

LNG선 하역작업 교육 시스템 개발에 관한 연구

엄필용* · 김대희** · 송재욱*** · 예병덕***

*주식회사 엠아이티, **한국해양대학교 대학원, ***한국해양대학교 항해시스템공학부 교수

A Study On Development of Cargo Working Education System for LNG Carrier

Pil-Yong. Eum · Dae-Hee. Kim** · Chae-Uk. Song*** · Byong-Deok. Yea****

**MIT Inc., Busan 606-791, Korea*

***Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

****Division of Navigation System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

요 약 : 특수선은 일반화물과 달리 적·양하를 위한 준비가 순차적으로 이루어져야 하며 LNG 및 LPG 운반선은 화물이 극저온 혹은 고압이라는 특성 때문에 고도의 안전성이 요구된다. 또한 인명 안전 및 해상환경 보호를 위해 액화물 취급의 중요성을 인식하면서도 과학적인 장비를 이용한 교육·훈련의 관심 부족 및 제도적 지원책이 미비하여 현재까지 해양교육기관에 설치된 장비는 거의 없는 상태이며 그나마 보유하고 있는 장비도 노후되어 원활한 교육·훈련이 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 본 연구는 특수선 특히 LNG선 박의 적양하 작업을 시뮬레이션 할 수 있는 교육시스템을 개발하는 것이다.

핵심용어 : 하역작업 교육용 시스템, LNG운반선, 시뮬레이션

ABSTRACT : *This paper describes a system for LNG carrier's loading and discharging work education. This system consists of three modules(cargo work simulation, ballast work simulation and loading calculation module), and could be a useful to train mariners boarding on LNG carrier so as to take a suitable action while their ship maneuvering and cargo handling.*

KEY WORDS : cargo working education system, LNG carrier, simulation.

1. 서 론

일반 선박과 달리 특수선(Tanker, Chemical carrier, LNG, LPG)은 화물의 특성상 적·양하시 PUMP를 이용한다. 이러한 이유로 선체 내 혹은 갑판 상에 각종 파이프라인으로 구성되어 있어 파이프라인의 이해와 구성에 대한 지식 및 PUMP 사용에 관한 유체역학적인 이해가 필요하다. 또한, 특수선은 일반화물과 달리 적·양하를 위한 준비가 순차적으로 이루어져야 하며 LNG 및 LPG 운반선은 화물이 극저온 혹은 고압이라는 특성 때문에 고도

의 안전성이 요구된다.

이와 같이, 특수선의 경우에는 화물 사고시 인명 및 해양환경에 미치는 영향이 막대하므로 시뮬레이터 등을 이용한 반복 교육이 필요하며, 국적선 및 외국적 선박 중 특수선의 증가 비율이 증가하고 있는 추세이므로 과학적이고 체계적인 방법인 시뮬레이터를 이용한 교육·훈련이 필요하다. 특히, LNG 운반 선박의 관리와 적양하 작업은 일반 선박과는 다른 특화된 지식과 직능을 요구하게 되며, 이러한 요구를 충족하기 위해서는 보다 정량화되고 시스템화된 교육과정 및 이를 위한 LNG선 하역작업 교육시스템이 필수요소이다.

해외 주요 시뮬레이터 개발 업체에 의해 개발된 LNG 시뮬레이터가 있지만 국내교육 여건에 맞추기에는 여러 가지 애로사항이 현존한다. 특히 국제적인 LNG선 승무원 양성 교육기관에 대한 필요성이 대두되고 있는 가운데 국내 기술로 LNG선 하역작업

*정회원, pyeum@mitzone.com 051)404-5065

**정회원, kdavid73@mitzone.com 051)404-5065

**정회원, songcu@mail.hhu.ac.kr 051)410-4272

***중신회원, byea@mail.hhu.ac.kr 051)410-4243

교육시스템을 개발하는 것은 당연한 과제중의 하나라고 할 수 있다.

