을 이용하여 디젤엔진의 성능을 예측하는데 중요한 요소이며 엔진의 출력과 에미션의 생성에 큰 영향을 미친다.

Figure 2는 대상엔진의 100%, 75%, 50%, 25% 부하 조건에서 측정된 압력 곡선을 통해 도출한 열발생률을 나타낸다.

연료의 분사는 TDC -15 ~ -12°CA에서 이루어졌으며 상대적으로 차가운 분사연료에 의해 공기가 순간적으로 냉각되어진다. 이에 따라 착화가 약 TDC -10 ~ -8°CA 까지 지연된다. 또한 부하가 증가할수록 확산연소(diffusive combustion)가 증가하고, 부하가 감소할수록 예혼합연소(pre-mixed combustion)는 감소하여 디젤엔진의 부하에 따른 연소 특성이 잘 나타남을 알 수 있다.

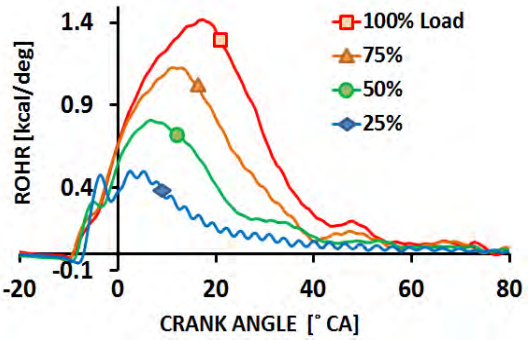

Figure 2: Rate of heat release of the test engine

측정된 대상엔진의 열발생률을 Double Wiebe fucntion을 적용한 모델링을 통해 예측 계산에 이용하였다.

Figure 3에 100% 부하에서의 열발생률을 Double Wiebe function으로 모델링하여 계산한 실린더 내 압력 변화를 대상엔진으로부터 계측한 실린더 내 압력 변화와 비교하여 나타낸다. 계산 결과는 계측 결과와 오차 1% 이내의 양호한 일치를 보이고 있다고 판단되며 75%, 50%, 25% 부하에서도 양호한 일치를 보인다.

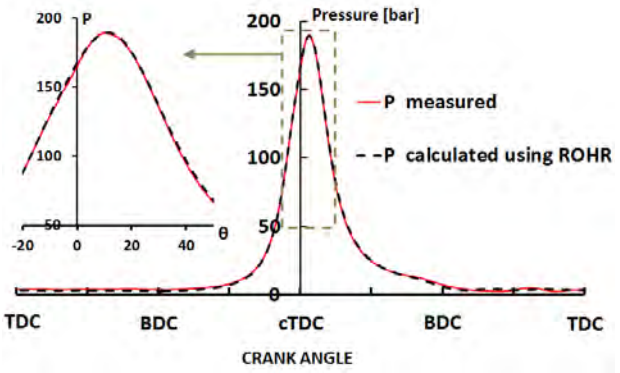

Figure 3: Comparison of measured and calculated pressure in cylinder

2.4 예측 결과의 고찰

Table 2는 각 부하에서 계산된 Pmi (pressure mean indicated), Pmax 를 실제 엔진의 Pmi, Pmax 와 비교하여 나타내며 **Figure 4**는 계산된 bi를 계측된 be와 비교하여 나타낸다. 계산에 사용된 프로그램**[4]**에서는 마찰 손실 동력(Pmf)을 별도로 가정하지 않으므로 bi와 be를 비교하였다.

