

공정 동적모사 기술개발과 LNG선예의 적용

정지범, 유희종, 이인구, 김원배, 윤용승
고등기술연구원 에너지환경연구소

Technology Development of Process Dynamic Simulation and Its Application into LNG Carrier

Ji Bum Chung, Hi Jong You, In Gu Lee, Won Bae Kim, Yong Seung Yun
Institute for Advanced Engineering, Energy and Environment Research Lab.

1. 서론

공정에 대한 동적모사(dynamic simulation)는 최근의 컴퓨터 연산능력의 발전과 함께, 많은 새로운 적용 영역이 개발되고 있다. 특히 위험성이 높은 공정에 대한 이상상태 때의 반응상태를 정확히 예측하는 것은 대형사고의 예방과 설계 단계에서 최적의 시스템을 구축할 수 있도록 하여 준다는 측면에서 향후 국내의 공정설계 기술개발에 큰 도움을 줄 것으로 기대된다. 특히, 화공공정등에 대한 여러 상업용 전산 패키지가 판매되고 있으나 특정분야에만 적용이 편리한 단점이 있고 공정을 정확히 이해하고 있다면 고가의 패키지를 대신하여 실제 공정에 적용이 가능한 동적모사기를 개발하는 것이 가능하다.

여러 적용대상이 있으나 본 연구에서는 최근 국내 조선업계에서 고부가가치 선박으로 집중투자하고 있는 LNG Carrier를 대상으로한 공정과 제어부분의 동적모사기(Dynamic Simulator)를 소개한다. LNG선은 일반 선박과는 달리 초저온(-163°C)의 액화천연가스를 운송하는 LNG 수송 시스템의 한 부분이다. LNG Carrier는 운항시 선박안전 및 Cargo tank의 압력을 제어하기 위해 외부로부터 유입되는 열로 인해 기화되는 가스(Boil off gas)를 기관실에 있는 보일러에서 연소시켜 동력으로 사용하는 것을 가장 큰 특징으로 한다. LNG Carrier는 폭발성 물질인 LNG를 매우 복잡한 계통을 통하여 관리하고 있으므로 일반 선박에 적용되는 감시, 제어 시스템을 사용하는 것은 거의 불가능한 일이다. 따라서 LNG Carrier의 전 시스템을 총체적으로 분산제어 및 중앙감시할 수 있는 능력을 가진 IAS(Integrated Automation System)을 채용하고 있다. 또한 보일러 및 버너의 안정적인 운전을 위한 감시, 제어 시스템인 ABC(Automatic Boiler Control System)와 BMS(Burner Management System)를 설치, 운영하고 있다.

본 동적모사기는 보일러, 버너, GMS 등의 LNG Carrier의 주요 공정 계통을 PC에서 구동할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 이용하여 구성하고, 이를 일차적으로 선박의 제어계통과 연결하여 그 시스템의 안전성을 점검하는 것에 일차적인 의의를 찾을 수 있다. 즉, 선박의 실제 운항 전에 동적모사기를 선박의 제어계통

에 연결하여, 시뮬레이터가 선박의 역할을 수행하면서, LNG 적재와 보일러의 점화에 따르는 위험을 최소화하며 제어계통을 검증할 수 있도록 구성된다. LNGC 동적모사기는 적절한 제어기 파라미터의 결정, 제어방법의 검증, 설계 및 운전 최적화에 대한 점검 및 제안의 기능을 할 수 있을 것이고, IAS를 비롯한 주요 제어계통에 대한 시뮬레이션을 통하여 LNG Carrier의 안전과 기화가스(Boil-off gas)에 대한 효율적인 사용을 검증하게 된다. 이를 통하여 시운전 기간을 단축하고 이후 선박 운전원들의 사전교육 기능까지도 수행할 수 있을 것이다.

