

선박용 보조 보일러 시스템 시뮬레이터 개발

김명환¹ · 소명옥² · 정병건[†]

(원고접수일 : 2012년 10월 11일, 원고수정일 : 2013년 1월 2일, 심사완료일 : 2013년 1월 2일)

Development of the simulator for marine auxiliary boiler system

Myoung-Hwan Kim¹ · Myung-Ok So² · Byung-gun Jung[†]

요약: 처음 승선한 실습 기관사가 선박 기기에 대한 다양한 경험을 쌓고 비상시에 대비할 수 있을 정도의 수준에 도달하려면 긴 시일과 많은 비용이 든다. 따라서 현장과 유사한 환경에서 짧은 시간내 체계적인 교육과 훈련을 통해 다양한 경험과 비상시 적절한 판단을 가능케 하도록 STCW-95 권고안을 따르는 여러 형태의 시뮬레이터가 개발되어 교육 훈련 도구로써 활용되고 있다. 현재 국내에서 운용되고 있는 기관시뮬레이터는 전량 외국에서 도입된 것으로서 국제협약의 개정이나 기술발전사항 등을 바로 반영하기 힘든 상황이다. 본 연구에서는 실습기관사가 보조 보일러, 배기 보일러 및 증기터빈과 같은 증기 계통의 각종 장치간의 연관성을 쉽게 파악할 수 있도록 하는 선박용 보조 보일러 시뮬레이터 개발에 대하여 논한다.

주제어: 보조 보일러, 배기 보일러, 질량평형, 열평형

Abstract: It requires long time and high cost for an apprentice engineer to reach the level of getting various experiences of engine space machinery and preparing for emergency situations. Therefore reducing the time and cost, several types of simulator that give the very similar surroundings to the ship engine room, relevant to STCW-95 are used for systematic education and training to get many experiences and good judgement in emergency. Since most simulators that are operated in Korea were imported from foreign countries, it is difficult to directly implant the amendments of STCW Convention and reflect International Maritime Organization (IMO) model courses. This study describe a development of marine auxiliary boiler simulator that makes the apprentice engineer easier to understand the relationship between equipments in steam system such as auxiliary boiler, exhaust gas boiler, and steam turbine.

Key words: Auxiliary Boiler, Exhaust Gas Boiler, Mass Balance, Heat Balance

1. 서 론

실습기관사가 승선 실습기간 중 보조 보일러 운전 상황을 경험하더라도, 배기 보일러를 비롯한 기관실내 증기 계통내 각종 장치간의 구체적인 연관성을 쉽게 파악하기는 힘들다. 또한 보조 보

일러는 대개 자동으로 운전되고 있기 때문에 수동 점화과정을 연습해 보는 것도 쉽지 않다. 따라서 보조 보일러를 포함한 증기 계통을 시뮬레이터로 실현하여 보일러의 자동/수동 및 점화/소화/운전 실습을 행하고 각 장치간의 관계를 파악

† 교신저자: (606-791) 부산광역시 영도구 태종로 727,

한국해양대학교 해사대학 기관공학부, E-mail: bgjung@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4269

1 한국해양대학교 해사대학 기관공학부, E-mail: mhkim@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4267

2 한국해양대학교 해사대학 기관공학부, E-mail: smo@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4248

할 필요가 있다. 먼저 질량평형과 열평형에 기초하여 증기계통에 대한 수학적 모델링을 행하고, 각 장치의 작동과 제어를 위한 흐름도를 구한다. 이후 흐름도를 토대로 프로그램 코딩과 시뮬레이터의 그래픽 화면을 구성한다. 완성된 시뮬레이터를 운전하여 IMO 모델코스에서 제시하는 내용에 대한 수용여부를 검토한다[1]-[3].

2. 본 론

2.1 증기계통의 구성

본 연구에서 모델로 고려한 증기계통내 주요장치로는 보조보일러, 주기관 배기가스 보일러, 터보발전기, 화물유펌프, 급수펌프, 응축기, 급수탱크 및 기타 증기 소비장치가 있다. 이들 장치의 사양과 계통도를 Table 1과 Figure 1에 각각 보이고 있다[4][5].