Table 2: Comparison of measured and calculated results

	Load	25%	50%	75%	100%
Pmi [bar]	measured	7.9	14.0	20.3	26.9
	calculated	7.9	14.1	20.6	27.1
Pmax [bar]	measured	76.7	117.4	161.0	190.2
	calculated	76.1	117.5	161.0	189.4

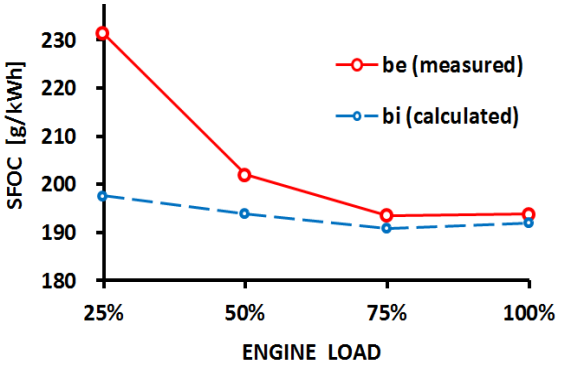

Figure 4: Comparison of be and bi

계산된 Pmi와 Pmax는 계측값과 오차 범위 ±1% 내에서 일치하며 고부하로 갈수록 기계효율이 증가하여 제동연료소비율(be)과 도시연료소비율(bi)의 차이가 감소함을 알 수 있다.

Figure 5는 100% 부하에서 계산된 A, B 뱅크의 터빈 입구측 압력 변동을 나타낸다.

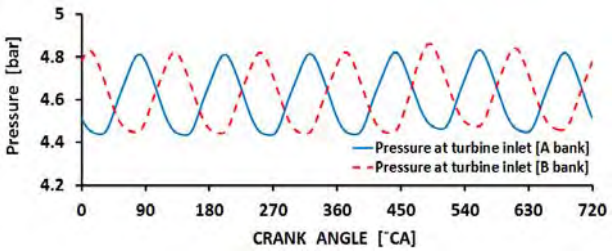

Figure 5: Fluctuation of turbine inlet pressure at 100% load

대상엔진의 서로 마주하고 있는 두 실린더 간에는 뱅크각(Vee=50°CA) 만큼의 폭발 간격이 있으며 그 다음의 폭발은 70°CA 뒤에 이루어져 부등 간격을 이룬다. A, B 뱅크의 터빈 입구측 압력 변동은 실린더 간의 폭발 간격을 반영하며 부하별 터빈 입구 압력의 계산 결과는 계측 결과와 같

다. 이를 통해, 실린더의 연소 특성뿐만 아니라 흡배기 성능 파악을 위한 흡배기계의 동적 특성 또한 충분히 신뢰성 있게 계산되어지고 있음을 알 수 있다.

계산 결과를 통해 볼 때, 파동 모델을 이용한 성능 예측 기법을 통해 대상엔진의 성능이 매우 정확하게 예측되었으며 이에 따라 프로그램의 신뢰성이 입증되었다고 판단된다.

3. 성능 개선 방법의 효과 예측

2장에서 다룬 성능 예측 프로그램과 예측 결과는 엔진에 적용 가능한 다양한 기술들의 효과를 고찰하는데 유용하게 활용될 수 있다. 본 장에서는 2장의 예측 기법과 결과의 응용을 통해 함정의 디젤엔진에 채택되고 있는 시퀀셜 과급 방식의 효과와 과급기 매칭 변경의 효과를 예측하였다.

3.1 시퀀셜 과급 시스템의 효과

상선과 다르게 함정은 저부하와 부분부하에서의 운전 시간 비율이 상대적으로 높기 때문에**[5]-[8]** 최근 건조되고 있는 함정의 디젤엔진들은 이러한 장점을 활용하기 위하여 시퀀셜 과급 방식을 채택하고 있는 추세이다.

디젤엔진의 저부하에서는 배기에너지가 감소되기 때문에 소요 과급 압력을 유지할 수 없다. 따라서 시퀀셜 과급 시스템을 이용하여 구동되는 과급기의 수를 부하에 따라 조정함으로써 저부하에서 높은 과급압력을 유지하여 충분한 급기를 확보할 수 있다. 또한 에미션을 줄이고, 연료소비와 진동을 줄여 성능 향상은 물론 엔진의 구조적 스트레스를 감소시키는 장점이 있다**[5][6]**.

