

선박용 4행정 디젤기관의 배기 과급기 엔진 매칭에 관한 해석적 연구

최 익수⁺, 김 현규⁺⁺, 유 봉환⁺⁺⁺

An Analytical Study on the Turbocharger Engine Matching of the Marine Four-Stroke Diesel Engine

Ik Soo Choi⁺, Hyun Kyu Kim⁺⁺ and Bong Whan Yoo⁺⁺⁺

Abstract : The combustion characteristics of the D.I. diesel engine are largely dependent on the air-fuel ratio and the gas exchange process. The main factors are the shape of combustion chamber, fuel injection system, air flow inside the cylinder, intake air mass flow rate and so forth. Because these factors affect the combustion in a mutual and combined manner, it is very important to clearly understand the correlation of these factors in order to provide the combustion improvement plans. In this paper, we studied the performance and the gas exchange process of marine four-stroke engine using the engine cycle simulation. Also, we predicted briefly turbocharger engine matching.

Key words : Air-fuel ratio(공기연료혼합비), Engine cycle simulation(엔진 사이클 시뮬레이션), Mass flow rate(질량유동율), Turbocharger engine matching(배기 과급기 엔진매칭)

1. 서론

최근 디젤기관에 대한 배출가스의 규제가 더욱 엄격해지면서 전 세계적으로 저공해, 저연비, 고출력 엔진 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 생산된 엔진이 바로 판매로 연결되는 대형 선박 엔진의 경우에는 새로운 엔진 개발에 필요한 시간적, 경제적 문제로 인하여 큰 어려움을 겪고 있다. 현재 엔진 생산 업체들은 이러한 문제를 해결하기 위해서 초기 엔진 개발단계에서 부분적으로 그 역할을 인정받고 있는 컴퓨터 시뮬레이션의 사용범위를 엔진 개발의 전체 단계로 확대하여 엔진 개발을 위한 필수적인 도구로 활용하고 있다.

본 연구에서는 상용 엔진 사이클 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 선박용 4행정 디젤기관의 성능과 흡/배기 거동 특성을 해석하고, 시험 측정값과 해석결과의 비교를 통해 해석 기준 모델의 신뢰성을 검증하였다. 또한 해석모델을 기준으로 배기 과급기의 엔진 매칭에 대해 해석하였다.

2. 엔진 사이클 시뮬레이션

2.1 엔진 모델링

엔진 사이클 시뮬레이션은 연소실, 배기 과급기, 밸브 포트, 흡/배기매니폴더 등이 엔진 성능에 미치는 영향을 예측하여 시험 인자를 줄임으로써 엔진 개발에 필요한 비용 및 시간을 저감하는 것이다. 이러한 엔진 사이클 시뮬레이션은 3차원의 복잡한 형상들을 1차원으로 표현하기 때문에 엔진모델링 작업은 매우 중요하다. 엔진 구성 파이프의 기하학적 형상은 직경, 길이, 곡률로 표현되며, 흡/배기매니폴더는 실제의 가스 거동에 근접하도록 파이프(Pipe)와 정션(Junction)을 이용하여 구성

하였다. 또한 상용 프로그램에서는 VIBE, AVL MCC, HIROYASU 등의 연소모델을 지원하고 있지만 열발생율, 분사율 등에 대한 데이터가 부족하여 기초적인 연소모델인 VIBE함수를 사용하였다. Fig. 1은 해석모델의 구성도이며, 피스톤 직경이 $\varnothing 320\text{mm}$, 행정이 400mm인 7실린더 4행정 디젤기관을 모델링 하였다.

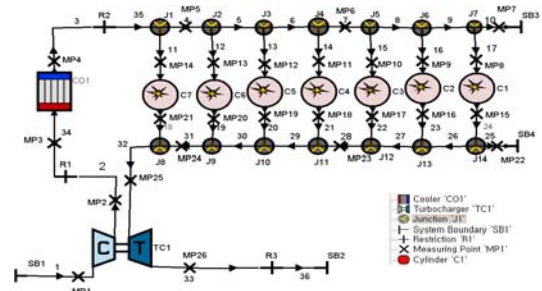


Fig. 1 Simulation model of application diesel engine

2.2 배기 과급기 매칭

엔진 개발의 초기 단계에서 유용한 기능을 가지는 상용 프로그램의 배기 과급기 단순 모델을 사용하여 엔진 목표 성능에 적합한 배기 과급기 사양을 예측할 수 있다.