2. 시스템 개요

1) 가스 운송 계통 (Gas Management System)

GMS(Gas Management System)는 Cargo Tank로부터 적절한 압력을 유지하면서 발생된 기화가스를 압축, 가열, 운송하여 기관실의 보일러에서 연료 오일(fuel oil)과 함께 연소시켜 선박의 추진력과 선박 내에서 필요한 전기의 발전 등에 필요한 증기를 생산하는 일련의 총체적이고 유기적인 계통이다.

GMS는 Cargo tank, Forcing vaporizer, Low duty compressor, BOG Heater 등이 주요 계통을 이루고 있다(그림 1). Cargo tank는 영하 163°C의 LNG와 이로부터 발생한 기화 가스를 보관하며 멤브레인 타입으로 4개가 설치되어 있다. Forcing vaporizer는 셸(Shell) 타입의 U-tube형 열교환기로서 연료로 사용될 자연 기화된 BOG의 양이 적을 때, 액체상의 LNG를 강제로 기화시키는 장치이다. L/D Compressor는 자연 발생되는 BOG와 Forcing vaporizer에 의해 만들어진 BOG를 압축하여 보일러에 공급할 수 있는 상태로 만들어 준다. L/D Compressor는 2개가 설치되어 있으며, 평상시에는 1개만 운전한다. BOG Heater는 L/D Compressor에서 배출된 BOG gas를 예열하여 보일러에 공급해주는 것을 목적으로 한다.

2) 보일러 계통 (Boiler and Burner)

LNGC는 두 개의 Kawasaki UME 형 보일러를 주 보일러로 사용하여 선박의 운항에 필요한 추진력과 전기를 얻는다. 이 보일러는 보일러 급수와 증기가 흐르는 유로와 연료 가스와 연료 오일의 연소 가스가 흐르는 유로로 분류가 가능하다(그림 1).

LNGC는 그 운전 모드에 따라 BOG 가스나 오일의 단독 연소 혹은 두 연료의 혼합 연소가 가능하다. 연료가 보일러로 공급되면 각 보일러 당 3개의 버너가 이를 연소시키고 여기서 발생한 고온의 연소 가스가 급수, 증기 라인을 가열하여 터빈의 가동에 필요한 증기를 생산한다. 보일러 급수는 먼저 Economizer에서 포화 상태로 가열된 후, Evaporator로 공급된다. Evaporator는 Water drum과 Steam drum, 그리고 연소 가스에 의한 가열면이 되는 Tube bank로 구성되어 있고, 여기서 포화 상태의 급수가 포화 상태의 증기로 변환되어 Super heater로 공급되게 된다. Super heater 블록은 1번, 2번 Super heater와 Super heater에 의

한 과열 증기의 온도를 조절해 주는 기능을 하고 있는 De-Super heater로 구성된다. Super heater 블록은 포화 상태의 증기를 가열하여 과열된 상태의 증기로 만들고 이를 De-Super heater를 통해 적당한 온도로 만들어 터빈으로 공급한다.

3) 터빈 계통 (Turbine)

LNGC에 사용하고 있는 주 추진 터빈은 이중의 감속 기어를 이용하는 Kawasaki의 UA 형 Cross compound 터빈이다. 이 터빈 계통은 한 개의 고압 터빈과 후진 터빈과 연동된 한 개의 저압 터빈으로 구성되어 있다. 보일러와 터빈의 사이에는 증기의 유량 조절을 통한 출력 조정 기능을 갖는 조절 밸브 (Maneuvering valve or Governing valve)가 설치되어 있다. 증기 조절 밸브는 전진 쪽과 후진 쪽에 각각 마련되어 운전 형태에 따라, 즉 전진, 후진의 경우에 따라 각 조절밸브의 개방이 결정된다.