Table 1: Specification of boiler and equipments related to steam system

보조 보일러	D-타입 수관보일러 상용압력 :1.6 MPa, 증발용량 : 4 ton/h
배기가스 보일러	강제 순환형: 이코노마이저, 증발기, 과열기 : 5 ton/h
터보 발전기	증기구동 터보발전기: 950 kVA (1800 rpm), 진공도: 710 mmHg
화물유 펌프	화물유 펌프 구동 터빈 : 2 대

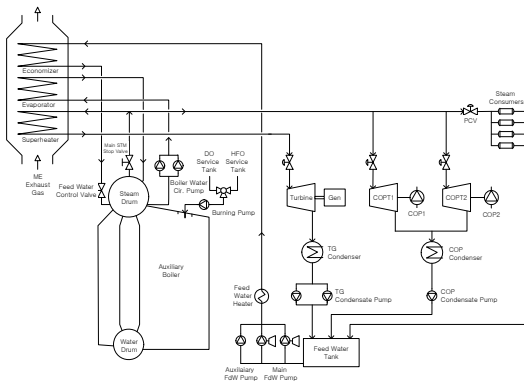


Figure 1: Model diagram for steam system

2.2 증기계통의 모델링

증기계통내 각 장치는 서로 밀접하게 관련되어 있으므로, 하나의 장치에 출입한 질량과 열량에 대한 질량평형(Mass balance)과 열평형(Heat balance)을 고려하여 모델링을 진행한다. 또한 수학적 특성 즉, 적분기, 함수발생기, PID 제어기, 리미터, 1차 계통, 열교환특성 등을 표현하기 위한 수식을 사용한다. Table 2에서는 모델링을 위해 사용한 중요 수식을 정리하고 있다. 다음으로 증기계통의 각 장치를 수학적으로 모델링하기 위해서는 실제 기기의 구체적 작동조건이나 요구조건을 포함하고 있어야 한다. Table 3에서는 증기계통내 각종 장치에 대하여 고려해야 할 여러 가지 사항을 보이고 있다.

Table 2: Mathematical formulae

종류	관련 수식
질량평형	$\sum_{i=1}^n G_{in_i} = \sum_{j=1}^m G_{out_j}$
열평형	$\sum_{i=1}^n Q_{in_i} = \sum_{j=1}^m Q_{out_j}$
적분기	$x_n = \int \dot{x} dt = x_{n-1} + \dot{x} dt$ \dot{x} : error
함수발생기	$y = \frac{y_H - y_L}{x_H - x_L} (x - x_L) + y_L$
1차계	$y_n = y_{n-1} + (x_n - y_{n-1}) * \frac{dt}{T}$ x_n : input, y_n : output
리미터	if $(x_L \leq x \leq x_H)$ $y = x$ if $(x > x_H)$ $y = x_H$ if $(x < x_L)$ $y = x_L$ x : input, y : output

이외에도 각 장치에서 나타나는 신호값(제어변수)들 간의 관계를 명확히 정리해야 한다. 본 연구에 적용된 한 가지 예로서 보일러 증기드럼내 증기압을 일정히 유지하기 위한 자동연소제어계통내 신호들 간의 상관관계를 Figure 2에 보이고 있다[6].