본 절에서는 시퀀셜 과급 시스템을 대상엔진의 25% 부하에 적용하는 과정과 이에 따른 성능 변화를 고찰하였다. **Figure 6**은 대상엔진에 적용한 시퀀셜 과급 시스템을 포함하는 흡배기측의 매니폴드 구성을 나타낸다.

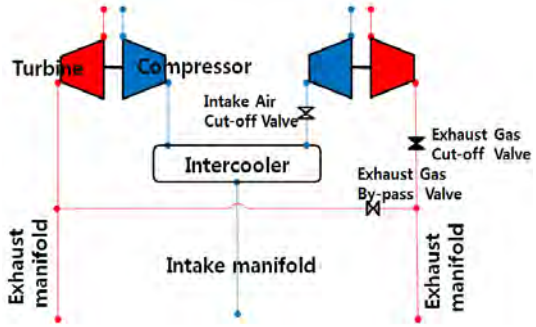

Figure 6: Manifold configuration for STC

기존의 매니폴드와 비교하였을 때, 한 대의 과급기를 조정하기 위하여 압축기 출구 및 터빈 입구를 차단하는 차단 밸브(exhaust gas cur-off valve, intake air cut-off valve)와 두 뱅크에서 배출되는 배기에너지를 하나의 터빈으로 연결하는 바이패스 밸브(exhaust gas by-pass valve)가 설치되어 있다.

50% 이상의 부하에서는 두 대의 압축기를 통해 공기가 유입되지만 25% 부하에서는 압축기 출구와 터빈입구의 밸브가 차단되고 바이패스 밸브는 개방되어 2대의 과급기 중 1대의 과급기만 작동 하는 시퀀셜 과급 방식을 적용하였다.

Figure 7은 시퀀셜 과급이 적용될 때의 과급압력과 터빈 입구압력, 터빈 오리피스 등가면적(과급기 회전수)을 결정하는 과정을 나타낸다. 대상엔진의 25% 부하에서의 과급압력과 터빈 오리피스 등가면적이 고정된 상태에서 시퀀셜 과급을 적용하면 배기에너지가 하나의 터빈으로 집중되면서 터빈 입구압력이 상승(①)하고 이에 따라 과급기의 회전수가 증가(②)한다. 과급기 회전수가 증가하면 과급압력이 증가하고 터빈 입구 압력은 점차 과급기의 정상 운전 조건에 가까워진다.(③). 이 때, 과급압력과 터빈 입구 압력, 터빈 오리피스 등가면적이 모두 대상엔진의 과급기 운전 조건 범위에 수렴하면 시퀀셜 과급 시스템이 안정된 상태가 된 것으로 판단하여 계산을 종료(④)한다. 계산 과정은 엔진 시스템이 안정화 되어가는 과정과 같은 순서로 된다. **Table 3**은 계산 결과를 나타낸다.

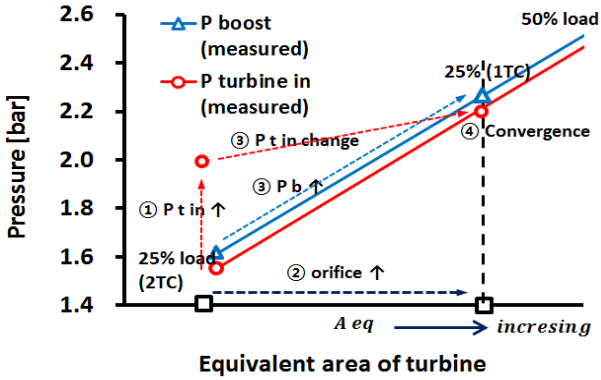

Figure 7: Procedure of STC condition for the test engine at 25% load

Table 3: Effect of STC on the test engine at 25% load

Item	ref.		STC	remarks
Pmax [bar]	76.1	⇨	98.0	+22 bar
Pmi [bar]	7.9		8.2	+0.3 bar
bi [g/kWh]	197.6		189.0	-8.6 g/kWh
P boost [bar](abs.)	1.6		2.2	+0.6 bar
η_v	85%		137%	+52%
η_{tc}	47%		51%	+4%

