

공학석사 학위논문

기관 시뮬레이터 개발 연구

A Study on the Development of Machinery Space Simulator

지도교수 정 병 건

2005년 11월

한국해양대학교 대학원

메카트로닉스공학과

이 영 찬

A Study on the Development of Machinery Space Simulator

Young-chan Lee

*Department of Mechatronics Engineering,
Graduate School of Korea Maritime University*

Abstract

There is no better way to get experience on engine system of vessel than actually operating and managing the engine system on-board. However it requires a lot of time and cost to acquire a variety of experiences and to arrive at the competent level of managing the emergency situations.

Also, accidents by beginner's wrong judgment often occurs in doing the complicated and danger works situation. So IMO introduced the international convention of STCW-95 that advised the simulator training about the ship handling, engine maneuvering, radio communication, loading and unloading of freight.

At the moment, the simulators are being used as the tools for trainee to give various experiences and to enable appropriate judgment in case of emergency through systematic education and training under environment similar to the actual system. However most of the engine simulators system currently being used in Korea were imported from foreign countries and

thus have the limitation that those cannot easily update themselves to meet the revisions of international agreement, the developments of engine systems of vessel and computer techniques at the times of necessity.

Also during the training by simulator, the trainee is expected to execute the certain specific scenarios with the guidance from instructor. But this method has the demerit that the trainee cannot properly follows all of the processes of the scenario by himself after the training was finished.

This thesis proposes the mathematical modeling method necessary for the development of machinery space simulator and procedures that will enable trainee to execute all of the processes of scenario about the machinery operation on his own. The mathematical model is composed of modules that represent the equipments, functions, characteristics and etc.

For next one, this study suggests training exercises to enhance the understanding of management of engine system and to evaluate the degree of understanding of simulation training. Through the training exercises, the understanding of relationships between the equipments, the systems, and the parameters of essential equipments was increased and the foundation for efficient operation was established.

In addition to the simulation training led by instructor, since trainee can now repeatedly executes sequential processes of engine operation easily on his own, he can widen the extent of understanding not only of each equipments but also of whole sequential operation.

After the simulation training, it is possible for the trainee to achieve the practical level through solving the problems provided by the training exercises. Based on the data accumulated during the training exercise, instructor can easily determine whether the trainee accomplishes the competent level or not and have opportunities to provide necessary information to trainee.

In the future, I would like to continue the research about graphic user interface of machinery space simulator and the education and training method for many trainees by one instructor using server/client system via network.

목 차

Abstract	i
목 차	iv
Nomenclature	v
Abbreviation	vi
List of figures	viii
List of Tables	ix
제 1 장 서 론	1
제 2 장 수학적 모델링	2
제 3 장 교육 및 훈련 기능	18
3.1 프로시저	19
3.2 연구 및 개발 기능	25
3.3 평가 및 증서 교부 기능	29
제 4 장 결 론	31
참고문헌	32

Nomenclature

dt :	Scanning time
G_{in} :	Amount of mass coming in to the system
G_{out} :	Amount of mass coming out of the system
Q_{in} :	Amount of heat coming in to the system
Q_{out} :	Amount of heat coming out of the system
x_n , y_n :	Variables
\dot{x}_n :	Deviation
T :	Time constant

Abbreviation

ACB:	Air Circuit Breaker
ACC:	Automatic Combustion Control
AI, AO:	Analog Input, Analog Output
CFW:	Cooling Fresh Water
CO:	Cylinder Oil
COPT:	Cargo Oil Pump Turbine
CPP:	Changeable Pitch Propeller
CR:	Control Room
DG:	Diesel Generator
DI, DO:	Digital Input, Digital Output
DO:	Diesel Oil
FDF:	Forced Draft Fan
FO:	Fuel Oil
FPP:	Fixed Pitch Propeller
FWE:	Finished With Engine
FWP:	Feed Water Pump
FWPT:	Feed Water Pump Turbine
FWR:	Feed Water Regulator
GUI:	Graphic User Interface
HB:	Heat Balance
HFO:	Heavy Fuel Oil
HP:	High Pressure
IGS:	Inert Gas System
JCFW:	Jacket Cooling Fresh Water
JW:	Jacket Water
LO:	Lubricating Oil
LP:	Low Pressure
MB:	Mass Balance

ME:	Main Engine
MSBD:	Main Switch Board
NFB:	No Fuse Breaker
NOx:	Nitrogen Oxide(s)
PID:	Proportional Integral Differential
PV:	Pressure vs. Volume
P θ :	Pressure vs. crank Angle
SG:	Shaft Generator
SI:	Standard Internationale
SOx:	Sulfite Oxide(s)
SW:	Sea Water
TC:	Turbo Charger
TG:	Turbine Generator
UMS:	Un-Manned Surveillance
VLCC:	Very Large Crude oil Carrier
WH:	Wheel House

List of Figures

Figure 1: Configuration of a machinery space simulator	4
Figure 2: PID control window	10
Figure 3: Simulation controlling window	10
Figure 4: Set malfunction window	10
Figure 5: Block diagram of modules for main engine	12
Figure 6: Implementation of an oil fired boiler	16
Figure 7: Sequential machinery operations	20
Figure 8: Open procedure 1-1	21
Figure 9: Execution of procededure 1-1	21
Figure 10: Guidance from procedure 1-1	22
Figure 11: After start emergency air compressor	22
Figure 12: Waiting for charging the start air tank	23
Figure 13: After charging the start air tank over 1.3MPa	23
Figure 14: Open exercise 6	25
Figure 15: Theory pane of exercise 6	26
Figure 16: Task1 pane of exercise 6	26
Figure 17: Task2 pane of exercise 6	27
Figure 18: Task3 pane of exercise 6	27

List of Tables

Table 1: Specification of the model plant 5

Table 2: Common requirements for the simulator 8

Table 3: Unit example of the common data 9

Table 4: Common data area 9

Table 5: Requirements for main engine 13

Table 6: Requirements for auxiliary machinery 14

Table 7: Details for oil fired boiler and the related 15

Table 8: Content of education and training 18

Table 9: Procedures for sequential machinery operation 19

Table 10: Exercises for research and study 24

제 1 장 서 론

선박기관에 대한 경험을 얻는 방법으로는 실제 승선해서 기관을 운전 관리해보는 것보다 더 좋은 방법은 없다. 그러나 선박에서 업무 수행을 통해 다양한 경험과 비상시에 대비할 수 있을 정도의 수준에 도달하려면 상당한 시일과 많은 비용이 요구된다. 또한 초보자가 복잡하고 위험한 업무를 해나가다 보면 판단 미숙에 따른 사고로 연결되는 경우가 종종 발생하기 때문에, 현장과 유사한 환경하에서 체계적인 교육과 훈련을 통해 다양한 경험과 비상시 적절한 판단을 가능케 하도록 STCW-95 권고안^{[1],[2]}을 따르는 선박조종, 기관, 통신, 화물적양하^[3] 등의 시뮬레이터가 개발되어 교육 훈련 도구로써 활용되고 있다.

그러나 현재 국내에서 운용되고 있는 기관 시뮬레이터는 대부분 외국으로부터 도입된 것으로서 국제협약의 개정, 선박기관과 컴퓨터 기술발전 등에 따른 변경사항을 필요한 시기에 능동적으로 수용할 수 없는 한계를 지니고 있다. 또한 시뮬레이터 교육시에는 특정 시나리오를 가정하여 훈련생이 이를 수행하는 방식을 이용하는데^{[4]-[6]}, 이러한 방식은 교육이 끝난 후 훈련생 혼자서 시나리오 과정을 연습할 때, 초보자의 경우 교육자로부터 안내를 받지 못하기 때문에, 시나리오 전체 과정을 제대로 수행해내지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 기관 시뮬레이터 개발에 필요한 수학적 모델링 방법과 훈련생 혼자서 시나리오 전 과정을 컴퓨터의 안내를 받아 수행해 나갈 수 있도록 하는 프로시저를 제안한다.^[7] 다음으로 기관관리에 대한 이해를 증진시키기 위한 과제 연습과 시뮬레이션 훈련 이해 정도를 알아보기 위한 평가를 어떻게 수행할 것인지도 제안하도록 한다.

제 2 장 수학적 모델링

기관 시뮬레이터 교육을 받게 되는 훈련생은 초보 실습생 수준에서부터 고급기관사에 이르기까지 다양한 계층으로 나누어지며, 이들에 대한 교육은 각 단계별 수준을 고려하여 이루어져야 한다. 즉 기관실내 설치된 주기관, 보조기계 등의 운전법과 관련 주변 기기와의 연관관계를 설명해야 하는 초보단계가 있는가 하면, 주기관을 비롯한 선박전체의 효율적 운용과 관련된 여러 가지 파라미터를 변화시켜 어떻게 운전하는 것이 가장 경제적인 운전이 될 수 있는지 각 파라미터간의 상관관계를 교육해야 하는 수준까지 교육내용의 범위는 상당히 넓게 나타난다.

또한 교육에 사용되는 기관 시뮬레이터 자체도 컴퓨터와 모니터만으로 구성되는 컴퓨터기반 시뮬레이터(Computer-based simulator)로부터 실제로 기관실에서 사용되는 기기가 설치 운전되는 완전한 기관실 형태의 기관 시뮬레이터(Full-scope machinery space simulator)까지 다양한 형태의 시뮬레이터가 개발 운용되고 있다.