국내 액화물 시뮬레이터의 경우에는 외국산 장비를 일부 수입하여 사용하고 있으며 국내 기술로 개발된 장비의 예는 전무한 실정이다. 또한 인명 안전 및 해상환경 보호를 위해 액화물 취급의 중요성을 인식하면서도 과학적인 장비를 이용한 교육·훈련의 관심 부족 및 제도적 지원책이 미비하여 현재까지 해양교육기관에 설치된 장비는 거의 없는 상태이며 그나마 보유하고 있는 장비도 노후되어 원활한 교육·훈련이 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 본 연구는 특수선 특히 LNG선박의 적양하 작업을 시뮬레이션 할 수 있는 교육시스템을 개발하는 것이다.

2. LNG선 하역작업 교육시스템의 기능 및 구성 내용

2.1 국제적 요구 기능

STCW 코드 제A편의 제 A-I/12조 (시뮬레이터의 이용에 적용되는 기준)에는 성능기준 즉, 강제적 교육훈련에 사용되는 시뮬레이터에 대한 일반적 성능기준은 다음과 같다.

- 선정된 목적과 교육훈련 내용에 적합해야 한다.
- 관련 선박 설비의 운항 성능을 훈련 목표에 적합한 수준의 물리적 현실감이 있을 정도로 시뮬레이션을 할 수 있어야 하며, 그러한 장치의 성능, 한계 및 발생 가능한 고장 또한 포함해야 한다.
- 훈련생이 훈련의 목표에 적합한 기술을 습득할 수 있을 정도로 거동적 측면에서 충분한 현실감이 있어야 한다.
- 훈련목표에 관계되는 긴급, 위험 또는 일상적인 아닌 상황을 포함한 다양한 조건을 설정할 수 있는 제어된 운항 환경을 제공해야 한다.
- 훈련생이 장비 모의 환경 및 적절한 경우 instructor와 상호 연계할 수 있도록 하는 인터페이스가 있어야 한다.
- 시뮬레이션이 끝난 후 교육훈련생에게 효과적으로 강평할 수 있도록 instructor가 훈련을 통제 및 감시 그리고 기록할 수 있어야 한다.

2.2 구성 내용

본 simulator는 138,000m³급 멤브레인형 LNGC (Liquefied Natural Gas Carrier)에 대한 cargo 및 ballast system을 대상으로 하였다.

2.2.1 LNGC Cargo/Ballast Simulator의 Modeling 영역

2.2.1.1 Cargo Simulator 영역

- Cargo Containment System (4 sets of cargo tank)
- Cargo Piping System
 - liquid header line

- vapor header line
- spray header line
- fuel gas & vent line
- inerting & aeration line

■ Cargo Pump

- main cargo pump (8 sets)
- stripping/spray pump (4 sets)

■ Cargo Compressor

- H/D(High Duty) compressor (2 sets)
- L/D(Low Duty) compressor (2 sets)

■ Boil-Off Gas Warm Up Heater (2 sets)

■ LNG Vaporizer (1 set)

■ Forcing Vaporizer (1 set)

■ CTS (Custody Transfer System)

■ Nitrogen Generator (1 set)

■ Inert Gas Generator (1 set)

■ Valve Remote Control and Emergency Shut Down (ESD) System

- cargo and ballast valve remote control system
- emergency shutdown (ESD) and cargo tank protection scheme

■ Gas Management System

■ Relief Systems

- cargo tank relief valves
- Primary and secondary insulation space relief valves

2.2.1.2 Ballast Simulator 영역

■ Ballast System

- ballast tank
- ballast pump (3 sets)
- eductor (2 sets)
- piping and valves

2.2.1.3 Loading Computer 영역

■ Loading Computer System

- Cargo simulator / Ballast simulator와 서로 연동하도록 설계됨.
- Draft, Trim 및 Heeling 등을 감안하여 작동 가능함.

