

최근 LNG선의 추진 및 BOG 처리장치의 동향

김만응⁺·이경우⁺⁺·이영호⁺⁺⁺

The New Trend of Propulsion and BOG Handling System from LNGCs

M. E. Kim⁺, K. W. Lee⁺⁺ and Y. H. Lee⁺⁺⁺

Abstract : In recent years, the LNGC fleet is expanded unprecedentedly. Ship's owners and shipbuilders are focusing on technology and reliability of new propulsion system from economical, environmental and safety angles. This paper give describes the new trend of propulsion system and boil off gas handling system from LNG carriers.

Key words : Liquefied natural gas(LNG), Boil off gas(BOG), Dual fuel engine, Regasification system, Reliquefaction system

1. 서 론

LNG는 주성분이 메탄인 액화천연가스로서 청정성, 경제성, 안전성 및 장기적인 수급 가능성 때문에 새로운 대체에너지로서 각광을 받기 시작하였고 1990년도 말부터 지구 온난화 현상에 의한 세계적인 환경문제의 대두, 아시아의 경제위기 탈출 등에 힘입어 천연가스의 수요가 급증하면서 해상으로의 대량의 천연가스 운송이 필요하게 되었다. 이의 여파로 LNG선의 건조가 조선산업의 가장 핫 이슈로 떠오르면서 조선관계자 및 해운관계자에 참여의 관심이 되고 있다.

현재 LNG선의 건조는 전세계 수주량의 70%이상을 확보하고 있는 우리나라가 단연 선두를 달리고 있으며 그 외 MOSS형 선박을 주로 건조하는 일본, Membrane형을 건조하는 스페인에 이어 최근 중국에서도 LNG선의 기술확보 및 건조에 총력을 기울이고 있다.

천연가스의 최대 생산국이자 소비국인 미국은 2010년까지 현재의 약 4배 정도 천연가스의 소비가 증가할 것으로 예측하고 있다. 따라서 60여개의 LNG 터미널을 세울 계획에 있으며 엑손 등 미국선사의 발주량 60~70여척의 신조발주를 포함하여 2007년까지 320척 정도까지 건조될 것으로 예상된다.

LNG선은 현재 약 130여척이 운항되고 있으며 그중에 절반 이상이 MOSS형이고 나머지의 대부분이 Membrane형이며 IHI조선소에서 건조된 2척의 SPB형도 포함되어 있다. 그러나 최근들어 건조되고 계약이 완료된 LNG선의 화물격납설비의 형태를 보면 GTT Membrane형이 MOSS형에 약 2배에 가까운 형편이다. 이는 구형탱크가 멤브레인에 비하여 몇가지 단점을 가지고 있으며 동일한 사이즈의 선박으로 건조될 때 화물탱크의 총 용적이 작게되며 공기저항이 큰 이유일 것이다. 공기저항에 높은 것은 화물구역의 형상개선을 통하여 달성이 가능하나 운송능력의 증가추세를 따라잡기는 어려우므로 Membrane의 건조강세는 당분간 지속될 것으로 보인다. 운송능력은 주용량이 현재 135K급에서 150K급으로 건조되고 있으나 조만간 200K급이 주류를 이루고 240K급 이상도 발주가 예상된다.

+ 책임저자: ((사)한국선급, 의장업무팀), E-mail: mekim@krs.co.kr, Tel: 042)869-9442

++ (사)한국선급, 장원지부

+++ 한국해양대학교 기계·정보공학부

그러나 Membrane형은 MOSS형에 비하여 대형화함에 따른 슬로싱에 대한 신뢰성 확보를 하여야 하므로 우리나라의 LNG 선박 건조조선소들은 이에 대한 연구를 계속하고 있다.

자동화의 경우 1990년부터 시퀀스 위주의 자동화에서 컴퓨터 기반의 자동화로 변화되었으며 최근들어 지능화 선박(Intelligent ship)의 개발 및 적용으로 변모하고 있다. 특히 LNG선은 건조비용도 고가이지만 자동화 설비도 이미 IAS(Integrated automation system)을 도입하여 계속적으로 지능화 선박으로 변모하고 있는 추세이다.

2. LNG선 추진장치의 동향

선박에 추진장치를 결정할 경우에는 몇가지 검토요건이 있다. 그중에 가장 중요한 것은 경제성이다. 선주의 입장에서 경제성이 뒤떨어진다면 운항비용비율이 상승하므로 당연히 유지보수비용 및 운항비용이 최소화 되는 방향을 선택할 수 밖에 없다. 따라서 선박을 사용하고자 하는 선령을 고려하여 설치비용 및 유지비용의 밸런스를 최소화 하는 시스템을 채택하게 된다.