초보자에 대한 기관 시뮬레이터 교육은 먼저 컴퓨터 기반 시뮬레이터로 기관실내 각종 기기의 운전과정에 익숙해질 때까지 적응 훈련을 한 다음, 실제로 운전 상황을 연출하는 기관구역 시뮬레이터 교육으로 전환하는 것이 일반적이다. 기관 시뮬레이터 교육과 관련된 연구에 따르면, 전술한 두 가지 형태의 시뮬레이터를 이용한 교육에서 각각의 교육효과에서의 차이는 없으며, 오히려 컴퓨터 기반 시뮬레이터에서의 교육이 더 효과적으로 이루어짐을 보여 주기도 한다.^[8] 이는 초보자에게 있어 적은 비용으로 만들어지는 소규모 컴퓨터 기반 시뮬레이터가 많은 비용이 들어가는 대규모 기관 시뮬레이터보다 집중하기 쉽고 덜 복잡하게 느껴진다는 측면에서 이해될 수 있다.

한편 기관 시뮬레이터를 개발하려면 우선 모델기관을 선정해야 할 필요가 있다. 왜냐하면 선박에 추진동력을 공급하는 기관실의 내부구성은 운송하려는 화물의 종류, 운항구역, 운항 계절 등에 따라 크게 달라지기 때문이다. 즉 LNG운반선, 원유운반선, 일반화물선 등의 기관실은 화물 종류에 따라 기관실에 설치되는 기기

가 차이가 나게 되며, 이런 점이 본질적으로 하나의 기관 시뮬레이터로 모든 형태의 기관실을 표현하기 힘들게 만든다. 따라서 특정한 목적의 선박 기관실을 개발 대상으로 선정하고, 이를 수학적으로 모델링하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 컴퓨터 기반 기관 시뮬레이터 개발과 관련된 내용에 한정하여 논의를 진행하고자 한다. 먼저 기관 시뮬레이터 구성을 Figure 1과 같이 크게 5개의 부분, 즉 수학적 모델, 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface; GUI), 교육 및 훈련, 연구 및 개발, 평가 및 증서 교부 부분으로 나눈다. 여기서 그래픽 사용자 인터페이스 부분은 본 연구에서 제외하고 향후 과제로 돌린다.

수학적 모델 부분에서는 특정선박의 기관실을 시뮬레이션 모델로 선정하고, 기관실내 각종 기기를 상호간 정보를 주고받을 수 있는 모듈로 나누어 수학적 모델링을 수행한다. 이 과정에서 각 기기의 중요 요구사항을 빠짐없이 반영하도록 해야 한다. 완성된 수학적 모델 수식으로부터 실시간적으로 계산된 각종 변수값을 그래픽 사용자 인터페이스에 물려 표시하게 된다.

훈련생은 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 실제 기관실의 기기를 운전하듯이 모의 운전훈련을 받을 수 있으며, 교육자 역시 이를 통해 관련 기기의 운전 특성에 대한 검토와 연구개발을 수행할 수 있다. 그리고 시뮬레이션 교육과 훈련을 수행하는 과정에서 훈련생이 시뮬레이터의 요구에 따라 입력하게 되는 각종 정보는 시뮬레이션 도중 또는 끝에서 평가되는 자료로 사용된다. 특정 시뮬레이션 과정을 교육받으면서 일정 점수 이상의 평가를 얻은 훈련생에 대하여 시뮬레이션 교육이수 인증서를 발급할 수 있도록 설계한다.^{[9],[10]}

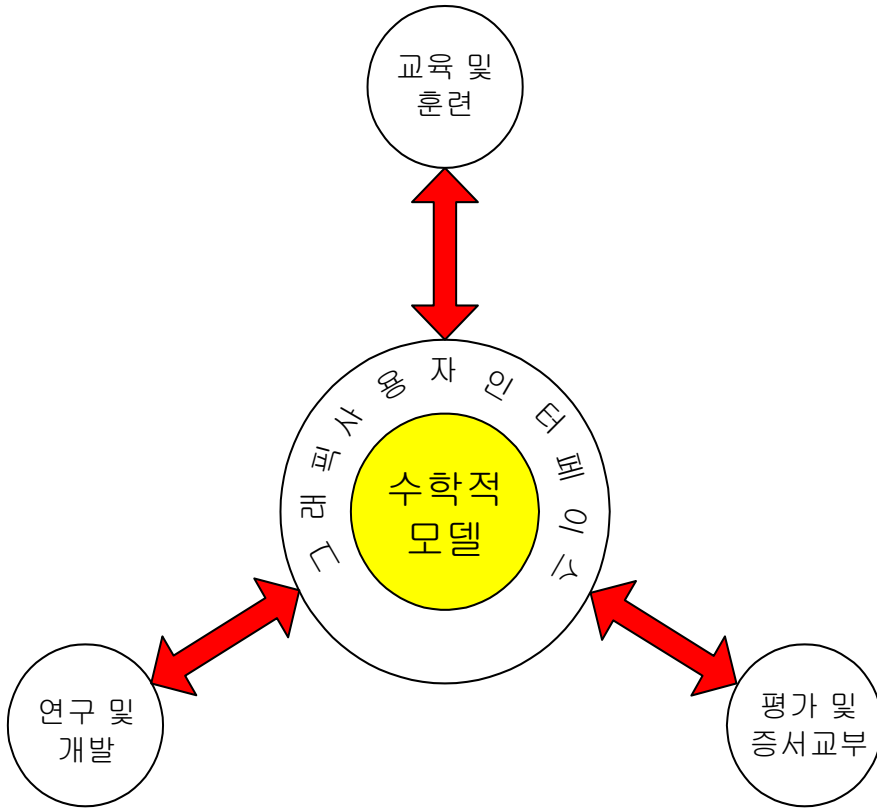


Figure 1: Configuration of a machinery space simulator

본 연구에서 선정된 기관실 모델은 대형 액체화물 운반선(VLCC)의 기관실로서 모델 플랜트의 주요 사양은 Table 1과 같다.

Table 1: Specification of the model plant

선박 모델	벌크 운반선; 중량톤수: 120,000ton, 속도: 16.8knot LxBxD: 230 x 46 x 13.7m
주기관	단동, 2행정, 유니플로우 소기방식, 과급, 크로스헤드 형식; 실린더 수: 7, 행정: 200cm, 실린더 직경: 80cm, 상용 출력: 16.5MW at 105rpm
터보 발전기	증기 구동 터보 발전기; 760kW at 1800rpm
디젤 발전기	2대의 디젤 발전기; 620kW each at 720rpm
보일러	2대의 버너를 갖춘 D-type 수관 보일러; 상용압력: 1.57MPa, 증발량: 4ton/h
배기 가스 보일러	2중 압력 배기 가스 보일러; 예열기부, 저압 및 고압부, 과열기부
공기 압축기	시동공기, 서비스 공기, 비상 공기 압축기
기타	화물유 펌프터빈(COPT), 청정기(FO, LO, DO) 등
프로펠러	역전가능 주기관과 고정 피치 프로펠러(CPP), 일방회전 주기관과 가변 피치 프로펠러(FPP)
제어 모드	브릿지 제어, 콘트롤 룸 제어, 기측 제어

실제 선박의 기관실과 동일한 상황이 재현되기 위해서는 특정 선박의 기관실을 모델로 선정하고 이를 수학적으로 모델링 하게 되는데, 이 과정에서 주기관을 비롯한 기관실내 각종기기를 상호간에 의존적인 모듈로 구분하여 부분적인 해석이 쉽게 이루어질 수 있도록 해야 한다.

각 모듈의 수학적 모델링과 코딩으로부터 구해지는 목적파일을 라이브러리화하고 하나의 실행파일로 통합한 다음, 기관실의 실시간 운전 상황을 재연한다.

기관실을 수학적으로 표현하는 모델링 과정에서 가장 먼저 고려해야 할 사항은

시스템 전체에 영향을 미치는 공통적인 요소가 되어야 한다.

우선 단위계에 대하여 생각해 보면, 현재 산업계에는 표준단위인 SI 단위가 일반적으로 쓰이는 추세에 있지만 관용적으로 쓰이고 있는 단위도 일부 고려해야 할 필요가 있다.

수학적 모델링과 관련된 데이터는 변수, 상수 및 파라미터, 오작동(Malfunction)과 경보(Alarm) 등으로 나누어질 수 있다. 필요시 사용자가 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 특정 상수나 파라미터의 값을 바꾸어 줌으로써 시뮬레이션 진행 상황에 변화를 초래할 수 있어야 한다.

기관실 내의 각 기기들은 서로 간에 밀접하게 관련되어 있기 때문에, 각 시스템으로 출입한 열 Q_{in} , Q_{out} 에 대한 열평형(Heat balance)과 출입한 질량 G_{in} , G_{out} 에 대한 질량평형(Mass balance)을 고려할 필요가 있다.

$$\sum_{i=1}^n Q_{in,i} = \sum_{j=1}^m Q_{out,j} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n G_{in,i} = \sum_{j=1}^m G_{out,j} \quad (2)$$

또한 수학적 모델링에는 압력, 온도, 수위 등을 나타내는 변수 x_n 의 시간적 변화를 표현하는데 공통적으로 쓰이는 적분기가 반드시 있어야 한다.

$$x_n = \int \dot{x}_n dt = x_{n-1} + \dot{x}_n dt \quad \dot{x}_n : \text{deviation} \quad (3)$$

비선형적 운전특성을 보이는 기기에 대해서는 특성곡선상의 하위값 (x_L , y_L)과 상위값 (x_H , y_H)로부터 임의의 중간값 (x , y)를 계산하기 위한 함수발생기도 준비되어야 한다.

$$y = \frac{y_H - y_L}{x_H - x_L} (x - x_L) + y_L \quad (4)$$

그리고 냉각기나 가열기와 같은 열교환기의 열전달 특성을 나타내기 위한 1차 지연계도 필요한데, 시정수를 T라고 하면 다음과 같이 표현할 수 있다. .

$$y_n = y_{n-1} + (x_n - y_{n-1}) \frac{dt}{T}, \quad x_n: \text{입력}, \quad y_n: \text{출력} \quad (5)$$

변수값을 상한값과 하한값 이내로 제한하는 리미터(limiter)도 사용하도록 한다.

$$\begin{aligned} \text{if } (x_L \leq x \leq x_H) \quad & y=x; \\ \text{if } (x > x_H) \quad & y=x_H; \\ \text{if } (x < x_L) \quad & y=x_L; \end{aligned} \quad (6)$$

시뮬레이션이 시작되면 각 모듈의 수학적 모델 수식은 서로 간에 정보를 교환 하면서 기관실 각부의 변수값을 일정시간 마다 반복적으로 계산하여 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 사용자에게 제공하게 되는데, 이때 시뮬레이터 운전, 가속과 감속, 트렌드 기능, 데이터 저장 및 로딩 등과 관련된 사항 등도 중요한 요소가 된다.

