

LNG 운반선에서의 신개념 증발 가스 처리 시스템 - VaCo 시스템

최정호^{†*}, 유홍성^{**}, 유경남^{**}, 허안^{***}, 이두영^{*}, 류승각^{*}

대우조선해양(주) 의장시스템 연구소^{*}

대우조선해양(주) 전장설계팀^{**}

대우조선해양(주) 선장 배관설계팀^{***}

Third Wave of Gas Management System in LNG Carrier - VaCo System

Jungho Choi^{†*}, Hong Sung Yoo^{**}, Kyung Nam Yoo^{**}, An Heo^{***}, Dou Yeong Lee^{*},
and Sung Kak Lyu^{*}

Ship/Plant System R&D Team, DSME^{*}
Electrical Outfitting Design Team, DSME^{**}
Hull Piping Design Team, DSME^{***}

Abstract

The Boil-off gas (BOG) generation during the voyage is inevitable since Natural Gas (NG) is normally liquefied below -160 degree C in atmosphere condition and small heat ingress due to relatively hot outside keeps evaporating continuously. The one of major issue in LNG carriers is to handle generated BOG from cargo tank. The generated BOG affects to increase the cargo tank pressure and Gas Management System (GMS) for LNG carriers is closely related to cargo tank pressure maintenance.

Economically, BOG is generally used as fuel in LNG carrier. Newly developed GMS for LNG carrier in boiler propulsion system, VaCo System, not only accomplish automatic control in GMS but also ensure safer operation.

※Keywords: Boil-Off Gas(증발 가스), Liquefied Natural Gas(천연 액화 가스), Gas Management System(가스 처리 시스템), LNG carrier(액화 천연가스선), Tank pressure(탱크 압력)

1. 서론

LNG 운반선의 주 목적은 대기압 상태에서 -160도 이하로 액화된 천연 가스를 운반하는 것이다. 운항 기간 동안 LNG는 상대적으로 뜨거운 외부에 노출되어 있다. LNG 탱크 내부(-160 C)와 외부(25 C)의 온도 차에 의하여 열 유입(heat ingress)이 발생한다. 그림 1은 LNG가 적재된 탱크의 상태를 도시한 것이다. 탱크 내부에 절연체의 삽입은 열 유입을 줄일 수는 있으나, 완벽히 열 유입을 차단하지는 못한다. 따라서 LNG는 운항 기간 동안 서서히 덩어지고 결국 증발이 발생하게 된다. 이 증발 가스를 BOG (boil-off gas)라 통칭한다.

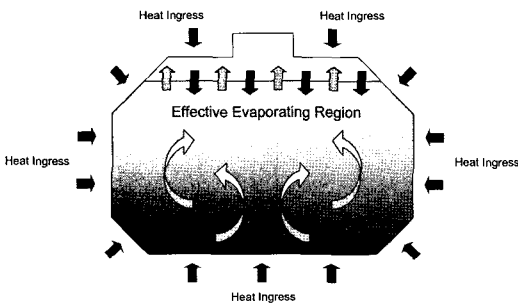


Fig. 1 Conceptual view of cargo tank

생성된 증발 가스는 탱크 내부에 축적이 되고, 이는 탱크 압력을 상승시키게 된다. 탱크의 가스 압력이 탱크의 허용 압력 이하로 유지시키기 위하여, 생성된 증발 가스는 처리되어야 하며 다음과 같은 방법이 적용되고 있다.

- ✓ 추진 시스템의 연료
- ✓ 재액화
- ✓ 가스 소각 장치에서 소각
- ✓ 대기로 배출

연료 사용과 재액화는 순항 중에 적용이 되는 방법이고, 소각 및 배출은 비상시에 고려가 되고 있다. 전형적으로, 가스를 연료로 사용하기 위해서는 제반 되는 추진 시스템도 고려해야 한다.

스팀, DF 엔진, 가스 터빈 등을 사용하는 LNG 선에서는 연료 사용으로 탱크 압력을 안정화 시킨다. 기타의 경우는 재액화 장치가 일반적으로 고려되고 있다. 소각이나 배출을 통한 탱크 압력 안정화는 비상시를 대비하여 적용되고 있다.

통상적으로 탱크 압력을 제어하기 위하여 생성된 증발 가스를 상기 언급된 다양한 목적에 사용되게 공급하는 시스템을 가스 처리 시스템(Gas Management System)이라 한다.