2.2.2 LNGC Cargo/Ballast Simulation 영역

2.2.2.1 Simulation 영역

■ Primary and Secondary Insulation Space Pressurizing

- insulation space inerting
- in service test

■ Post Dry Dock Operation

- initial insulation space inerting

- drying cargo tanks
- inerting cargo tanks
- gas filling cargo tanks
- cooling down cargo tanks

■ Ballast Passage

- cooling down cargo tanks prior to arrival
- spraying during ballast voyage

■ Loading

- preparation for loading
- cargo line cool down
- to load cargo with vapor return to shore via HD compressor
- deballasting

■ Loaded Voyage With Boil-Off Gas Burning

- loaded voyage with normal boil-off gas burning
- loaded voyage with forced boil-off gas burning

■ Discharge with Gas Return from Shore

- preparation for unloading
- liquid line cool down
- unloading & ballasting

■ Pre Dry Dock Operation

- stripping and line draining
- tank warm up
- inerting & aerating

2.2.2.2 Software 사양

(1) 이용가능범위는 다음과 같다.

- 정상적인 화물작업 훈련
- 재생을 통한 훈련의 분석
- 특정 장비 및 화물작업 절차 및 내용에 대한 오작동 및 실수의 도입

(2) 만족 요건/기능은 다음을 만족하여야 한다.

- 훈련 상황을 실시간으로 동화상 그래픽이나 문자화면으로 나타낼 수 있을 것.
- 훈련 상황의 일부 혹은 전체를 fast-time(실시간의 2, 5, 10, 20, 60배의 속도)으로 동화상 그래픽이나 문자화면으로 나타낼 수 있을 것.
- 하역 및 적재에 관한 작업 시나리오를 프로그램 할 수 있는 기능을 제공할 것.
- 인스트럭터 스테이션에서 교육생 콘솔에 개별적으로, 그룹으로, 전체적으로 다른 혹은/그리고 동일한 훈련 시나리오 지정이 가능할 것.
- 교육생 콘솔에서의 훈련상황을 인스트럭터 스테이션에서 감시할 수 있을 것
- 훈련의 일시 정지 및 재생 기능을 포함하는 브리핑 기능을 가질 것.

(3) 사용자 교육 및 훈련을 제공할 하여야 하며, 컴퓨터에 의한 교육 및 훈련 지원 기능을 갖추어서 C.O.C 화면을 통해 승조원이 배워야 할 작업의 관계되는 절차 및 하역/적재 작업을 훈련 할 수 있는 기능을 제공하여야 한다.

(4) 사용언어는 한국어와 영어를 병용하여야 한다.

(5) 현실성과 잡음을 제공하여야 한다.

- 훈련 중의 탱크 레벨, 각종 압력의 변화, 밸브의 개도, 펌프 회전수 등의 상태와 변화하는 과정은 실선과 같이 연속적으로 표시되어야 한다. 이들 값의 변화는 On/Off 상태만이 아니라 그 과정이 연속적으로 정확하게 표시되어야 한다. 예컨대, 펌프를 고속으로 운전중에 토출측 밸브가 닫힌다면, 토출압력이 급상승 하는 등의 변화가 나타나야 한다.
- 선박의 화물취급이 어떻게 이루어지는가를 보다 현실성이 있도록 보여 줄 수 있도록 하기 위해서는 주위의 소음이 있도록 하는 것이 필수적이다.

(6) 훈련 S/W는 신속하고 용이하게 사용할 수 있도록 설계 및 설치되어야 한다.

(7) Loading S/W는 다음의 기능을 구비하여야 한다.

- 트림: 선수, 선미 및 중앙의 홀수
- 종강력 계산: 해상에서 또는 항만 내에서 전단력 및 특정지점에서의 허용 최대치에 대한 비율로서 표시
- 배수량 계산: 배수량
- 복원력 계산: 횡방향의 메타센터의 높이
- 적화 시뮬레이션: 적화 중의 선체 트림, 복원력, 굽힘력, 전단력 및 요구 트림

3. 기본 모델링 이론 및 시스템구성

3.1 기본 모델링 이론

본 LNGC의 cargo/ballast simulator를 구성하는 각각의 수학적 model들은 질량, 에너지, 운동량 보존식 및 열역학적 관계식을 기본으로 하는 first principle에 입각하여 modeling된다. 일반적으로 process simulation은 정상상태(steady-state)와 비정상상태(dynamic simulation)로 분류될 수 있으며, 각각에 대한 특성을 비교하여 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Steady-state simulation versus dynamic simulation

