3. 특집 : LNG 선박의 최근 동향

LNG 선박의 개요 및 소개

Introduction of LNG Carrier

이 교 성
Kyo-Sung Lee
• 삼성중공업 기본설계1팀 그룹장
• E-mail : kyosung.lee@samsung.com

장 해 기
Hae-Ki Jang
• 삼성중공업 기본설계1팀 과장
• E-mail : haeki.jang@samsung.com

1. 서 론

과거에는 일본, 한국, 대만 등이 LNG(Liquefied natural gas) 주 수입국이었으나 미국, 중국, 인도 등의 국가에서도 LNG 수입을 증가 시킬 것으로 전망되는 가운데 최근 천연가스의 수요가 급격하게 증가하고 있고 향후 10년 정도의 기간에 LNG의 사용량이 우측의 그림에서 볼 수 있듯 현재의 두 배 이상으로 증가할 것으로 예측되고 있다.

LNG 수요증가의 주요 요인은 청정에너지에 대한 요구 증가, LNG 생산 비용감소로 가격 경쟁력 제고와 Oil major의 가스전 개발 가속화 등을 들 수 있다.

이에 따라 LNG를 수송할 운반선의 신조가 활발하게 이루어지고 있고 운항 경제성의 관점에서 대형화, 추진 시스템의 다양화와 동시에 가스를 운송할 새로운 개념의 운반선들까지 개발되고 있다.

본문에서는 LNG선박에 기본적으로 요구되는 기본요구 조건과 화물창의 종류 및 대형화와 다양한 가스 운반선에 대한 제반 사항을 소개하고자 한다.

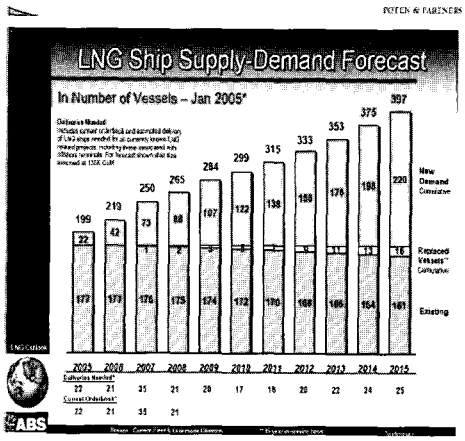

그림1 LNG 선박의 수요와 공급 예측(출처:ABS)

2. LNG 화물의 특징

LNG 선박의 화물인 LNG의 기본 특징에 대해서 간단히 살펴보면 다음과 같다.

(1) 초 저온

천연 가스는 그 주성분인 메탄의 임계 온도가 상당히 낮고, 상온에서 가압할 때에는 액화하지 않으므로 통상은 메탄을 대기압에서 약 -163℃의 초 저온 액체상태로 만들어 수송한다. 천연 가스를 액화시키는 방법으로 반 가압/ 반 냉동 방식 등도 생각되고 있으나 고압에 의한 문제로 현실적으로는 선적화물로서의 LNG는 대기압 하 약 -163℃의 상태로 수송되고 있다. -163℃로 냉각시 상온 기체 상태의 1/600로 부피가 줄어들어 운송하기 용이하다.

(2) 가연성

메탄 가스는 공기중의 농도가 약 5~15%의 범위에서 연소한다. 이 범위는 LPG등 타액화 가스 연료와 비교하면 안정성이 높은 편이다.

또 타액화 가스와 비교하면 발화온도가 높고 연소 속도는 느리다.

(3) 자연기화 (Natural Boil Off)

LNG는 -163℃의 초 저온 상태이고 과 냉각은 되지 않는다. 따라서 압력을 일정하게 보유하는 경우 외부에서 들어 오는 열량을 흡수해서 기화가스(Boil off gas)가 발생한다. LNG선박에는 탱크의 단열이 시공되고는 있으나 탱크의 내 외 온도차에 의한 열량의 침입을 100%방지하는 것은 불가능하므로 LNG의 자연기화(Natural Boil off)는 피할 수 없는 현상이다.

(4) 저 비중

LNG의 구성은 산지에 따라 다르나 에탄, 프로판, 부탄 등 메탄이외의 성분을 다소 포함하고도 비중이 0.43~0.45정도로 적다. 이것은 원유의 거의 절반에 해당하는 비중이고 액체화물 중에서는 최소인 셈이다. 또한 LNG가 가스화 된 경우, 가스의 무게는 상온공기의 절반수준이며 약 -110℃ 이하의 초 저온에서는 공기보다 무겁다.