3. 모델 개요

1) 동적 모사 (Dynamic simulation)

어떤 공정의 정적모사(Steady-state simulation)는 시간에 따른 질량이나 에너지의 변화가 없는 상태에서, 공정을 해석하는 것을 의미하며, 주로 설계 단계에서의 열 및 에너지 평형 상태의 수립 및 Equipment sizing 등에 사용된다. 반면에 동적모사는 시간에 따른 질량 및 에너지의 변화를 고려하여 프로세스의 시간에 따른 변화 추이를 파악할 수 있도록 한다. 또한 실시간으로 프로세스의 변화를 시뮬레이션 할 수 있는 동적모사기는 일반적으로 운전원의 훈련용으로 여러 산업 현장에서 사용되고 있다. 본 LNGC 동적모사기는 선박의 제어 계통에 대한 점검을 목적으로 실시간 모사 기능을 제공하고 있고, 향후 발전에 따라 운전원 훈련용 모사기 기능을 가질 것이다.

일반적으로 어떤 공정 계통을 모사한다는 것은 관련 계통을 수학적 방정식 형태로 바꾸어 이를 반복 계산 과정을 통하여 풀어낸다는 것을 의미한다. 공정을 모델링할 때 나타나는 방정식들은, 각 프로세스의 질량, 에너지, 운동량 보존 방정식과 유체의 상태에 대한 상태 방정식들이다.

대부분의 공정의 동적 시뮬레이션의 경우, 이 수학적 방정식들은 비선형 미분방정식이 연립된 형태로 나타나게 된다. 이를 해석하는 방식은 그 속도와 안정성에 따라 여러 가지 방법으로 나뉜다. LNGC 동적모사기의 수치 해석적 계산 방법은 각 미분방정식을 선형화하여, 이를 Backward Euler substitution 방법을 이용하여 해석하고 있다.

2) 모델의 구성

본 LNGC 동적모사기는 캐나다의 CTI Tech.사의 CASSIM이라는 동적모사기 개발도구를 이용하여 개발되었다. CASSIM은 PC 상에서 윈도우 기반의 프로그래밍이 가능하도록 설계되어 비교적 사용이 쉽고, 간편한 모델링 환경을 제공

해준다. CASSIM은 현재 출시되는 대부분의 시뮬레이터 관련 소프트웨어 패키지가 그러하듯이, 각 프로세스를 나타내는 블록들을 연결시키는 방식으로 시뮬레이터를 구성하는 블록 오리엔티드(Block Oriented) 모델링 방식을 채용하고 있고, 이 각각의 블록들은 포트란 언어로 구성된 해당 알고리즘에 입력과 출력 그리고 각 변수의 특성항을 입력하는 방식으로 구성된다.

본 LNGC 모사기는 CASSIM을 이용하여 각 공정을 단순화하여 구성하고, 이에 대한 질량 및 에너지 방정식을 일차원의 파이프 유동모델과 Lumped Parameter 모델을 이용하여 구성하였다. 그림 1은 전체 LNGC 시뮬레이터 모델의 개요를 나타내고 있다.

본 시뮬레이터는 사용자들의 보다 쉬운 접근을 위하여 Labview를 이용한 사용자접속부 작성 기능을 제공하고 있다. 이는 CASSIM과 Labview 간의 DDE(Dynamic Data Exchange) 통신을 통하여, CASSIM에서 얻어지는 각 공정의 데이터를 Labview로 보내고 이를 디스플레이 해주는 방식으로 이루어진다.

3) 제어 시스템 검증을 위한 IO Simulator의 구성

LNGC는 폭발성 인화물질인 LNG를 운반하고, 연소시키기 때문에 이를 관리하고 감시하는 제어 계통에 대한 점검은 시운전 시에 매우 중요하다. 본 모사기는 이런 위험을 최소화하기 위하여 그림 2와 같이 실제 프로세스를 모사하는 시뮬레이터를 LNGC의 제어 계통에 연결하여, 실제 선박은 운전하지 않고 다만 PC에서 실행되는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 제어 계통에 대한 점검을 수행하려 한다. DCS와 시뮬레이터간의 통신 연결은 CASSIM과 Labview가 DDE 통신으로 연결되어 PC 상에서 사용자 접속부를 제공해주고, 이 PC에 National Instrument 사의 RS-485 Board를 꽂아서 DCS와 통신하고 있다.