2. 본론

몇몇의 가스 처리 시스템(GMS)이 현재 적용되고 있다. 그러나 이들은 경제성이나 사용 범위 등 각각의 장단점을 가지고 있다. 현재 일반적으로 적용되고 있는 2 종류의 가스 처리 시스템(GMS)을 간략히 언급하고, 이들을 보완한 새로운 시스템 (VaCo System)의 특징에 관하여 언급하겠다.

2.1. 일반형 (Conventional type)

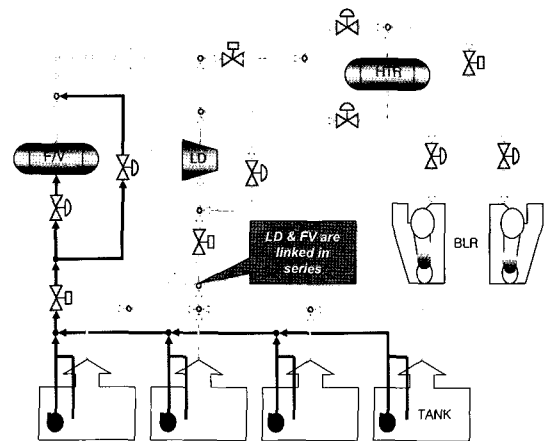


Fig. 2 Schematic diagram of conventional system

그림 2에 일반형 가스 처리 시스템(GMS)을 도시하였다. 가스 처리 시스템(GMS)의 주요 요소인 컴프레서는 탱크에서 생성된 증발 가스를 가스 히터를 통하여 보일러로 공급하는 역할을 한다.

컴프레서는 가스의 압력 상승 및 온도를 상승시키지만, 상승된 온도는 보일러에서 직접 사용할 수 있을 정도로 상승되지는 않는다. 가스 히터는 보일러에서 연소 되기 적당한 온도까지 가스 온도를 상승시킨다. 만약 보일러가 가스만을 연료로 사용한다면, 생성된 증발 가스는 보일러의 요구량을 충족시키지 못할 수도 있다. 이럴 경우, 강제 기화기가 LNG 를 기화시켜 필요한 가스를 추가로 생성시킨다.

강제 기화된 가스는 컴프레서 입구 측에서 증발 가스 라인과 합류한다. (그림 2 참조) 강제 기화기, 컴프레서, 보일러 등 장비들의 연결 관점으로 볼 때, 일반형은 직렬 연결 형식을 취하고 이는 시스템 제어를 단순화 시키는 장점이 있다. 그러나 컴프레서는 강제 기화기에서 생성된 가스도 보일러로 공급하는 역할을 추가로 해야 하기 때문에, 용량이 커지는 단점이 있다. 큰 용량의 컴프레서는 설치비나 에너지 소비 측면에서 불리하게 작용한다.

2.2 Ecobot

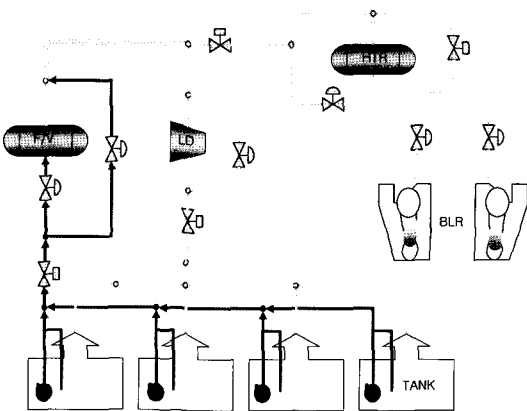


Fig. 3 Schematic diagram of Ecobot system

Shell (STASCO)와 Cryostar 는 기존의 일반형 시스템을 향상시킨 Ecobot 시스템을 개발하였다. 이들은 강제 기화 가스와 증발 가스의 합류 지점을 컴프레서 입구 측에서 출구 측으로 이동시켰다. 이는 컴프레서 운전시 강제 기화 가스를 고려하지

않아도 됨을 뜻한다. 기존의 컴프레서 용량은 보일러 용량과 같았으나, Ecobot 형 컴프레서는 보일러의 용량보다는 작고 생성된 증발 가스만을 제어할 수 있을 정도의 용량으로 크기를 줄일 수 있게 되었다. 적은 용량의 컴프레서는 초기 설치비뿐만 아니라 운전 비용도 줄이는 장점을 가지고 있다.