메탄에는 독성, 부식성은 없다. 또 LNG는 천연가스를 냉각, 액화한 프로세스로 유황 화합물 등의 불순물이 제거되므로 깨끗한 액체로 되어 있다.

3. LNG선의 특징

아래 그림에서 볼 수 있듯이 LNG 화물창(Cargo containment) 시스템의 종류는 다양하지만 최근 주종을 이루는 멤브레인(Membrane) 타입 LNG선을 중심으로 설명하면 다음과 같다.

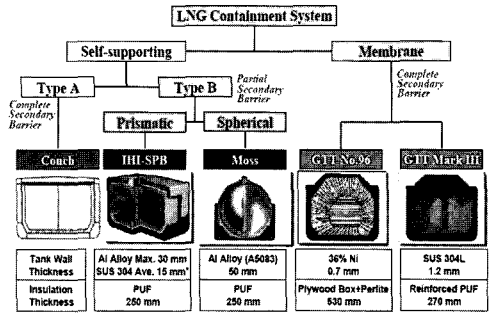

그림 2 LNG 화물창(Containment) 시스템 비교

LNG선은 LNG가 저 비중 화물이므로 탱크의 용적을 크게 할 필요가 있고, 이중저, 이중 선측 등 이중선각구조가 요구되므로 재화중량보다 비교적 길이, 폭, 깊이가 큰 특징이 있다. 또한, 흘수가 낮아 건현이 크기 때문에 풍압면적이 크게 되는 것에 주의해서 설계를 해야 한다. 탱크의 용적, 선속, 선수미간 트림(Trim), 복원성 등 기본성능에 유의해야 한다.

대부분의 LNG선은 모든 조건에서 등트림(Even trim)을 요구한다.

(1) 탱크

화물창의 구조방식은 LNG의 특징 중 하나인 -163℃라는 초 저온에 견디는 재료, 열 신축 대책, 화물창의 단열, 2차 방벽 등의 요건이 만족하는 것에 따라 화물격납 설비로서의 강도가 고려되어져야 한다.

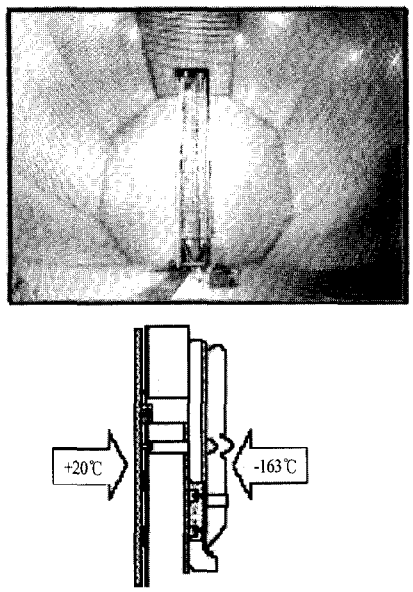

그림 3 화물창 내부와 온도 분포 예

가. 재료

화물창의 재료로서는 -163℃의 초 저온에 대해서 인성이 충분한 것이 중요하다.

현재는 알루미늄 합금, 9% 니켈강, 스테인리스강 및 36%니켈강(INVAR) 등이 사용된다.

나. 열 신축 대책

초 저온의 LNG를 싣는 화물창은 독(Dock) 상태의 상온 상태에서 만재 시의 -163℃까지 약 180℃의 온도차가 생긴다. 이 온도차에 의한 열 신축에 대해서는 과도한 열 응력이 발생되지 않도록 고려할 필요가 있다.

이러한 열 신축 대책은 LNG를 취급하는 기기, 배관류, 단열재 등에 있어서도 필요하다.

다. 단열

탱크 내의 LNG는 대기압 기준으로 초 저온의 비점 상태이고 침입하는 열량에 의해 기화(Boil off)하므로 이 자연기화량을 일정한도로 억제할 필요가 있다. 또 탱크에 인접 하는 선체구조가 냉각되는 것을 방지할 필요도 있다.

라. 2차 방벽

탱크의 기밀성은 충분히 유지되고 있으나 만일 LNG가 탱크(1차 방벽)에서 누설한 경우 LNG가 직접선체에 접촉하면 선체의 강재가 저온 취성에 의해 손상할 염려가 있으므로 누설 LNG를 일시적으로 유지하는 설비로 안전성을 증가시키기 위해 설치된다. 이 설비를 2차 방벽이라 하고 화물격납설비 부재의 하나로서 탱크와 선체의 사이에 기능적으로 설치된다.