- ① 엔진 성능 목표값을 설정하고 흡입 공기유량을 계산한다.
- ② 해석 결과인 터빈배출계수로 터빈 크기를 계산한다.
- ③ 터빈맵(Turbine map)으로부터 터빈크기를 선정한다.
- ④ 압축기맵(Compressor map)으로부터 압력비를 선정한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 엔진 성능 비교

엔진 주요 성능을 동일 조건에 있어서 해석결과와 시험 측

+ 최 익수(STX엔진(주) 기술연구소), E-mail: nicsu@etxengine.co.kr Tel: 055)280-0817

++ 김 현규, STX엔진(주) 기술연구소

+++ 유 봉환, STX엔진(주) 기술연구소

정값을 비교하여 Fig. 2에 나타내었다. 제동평균유효압력(Break mean effective pressure)은 최대 0.5% 이하, 제동연료소비율(Break specific fuel consumption)은 최대 3% 내의 오차가 나타나지만 서로 유사한 경향을 보이고 있다. BSFC의 경우 저부하로 갈수록 상대적으로 오차가 크게 증가하는 것은 VIBE 함수에 의한 연소모델 자체가 여러 부하 조건들을 동시에 해석하는 데에 한계를 가지고 있으며, 엔진 작동유체의 온도와 압력값이 100% 부하 조건을 기준으로 입력되어 있어 해석 결과에 영향을 주기 때문이다. 또한 Fig. 3의 실제 측정값에서 나타나는 TDC 근처의 변곡 부분은 VIBE 함수로는 정확한 구현에 한계가 있지만, 보다 정확한 해석을 위해서는 VIBE 함수의 입력 데이터인 연소시작점, 연소기간, 열발생을 형상파라미터에 대한 데이터 측정이 필요하다.

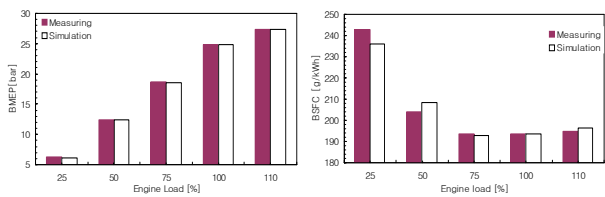


Fig. 2 Comparison of BMEP and BSFC on the engine load

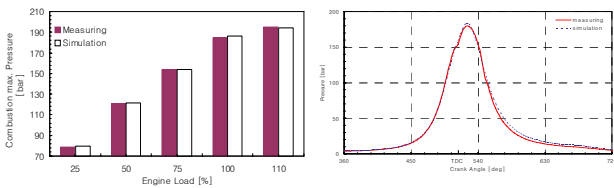


Fig. 3 Characteristics of the Combustion pressure

엔진 내의 가스교환 과정을 확인하기 위하여 Fig. 4, 5와 같이 에어쿨러 출구, 터빈 입구의 온도와 압력의 해석결과를 시험 측정값과 비교하였다. 해석 결과들은 시험 측정값과 유사한 경향을 나타내지만 오차범위가 대략 10% 정도로 비교적 크게 나타난다. 이것은 연소실 및 엔진 구성 파이프에 있어서 벽면 온도, 질량유량계수, 열전달 인자 등에 대한 시험 측정값이 부족하여 일반적인 자료들로부터 추정된 경험값을 사용하였기 때문으로 판단된다.