그림 2에서 보듯이 시뮬레이터는 LNGC 제어의 주요 계통인 IAS, BMS, ABC에 연결되고 각각의 조작용은 각 제어 계통의 조작 패널이 마련되어 있는 CACC(Centralized Administration Control Center), ESCR(Engine Serve Control Room), BGB(Boiler Gauge Board) 등에서 이루어지게 된다.

4. 결론

본 LNGC 동적모사기의 사용자접속부(User Interface)는 크게 두 가지의 기능을 수행하고 있다. 첫째, Labview를 이용하여 제작된 사용자접속부는 주 계산 엔진인 CASSIM 소프트웨어를 DDE 통신을 통하여 제어하고, 이를 선박의 DCS 제어계통에 전달하는 기능을 수행하고 있다. 즉 CASSIM 계산엔진과 DCS와의 매개체 역할을 수행하고 있는 것이다. 둘째로는 이 시뮬레이션 결과를 실시간으로 사용자에게 미려한 그래픽 화면을 통하여 제공하는 것이다. 그림 3은 전체 보일러 계통을 나타낸 사용자 접속부 화면이다. 사용자 접속부의 각 화면들은 시뮬레이션 도중 실시간으로 서로 전환이 가능하며, 각 화면에서 마우스와 키보드를 이용하여 사용자의 개입이 가능하도록 구성되었다.

본 시뮬레이터는 단기적으로는 LNGC 선박의 DCS 제어 계통과 직접 연결되어 제어 계통의 건전성 평가와 제어 변수의 설정에 이용될 것이고 장기적으로는 자체의 제어 계통을 마련하여 DCS와 분리된 offline 상에서 운전원 교육용으로 사용될 것이다. 현재 실험용 DCS 장비와 연결되어 각 IO Point check와 간단한 제어계통에 대한 검증 작업이 진행 중에 있고, 곧 실재 선박으로 이동되어 실재 DCS의 검증에 이용될 것이다. 현재까지의 결과로는, CASSIM DDE와 Labview, RS-485 Board, 그리고 DCS에 이르는 통신 과정에서 약간의 지연 현상이 있으나 전체적인 실시간 제어에는 무리가 없음을 확인하였고, 이후 각 제어 계통에 대한 각종 과도 상태(Transient conditions) 시험을 수행할 것이다.

참고 문헌

1. "CASSIM User's Manual", Cassiopeia Tech. Inc., 1995
2. "Technical Specification of the Simulator", Kawasaki Heavy Industries, LTD., 1997
3. 최성락, "LNG 운반선에 대한 소개", 조선공업협회보, 3월호, 1995