Table 3으로부터 알 수 있듯이 대상엔진에 시퀀셜 과급을 적용하게 되면 한 대의 터빈에 배기에너지가 집중되고 이에 따라 과급기 효율(η_{tc})이 약 4% 개선되고 과급압력이 액 0.6 bar 증가한다. 그 결과, 체적효율(η_v)이 52% 증가하고 출력이 향상되어 8.6 g/kWh 의 연비가 개선됨을 알 수 있다.

시퀀셜 과급의 효과를 높이기 위하여 총 4대의 과급기를 이용하는 경우**[9]**의 흡배기 매니폴드를 **Figure 8**에 나타낸다. 변경된 시스템의 과급기는 압력비는 동일하되 급기 유량이 기존 과급기의 유량의 1/2에 해당한다고 가정하였다.

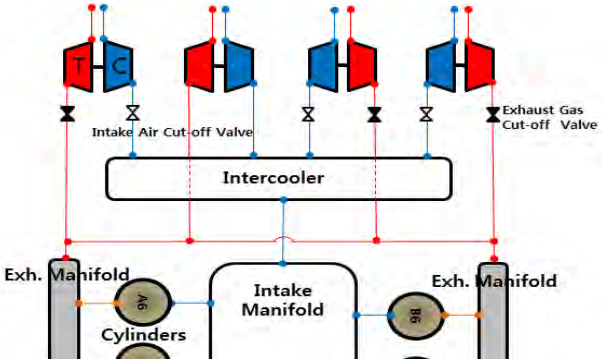

Figure 8: Manifold configuration for subdivided STC

변경된 매니폴드를 이용하여 75%, 50% 부하에서 시퀀셜 과급을 적용하였을 때의 성능 변화를 25% 부하에서와 동일한 방법으로 고찰하였다.

Figure 9는 50% 부하에서 과급기 운전 수량을 조정(4대→3대) 하였을 때, 터빈 입구 압력의 변화를 나타낸다.

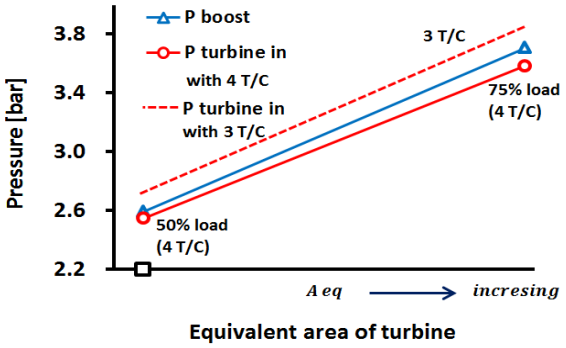

Figure 9: Change of turbine inlet pressure by T/C re-matching

과급기 운전 수량을 1대 감소시키면 터빈 입구 압력이 증가하게 되고 운전되는 과급기 3대의 회전수가 증가하기 때문에 터빈 오리피스 등가 면적이 증가한다. 그 결과, 과급압력이 상승된다. 그러나 터빈 입구 압력은 과급압력보다 지속적으로 높게 나타나며 이에 따라 과급기 효율은 감소한다. 그 결과, 펌프 손실(pumping loss)이 증가하고 출력은 향상되지 않는다. 75% 부하에서 과급기 수량을 조정(4→3대)한 경우에도 동일한 결과를 보였다.

따라서 대상엔진에 대하여 75%, 50% 부하에서의 시퀀셜 과급 적용을 통한 효과는 기대할 수 없으며, 25%부하에서 과급기 운전 수량의 1/2만 운전하는 시퀀셜 과급 방식의 경우에만 성능 개선의 효과가 있는 것으로 확인되었다.