일반선박의 경우 저속디젤기관에 직접연결된 축계장치를 갖는 방법은 설치비용이나 유지보수비용 등이 모두 검증되었으므로 선주나 조선소로 볼 때 추가의 검토사항은 발생하지 않는다. 그러나 최근들어 폐에너지의 회수 차원에서 열회수장치(Heat recovery system)의 설치를 고려할 것인지의 여부만 결정하면 된다.

그러나 LNG선의 경우 그 선택의 요건은 상당히 다양해진다. 그 이유는 화물탱크에서 필연적으로 발생하는 BOG를 어떻게 이용할 것인지, 하역방법을 어떻게 할 것인지 또는 하주와의 계약조건이 어떠한 것인지 등의 결정조건에 따라 추진장치를 선정하게 된다. 추진장치의 변화에 가장 큰 이유로 작용한 것은 운송화물의 증대요구에 따른 화물창의 확대이다. 현재 설계된 LNG선박의 설계를 그대로 가지고 화물탱크의 용적을 키울 수 있는 방법은 기관실의 길이를 줄여 화물구역의 길이를 증가시키는 방법이 선행기본설계를 변경할 필요가 없으므로 현재로서는 가장 합리적인 접근방법이다. 이 방법으로 대두된 것이 DFD(Duel fuel diesel) 기관을 이용한 전기추진방식이며 다른 하나는 가스터빈을 이용하는 방법이다. 그러나 이런 방법은 어느정도의 효과를 얻을 수는 있으나 장래 대형 LNG선의 설계에는 화물탱크의 개수를 증가시키거나 화물탱크 자체크기를 증가시키는 방법이 검토되고 있다.

다음의 Table 1은 현재 검토된 각 추진장치별 장단점, 경제성 및 발생하는 가스에 대한 환경문제에 대한 비교를 나타낸 것이다.

Table 1. 각 추진장치별 비교

추진장치		스팀터빈	DFD	재액화설비+디젤기관	가스터빈
장점		<ul style="list-style-type: none"> 신뢰도 높음 BOG 100% 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 열효율 양호 BOG 활용 	<ul style="list-style-type: none"> 열효율 양호 화물구역과 기관구역의 분리가 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 기관구역의 축소가능
단점		<ul style="list-style-type: none"> 열효율 낮음 	<ul style="list-style-type: none"> BOG 전용 연소 불가능 	<ul style="list-style-type: none"> 중질연료유 사용으로 인한 환경저해 기관진동으로 인한 선체진동 고려 	<ul style="list-style-type: none"> 양질의 연료가 필요 연료/가스 겸용연소가 불가능
경제성	초기투자	100	105	105	104
	연료효율	100(BOG+HFO)	67(BOG+HFO)	65(HFO)	79(BOG or Gas oil)
환경성	CO2	100(87)	66	77	73
	NOx	4(3)	100	99	10
	SOx	67(0)	43	100	0

이러한 추진장치의 형식을 결정할 경우에는 BOG발생 예측량과 선박에 요구되는 마력의 밸런스를 어떻게 가지고 갈 것인가를 면밀히 검토해볼 필요가 있다. 재액화방법을 채택한 경우에는 중질연료유를 사용하는 저속디젤 기관을 조합하여 사용하게 되면 설계상의 문제점은 없으나 DFD 및 전기추진방법을 선택하였을 경우에는 몇마력 짜리 발전기관을 몇 대 설치해야하며 Laden Voyage 및 밸러스트 항해시에 Heat Balance가 어떻게 될 것인지를 검토할 필요가 있다. 다음의 Fig.1은 추진기관의 종류별 열효율의 차이를 보여주고 있다.

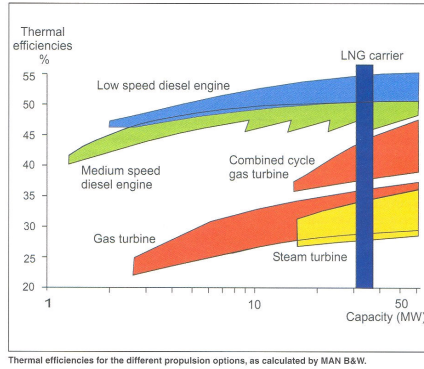


Fig. 1 각 추진계통별 열효율 비교표

2.1 스팀터빈(Steam Turbine)

스팀터빈은 과거 VLCC용으로 약간 사용되다가 효율이 타 추진장치에 비하여 떨어지는 이유로 Oil shock 이후에 자취를 감추다시피 하였다. 그러나 LNG선이 건조되면서 BOG처리와 관련하여 가장 안전하고 취급이 용이한 Dual fuel boiler를 사용하게 되면서 다시 Market에서 활성화 되었다. Fig.2는 화물탱크에서 발생한 BOG를 주보일러의 연료원으로 사용한 스팀터빈 추진시스템을 보여주고 있다.