(2) 주기관

LNG선은 가격이 높은 선박으로 기화에 의한 LNG 손실을 적게 하고 운항회전율을 높게 할 필요가 있는 등의 이유로 고속화한 것이 많다(19 ~ 21 knots). 주기관도 비교적 큰 마력이 적용되었고 기화가스를 추진용 등의 연료로서 일반적으로 사용하고 있다.

이 경우 기화가스를 주 보일러에서 연소시켜 발생된 고온 고압증기로 스팀 터빈을 구동하는 방식이 많이 채용되어 왔다.

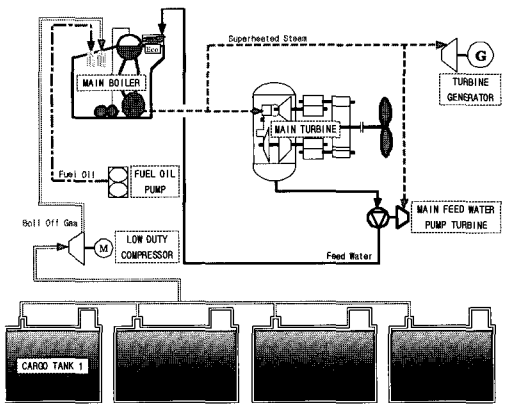

그림 4 스팀 터빈의 추진시스템 개략도

(3) 화물 취급용 기기

LNG선에 요구되는 화물 처리 장비로는 카고 펌프, 카고 압축기(Low duty & high duty), 강제 기화기, N2 제조기, 불활성 가스 제조기(Inert gas generator), Warm up/Boil off heater 등이 있으며 이런 장비의 기본 요건은 초 저온, 가연성 등의 가혹한 조건 하에서 액화 가스를 취급해야 하므로 안전이 확실히 보장된 특징이 요구된다.

(4) 가연성 대책

LNG가 기화한 경우에 대해서 LNG의 기화 가스와 공기가 혼합된 가연성의 혼합 가스가 되지 않게 하기 위해 다음과 같은 대책이 필요하다.

가. 폐쇄된 시스템의 하역

LNG의 기화가스를 대기 중에 방출하는 것은 안정상 좋지 않다. 또 탱크와 배관류에 공기가 혼재하는 것도 좋지 않다. 그러한 이유로 LNG를 적하(Loading), 하역(Discharging)시에 선내의 탱크와 육상의 탱크와는 LNG 라인(liquid line)을 접속할 뿐 아니라 가스 라인도 접속해서 선박과 육상간에 폐쇄된 시스템을 구성한다.

나. 불활성화(Inerting)

선박의 정기 검사나 수리를 위한 Dry dock시 탱크의 LNG 기화 가스를 직접공기와 교환하지 않고 불활성(Inert) 가스로 교환한 다음에 공기와 교환하여 폭발의 위험을 근본적으로 차단해준다. 검사 후 재취항시 공기로 채워진 탱크를 불활성 가스로 치환해주고 난 후 LNG의 기화 가스로 다시 치환해주는 방법으로 작업이 이루어 진다.

(5) 기화 대책

가. 선박의 연료

LNG의 기화가스는 상온에서 질소보다 가볍고 선박의 기관실 내에서 연소 가능한 유일의 액화가스로서 규칙(IGC Code)으로 인정되어 있다. 또 기화가스가 재액화 되기 어려운 점도 있고 기관실의 보일러에서 중유와 같이 안전하게 연소되기 때문에 선박의 연료로서 이용하는 것이 일반화 되어 있다.

나. 재액화

기화가스 대책으로서 LPG선에서 행해지고 있는 것과 같이 LNG선 중에서 이것을 재액화하는 방법을 생각하고 있으나 LNG의 경우에는 비점, 임계온도가 낮아서 재 액화하기 어려우므로 재액화 장치의 비용, 운전에 필요한 동력비도 꽤 높게 된다. LNG 선용 재액화 장치는 이미 개발되어 대형 LNG에 현재 적용되고 있다. 이 경우 주기관은 스팀 터빈이 아니고 일반상선에 적용되는 2행정 저속 디젤 엔진이 적용된다.