이상 지금까지 논의한 시뮬레이터 시스템 전체에 영향을 미치는 공통적인 요소들을 Table 2에 정리한다. 또한 Table 2의 단위와 관련된 예를 Table 3에, 데이터 부분과 관련된 자세한 내용을 Table 4에 정리한다. 그리고 Table 2의 공통함수분야의 PID제어기를 구체화한 예를 Fig 2에, 시뮬레이션 제어분야를 구체화한 예를 Figure 3에, 그중에서도 편집기능의 예를 Figure 4에 보인다.

Table 2: Common requirements for the simulator

분야	세부항목	주요 사항	
단위	SI 단위계	SI 단위 변환표 및 관용 단위 이용	
데이터	변수	내부변수, 외부변수	
		디지털 신호입력, 디지털 신호출력, 아날로그 신호입력, 아날로그 신호출력	
	상수 및 퍼라미터	·대기온도, 해수온도, 선박홀수, 연료유 점도, 제어기 게인, 각종 성능곡선, 시정수 등 ·기본 설정값 변경 기능	
		통용범위: public, restricted, private	
	오작동	·필터의 오손 또는 막힘, logic fail, 마멸, 흐름량 부족, 유압 불충분, 조정 불량, 밸브 누설 등	
경보	· 디지털 신호출력, 아날로그 신호출력 · 온도, 압력, 점도, 레벨 등		
	경보 하한값과 상한값, 경보 그룹		
평형	열평형, 질량평형, 전력부하평형 등		
공통함수	적분기, 함수발생기, 1차 지연계, 리미터 등		
	PID 제어기	·정방향/역방향작동 제어기, 범프리스(bumpless) 전환 ·게인, 적분시간, 미분시간	
	열교환기	· 유체1 유체2 각각에 대하여, 흐름질량, 비열, 열전달율, 전열면적, 입출구측 온도 · 1차 지연계로 설계	
시뮬레이션	스캔 타이머 (Δt)	타이머Ⓐ : $\Delta txFz$ 타이머Ⓑ : $\Delta txFzXTs$ 타이머Ⓒ : $\Delta txFzTsxSr$	Δt : scan time Fz: freeze Ts: time scale Sr: steady run
	Playback	시작, 멈춤, 반복 재생 기능	
	가감속기능	가속 감속 기능 (x0.25 ~ x1 ~ x60)	
	트렌드	특정 외부변수에 대한 트렌드(Trend) 기능부여	
	파일	시뮬레이션 데이터 파일 저장, 로딩 기능	
	편집기	오작동, 경보 부여 기능	

Table 3: Unit example of the common data

Data 종류	MKS 단위	SI 단위	변환
압력	kg/cm ²	MPa	10.1972kg/cm ² = 1MPa
칼로리	kcal/kg	kJ/kg	0.23889kcal/kg = 1kJ/kg
주기관 출력	PS	kW	1.36PS = 1 kW

Table 4: Common data area

기호	설명	데이터형	데이터 속성	데이터 값
PDxxxx	Process Data (DI)	정수형	S, R	0(off), 1(on)
	" (DO)	"	S, R	0(off), 1(on)
	" (AI)	실수형	R	0.0 - 100.0
	" (AO)	"	S, R	각 채널 테이블(range)
DOMNmm	DO모듈 상태데이터	정수형	S, R	0 (DO 무변화시) not 0 (DO 변화시)
CPxxxx	Constant, Parameter data		R	각 채널 테이블
MFxxxx	Malfuction data	정수형	R	0 (오동작 리셋) 1 (오동작 셋)
GRPSnn	Repose Group data	"	S, R	0 (정상) not 0 (위임)
ALxxxx	Alarm data	-	S, R	
FLxxxx	Lamp(DO) Flicker data	-	R	
AMyzzz	Global data	실수형	S, R	수학모델 프로그램용으로만 사용됨
DMyzzz		정수형	S, R	
기호 xxxx: 채널 번호 mm: DO 모듈번호 nn: 위임그룹번호 y: 수학 모델 그룹 zzz: 데이터 번호		데이터 속성 S: Set by program R: Refer by program		

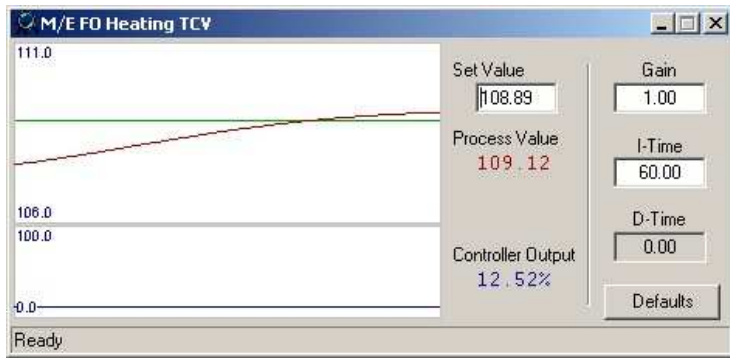


Figure 2: PID control window

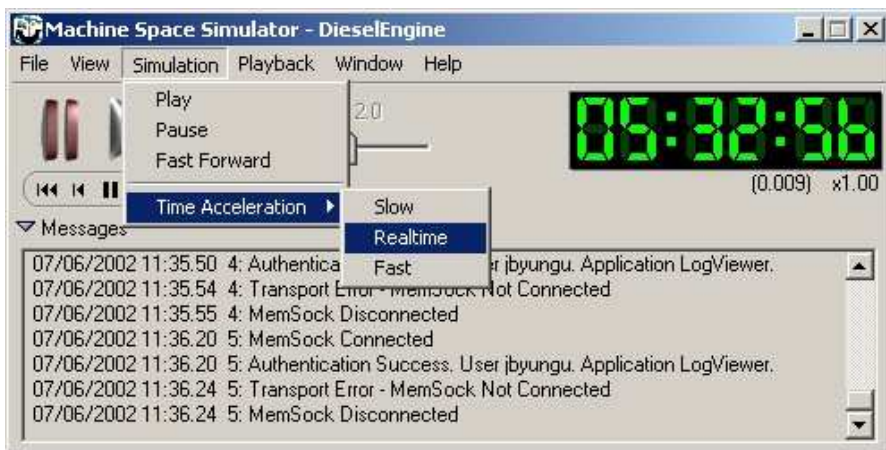


Figure 3: Simulation controlling window

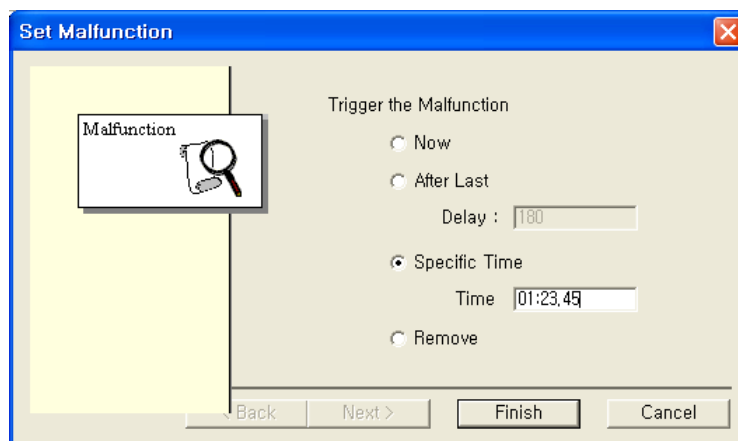


Figure 4: Set malfunction window

다음은 기관실내 기기들을 그 내용과 특성에 따라 여러 개의 모듈로 나누고, 각 모듈에 대한 수학적 모델을 설계한다. 각 모듈은 서로간에 중요정보를 주고받으면서 상호 작용을 하게 된다.

모듈화에 대한 예로서 기관실 기기중 가장 중요한 주기관에 대한 모듈화 개념도를 Figure 5에 정리한다. 각 모듈은 중요 데이터를 서로 주고받으면서 매 스캐닝마다 수식에 따라 반복적으로 새로운 데이터를 계산하게 된다. 얻어진 데이터 중 외부 변수값은 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 훈련생에게 새로운 데이터로 제공된다.

모듈에 따라서는 관련 국제법규, 산업 현장의 요구사항, 시뮬레이션 교육효과증대 등 여러 가지 내용을 검토해야 함과 동시에 실제로 사용되고 있는 장치나 기기의 구체적 작동조건도 함께 반영되도록 한다.

모듈 설계에 있어 고려해야할 요구사항의 예로서 주기관과 관련 보조시스템에 대한 요구사항을 Table 5에, 보조기계와 전력계통 등에 대한 요구사항을 Table 6에, 그리고 보조기계중 기름연소보일러와 배기보일러의 세부시스템과 구체적 요구사항을 Table 7에 정리한다.