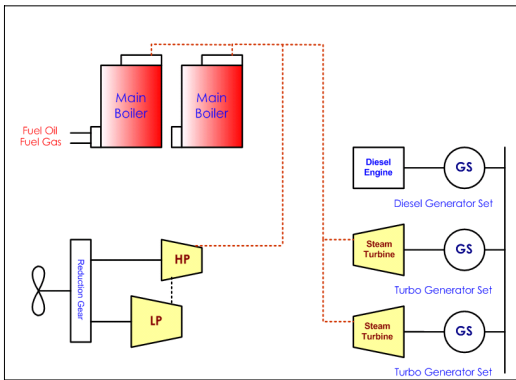


Fig. 2 스팀터빈 추진계통도

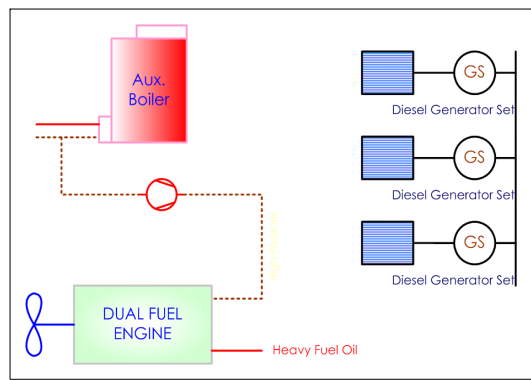


Fig. 3 DFD를 직접추진기관으로 사용한 경우

2.2 Duel Fuel Engine

DFD기관을 추진기에 직접 연결하는 방식은 여러 가지 안정성에 관한 제약 때문에 고려 대상에서 제외되어 왔다. 메탄가스를 기관실에서 사용할 경우에는 폭발위험성 때문에 기관구역내의 가스관은 이중관을 사용하도록

IGC Code(International Gas Carrier Code)에서 규정하고 있다. 또한 폐위구역의 환기와 가스탐지기의 설치에 대한 많은 제약적인 조건 때문에 주 추진기관으로 사용되는 것은 상당히 어려웠던 것은 사실이다. 그러나 최근 들어 전기추진방식 등의 대체 추진방식이 각광을 받으면서 선박의 추진용 원동기에 전력을 공급하는 발전기의 원동기로서 기관구역의 배치에 대한 유리한 면과 발전기관을 특정구역에 설치하고 환기시설을 갖출 경우의 이점 등이 고려되면서 최근들어 설계되고 건조되기 시작하였다. Fig.3은 DFD가 직접추진기관으로 채택된 경우를 보여주고 있으며 아래의 Fig.4는 전기추진장치와 결합된 DFD기관을 발전원동기로 사용한 예를 보여주고 있다.

2.3 가스터빈 (Gas Turbine)

가스터빈의 경우에는 군함과 같은 경우를 제외하고 일반 상선에 채택된 경우는 없으며, 그 이유는 열효율이 디젤기관에 비하여 높지 않은 데 비하여 설치비가 고가이기 때문이었다. 그러나 전술한 바와 같이 화물탱크의 용적을 증가시킬 수 있는 이유로 검토되기 시작하였다. 이론적으로는 약 10% 이상 화물구역을 증가시킬 수 있는 것으로 보도되었다.

2.4 전기추진설비

전기추진설비의 사용이 LNG선에 최근들어 부각되고 있으나 그 사용은 상당한 역사를 갖고 있다. 전기추진방식은 연료전지 또는 가스터빈을 원동기로 하는 직결동기기를 추진원으로 하여 전동기를 이용하는 방법으로서 이미 정속성 또는 조종성 때문에 군함, 여객선 또는 특수한 목적을 갖는 선박 등에서 사용되어져 왔다. 그러나 대형선의 경우 추진을 위한 고마력전동기를 설치하여야 하나 아직까지는 전동기의 크기 또는 무게로 인하여 제한을 받고 있는 실정이며 전동기의 경량화가 개발의 최우선 과제로 되어있다.