Table 3: Considerations for steam system

증기관련 계통		고려 사항
주기관 배기계통		실린더 출구 배기온도, 과급기 입출구 배기온도 및 압력, 과급기 배기량 및 회전속도
보조 보일러	송풍 및 배기계통	송풍팬 댐퍼 개도와 송풍팬 성능 특성, 송풍팬 출구 공기압, 버너 입구측 공기 흐름량 과잉 공기율과 연소 가스량, 연소실내 압력, 보일러 드래프트, 연기밀도
	연료급유 시스템	연료유 펌프 출구 압력제어, 분무 증기 자동연소제어: 버너 헤더 압력, 버너 수와 연료 유량간 특성, 연료 순환량 제어 밸브
	증기 드럼	수위제어: 1차 지연계, 안전 밸브, 에어 벤트, 수면/수저 방출밸브, 증기 소비량 평형 증기압력제어: 1차 지연계, 포화압력/온도 특성, 압력/잠열/엔탈피 특성, 보일러 시정수
	워터 드럼	연소실로부터의 열전달, 연료 소비량과 보일러 열효율간 특성
배기 보일러		주기관 배기가스 흐름량과 열전달량 간의 특성, 이코노마이저, 증발기, 과열기의 열평형 순환수 펌프, 수트블로워
주급수펌프		급수펌프 터빈 증기량, 급수펌프 터빈 회전수와 출력, 급수펌프 출력과 흐름량 1차계통의 직결 급수펌프/터빈 특성, 보조급수 펌프 흐름량
터보 발전기	터빈	터빈 입구 및 출구측 증기압력, 흐름량, 열낙차, 터빈출력과 손실특성, 터빈 회전속도 증기 조절밸브, 터빈 비상정지장치
	복수기	복수기내 응축 온도, 진공도, 수위제어, 응축 온도와 진공도 특성 진공 펌프, 복수 펌프
자동연소제어		주 제어기: 피드백 게인, PI 제어기 연료 제어기: 부하, 연료 흐름량, PI제어기, 최소 연료 압력 리미터, 연료 압력제어밸브 공기량 제어기: 공기흐름율, 과잉공기율, 공기량 피드백, PI제어기, 송풍팬 댐퍼 구동 과잉 공기율: 실제 연료 흐름량, 실제 공연비 특성, 실제 과잉공기율 연기 밀도: 1차 지연계, 과잉공기율
버너 제어		비상 정지, 트립 리셋, 프리퍼지, 연소용 타이머, 버너 관리, 화염 소화
급수제어기		급수 제어기: PI제어기, 급수 조절밸브 구동
제어밸브, 오리피스		유량계수, 압력손실 특성
화물유펌프복수기		복수기 입출구 냉각수 온도, 복수량
드레인 냉각기		드레인 흐름량, 출구측 드레인 온도
급수가열기		급수량과 가열 증기량 간의 특성, 출구측 급수 온도
급수탱크		탱크 수위와 급수 온도: 1차 지연계
급수라인		급수펌프 출구압력, 급수가열기 통과량, 급수 조절밸브 입구압력, 흐름량, 유량계수
증기 소비장치		열평형, 질량평형

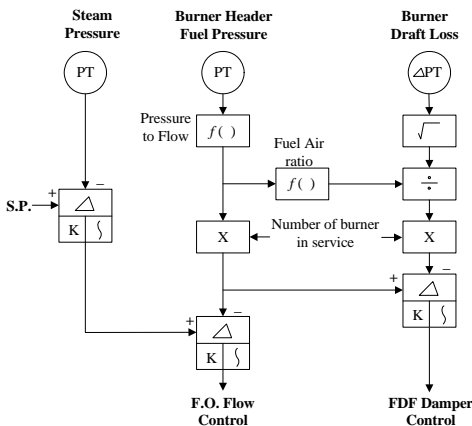


Figure 2: Block diagram of boiler steam pressure control

다음으로는 각 장치에 대한 모델의 작동과 제어를 위한 흐름도를 작성한다. 보일러 운영을 위한 다수의 제어 흐름도가 작성되었으며 그 중 **Figure 3**은 보일러 버너제어를 수행하는 흐름도이다.

2.3 그래픽 사용자 인터페이스

2.2절에서 설명한 각 장치의 운전 제어 흐름도를 토대로 장치간의 연관관계를 정리하고 프로그램 코딩과 시뮬레이터의 그래픽 화면 구성작업을 수행한다. 이후 그래픽 화면에 사진, 그림, 음향 등을 덧붙여 현실감과 교육 효과를 높일 수 있도록 한다[5][7]. 만들어진 그래픽 화면의 한 예로서 **Figure 4**는 보일러가 정상 운전중일 때의 모습이며, **Figure 5**는 보일러 화면상에 표시된 차압전송

기(DPT)를 클릭하면 팝업 윈도우를 열어 해당 장치의 사진을 보여주는 모습이다.

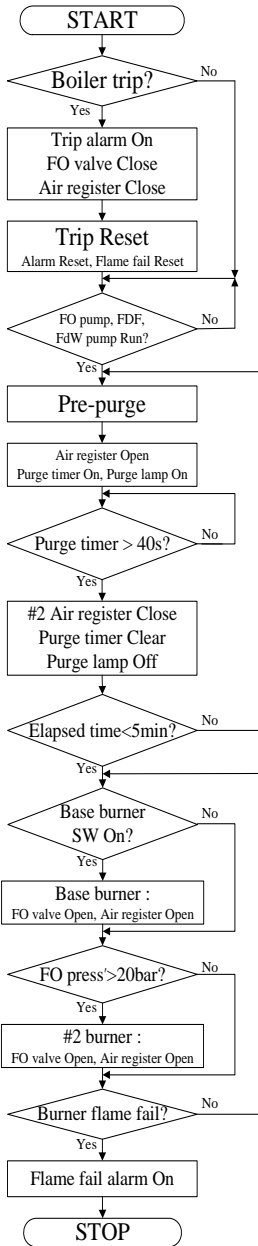


Figure 3: Flow diagram for burner control

Figure 6은 보일러 버너 점화 및 운전연습을 위하여 제작한 미믹보드(mimic board)이다. 미믹보드에 설치된 버튼과 스위치를 이용하여 Figure 4의