상기 모듈화 과정을 통해 각 모듈의 설계, 플로우차트 작성, 코딩 작업, 디버깅 등의 순으로 모든 과정이 끝나면 최종적으로 컴파일하여 하나의 실행 프로그램으로 통합하게 된다. 이렇게 구해진 수학적 모델 구동엔진에 실제 기기의 모습을 사실적으로 표현하는 그래픽 사용자 인터페이스와 도표, 사진, 그림, 음향 등을 덧붙이면 현장감 있는 기관 시뮬레이터가 완성된다. Figure 6은 완성된 기관 시뮬레이터의 기름 연소 보일러 그래픽 사용자 인터페이스를 보여주고 있다.

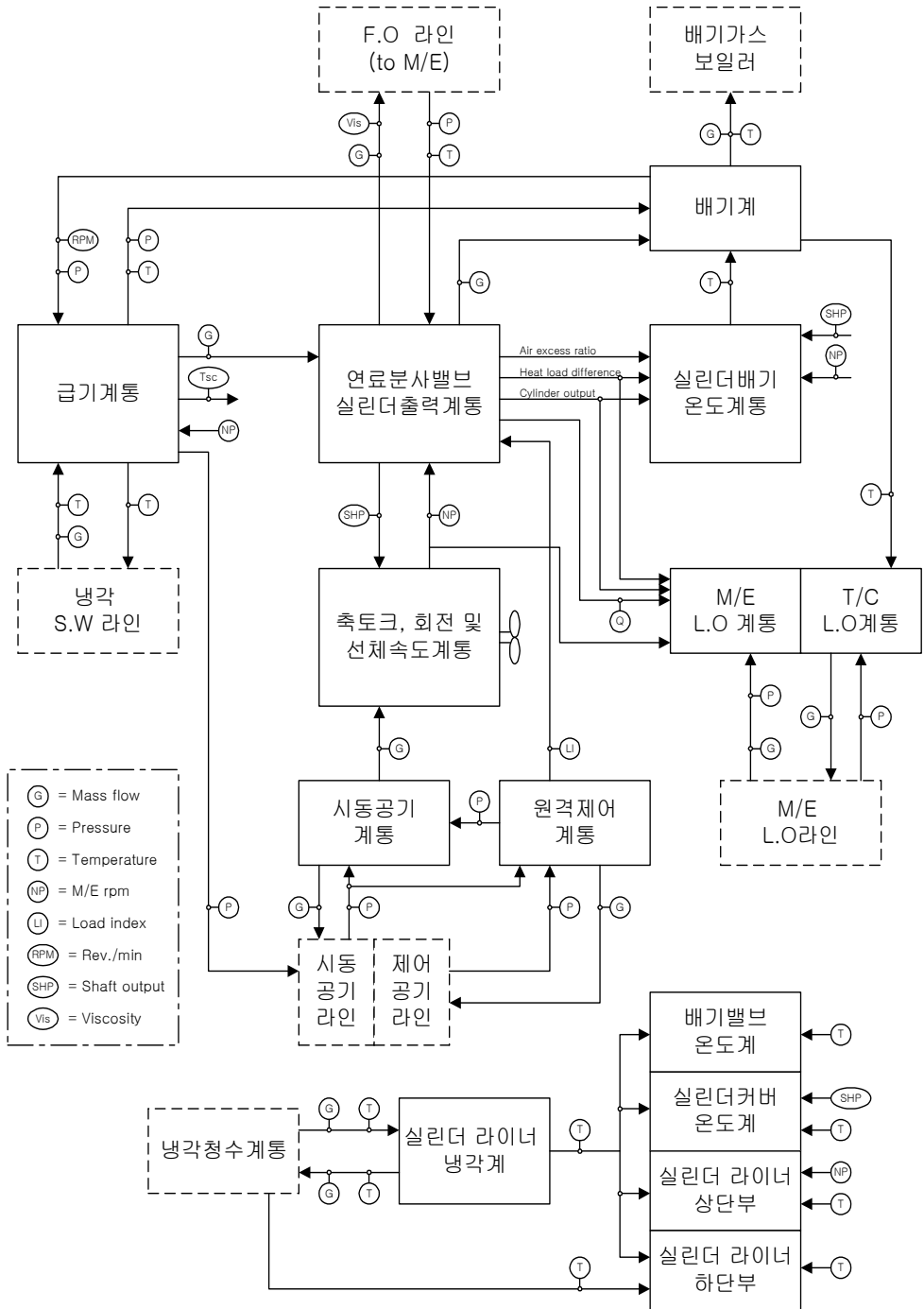


Figure 5: Block diagram of modules for main engine

Table 5: Requirements for main engine

System	Sub system	Requirements
주기관	급기계통	질량평형(MB), 열평형(HB), 블로워 필터 차압, 실제 블로워 압력비, 블로워 풍량, 공기냉각기차압, 보조 블로워 풍량, 소기온도, 각 실린더의 소기유량
	연료분사 및 실린더 출력계통	조속기 부하눈금, 회전계의 1차 지연특성, 연료 혼합 비율, 1주기당 분사량, 1초당 분사량, 과잉공기비, 연료의 발열량, 이론열효율, 기계효율, NOx, SOx
	지압선도	PV 선도, P θ 선도, 열 발생률
	배기계통	MB, HB, 실린더 출구 배기온도, TC 입구 배기온도, TC 배기흐름 및 회전속도, TC 출구 배기 온도 및 압력
	주기관 토크	토크 변동율, 주기관 토크, 브레이크 공기 토크, 해상 상태(풍속, 파고, 주기)
	프로펠러	FPP, CPP, 회전계 운동방정식, 프로펠러 토크, 쿨롱 마찰
	선체속도	선체 마찰저항, 프로펠러 추력, 추력계수, 선체속도
주기관 보조 시스템	LO 계통	MB, HB, 필터 및 냉각기의 차압, 유량계수, 온도 및 압력 제어기, 펌프, 베어링 및 피스톤 측 유량과 출구 온도,
	CO 계통	MB, Lubricator와 급유량 조절기, 사용량 계측 탱크
	FO 계통	MB, HB, 가열기, 온도 및 점도제어기, 펌프, 압력조절기, 각 탱크 레벨 및 온도, Mixing tube, 장치와 라인의 유량계수, 필터 차압, tracing steam 라인
	JW 계통	MB, HB, 냉각기, 가열기, 온도제어기, 펌프 수두, 유량계수, 팽창 탱크, 조수기
	SW 계통	MB, HB, 냉각기, 온도제어기, 재순환 라인, 펌프 수두, 유량계수
	압축공기 계통	공기탱크, 안전밸브, 시동공기 압축기, 제어공기 압축기, 공기 건조기, 보충밸브, 각 밸브의 유량계수, 시동공기 흐름량, 주기관의 공기유입저항

Table 6: Requirements for auxiliary machinery

보조기계	디젤 발전기관	MB, HB, LO FO FW SW계통, 시동공기, 공기냉각기, 온도제어기, 블렌더
	터보 발전기관	MB, HB, 입구증기온도, 증기량, 열낙차, 출력, 증기흐름 제어밸브, 진공 응축기, 진공 펌프, 응축수 펌프, 진공 응축기 수위제어
	비상 발전기관	비상 시동공기 압축기, 비상 급전반
	기름연소 보일러	MB, HB, 자동연소제어(ACC), 자동급수제어(FWR), 버너 제어, 증기 드럼의 수위, 압력제어, 온도제어기, 1차 지연계, FDF, 분무 증기
	배기가스 보일러	MB, HB, 수트블로워, 순환수 펌프 예열기, 저압부와 고압부, 과열기에서의 열평형과 입출구 온도
	청정기	MB, HB, FO LO DO 청정기, 가열기, 온도제어기, 재순환 라인, 작동수 보급
	냉동기, 에어컨	MB, HB, 열전달율, SW, 압축기, 유분리기, 냉각기, 팽창밸브, 증발기
	빌지, 밸러스트	MB, Trim, List, 빌지웰 레벨, 펌프
	스턴튜브	HB, MB, LO 펌프, 고위 및 저위 중력 탱크, 냉각기
전력계통	디젤 발전기	전압, 전류, 주파수, 피상전력계, 유효전력계, 역률계, ACB, Space heater, 자동 동기화, 기동·정지(자동,수동)장치
	터보 발전기	전압, 전류, 주파수, 피상전력계, 유효전력계, 역률계, ACB, Space heater, 주기관 배기가스온도, 터빈 비상정지장치
	축 발전기	전압, 전류, 주파수, 피상전력계, 유효전력계, 역률계, ACB, Space heater, 커플링장치, 주기관 최저 rpm
	발전기 제어반	전압, 전류, 주파수, 동기검정기, ACB 제어기, 접지 테스터, 부하조절기, 육상전원제어기
	주배전반	전력 평형, 접지 테스터, Main bus bar, 비상정지 및 우선차단장치, 전력 소비장치의 NFB, 전력부하에 따른 역률변화 특성
	비상 발전기 및 배전반	전압, 전류, 주파수, 기동장치(축전기, 유압), 자동·수동 모드, Space heater, 접지 테스터, 비상정지장치
자동화	주기관 원격 제어 시스템	제어 위치(WH, CR, Local), 텔레그래프, 조속기 조정 핸들, 부하 인덱스, Slowdown과 Shutdown 조건, Program speed-up
	자동화 기기	압력, 온도, 점도, 레벨, 회전속도, 피치 각도 제어기 등, Calm/Rough sea 모드
	기속 제어	조속기 제어모드, 비상정지