전기추진설비의 장점은 정속성이 뛰어나고 특히 디젤기관에 비해 저속시에 소음이 적으며 진동이 적다. 또한 프로펠러의 급속한 방향전환이 쉬우며 응답성이 좋아서 조종성이 뛰어나다^[1]. 실제의 실측결과 선박의 정지거리 및 정지시간이 약20~25% 단축되는 것으로 보고되어 있다^[2]. 또한 감속기나 중간축, 경우에 따라서는 Rudder가 불필요하게 되므로 기관구역의 공간활용도가 높아지고 작업공수를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 전기추진장치는 발전기와 추진용 전동기를 어떻게 조합하여 구성하느냐에 따라 다양한 방법을 선택할 수 있다. 예를들면, DC-DC방식, AC-R-DC 방식, 사이리스터 모터방식, 사이리스터 컨버터 방식 및 PWM(Pulse width modulation) 인버터방식 등이 있다. 또한 추진축계에 pod 방식을 채택하는 경우는 Azipod방식이나 ABB사가 개발한 Azimuth 장치가 있다. 향후 초전도전동기가 실용화된다면 추진시스템의 변혁을 갖고 올 것으로 판단된다. 전기추진기관을 탑재한 LNG 첫호선은 프랑스 Alstom 조선소에서 2005년에 진수된 M/V"Provalys"로서 154K급 선박이다.

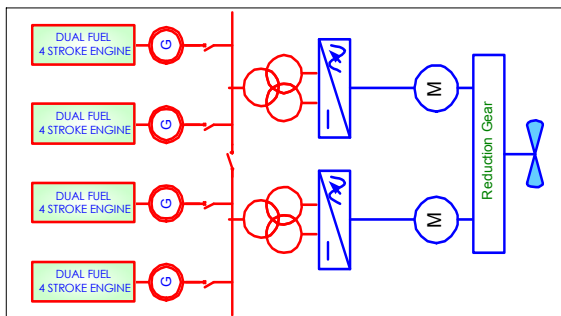


Fig. 4 DFD 발전기관과 전기추진장치의 조합

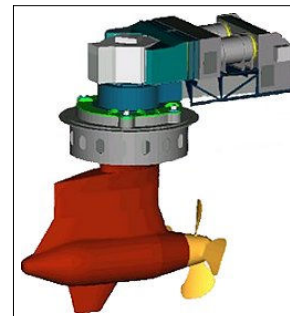


Fig. 5 Azipod 추진장치

3. BOG의 처리방법

천연가스는 극저온(-163℃) 상태로 저장 운송되게 되는데 단열재의 선택 및 단열재 두께의 결정은 선박의 건조비용에 큰 영향을 미치게 되므로 어느 정도 경제적인 절충점을 갖게 된다. 따라서 화물탱크의 단열재를 통하여 외부로부터 열이 침입하므로 필연적으로 BOG는 발생하게 된다. 과거에는 화물탱크 용적의 0.25% 정도가 증발하였으나 단열기술의 발달과 더불어 현재는 0.15%이하로 줄어들게 되었다. 최근 건조된 실적선의 경우 0.10~0.12% 정도를 기록하고 있다. 이렇게 화물탱크에서 발생하는 BOG를 어떻게 취급하느냐가 추진축계를 결정하는데 결정적 역할을 한다.

LNG선에서 BOG를 처리하는 방법을 대별하자면 발생하는 BOG를 선박내의 에너지원으로 사용하느냐 또는 액화하여 화물탱크로 다시 회수하느냐 하는 문제일 것이다.

3.1 Regasification System

미국의 LNG 수요가 급증하면서 하역터미널의 건설 추가건설이 불가피하게 되었다. 그러나 미국의 911테러의 여파로 LNG 수입기지의 육상건설에 대하여 자국민의 반발이 거세지자 해상에 설치된 FSRU(Floating storage Regasification unit)를 통하여 LNG를 수입하는 것을 검토하게 되었다. FSRU는 Barge형의 선박에 LNG 저장탱크와 Regasification 설비를 장착하여 소위 Turret mooring이라는 특수장비를 설치하여 해저파이프를 통하여 천연가스를 수송하는 방법이다. 다른 하나는 선상에 설치된 6~8개의 Regasification unit를 설치하여 선박에서 기체상태로 변환하여 하역하는 것이다. 통상 액상(liquid)상태로 하역할 경우에는 약 1일정도의 하역시간이 소요되나 기상(vapour)상태로 하역할 경우 약 일주일 정도는 소모된다. 최근 국내 대우조선에서 건조되어 인도된 선박이 있으며 계약완료된 선박이 여러척이 있다.



Fig. 6 Regasification System



Fig. 7 FSRU를 통한 Unloading

3.2 재액화 처리설비(Reliquefaction System)

최근 몇 년간 선박에 설치된 재액화 설비와 저속 2행정 디젤기관을 조합한 추진장치가 선박에 도입되기 시작하고 제조자인 Hamworthy plc사는 약 8척의 선박에 탑재되는 계약을 완료하였다. 재액화 장치의 채택은 경제적, 환경적, 기술적인 문제를 제외하고 추진장치를 설계하는데 몇몇의 선택적 사양의 변화를 줄 수 있다는 큰 장점이 있다고 하겠다.

