

LNG Ageing 현상이 X-DF 저압연료공급시스템 성능에 미치는 영향

윤상득* · 이윤혁** · Yude Shao** · 강호근****

* 동화엔텍, ** 한국해양대학교 대학원, *** 한국해양대학교

The Effect of LNG Ageing Phenomenon on the Performance of Low-pressure Fuel Supply System in X-DF Engine

Sang-Deuk Yoon* · Yoon-Hyeok Lee** · Shao Yude** · Ho-Keun Kang****

* DongHwa Entec, ** Graduate School, Korea Maritime and Ocean University, *** Korea Maritime and Ocean University

핵심용어 : LNG연료, 경련화, X-DF 엔진, 동적공정모사

Key Words : LNG fuel, Ageing, X-DF engine, Dynamic simulation

1. 개요 및 연구목적

선박의 엔진이 X-DF일 경우, LNG의 조성비가 연료 가스의 MN를 결정하게 되는데, gas mode 운전을 위해서 MN을 적정 수준 이상으로 유지해야 하는 단점이 존재한다. 현재까지의 maker에서 제시하는 MN condition은 80이상으로 유지해야 한다. LNG는 복합 혼합물로서 각 component는 서로 다른 boiling point를 가지고 있다. 이에 따라 tank의 압력을 유지하기 위해서는 외부에서 침투하는 열에 대하여 기화열로 보상해야 하는데, 이때 필연적으로 boil off gas가 발생하게 된다. boil off gas(이하 BOG)는 낮은 boiling point를 가진 nitrogen, methane이 먼저 기화되게 되는데, 이러한 현상에 의해 LNG 탱크에 남아서 계속 저장되는 LNG의 조성비에 변화가 발생하게 되고, 이러한 현상을 LNG ageing 이라고 한다. LNG Fueled Ship의 특성상 그 크기가 작고 FGSS(연료공급시스템) process에서 recycling되는 Heavy Hydrocarbon 성분에 의해 그 현상은 가속화 될 수 있으며, 이는 FGSS 운용에 상당한 영향을 미칠 수가 있다.

본 연구는 LNG 성분에 따른 MN를 확인하고, gas mode에서 otto cycle로 전환되는 X-DF 엔진의 요구사항인 MN80을 만족시키기 위한 방법과, 중질 성분이 HC(heavy hydro carbon)이 LNG 연료탱크 내부에 재순화 될 경우 시간에 따른 LNG의 조성비를 분석하는데 있고, 해당 엔진의 연료공급시스템 최적화 설계에 대한 guide를 제시한다.

2. 연구방법

중압의 FG(연료가스)를 요구하는 X-DF engine 의 FGSS 설계를 위해서는 엔진에서 요구하는 FG의 압력 그리고 온도조건

을 만족 시키는 system으로 설계 하여야 한다. 일반적으로 FGSS는 그 목적을 engine 요구사항에 맞추어야 하며, 또한 해당 system으로 선박에서 무엇보다 중요한 LNG tank의 압력도 같이 control 되어야 한다. 일반적으로 tank에서 발생하는 BOG의 총량이 엔진에서 요구되어지는 FG의 총량보다는 작기 때문에, pump를 포함한 pump 가압형 FGSS로 설계되어진다.

공정의 흐름도는 Fig. 1과 같이 LNG fuel tank에서 MP(middle pressure) FG pump에 의해 대부분의 engine에서 요구되는 양의 LNG가 가압 이송되어, LNG vaporizer에 의해 기화된 FG가 FG heater에 의해 요구되는 온도에 맞게 제어되어 엔진으로 공급되어진다.

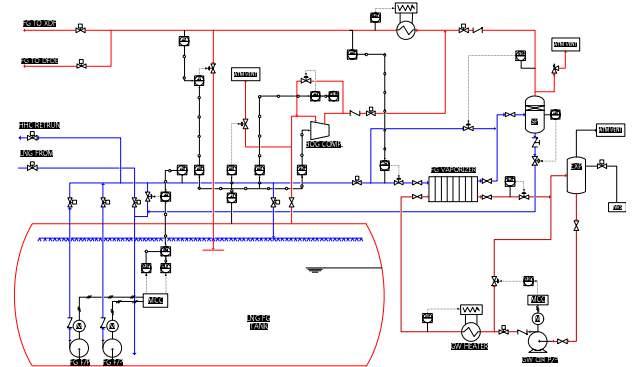


Fig. 1. Simulation PFD for X-DF FGSS.

FGSS의 설계를 위해서 열역학적 평형상태를 확인하기 위하여 Heat & Material balance 화인해 보아야 한다. Material balance를 확인하는 것은 각 pump와 열교환기 그리고 열유체의 capacity를 확인하기 위해서는 각 장비의 sizing이전에 선행되어야 한다. 상용화 공정모사프로그램인 Aspen HYSYS 를 사용하여 아래와 같이 Heat & Material balance를 확인해 보았으

* First Author : sdyoon@dh.co.kr, 051-970-0718

† Corresponding Author : hkkang@kmou.ac.kr, 051-410-4260

며, 최적화된 설계값을 도출하기 위하여 2 cases에 대하여 검토 되었다.