다. 대기에의 방출

기화가스의 대기 방출은 안정상 좋지 않은 이유와 화물을 비 경제적으로 소모한다는 측면에서 최소화 되어야 하고 비상시에만 실시된다.

5. LNG선의 구조 및 배치

LNG선은 석유등과 비교해서 물성적으로는 위험이 적은 연료이나 석유등과 다른 점은 LNG가 -163℃의 초 저온이라는 점, LNG가 기화하면 가연성 가스로 확산되는 점이 다르다. 따라서 LNG선의 구조, 배치는 안전성 즉, 승무원의 안전과 화물 탱크의 공간 확보를 주안점으로 설계되어야 한다.

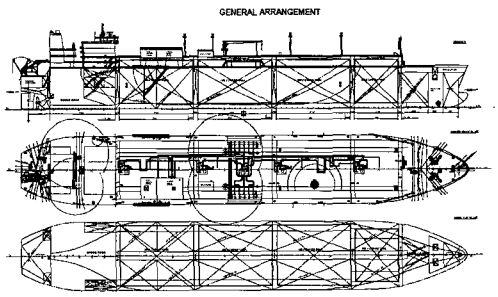

그림 5 일반적인 LNG 기본배치도

가. LNG선은 선박이 중앙 대부분을 점하는 위치에 화물을 격납하는 탱크 구역이고 그 후방에 선원거주구역, 기관실 및 조타실 등이 배치되어 있다. 또 화물구역의 전방에는 통상의 선박과 같은 벨러스트용 해수의 선수 탱크와 필요한 연료유 탱크 등이 배치되어 있다.

나. 화물구역을 구성하는 선체구조는 선저 및 선측은 공히 이중구조이고, 이 이중구조의 내측에 LNG 화물격납설비, 즉 탱크의 단열구조, 즉 1차 방벽(Membrane)과 2차 방벽이 자리잡고 있다.

2차 방벽은 탱크(Membrane)와 선체 사이에 설치되어 탱크는 신뢰성이 높고 LNG의 누설이 없도록 설계되나 만일 누설한 경우에도 선체구조가 위험한 온도까지 냉각되지 않도록 누설된 LNG를 일시적으로 저장시키기 위한 목적으로 배치된다.

멤브레인은 강도가 큰 선체구조로 둘러 싸여 있어 충돌, 좌초에 대해서도 보호되도록 설계되고 있다.

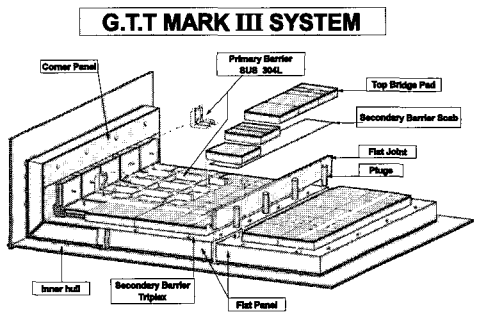

그림 6 GTT MKIII 멤브레인 시스템

다. LNG선의 배관은 오일 탱크와 같이 상갑판에 설치되고 탱크 내에의 관통은 가스 누설 등의 위험을 가능한 한 피하기 위하여 관통개소를 1개소 또는 2개소, 즉 액돔(Liquid dome), 가스돔(Gas dome) 등에 한정해서 탱크 내에 전달되도록 배려하고 있다. 탱크 내에서는 탱크 내에 구조물이 없기 때문에 파이프 타워(Pipe tower, Pump tower)를 설치, 이것에 따라 탱크 상부에서 하부에 배관과 전선 또는 레벨 게이지 등 계장장치를 취부 한다.

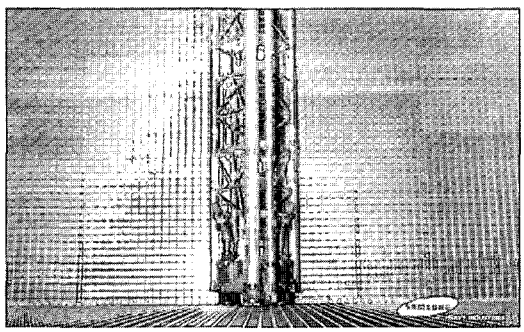

그림 7 펌프타워(Pump tower) 설치 예

라. 화물구역의 상갑판상(Trunk dock)은 카고 파이프와 부속장치의 연결부에서의 가스누설의 위험으로 발화원인이 될 수 있는 기기 및 전기품등은 설치되지 않는 게 일반적인 설계 기준이다.