Table 7: Details for oil fired boiler and the related

세부 시스템	구체적 고려 사항	
FDF → 연소가스	<ul style="list-style-type: none"> · FDF 댐퍼 개도와 FDF 성능 특성 · 버너 입구측 공기 흐름 · 과잉 공기율과 연소가스 · 화로내 압력, 보일러 드래프트 · FDF 출구 공기압 · 연기 밀도 	
FO 급유 시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 연료유 연소 펌프 출구 압력제어 · ACC(자동연소제어) <ul style="list-style-type: none"> - 버너 헤더 압력, 버너 수와 연료 유량간의 특성 - 연료 순환량 제어 밸브 · 분무 증기 	
증기 드럼	수위	<ul style="list-style-type: none"> · 안전밸브, 에어 벤트, 수면 및 수저 방출밸브 등 · 증기 소비량 평형 · 스팀 드럼 워터 레벨 제어; 1차 지연계
	압력	<ul style="list-style-type: none"> · 스팀 드럼내 압력; 1차 지연계 · 스팀 드럼내 포화압력과 포화온도 간의 특성 <ul style="list-style-type: none"> - 압력과 잠열 및 엔탈피 특성 - 압력과 보일러 시정수 간의 특성
워터 드럼	<ul style="list-style-type: none"> · 보일러 화로로부터의 열전달 (Heat balance 유지) <ul style="list-style-type: none"> - 연료 소비량과 보일러 열효율간의 관계특성 	
배기 가스 보일러	<ul style="list-style-type: none"> · 주기관 배기가스 흐름량과 열전달량 간의 특성 · 예열기 (이코노마이저), LP & HP 증발기, 과열기의 열평형 	
주 급수펌프	<ul style="list-style-type: none"> · FWP 터빈 증기량, FWPT 회전수와 출력 · FWPT 와 FWP는 직결되어 있고 1차계의 특성 가정 · FWP 출력과 흐름량 간의 특성 · 보조급수 펌프 흐름량 	
급수가열기	급수량과 가열 증기량 간의 특성, 출구측 급수 온도	
급수탱크	탱크 수위와 급수 온도; 1차 지연계	
급수라인	급수펌프 출구압력, 급수가열기 통과량, 급수 조절밸브 입구 압력, 흐름량, 유량계수	
발전기용 터빈	<ul style="list-style-type: none"> · 터빈 입구 및 출구측 증기압력, 흐름량 · 증기 조절밸브 · 터빈출력과 손실특성 · 열낙차 · 터빈 회전속도 	
TG 응축기	<ul style="list-style-type: none"> · 응축기내 응축 온도, 진공도, 수위제어 · 응축 온도와 진공도 간의 특성 	
COPT 응축기	응축기 입출구 냉각수 온도, 응축수량	
드레인 냉각기	드레인 흐름량, 출구측 드레인 온도	
증기 소비장치	열평형, 질량평형	
제어밸브, 오리피스	유량계수, 압력손실 특성	

ACC (자동연소제어)	· 주 제어기 - 피드백 게인, PI 제어기
	· FO 제어기 - FO 흐름량, 부하, PI제어기, 최소 FO 압력 리미터, FO 압력제어밸브
	· 공기량 제어기 - 공기흐름율, 과잉공기율, 공기흐름 피드백, PI제어기, FDF 댐퍼 구동
	· 과잉 공기율 - 실제 FO 흐름량, 실제 공연비 특성, 실제 과잉공기율
	· 연기 밀도 - 과잉공기율, 1차 지연계
FWR (급수조절기)	· 급수 조절기 - PI제어기, 급수 조절밸브 구동
제어 시퀀스	비상 정지, 트립 리셋, 프리퍼지, 연소용 타이머, 버너 관리, 화염 소실

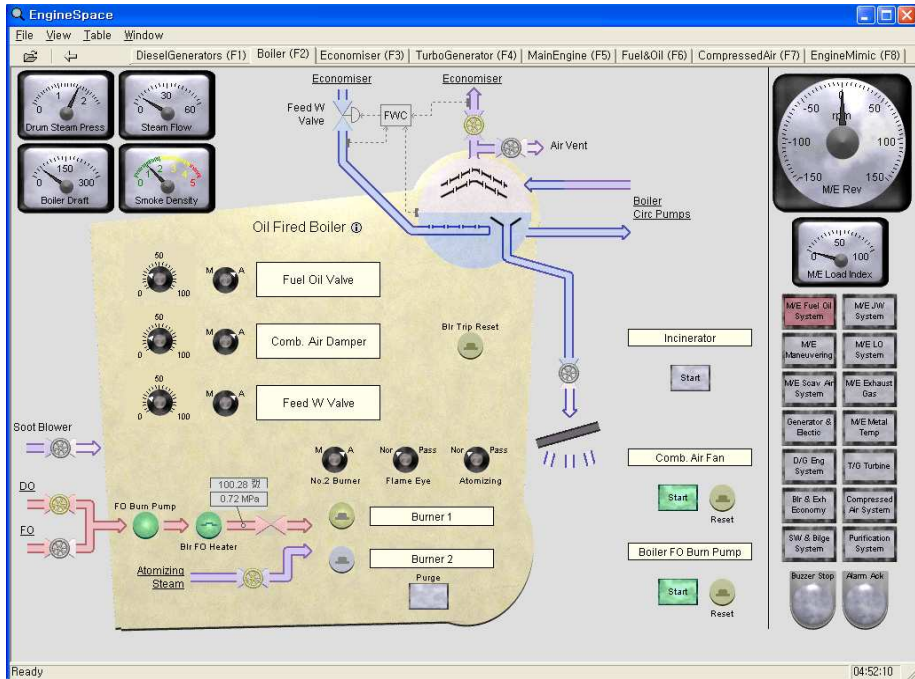


Figure 6: Implementation of an oil fired boiler

제 3 장 교육 및 훈련 기능

기관 시뮬레이터를 이용한 교육이나 훈련을 수행하는데 있어서는 몇 가지 사항을 먼저 고려해야 한다. 그 중에서 가장 중요한 것은 훈련생의 수준이며, 다음은 각 수준에 따라 어떠한 내용을 교육할 것인가이다.

훈련생의 수준은 기관실의 기기에 대해 기본적인 원리 정도만을 파악하고 있는 정도의 초급훈련생, 실제 기기에 대한 운전 경험이 몇 차례 있는 중급훈련생, 그리고 기관실내 각 기기에 대한 구체적 지식과 다양한 운전 경험을 갖고 있는 고급훈련생으로 나눌 수 있다.

이러한 다양한 수준의 훈련생에 대한 교육내용을 Table 8에 요약한다. 훈련생들 각자의 수준에 맞게 교육하기 위해서는 교육하고자 하는 내용을 체계적으로 전달하기 위한 시나리오가 필요하다. Table 8에 요약된 각 교육내용을 하나의 시나리오로 완성하고, 이를 토대로 특정운전과정에 대해 교육을 진행하면 효과적이다.

이 때 교육자는 시나리오의 각 단계에서 훈련생에게 기기에 대한 조작요구를 하게 되고 훈련생은 이 요구에 따라 기기 운전을 수행해 나가게 된다. 여기서 한 가지 생각해야 할 점이 있는데, 상기의 교육 훈련 방식은 훈련생과 교육자가 함께 시나리오 과정을 진행해 나갈 때는 별 다른 문제가 없지만, 교육이 끝난 후 훈련생 혼자서 시나리오 과정을 연습할 때 교육자로부터 지도를 받지 못하기 때문에 초보훈련생들의 경우에는 각 시나리오를 완벽히 수행해 내는데 실패하는 경우가 종종 발생한다.

이러한 단점을 개선하기 위해 본 연구에서는 훈련생 혼자서 시나리오 전 과정을 컴퓨터의 안내를 받아 수행해 나갈 수 있도록 하는 프로시저(procedure)를 도입한다. 중급과 고급수준의 훈련생에 대한 교육내용에는 교육자와 훈련생이 세세한 부분까지 함께 검토해야 할 사항이 많기 때문에 이들에 대한 교육과정은 다음 3.2절 연구 및 개발 기능 부분에서 연구과제 연습을 기반으로 하는 것이 바람직하다.

Table 8: Content of education and training

수준별	교육내용(시나리오)
초급	<ul style="list-style-type: none"> · Cold-ship → 정박상태 · 정박상태 → Standby Engine · Standby Engine → Maneuvering → Full-away · 전속항해중 Daywork 및 UMS 체크 · Full-away → Maneuvering → Alongside → FWE · 하역작업 (카고 펌프 운전 등)
중급	<ul style="list-style-type: none"> · 서로 다른 특성을 갖는 발전기 병렬 운전(DG, TG, SG) · 유효, 무효, 피상 전력 계산식과 MSBD 계기(A, V, $\cos\phi$, kW, kVar, kVA, 등)간의 관계 · TG 운전시 보일러, 진공 컨덴서와의 상호 연관성
고급	<ul style="list-style-type: none"> · PID 제어기 튜닝법 · 주기관의 열평형 계산 · ME, DG, TG의 열효율 계산 · 선체저항, 선속, 연료소비율간의 상관관계 · 기관실 전체의 열효율 계산

3.1 프로시저

초급훈련생을 대상으로 하는 교육을 위해 기관 시뮬레이터의 전체 운전과정을 몇 단계의 순차적 운전과정으로 나눈다.

먼저 무동력 계류상태의 기관실(Cold-ship)에서 전원과 열원을 확보하는 Cold-ship 복구과정, 열원인 보일러를 이용하여 주기관을 워밍하고 언제든지 사용할 수 있는 상태에 이르게 하는 Stand-by 과정, 브릿지의 요구에 따라 주기관을 기동 운전하여 정박하고 있던 항구를 벗어나 목적지를 향해 전속력 항해하는 출항 과정, 화물을 만재한 상태에서 입항 접안완료 후 기관정지와 뒷마무리 과정, 그리고 액체화물을 육지로 이송하는 하역과정을 각각 순차적 운전과정으로 나누어 볼 수 있다.