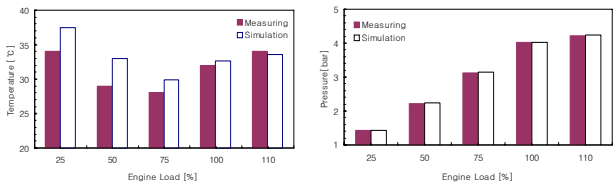


Fig. 4 Comparison of air cooler outlet temperature and pressure on the engine load

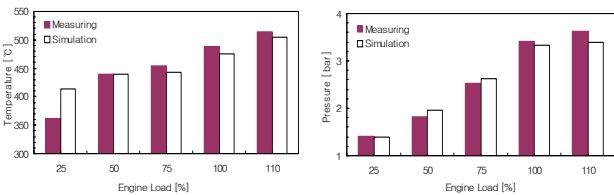


Fig. 5 Comparison of turbine inlet temperature and pressure on the fuel injection delivery

3.2 배기 과급기 엔진 매칭

배기 과급기의 초기 개념설계 단계에서 배기 과급기를 제작하여 엔진 성능 데이터를 실측한다는 것은 엄청난 시간 및 경비 손실이 예상되므로 거의 불가능한 일이다. 따라서 엔진 사이클 시뮬레이션을 이용하여 엔진 및 배기 과급기의 입력 조건들을 가정하여 해석하고 이러한 결과들을 실제 설계 사양에 반영하고자 한다. Fig. 6은 엔진 회전수 720rpm, 부하조건 100%에 있어서 터빈과 압축기의 작동점이다. 배기 과급기 전체 효율(65.5%), 압축기 효율(81%), 기계효율(96%) 등은 경험값을 이용하여 설정하였다. 터빈 노즐부의 단면적을 나타내는 A(160 cm²), B(168 cm²), C(178 cm²)의 곡선으로부터 해석된 터빈 크기의 작동점을 선정할 수 있으며, 또한 압축기의 작동점이 서징 라인과 초크라인을 벗어나지 않고 정상적인지 예측할 수 있다.

시험 데이터를 기준으로 해석 모델을 구성하고 신뢰성을 검증한 후 다양한 운전조건들에 대한 배기 과급기의 작동점을 해석함으로써 엔진 성능에 적합한 터빈 크기 및 압축기의 압력비를 가지는 배기 과급기의 설계사양을 선정할 수 있다.

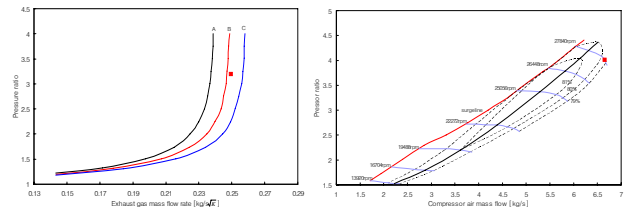


Fig. 6 Turbine and compressor operating point at the load 100%

4. 결 론

- 1) 흡/배기의 가스 거동 특성을 실제에 근접시키기 위해서는 엔진 구성 파이프의 벽면 온도, 유량계수, 연소조건에 대한 더욱 정확한 시험 데이터 측정이 요구되지만 주요 위치의 흡/배기 온도와 압력, 연소실 압력변화 등의 시험 측정값과 해석 결과를 비교하여 해석 모델의 신뢰성을 검증할 수 있었다.
- 2) 터빈 크기, 압축기 압력비, 효율 등을 가정하여 입/출구에서의 가스거동 특성 및 엔진 성능을 예측하여 배기 과급기의 설계사양을 검증할 수 있었다.

참고문헌

- [1] R. C. McIntosh et al, "Turbocharging a 6 Cylinder Diesel for Various Ratings and Application Linear Stable Systems", SAE 810034, 1981.
- [2] J. B. Hywood, Internal combustion Engine Fundamentals, McRraw-Hill, 1991.
- [3] 윤준규, 차경옥 "과급식 디젤엔진의 성능 개선 및 배기가스 저감에 관한 실험적 연구" 한국자동차공학회 논문집, 제 8권, 제 5호, pp. 34-46, 2000.
- [4] 최재성, 박태인, "과급 디젤기관의 성능 시뮬레이션 프로그램 개발" 한국 박용기관 학회지, 제 18권, 제 2호, pp. 221-227, 1994.