그림 3 은 Ecobot 시스템의 개략 도를 보여준다. 그림에서와 같이, 강제 기화기와 컴프레서는 시스템에서 병렬 구조로 연결되어 있다. 그러나 병렬 구조가 가지는 시스템의 제어 성능이 떨어지는 단점이 존재한다. 이를 보완하기 위하여 강제 기화기는 자동이 아닌 수동으로 운전이 된다. 보일러의 연료비 측면에서 LNG 는 HFO 에 비해 고가인 연료이므로 일반적으로 강제 기화기의 사용은 빈번하지는 않다. 따라서 강제 기화기의 수동 운전이 운항에 큰 불편을 주는 사항은 아니었다. 그러나 현재 기름 가격은 꾸준히 상승을 하고 있는 상황에서, LNG 와 HFO 의 열량 대비 가격차는 줄어들고 있는 상황이다. 향후, 강제 기화기의 사용 빈도수는 연료 가격 관점으로 볼 때 늘어 날수 있는 환경으로 변해가고 있다.

2.3 VaCo System

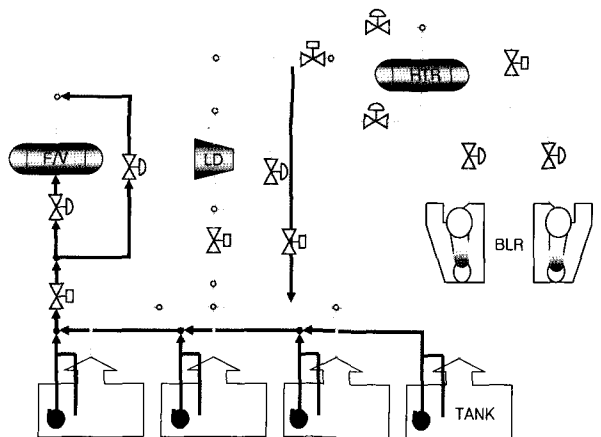


Fig. 4 Schematic diagram of VaCo system

대우 조선 해양은 기존의 Ecobot 시스템을 보완한 VaCo system 을 개발하였다 (특허 등록: #649863). 이는 강제 기화기의 자동 제어뿐만 아니라 순환 라인의 추가로 시스템의 안정성도 강화시켰다. 또한 강제 기화기와 컴프레서의 적절한 역할 분배를 통하여 보일러 요구량뿐만 아니라 탱크 압력도 동시에 제어가 가능하다. 추가로 설치된 순환 라인 (그림 3 적색 라인 참조)은 가스 라인의 비상시 고압으로부터 보호해준다. 예를 들면, 강제 기화기, 컴프레서가 동시에 운전 중인 상황에서 보일러가 비상 정지를 하면, 강제 기화기와 컴프레서는 장비 보호 차원에서 작동을 동시에 멈추게 된다. 그러나 강제 기화기에는 기화가 되지 않은 LNG 가 잔존하게 되며, 이는 서서히 가열되어 가스로 변하게 된다. 가스는 LNG 탱크의 수두 압력 및 컴프레서의 체크 밸브로 인하여 탱크의 가스 영역으로 배출되지 못하고 가스 라인의 압력을 증가시킨다. 순환 라인은 비정상적인 컴프레서 후단 가스 압력 상승으로부터 탱크로의 배출을 통하여 시스템을 보호한다.

VaCo 시스템은 부가적으로 컴프레서의 병렬 운전도 자동적으로 가능하도록 구성되어 있다. 이는 증발 가스가 과도하게 발생하는 LNG 적재 후 초기 운항 시에 유용하게 쓰일 수 있는 운전 방법이다.

3. 시뮬레이터를 통한 시스템 검증

실 운항선 테스트는 제약 조건에 의하여, 초기 개발 단계에서는 시뮬레이터를 통한 검증을 병행하였다. 대우 조선 해양은 LNG 선의 실제 특성 데이터의 수집을 통하여 유사한 시뮬레이터를 개발하는 연구를 수년간 진행하였다. 박지원 등 (1999)은 LNG 탱크의 특성에 관하여 연구를 수행하였다. 운영식 등(2000)은 이를 발전하여 가스 처리 시스템(GMS)에 사용되는 각 장비(파이프, 열교환기, 컴프레서 등)들의 증발 가스 운전에 관한 특성을 연구하였다.

VaCo 시스템 모델링은 HYSYS 모델링을 통하여 구현하였으며, 실물과 유사한 모델링 구현을

위하여 탱크 및 관련 장비의 특성의 모델링은 McGuire and White(1986)을 참조하였다.