이러한 순차적 운전과정을 진행하다 보면, 초급훈련생의 경우에는 기관실내 각종 기기에 익숙하지 않아 기기 조작에 실패하는 경우가 다수 발생한다. 따라서

훈련생이 순차적 운전과정의 주요 부분에 대한 이해가 필요할 경우, 이 부분을 모듈화 하여 시뮬레이터의 안내를 받아 수행할 수 있도록 하면, 각 기기에 대한 이해도를 높일 수 있을 뿐만 아니라 오조작에 따른 운전실패를 줄일 수 있게 된다. 이와 같이 모듈화된 안내방식의 운전과정을 프로시저라 부르기로 한다. Table 9에 초급훈련생을 위한 교육내용(시나리오)에 대한 프로시저를 정리한다.

Table 9: Procedures for sequential machinery operation

순차적 운전과정	프로시저
Cold-ship 복구과정	<ul style="list-style-type: none"> · 비상 공기압축기 기동 → 시동 공기압 확보 · 디젤 발전기 기동 → 전원 확보 · 각종 펌프류 및 보조기기 운전(SW, CFW 계통) · 기름 연소 보일러 기동 → 정상 증기압 확보 (열원 확보) · 각종 가열기 및 응축기 정상 운전
Stand-by → 출항과정	<ul style="list-style-type: none"> · 주기관 워밍업 · LO, JCFW, FO, CO 계통 복구 · LO, FO, DO 청정기 운전 · 디젤 발전기 병렬운전 · 스팀튜브 LO 시스템 복구 및 Steering gear 운전 · 프로펠러 서보오일 펌프 운전(CPP 모드) · 주기관 안전제어장치 점검 후 Air run · 기축, CR, WH로부터 주기관 운전제어 · 배기 보일러 운전 · 주기관 사용연료 전환(DO → HFO) · 조수기 운전 및 Sea chest 전환 (High → Low) · 터보 발전기 단독 운전 · 기타 안전 장치 점검
UMS Daywork	<ul style="list-style-type: none"> · M0 체크 리스트에 따라 점검 · 유수분리기 운전 · 냉동기 운전 점검 · 불활성 가스 설비 운전(IGS)
입항과정	<ul style="list-style-type: none"> · 조수기 정지 · TG, SG 기동하여 디젤 발전기와 병렬 운전 · 주기관 사용연료 전환(HFO → DO) · 배기 보일러 → 기름 연소 보일러로 전환 · 안벽 접안 후 FWE
하역과정	<ul style="list-style-type: none"> · 카고펌프 터빈 워밍업 · 진공컨덴서 정상 작동 확인 · 카고펌프 운전 및 정지

프로시저의 구체적 예를 Figure 7 ~ Figure 9에 보이고 있는데, Figure 7은 순차적 운전과정을 찾는 화면이고, Figure 8은 무동력 계류상태의 기관실에서 전원과 열원을 확보하는 Cold-ship 복구과정에 대한 프로시저 그룹의 모습이다.

Figure 9는 디젤발전기 구동용 시동공기 확보를 위한 프로시저의 최초 실행모습인데, 비상 공기압축기를 기동하도록 요구하면서 간단히 그 이유를 설명하고 있다. 이 때 프로시저가 제공하는 설명을 읽어보고도 어떻게 해야 할지 이해가 되지 않을 경우, **[Show]** 버튼을 눌러 시뮬레이터로부터 기기 조작을 위한 안내를 받게 된다.

Figure 10은 프로시저가 훈련생의 안내 요구에 따라, 깜빡이는 사각형 점선으로 비상 공기압축기를 둘러싸서 훈련생에게 조작해야 할 기기의 위치를 나타내 보이고 있다. Figure 11은 프로시저의 안내에 따라 비상 공기압축기를 기동했을 때 **...Done** 으로 작동되고 있음을 나타낸다. Figure 12는 비상 공기압축기를 기동한 후 시동 공기탱크의 공기압이 1.3MPa에 도달할 때까지 기다리는 화면이며 Figure 13은 공기압이 1.3MPa을 넘어 디젤 발전기를 기동할 있을 정도에 이르렀음을 알려준다. 프로시저 실행 중에는 후진 **[<Back]**, 전진 **[Next>]** 버튼을 사용하여 각 프로시저의 앞 뒤 구간으로 쉽게 이동하여 반복 실행해 볼 수 있게 하고 있다.

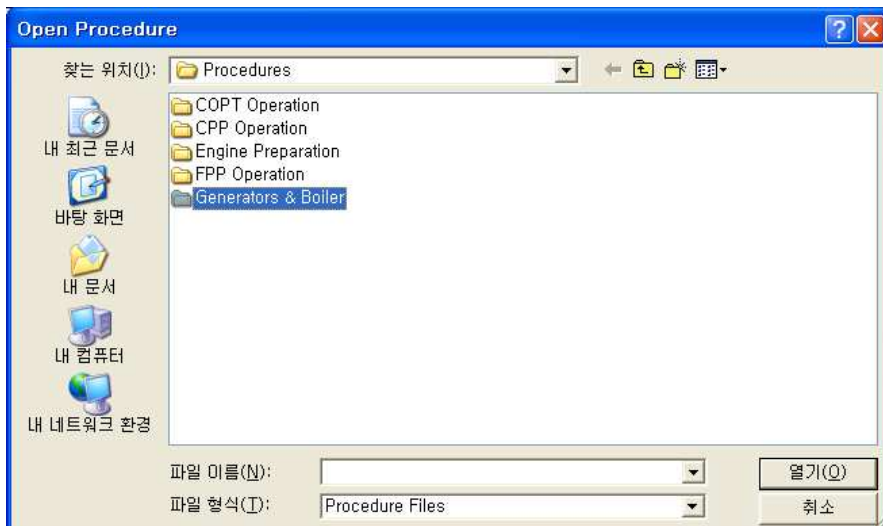


Figure 7: Sequential machinery operations



Figure 8: Open procedure 1-1

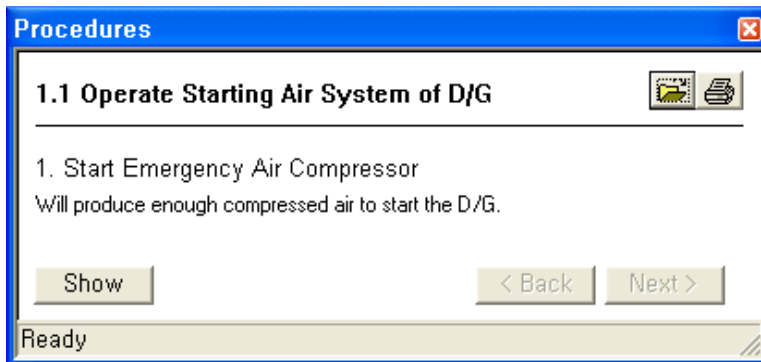


Figure 9: Execution of procedure 1-1

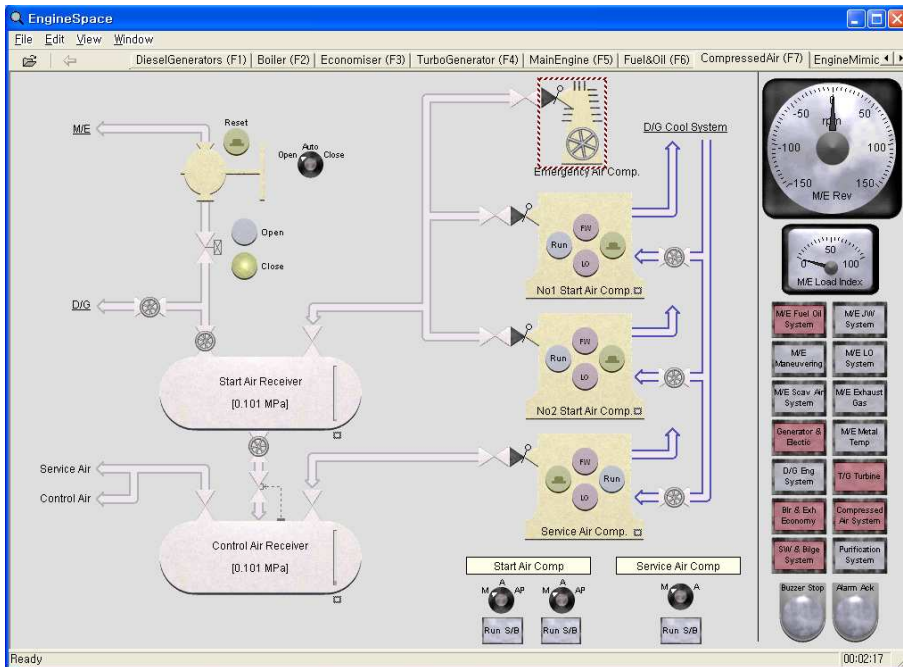


Figure 10: Guidance from procedure 1-1

Procedures

1.1 Operate Starting Air System of D/G 📁 🖨️

1. Start Emergency Air Compressor ...Done

Will produce enough compressed air to start the D/G.