Steady-State Simulation	Dynamic Simulation
Algebraic mass balance model	Differential mass balance model
Algebraic energy balance model	Differential energy balance model
Algebraic momentum balance model	Differential energy balance model
Rigorous thermodynamics	Rigorous thermodynamics
No hydraulics	Hydraulics
No control model	Control model

Steady-state simulation은 공정의 설계에 있어서 에너지 및 물질 수지 계산 이외에 장치 sizing 등에 사용된다. 이러한 steady-state simulation은 공정 각각에 대한 대수방정식이 연립된 형태로 구성되며, 공정의 변화에 따른 정상상태 조건을 반복계산에 의해서 예측한다. 따라서, steady-state simulation에서 물질 및 에너지 변화 속도 등과 같은 시간에 따른 변화는 없는 것으로 가정된다.

반면에 dynamic simulation의 경우 공정의 정상상태 조건을 계산할 뿐만 아니라, 외란 및 운전조건 변화 등에 의해 시간에 따라 변화되는 공정의 비정상상태 조건을 계산한다. Process dynamic simulator에서 이러한 dynamic simulation은 공정의 비정상상태 물질 및 에너지 수지의 시간에 대한 미분식이 연립된 형태로 구성되며, 실시간(real-time)으로 해를 얻을 수 있도록 구성된다. 단위 시스템 각각의 modeling에 사용되는 dynamic model을 일 변화하여 요약하면 다음과 같다.

■ Dynamic Mass Balance Equation

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial r}{\partial z} + G$$

$$u = \begin{bmatrix} \rho_l (a_{ll} + a_{xl}) \\ \rho_g (a_{gg} + a_{lg}) \end{bmatrix} \quad r = \begin{bmatrix} \rho_l (a_{ll} v_l + a_{xl} v_x) \\ \rho_g (a_{gg} v_g + a_{lg} v_l) \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} G_l \\ G_g \end{bmatrix}$$

■ Dynamic Momentum Balance Equation

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial r}{\partial z} - F - H$$

$$u = \begin{bmatrix} (\rho_l a_{ll} + \rho_x a_{lx}) v_l \\ (\rho_g a_{gg} + \rho_l a_{gl}) v_g \end{bmatrix} \quad r = \begin{bmatrix} (\rho_l a_{ll} + \rho_x a_{lx}) v_l^2 \\ (\rho_g a_{gg} + \rho_l a_{gl}) v_g^2 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} (a_{ll} + a_{lx}) \\ (a_{gg} + a_{gl}) \end{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial z} + \begin{bmatrix} (\rho_l a_{ll} + \rho_x a_{lx}) \\ (\rho_g a_{gg} + \rho_l a_{gl}) \end{bmatrix} g \sin \theta$$

$$F = \begin{bmatrix} \tau_{lw} \frac{S_l}{A} \\ \tau_{lg} \frac{S_g}{A} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\tau_{lx} \frac{S_l}{A} \\ +\tau_{xl} \frac{S_g}{A} \end{bmatrix}$$

$$\tau_{lw} = \frac{1}{2} \rho_l \left(\frac{f_l}{4} \right) v_l |v_l|, \tau_{lg} = \frac{1}{2} \rho_g \left(\frac{f_g}{4} \right) v_g |v_g|, \tau_{lx} = \frac{1}{2} \rho_x \left(\frac{f_x}{4} \right) (v_x - v_l) |v_x - v_l|$$