Table 1. LNG components for case study

Lean LNG case		Rich LNG case	
Component	Mole(%)	Component	Mole(%)
Methane	90.86	Methane	81.82
Ethane	6.76	Ethane	16.16
Propane	1.62	Propane	1.52
i-Butane	0.48	i-Butane	0.20
n-Butane	0.25	n-Butane	0.20
i-Pentane	0.00	i-Pentane	0.00
n-Pentane	0.00	n-Pentane	0.00
Nitrogen	0.02	Nitrogen	0.10

Lean LNG case	Rich LNG case
Case 1: 2K(2000m3) LNG tank	Case 2: 2K(2000m3) LNG tank

3. 결과 및 고찰

Table 1의 Lean LNG 조성에 따른 주요 Dynamic 거동은 Fig. 2와 같다. Methane 함유량 90 mol% 급 Lean LNG 조성을 지니는 FGS 는 경과시간에 따라 비교적 안정적인 공급임을 확인 할 수 있다. Fig. 2 의 엔진에서 요구되어지는 Fuel gas 공급 유량은 Tank 내에서 발생하는 BOG 유량에 따라 HHC Separator 상부의 Methane vapor 의 유량과 함께 제어되어진다. 이와 함께 Fuel Gas 공급압력은 압력 제어밸브를 통해 공급압 set point 17.0 barg를 충족시킨다.

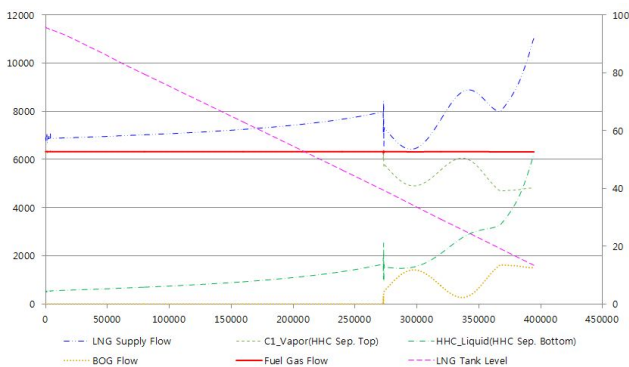


Fig. 2. Characteristics of mass flow for lean LNG in 2K LNG tank (Case 1).

그림에서 확인할 수 있듯이 LNG Tank level, 즉 FGS 운전 이 시작됨에 따라 HHC separator를 통해 Heavy hydrocarbon 성분이 LNG tank 로 회수되어진 동시에 LNG Ageing 현상이

발생되어지고, 이에 따라 Tank 내부 LNG 조성이 Heavy하게 변함에 따라 Tank 내 LNG Density가 급격히 증가하게 된다.

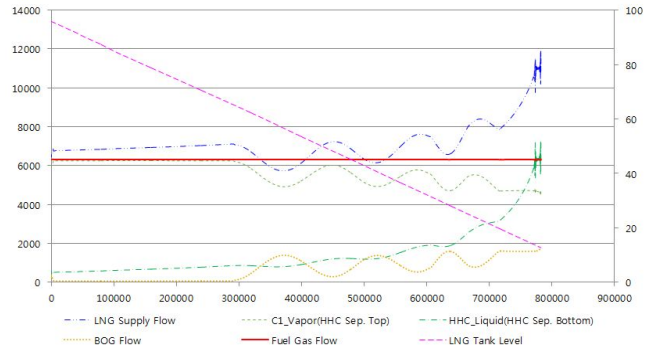


Fig. 3. Characteristics of mass flow for rich LNG in 2K LNG tank (Case 2).

Fig. 3은 Methane 80 mol% 수준의 Heavy Hydrocarbon 성분이 다량 포함된 Rich LNG case의 LNG Ageing 현상 거동에 대한 특성을 나타내고 있다. Rich LNG case 의 조성은 Table 1 과 같으며, 표에서도 살펴볼 수 있듯이 Ethane, Propane이 Lean LNG에 비해 상대적으로 많기 때문에 거동 분석 이전에 LNG Ageing 현상이 더 활발히 이루어질 수 있음을 짐작해 볼 수 있다. HHC separator 하부로 recycling 되는 HC 성분이 시간의 경과에 따라 급격히 증가하게 되고, 이에 따라 Lean LNG case 와 마찬가지로 Tank 내의 LNG Ageing 현상으로 인한 Fuel gas pressure가 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 더불어, Lean LNG case에 비해 기본 LNG 조성에 C3+ 성분이 많기 때문에 LNG Ageing 속도가 빠르게 이루어짐을 확인하였다.

4. 결론

LNG를 연료로 하는 Engine을 가진 선박의 경우, 선종에 따라 선박의 운항 condition의 차이가 크다. 예를 들어 Container 선의 경우 정기선으로 Main engine 운용율이 상대적으로 bulk carrier보다 높아 LNG 조성비의 변화가 작을 수도 있고, rich LNG를 사용할 경우 조성비가 급격하게 앞서 언급한 거와 같이 변할 수 있어 큰 문제가 될 수도 있다. 이와 같은 이유로, 분리된 HHC를 tank로 recycling 하지 않고, 독립적으로 저장하는 tank를 설치하여 해결 할 수도 있다. 그러나 상기 방법은 비용적인 문제로 인하여 선호되지 않으므로, MN에 자유로운 기관인 Duel fuel Boiler의 연료로 사용하는 방법이 있을 수 있다.

참고문헌

A. Benito, "Accurate Determination of LNG Quality Unloaded in Receiving Terminals: An Innovative Approach", Pagina 1 de 23, 2012.