Show
< Back
Next >

Ready

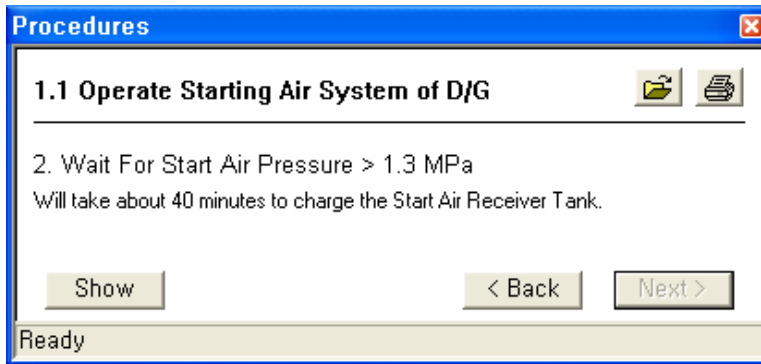


Figure 12: Waiting for charging the start air tank

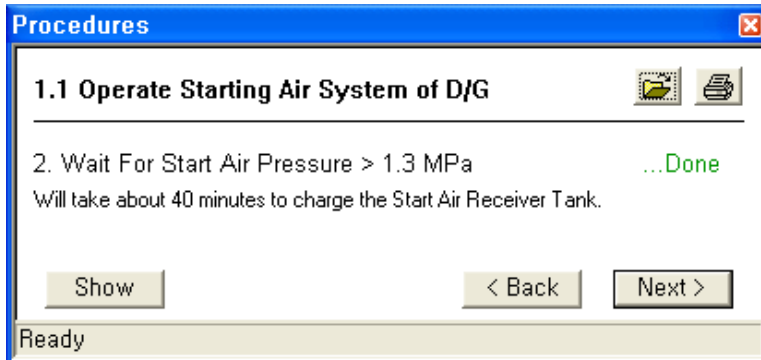


Figure 13: After charging the start air tank over 1.3MPa

3.2 연구 및 개발 기능

기관 시뮬레이터는 기관실내 주기관을 비롯한 각종기기를 수학적 모델링을 통해 수식으로 표현하고 있기 때문에 훈련생의 교육훈련 기능 이외에도 기관관리에 대한 이해증진과 연구개발용으로 활용할 수 있다.

이러한 용도와 관련하여 생각해 볼 수 있는 것으로는 선체와 주기관간의 관계, 주기관과 기관실내 중요 기기간의 관계, 보조기계간의 관계, 특정기기 자체에 대한 내용 등 선박과 기관의 효율적 운용을 가능케 하는 내용으로 Table 10에 정리한다.

Table 10: Exercises for research and study

분야	연구과제 내용
선체관련	<ul style="list-style-type: none"> · 선체속도, 배수톤수와 어드머럴티 계수간의 관계 · 선체저항과 기관연료소비율의 상관관계 · 선체속도와 축마력과의 관계 · 선체속도와 연료소비율 관계
주기관	<ul style="list-style-type: none"> · 주기관 rpm과 연료소비율간의 관계 · 주기관 출력과 회전수 관계 · 주기관 출력과 배기보일러 및 터보발전기 관계 · 연료 분사시작 각도변화에 따른 기관 출력변화와 배기가스 조성비 변화와의 관계 · 주기관의 열평형 계산 · 주기관의 흡기계와 배기계간의 관계 · CPP 시스템의 기관 회전수, 피치, 기관 출력간의 관계
보조기계	<ul style="list-style-type: none"> · 기름연소보일러 증기압력 변화와 터보발전기 출력간의 관계 · DG, TG의 열효율 계산 · PID 제어기 튜닝법

중급과 고급훈련생을 대상으로 전술한 내용에 대한 이해를 향상시키기 위해 연구과제 연습과정을 도입한다. 연습과제의 한 예로서, 선체속도와 배수톤수 그리고 어드미럴티 계수와 관련된 내용을 Figure 14 ~ Figure 18에 보인다. Figure 14는

여러 연습과제 중에서 하나를 선택하는 모습이고 Figure 15는 연습과제의 실행과정으로서 관련 수식과 관련 데이터를 제공하여 Figure 16 ~ Figure 18의 단계를 따라 가도록 유도한다.