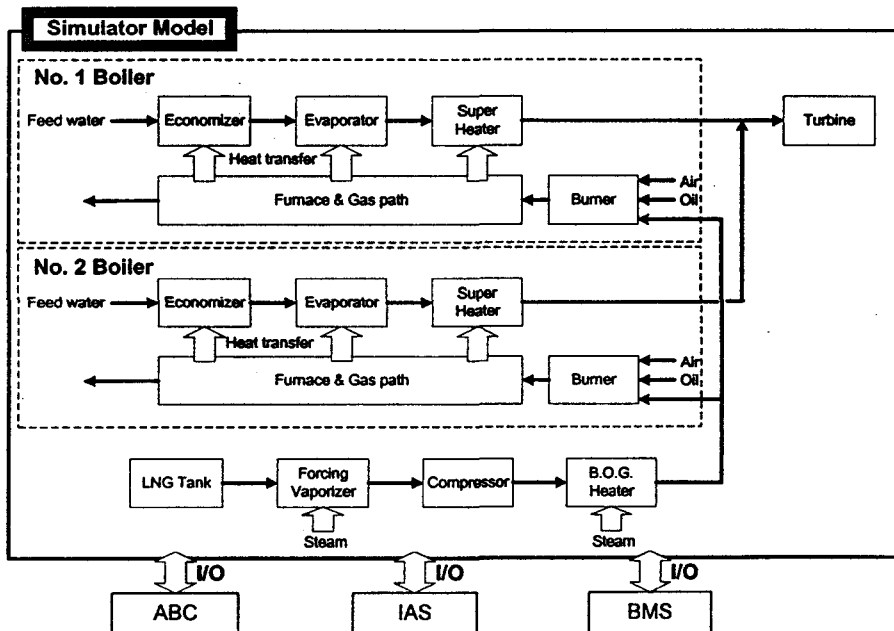


그림 1. 전체 LNGC 시뮬레이터의 개요

LNGC Control System Arrangement

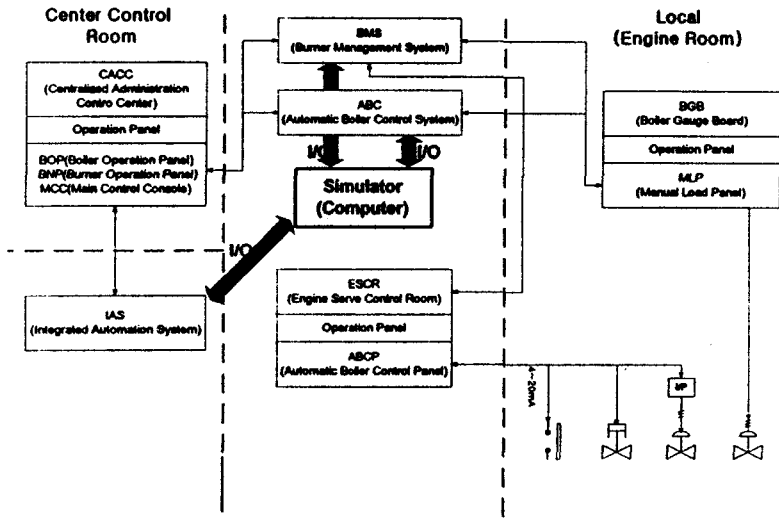


그림 2. 시뮬레이터와 DCS 제어 시스템의 연결

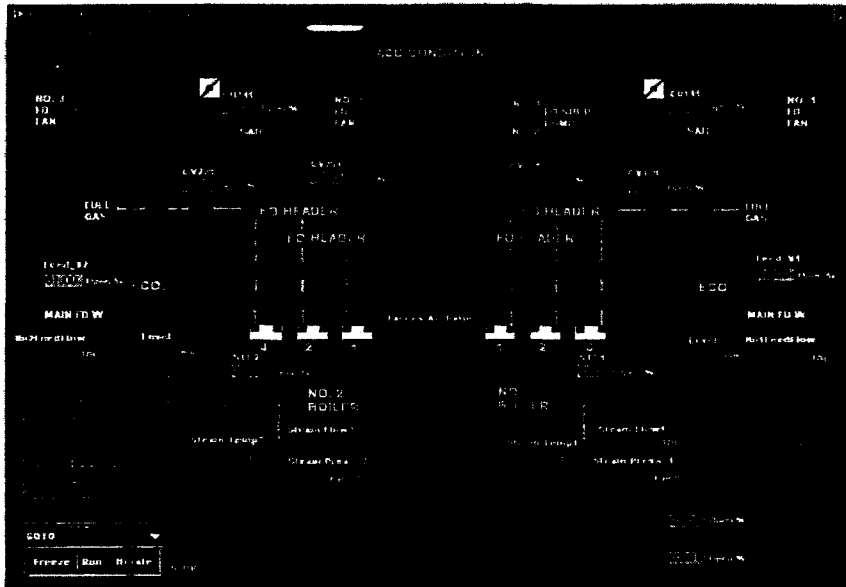


그림 3. 전체 보일러 계통 사용자 접속부 화면