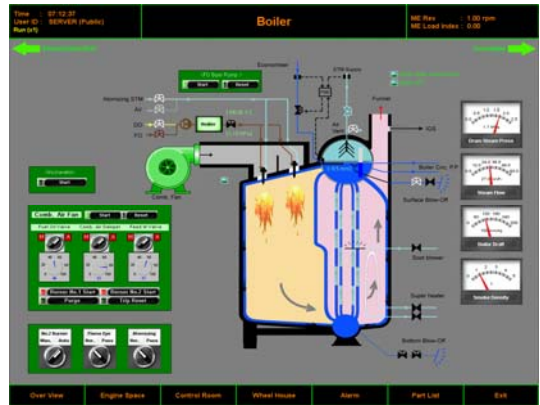


Figure 4: Auxiliary boiler normal operation

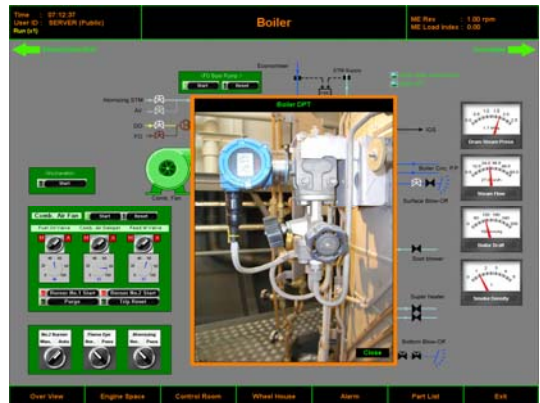


Figure 5: Pop-up window for displaying DPT



Figure 6: Auxiliary boiler mimic board

화면에서 마우스로 수행할 수 있는 조작성을 똑같이 실행할 수 있다. 관련 동작 상태는 미믹보드의 LED 표시램프를 통해 확인하게 된다.

Figure 7은 항해중 주기관이 전속운전중일 때 배기 보일러로 증기를 생산하고 있는 모습이다. 이렇게 생산된 증기를 이용하여 터보발전기(turbo generator, TG)를 정상운전하고 있는 모습을 Figure 8에서 보이고 있다. 화면에서 조속기의 부하제한(load limit)을 100%로 설정하여 전력부하의 증감에 따라 증기공급량을 최대한도로 제어 가능하도록 하고 있다.

Figure 9는 항내 정박중, 신고 온 액체화물을 육상으로 하역하기 위하여 보조 보일러에서 생산된 증기를 이용하여 화물유펌프 터빈(cargo oil pump turbine, COPT)과 급수펌프 터빈(feed water pump turbine, FWPT)을 운전하는 모습을 보이고 있다.