3.2 과급기 매칭(matching) 변경에 의한 개선

함정 추진용 디젤엔진은 100% 부하에서의 운전 시간이 전체 운전 시간의 약 10~20%에 불과하며 부분 부하에서의 운전시간은 약 80~90%를 차지한다**[5]-[8]**. 또한 발전용 디젤엔진은 함정의 잦은 부하변동에 유연하게 대처하기 위하여 다수의 발전기를 병렬로 운전하는 시스템을 적용하고 있으며 각 발전기의 부하는 75%를 넘지 않는다. 따라서 과급기의 최대 압력비(π_c)가 100% 부하에서 달성되어지도록 하는 과급기 매칭은 이러한 운전 특성을 충분히 반영하고 있지 않다고 판단된다.

본 연구에서는 최대 압력비(π_c)가 75% 부하에서 달성되도록 과급기를 다운사이징(down-sizing)하여 매칭 하는 경우를 가정하여 이에 따른 성능 변화를 고찰하였다.

Figure 10은 과급기를 다운사이징 하였을 때, 각 부하에서의 새로운 압력비를 결정하는 과정을 나타낸다.

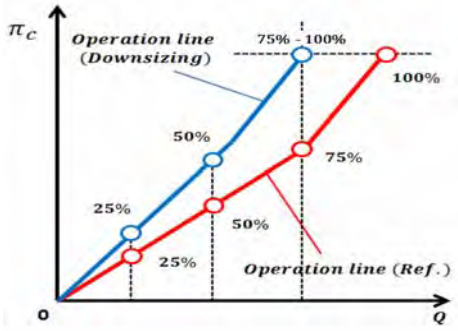

Figure 10: Change of operation line by T/C downsizing

대상 엔진의 각 부하에서의 압력비와 압축기 유량을 이용하여 압축기 맵 상에 작동 선도(operation line)를 나타낼 수 있다. 이 때, 75% 부하에서 최대 과급압력이 달성되어지도록 다운사이징을 할 경우, 75%에서의 새로운 운전 점(operating point)은, 과급 압력은 다운사이징 이전의 100% 부하에서의 과급압력과 같고 유량은 75% 부하에서의 유량과 같은 점으로 선택하였다. 이 점과 압축기 맵의 원점을 잇는 새로운 작동 선도를 나타낼 수 있으며 새로운 작동 선도의 변화 경향과 효율은 기존의 압축기 특성을 따르는 것으로 가정하였다.

이후, 새로운 작동 선도 상에서 기존의 25%, 50% 부하의 유량이 달성되는 지점을 선택하여 다운사이징에 의한 각 부하에서의 과급압력을 결정하였다.

100% 부하에서는 배기가스의 일부를 waste gate를 통해 배출하여 과급압력을 75% 부하 조건과 같이 조정하였다.

Figure 11은 이와 같은 방법으로 선택된 새로운 과급 조건에서의 부하별 연료소비율의 변화를 대상엔진의 연료소비율과 비교하여 나타낸다.

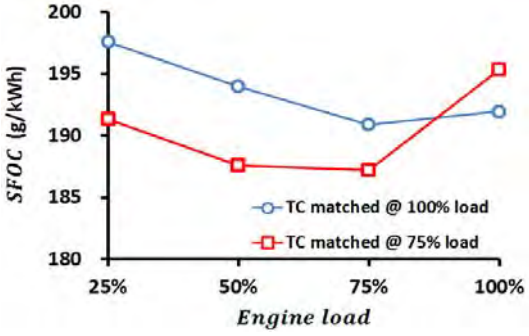

Figure 11: Improvement of SFOC by T/C re-matching

75% 부하에서 최대 과급압력이 달성되도록 과급기를 매칭 하게 되면 100% 부하에서는 과급기 유량 한계로 인해 충분한 공기를 확보할 수 없고 따라서 동일한 출력을 유지하기 위해 연료소비율이 보다 증가하게 된다. 반면, 그 외의 부하에서는 과급 압력의 증가에 따른 체적 효율(volume efficiency) 향상으로 연료소비율이 감소되는 효과를 볼 수 있다.