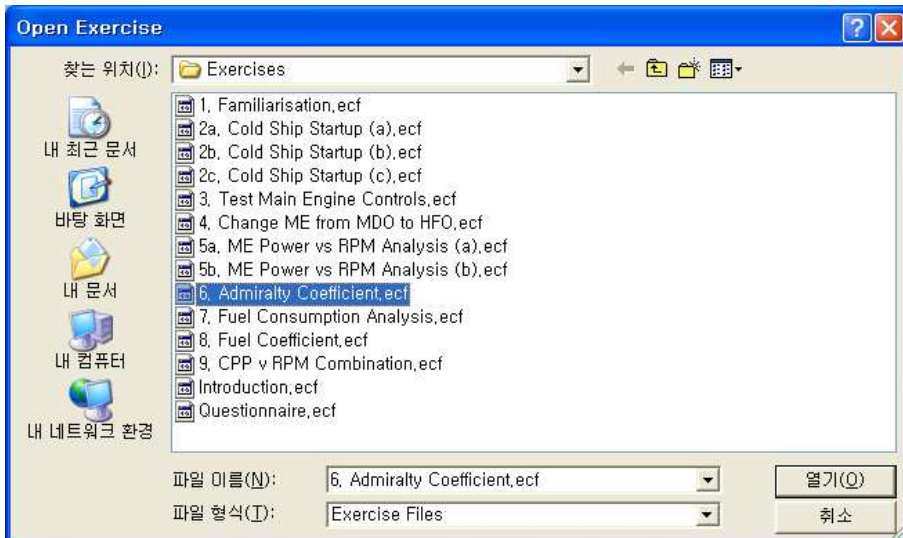


Figure 14: Open exercise 6

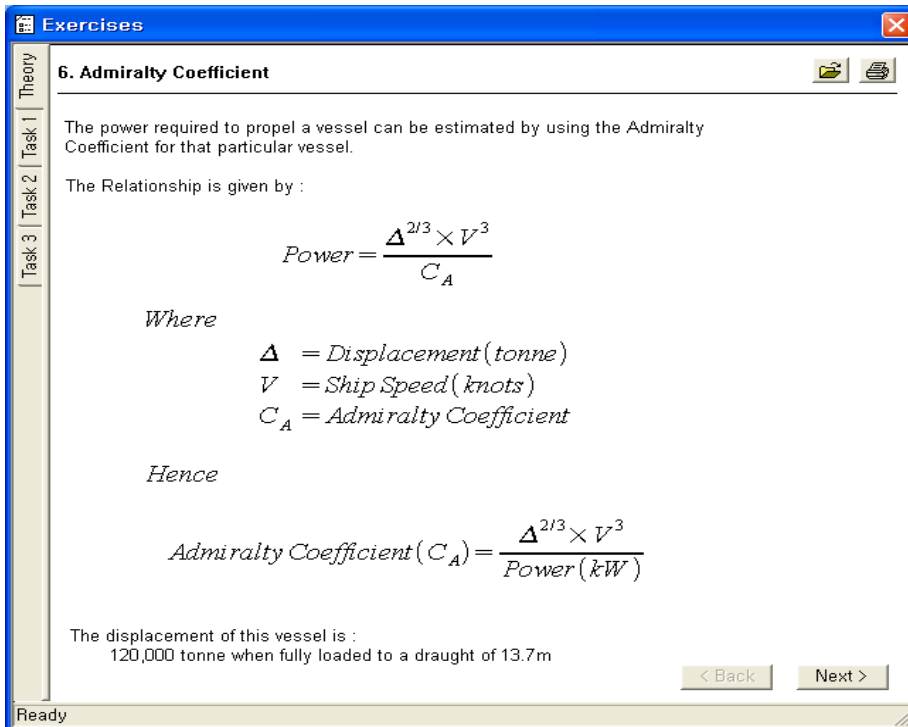


Figure 15: Theory pane of exercise 6

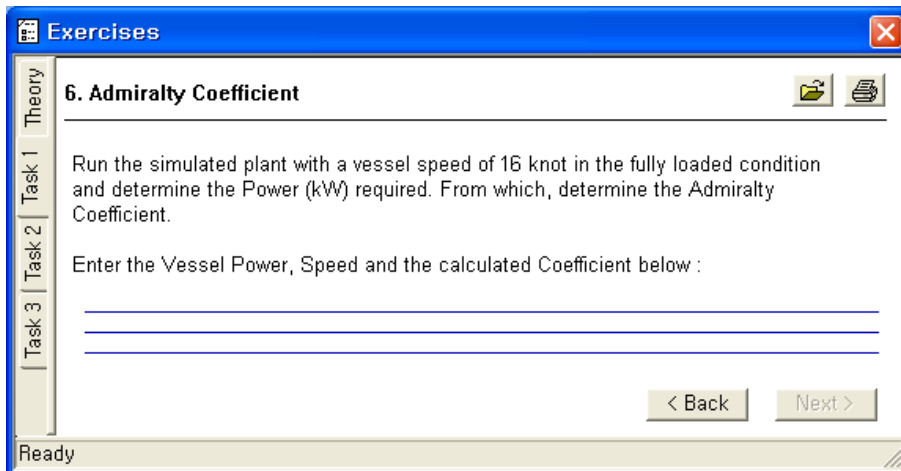


Figure 16: Task1 pane of exercise 6

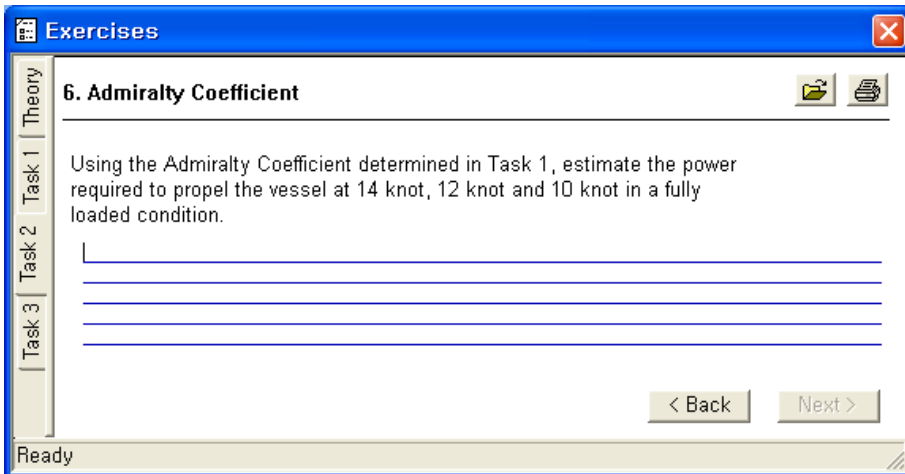


Figure 17: Task2 pane of exercise 6

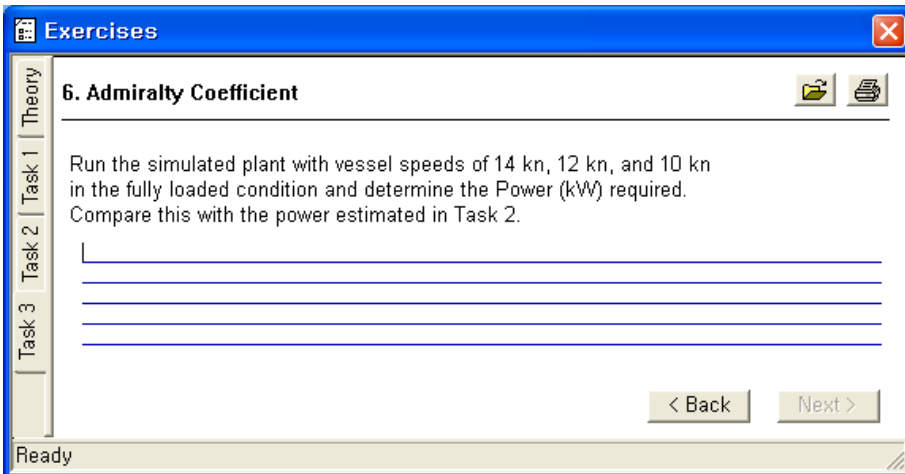


Figure 18: Task3 pane of exercise 6

3.3 평가 및 증서교부 기능

시뮬레이터가 수행해야 할 또 다른 중요한 기능중 하나는 시뮬레이터 교육 훈련결과에 대한 평가이다. 훈련생의 숙련도와 이해정도를 판단하여 일정수준 이상에 도달하게 되면 적합(competence) 판정을 하게 되고 교육훈련이수 증서(certificate)를 발급한다. 평가에는 여러 가지 방법이 적용될 수 있는데, 여기서는 연습과제와 관련된 평가 방법을 생각해 본다.

연습과제는 먼저 관련된 중요 정보, 즉 동작원리와 조작순서 등의 내용을 훈련생에게 제공한 다음, 과제(task)를 주고 이를 수행해 내기를 기다린다. 훈련생이 과제를 수행하는 과정에서 시뮬레이션 프로그램의 질문이나 요구에 따라 키보드로 입력한 내용은 데이터 파일에 저장된다.

주관식 질문에 대한 답으로는 수치 답안과 텍스트 답안이 있을 수 있는데, 그중 수치 답안을 평가하는 한 가지 방법으로, 수치 값(input value)이 입력되면 정답(Answer)과 비교되고, 그 차이의 절대값에 각 과제의 경중을 고려한 가중치 a 를 곱한 값에 질문에서 답을 입력할 때까지 걸린 시간(Time)에 가중치 b 를 곱한 값을 더하여 얻어지는 값을 시뮬레이션 평가결과로 활용할 수 있다. 이 경우는 작은 값이 얻어질수록 효율적으로 과제연습을 수행한 것으로 생각할 수 있으므로, 작은 값에 대하여 높은 점수를 부여하도록 한다.

$$\text{Point} = \frac{1}{a \times |\text{Answer} - \text{input value}| + b \times \text{Time}} \quad (7)$$

텍스트 답안을 요구하는 주관식 문제나 기타 요구사항에 대하여 훈련생이 입력한 내용은 텍스트 파일로 저장된 후 시험지 형태로 문제와 함께 출력되도록 한다. 채점자는 각 문제의 답안 내용을 검토한 후, 정확히 이해된 부분에 대해 점수를 부여하게 되는데 높은 점수를 얻을수록 효과적인 과제수행을 한 것으로 한다. 텍스트 답안의 경우에는 아무래도 채점자의 직접적인 평가를 받아야 하기 때문에 자동화된 평가가 힘들게 된다. 채점이 끝나면 수동으로 점수를 입력하는 과정이 필요하다.

객관식 문제에 대해서는 답이 맞을 경우 양(+의) 점수를 부여하도록 프로그램

한다.

최종적으로 시뮬레이션 프로그램은 훈련생의 주관식의 수치답안 문제의 점수, 채점자가 점수를 부여하는 텍스트 답안문제의 점수, 그리고 객관식 문제의 점수를 합산하여 훈련생의 시뮬레이션 교육훈련이수 적합 여부를 판정하게 된다. 일정 점수 이상을 획득하면 적합으로 판정하고 교육훈련 이수증서를 발행하게 된다. 각 훈련생의 시뮬레이션 훈련과정과 평가점수 등 중요정보는 데이터베이스화하여 일정 기간 보존하도록 한다.

제 4 장 결 론

기관 시뮬레이터 개발을 위한 기초 연구로서, 실제 선박 기관실의 각종 기기를 기능과 특성에 따라 모듈화하고, 어떻게 각 모듈의 수학적 모델링을 수행할 것인지에 대하여 살펴보았다.

또한 교육자에 의해 주도되는 시뮬레이션 교육 이외에 모듈화 된 프로시저를 이용하여 훈련생 스스로도 특정의 순차적 운전과정을 쉽게 반복적으로 수행할 수 있게 됨으로써, 프로시저가 제공하는 구체적 작동원리, 운전조작 설명을 통해 해당 기기에 대한 이해뿐만 아니라 순차적 운전과정 전체에 대한 이해의 폭을 넓힐 수 있게 되었다.

그리고 연습과제를 통해 중요 기기 & 기기간, 계통 & 계통간, 특정 파라미터 & 파라미터 간의 관계 등에 대한 이해를 증진시켜 줌으로써 기관을 효율적으로 운전할 수 있는 토대가 마련되었다.

덧붙여 연습과제에서 제공하는 문제를 풀어 나감으로써, 시뮬레이션 교육을 통해 훈련생이 실제 어느 정도의 수준에 도달하였는지를 파악할 수 있게 되었다. 이를 통해 교육자는 각 훈련생의 부족한 부분을 쉽게 파악하여 훈련생에게 필요한 정보를 제공할 수 있는 기회를 갖게 된다. 또한 문제의 채점과 관련된 많은 부분이 자동화됨으로써 채점자의 부담이 크게 줄어들었다.

향후 기관 시뮬레이터의 그래픽 사용자 인터페이스 구성과 네트워크에 의한 서버/클라이언트 구조를 이용한 1인 교육자와 다수 훈련생의 교육방법에 관한 내용을 연구해 나갈 예정이다.

참고문헌

- [1] STCW Convention 1978/1995, International Maritime Organization, 1996.
- Section A-I/12 Standards governing the use of simulators
 - Section B-I/12 Guidance governing the use of simulators
 - STCW Code Part A Chapter III Standards regarding the engine department
 - STCW Code Part B Chapter III Guidance regarding the engine department
- [2] 전영우, "1995년 STCW 협약상 해기교육의 최근 동향", 한국박용기관학회지, 제 25권, 제 4호, pp.716-726, 2001.
- [3] SOLAS consolidated edition, Part 1, International Maritime Organization, 2001.
- [4] Ship Engine Simulator SES 4000, BL5144 G020, STN ATLAS Elektronik, 1998.
- [5] Propulsion Plant Trainer PPT2000-MC90-III, User's manual, Kongsberg Norcontrol, 1997.
- [6] LSS-3S Slow Speed Diesel Engine Simulator, Specification, Haven Automation, 1996.
- [7] 정병건, P. Niekamp, 박재식, "기관 구역 시뮬레이터 교육의 효율적 수행 방안에 관한 소고", 한국해양대학교 해사산업연구소 논문집, 제 12집, pp. 109-117, 2002.
- [8] A. Al-Ali and E. R. Odoom, "Full-scope versus pc-based simulator: A report on training and evaluation study", ICER 5, pp. 1-7, Singapore, 2001.
- [9] Machinery Space Simulator V1.25, Australian Maritime College, 2002.
- [10] L. Goldsworthy, B. G. Jung, P. Niekamp and S. Earl, "Development of the Australian Maritime College pc-based machinery space simulator", MARTECH 2002, pp. 1-17, Singapore, 2002.
- [11] 정병건, "기관 구역 시뮬레이터 개발을 위한 기초 연구", 박용기관학회지, 제 27집, 제1호, pp. 91-99, 2003.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 끊임없이 지도해주시고 격려해주신 지도교수 정병건 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드리며, 본 연구를 할 수 있도록 많은 가르침을 주신 진강규 교수님, 김성환 교수님, 오세준 교수님, 소명옥 교수님께 심심한 감사의 말씀을 드립니다.

또한 저의 직장인 한국해양수산연수원에서 여러모로 도와주신 기관시스템교육팀 교수님들, 선박운항시스템교육팀 교수님들과 우리 해양안전교육팀 팀원들에게도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 졸업논문의 결실을 맺기까지 하늘나라에서 저를 위해 항상 기도하실 아버지, 고향에서 매일 아침마다 우리 가족들을 위해 부처님께 기도하시는 어머님과 저의 사랑스런 가족들 그리고 친구들 모든 분들에게 고마운 마음을 전합니다.