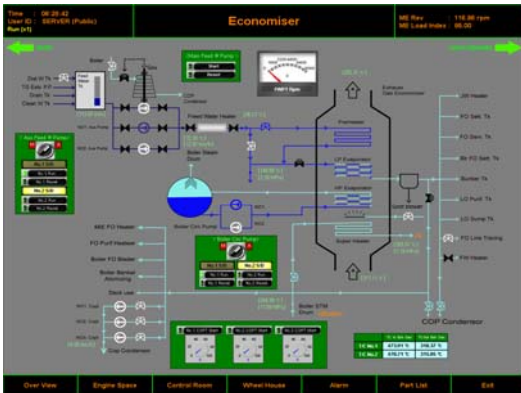


Figure 7: Exhaust gas boiler operation at sea

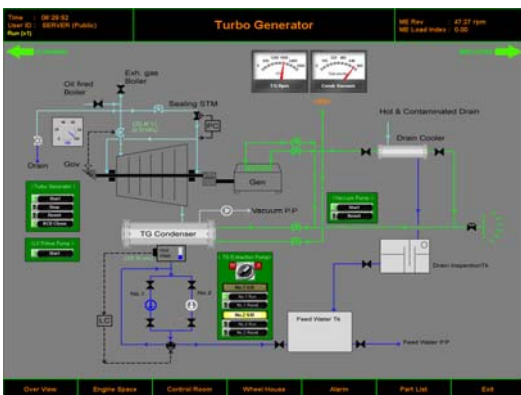


Figure 8: Steam turbo generator operation

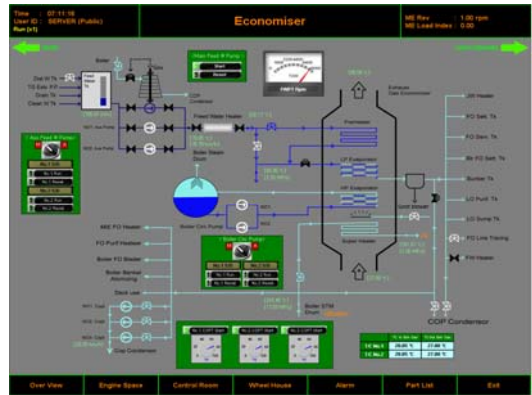


Figure 9: Cargo oil pump turbine operation

2.4 IMO 모델코스

본 연구에서 개발한 보조 보일러 시뮬레이터가 IMO 모델코스 2.07에서 요구하는 증기계통에 대한 가이드라인을 지원하는 지 여부를 Table 4에 정리하고 있다[3][8]. 터보 발전기에서 주배전반에 이르는 전력공급계통은 본 논문에서는 언급하지 않았지만 시뮬레이터 프로그램 내에서 작동되고 있다.

Table 4: List of STCW-95 and IMO model course 2.07 competencies

장치	운전 과정	지원여부
증기 보일러	상용운전압력으로 증기압을 올리기 위한 준비 및 증압 과정	지원함
	증기계통으로의 증기공급 과정	지원함
증기터보 발전기	증기터보발전기의 기동준비, 기동, 운전과정	지원함
	진압, 주과수, 동기화 제어를 통해 터보발전기를 주전력계통에 접속하는 과정	지원함
	디젤 발전기와 터보 발전기간의 부하분담 시연 과정	지원함
화물유 펌프터빈	증기화물유펌프 구동터빈의 기동준비, 기동, 운전과정	지원함
	화물유의 이송을 위한 펌프 운전과정	지원함

3. 결론

본 연구에서는 선박내 열에너지를 공급하는 보조 보일러 시스템에 대응한 교육용 시뮬레이터를 개발하였다. 실제 선박의 증기계통에 설치된 각종 장치를 컴퓨터 그래픽 화면으로 구현하여 현장감 있는 교육 효과를 얻게 되었다. 개발된 선박용 보조 보일러 시뮬레이터는 STCW-95 권고안을 포괄하고 있으며, IMO 모델 코스 2.07에 따른 교육 훈련과 수학적 모델을 이용한 연구가 가능함을 확인하였다. 본 연구를 통해 시뮬레이터 관련 국제협약의 개정 내용과 기술발전사항 등을 곧바로 반영할 수 있는 기반을 마련하게 되었다.

Engineering, vol. 25, no. 4, pp. 716-726, 2001
(in Korean).

참고문헌

- [1] STCW Convention and STCW Code 1978/2010, International Maritime Organization, 2011.
- [2] SOLAS Consolidated edition, Part 1, International Maritime Organization, 2001.
- [3] IMO Model Course 2.07 Engine-Room Simulator, International Maritime Organization, 2003.
- [4] L. Goldsworthy, B. Jung, P. Niekamp, and S. Earl, "Development of the Australian maritime college pc-based machinery space simulator," MARTECH 2002, pp. 1-17, Singapore, 2002.
- [5] B. Jung, "A survey for the development of machinery space simulator," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 27, no. 1, pp. 91-99, 2003 (in Korean).
- [6] S. G. Dukelow, The Control of Boiler, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 1991.
- [7] B. Jung, M.-O So, P.-Y Eum, S.-H Paek, and C.-H Kim, "Development of the marine engine room simulator," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 31, no. 7, pp. 872-880, 2007 (in Korean).
- [8] Y.-W Jeon, "The recent trends of maritime training in the 1995 STCW Convention," Journal of the Korean Society of Marine