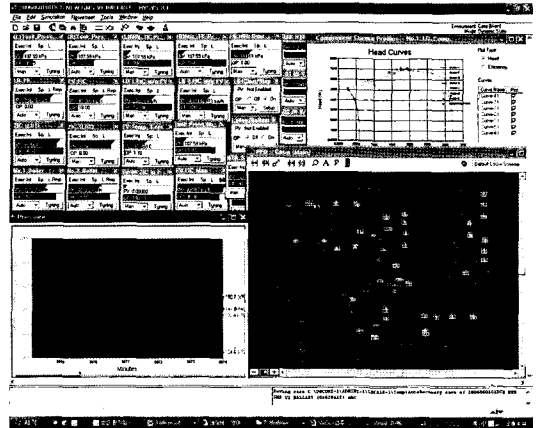


Fig. 5 HYSYS dynamic model of VaCo system

그림 5 에 묘사된 모델링은 열/유체 역학적 모델 및 각 장비의 데이터를 기반으로 하였으며 LNG 와 증발 가스는 다 성분 계 (메탄, 에탄, 프로판, 질소 등등) 로 구성되어 있으므로 HYSYS 다이내믹 모델로 구현되었다. 따라서 모든 작동 유체의 물성치는 상태 방정식을 통하여 계산되었다.

4. 실선 시스템 검증

대우조선해양(주)은 LNG 선 운항 사인 Maran Gas Maritime (MGM)의 협조 하에 수에즈←→스페인을 운항하는 실선에서 왕복 운항 시에 시스템 검증 테스트를 수행하였다.

검증 테스트 수행 항목은 다음과 같다.

- ✓ 컴프레서 병렬 운전 테스트
 - 안정성 테스트 (1 시간)
 - 보일러 (추진) 로드 변화 (quick/ste)에 따른 응답 성 테스트 (51 RPM ←→MCR)
- ✓ 컴프레서 + 강제 기화기 운전 테스트
 - 안정성 테스트 (1 시간)

- 보일러 (추진) 로드 변화 (quick/ste)에 따른 응답 성 테스트 (51 RPM ↔MCR)
- ✓ 안전 테스트
 - Low load gas mode 운전
 - 가스 마스터 밸브의 오작동 조건
 - 컴프레서의 오작동 조건
 - 강제 기화기의 오작동 조건

참 고 문 헌

- J.W. Park et al, " LNGC Tank Dynamic Simulation in Gas Management System," Advanced Simulation Technologies Conference, 1999
- McGuire and White, Liquefied Gas Handling Principles on Ship and in Terminal, Whtherby & Co. Ltd. (1986)
- Y.S. Moon et al, " Evaluation Studies on a LNG Carrier Gas Management System Performance," International Marine Design Conference, 2000

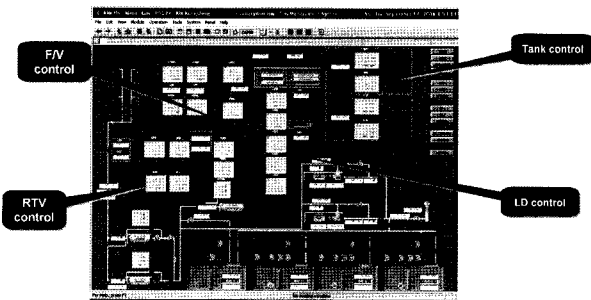


Fig. 6 Control graphic on real vessel

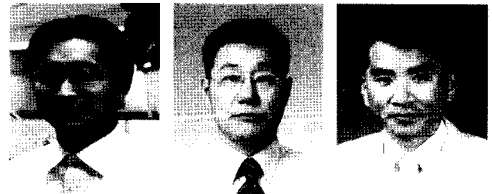
5. 결론

가스 처리 시스템 (GMS)는 LNG 선의 중요한 시스템 중의 하나이고 추진 시스템의 변화 혹은 자체적으로도 계속 발전되고 있다. 진보된 가스 처리 시스템(GMS)인 VaCo 시스템은 운항중에 생기는 가스 처리에 관하여 완전 자동화가 가능하게 구성되어 있다. 또한, 선급의 요구 조건 이상의 안정성을 순환 라인의 도입으로 구축하였다.

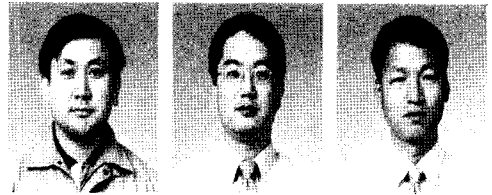
VaCo 시스템은 이미 4 척의 LNG 선에 적용되어 운항 중이다.

후 기

본 프로젝트 개발을 위하여, 선사 (Maran Gas Maritime, Bergesen Worldwide Gas) 및 선급 (ABS, DNV)의 협조에 감사 드립니다.



< 최 정 호 > < 유 홍 성 > < 유 경 남 >



< 허 안 > < 이 두 영 > < 류 승 각 >