재액화된 가스는 선박의 추진장치에 연료로서 사용되는 것이 아니라 화물탱크로 되돌려지게 되는데 이때 질소는 액화가 안되므로 대기중으로 방출되게 된다. 따라서 화물탱크중의 액화메탄가스의 순도는 증가하며 하주에게 전달되는 화물량은 거의 손실없이 하역할 수가 있다. 또한 화물탱크의 용적이 거의 줄어들지 않으므로 슬로싱에 대한 우려를 줄일 수 있고 밸러스트 항해시 화물탱크를 냉각하기 위한 준비하는 화물량을 최소화 할 수 있다.

디젤추진장치를 설치한 경우에는 증래의 스팀터빈 추진장치보다 열효율이 약 20%정도 증가하게 되므로 선박의 운항비용을 상당히 절감할 수 있다. 다만 이 추진장치를 사용한 경우에 재액화장치가 아직까지는 검증되지 않았으며 디젤추진장치의 기관기진력으로 화물격납설비에 영향을 줄 것인가의 문제 기관에서 발생하는 환경적인 문제를 복합적으로 검토하여야 할 것이다.

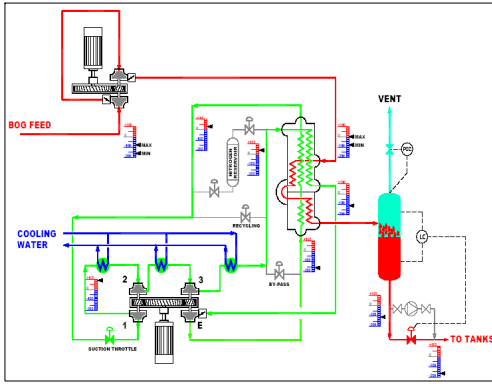


Fig. 8 재액화 설비에

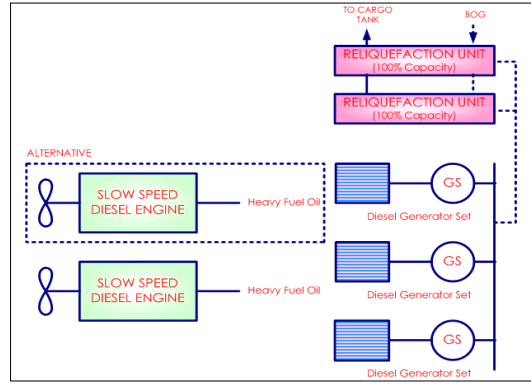


Fig. 9 재액화설비와 조합된 디젤 추진장치에

4. 결 론

LNG선의 차세대 추진장치는 현재로서는 어느 방법이 주력을 이룰지는 미지수이며 전문가에 따라 의견은 조금씩 상이하다. 그러나 최근 계약되고 있는 상황을 고려하여보면 DFD 기관을 발전원동기로 사용하는 전기추진선 또는 BOG 재액화 방식을 채택한 저속 디젤기관을 추진기관으로 선택하는 방법이 주류를 이룰 것으로 판단된다. 또한 하역방법은 Regasification System을 채택, 계약하는 건수가 조금씩 증가하고 있는 추세이다.

많은 기술적인 문제는 지면제약상 기술하지는 못하였으나 추후 기회가 있으면 각 시스템별로의 설계상세에 대하여 기술하고자 한다.

우리나라는 최대의 LNGC 건조국이며 많은 노하우를 확보하고 있으나 아직도 거액의 로얄티를 GTT에게 제공하고 있는 입장이다. 다행하게도 KOGAS에서 국내 LNG 건조 조선소들과 한국형 LNG의 건조기술 확보에 노력하고 있으므로 머지않은 장래에 실현됐으면 하는 바람이다. 또한 LNG 또는 NG 취급 중요기자재를 빠른 시일내에 국산화를 시켜서 명실상부한 최고의 기술을 갖춘 LNG 강국이 되는 날을 기대해 본다.

참고문헌

[1] 藤田昌孝, 大沢博, “인버터 구동에 의한 선박전기추진(1)”, Journal of the JIME, Vol.40, No.2, pp.33-37, 2005

[2] Masanari Tsuji, “Trend toward Electrical and Relevant Technology in Today's Marine Field”, Journal of the JIME, Vol. 40, No. 1, pp. 116-122, 2005.