100% 부하에서 전체 운전 시간의 20%, 75% 부하에서 70%, 50%, 25% 부하에서 각각 5%의 운전 시간 비율 **[7][8]**을 갖는 함정용 디젤엔진에 대하여 운전 시간 비율이 가장 큰 75% 부하에 최대 압력비가 달성되도록 과급기의 매칭을 변경할 경우, 100% 부하에 과급기가 매칭된 경우에 비해 약 40.0 tonnes/year 의 연료절감 효과가 있을 것으로 기대된다. 연간 연료소비량은 한국 해군 함정을 대상으로 조사된 연간 운용 시간 비율(3개월을 수리, 9개월 중 1/2은 해상에서의 기동, 나머지는 정박)**[8]**을 반영하여 계산하였다.

4. 결 론

이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 흡배기 매니폴드를 포함하는 파동모델을 이용한 프로그램을 이용하여 V 타입 디젤엔진의 성능을 예측한 결과, 실제 엔진에서 계측된 결과(P-θ 선도의 일치, 연료소비율의 경향 및 흡배기 특성)와 비교적 잘 일치함을 확인하였다.

(2) 성능 예측 기법과 대상엔진의 성능 예측 결과를 응용하여 시퀀셜 과급의 효과를 고찰한 결과, 25% 부하에서 높은 과급압력을 달성하여 엔진의 출력과 연비의 향상이 가능하다.

(3) 대상 엔진의 경우, 50%, 75% 부하에서는 시퀀셜 과급을 통한 과급기의 효율 향상을 기대할 수 없었다. 따라서 시퀀셜 과급을 적용 시, 부하별 효과에 대한 충분한 검토를 통해 시스템의 적용 범위를 결정할 필요가 있다.

(4) 75%에서 과급기의 최대 과급압력이 달성되어지도록 과급기의 매칭을 변경하게 되면 100% 부하에서의 연료소비율은 증가하나 부분부하에서의 연료소비율이 개선되어 함정용 디젤엔진의 운전 시간 조건**[7][8]**에서 약 40.0 tonnes/year 의 연료 절감 효과를 기대할 수 있다.

후 기

본 연구에 도움을 주신 현대중공업 엔진연구소에 감사드립니다.

References

[1] R. O. K. Ministry of National Defense, “Practice of environmental growth of the military,” p. 185, 2011 (in Korean).

[2] O. Bucheler, J. Schneemann, C. Brunner, and K. Wehler, “The new MTU series 4000 with advanced technological concept for EU stage IIIB, EPA tier 4 and IMO 3 emission legislations,” Journal of the International Council on Combustion Engines, paper no. 196, 2016.

[3] J. Kech, R. Hegner, and T. Mannle, Turbocharging : Key Technology for High Performance Engines, MTU, 2014.

[4] J. S. Choi, “Developing a computer program for simulation of 4 cycle diesel engine including intake & exhaust system,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 13, no. 3, pp. 64-71, 1989 (in Korean).

[5] MAN Diesel & Turbo, MAN V28/33D STC Project Guide – Marine, Four-stroke diesel engine complient with IMO Tier II and EPA Tier 2, 2015.

[6] MAN Diesel & Turbo, MAN V28/33D STC for Naval Vessels, 2015.

[7] H, M. Baek, K, S. Jung, J, W. Lee, and J, S. Choi, “A study on the arrangement of integrated power system for warship,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 9, pp. 1070-1074, 2014 (in Korean).

[8] S, Y. Kim, D, H. Lee, and S, K. Sul, “Design of shipboard energy storage system and operation for voltage/frequency compensation in naval integrated power system,” IEEE Electrification Magazine, vol. 3 no. 2, pp. 22–33, 2014 (in Korean).

[9] M. Kurreck and W. Remmels, “Series 1163-04,” Journal of the International Council on Combustion Engines, paper no. 112, 2013.