■ Dynamic Energy Balance Equation

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial r}{\partial z} + \frac{\partial q}{\partial z} + S$$

$$u = \left[\frac{1}{2} (\rho_l a_{ll} + \rho_x a_{lx}) v_l^2 + (\rho_l a_{ll} + \rho_x a_{lx}) \varphi + (\rho_l a_{lg} e_l + \rho_x a_{lx} e_x) \right] + \left[\frac{1}{2} (\rho_g a_{gg} + \rho_l a_{gl}) v_g^2 + (\rho_g a_{gg} + \rho_l a_{gl}) \varphi + (\rho_l a_{gl} e_l + \rho_g a_{gg} e_g) \right]$$

$$r = \left[\frac{1}{2} (\rho_l a_{ll} + \rho_x a_{lx}) v_l^3 + (\rho_l a_{ll} + \rho_x a_{lx}) (\rho_l a_{ll} h_l + \rho_x a_{lx} h_x) \right] + \left[\frac{1}{2} (\rho_g a_{gg} + \rho_l a_{gl}) v_g^3 + (\rho_g a_{gg} + \rho_l a_{gl}) (\rho_g a_{gg} h_g + \rho_l a_{gl} h_l) \right]$$

$$S = (G_l h_l + G_g h_g) \quad \varphi = gY$$

3.2 System Configuration

본 LNGC에 대한 cargo/ballast simulator는 다음의 Fig.1과 같이, 5대의 student/operator station과 1대의 instructor station으로 구성된다.

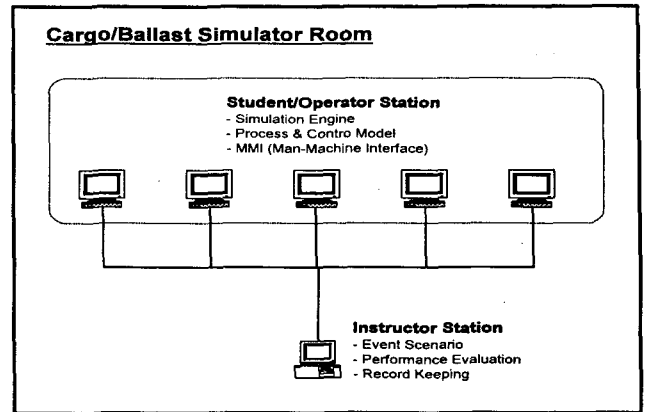


Fig. 1 System Configuration

Network연결을 통하여 다수의 인원이 동시에 실습이 가능하도록 설계함으로써, 동시에 다수의 교육생이 각각의 훈련 상황에 따라 개별 또는 그룹으로 실습이 가능하며, instructor는 통제용 PC로 훈련 상황을 제어 및 통제하여 효율적인 훈련이 가능하도록 되어 있다. 이러한 시스템을 이용함으로써, 통상적인 운용 능력과 긴급상황 대처 능력을 향상시켜 운용자로서의 해양오염 방제에 도움이 되는 물론, 해양오염 방제를 통한 해양 환경 및 재산 손실의 방지에 크게 기여할 수 있는 시스템으로 판단된다.

4. 결론

본 연구 개발로 통해 LNG 시뮬레이션이 가능한 LNG선 하역작업 교육시스템 개발을 완료하였다. 연구개발 과정을 통해 LNG 화물의 온도와 HOLD 및 PIPE LINE에 미치는 압력변화에 대한 좀 더 면밀한 연구가 요구되었다. 따라서 LNG화물의 컨트롤에 연동한 정량화된 LNG화물 온도 MODEL과 압력 MODEL 개발이 추후 과제로 요구되었다. 본 연구 개발 결과물을 통해 LNG선 승무원 양성에 필요한 교육 자료로써 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] G. S. Choi and C. S. Kim, "Linear Stable Systems", IEEE Trans. of Automatic Control, Vol. 33, No. 3, pp. 1234-1245, 1993.
 [2] Z. Shiler and S. Dubowski, "Time Optimal Paths and Acceleration Lines of Robotic Manipulators", Proc. of the 26th Conf. Decision and Control, pp. 98-99, 1987.
 [3] 이우영, 성활경, "유전자 알고리즘을 이용한 선박용 디젤발전기 시스템의 동특성 해석 및 최적화", 박용기관 학회지, 제 24권, 제 3호, pp. 99-105, 1994.
 [4] C. T. Chen, Linear System Theory and Design, Oxford University Press, Oxford, 1999.