마. 가스압축기가 전동식의 경우에는 압축기와 전동기를 별도구획에 설치하고 압축기가 설치되는 하역 기계실은 항상 부압이 걸리도록 배기 환기설비를 해준다. 전동기 구획은 급기 환기로 정압이 유지되도록 하여 어떠한 경우에도 전동기구획에 가스가 유입되지 않도록 세밀한 배려가 요구된다. 물론 하역 기계실의 흡기구는 안전한 공기를 취입하도록 가스 검지구역에서 충분히 떨어진 위치에 설치 요구된다.

선원의 거주 구역 및 기관실은 하역 지역으로부터 뒤쪽에 배치된다.

바. 하역제어실(Cargo Control Room)은 화물구역의 상갑판상에 배치하던가 또는 거주구내의 전면으로 화물 구역을 멀리 넓게 보는 장소, 또는 조타실에 인접해서 설치된다.

거주 구역 내에 설치되는 경우에는 가스 검지기 등 가스를 취급하는 기기를 설치해야 하기 때문에 가스 채취관에 차단 판을 설치하고 채취 가스를 안전하게 대기 방출하도록 설계된다.

사. 화물창의 수는 선체강도 및 탱크의 강도상 제약, 또 하나는 만일의 충돌, 좌초 등에 배가 침수한 경우에도 배가 안정하게 뜨기 위하여 필요한 구획수의 제약 등을 주요한 요인으로서 정해져 있다.

7. 통상의 운전

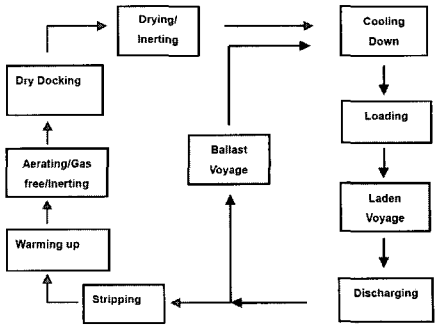

그림 8 LNG 선박의 일반적인 운항 사이클

(1) 화물의 적하(Loading)는 탱크가 충분히 냉각된 시점에서 행한다. 밸러스트 항해 중에 탱크가 충분히 냉각되지 않는 경우는 적지에서 하역 전에 파이프 라인과 아울러서 탱크의 냉각이 행해진다. 하역 작동은 완전히 폐쇄된 시스템으로 하고 육상의 액라인 (Liquid line)을 거쳐 카고가 보내지는 한편 다른 쪽에서는 그 액(liquid)카고에 의해 발생하는 가스를 가스 라인을 통해서 육상으로 보내진다.

(2) 만재 항해 중은 외기와 탱크 내와 200℃에 가까운 온도차에 의한 침입 열에 의해 탱크 내의 LNG는 자연기화 한다. 현재 취항하는 LNG선의 기화가스는 기관실로 보내져 연료로서 배의 추진력을 얻는데 이용되고 있다. 기화가스의 양은 단열부의 설계에 의해 다르나 현재(140~160K기준) 하루에 LNG 적하 용적의 0.15%정도의 수치가 채용되고 있다.

(3) 양하는 적하와 반대의 폐쇄된 시스템으로 행한다. 즉 본선의 펌프로 보내진 액은 액 라인을 통해 육상으로 보내지는 한편 탱크 내가 부압이 되지 않도록 육상으로부터 가스라인을 통해서 가스가 보내지고 있다.

(4) 밸러스트 항해 중은 통상 양하 시에 남은 적은 량의 LNG를 스프레이 펌프를 이용해서 탱크 내에 스프레이 해 탱크를 일정온도까지 냉각한다. 스프레이 작업은 밸러스트 항해 중에 연속해서 행하는 경우와 일정하게 집중해서 행하는 경우가 있다. 밸러스트 항해 중에 발생하는 기화가스도 연료로 사용된다.

(5) 가스의 검지

가스 검지를 위한 검출 단은 다음의 장소에 설치되고 만일 가스누설이 있으면 검출 가능하도록 되어있다.

가. Inter barrier space까지의 Hold space

나. GAS 압축기실

다. 전동기실

라. 기관실내의 보일러까지의 가스라인

상기 라. 의 장소에는 상시, 기타의 장소에는 최저 30분에 1회의 비율로 가스 농도가 감시되고 일정치를 초과하면 경보를 울리도록 되어있다.

8. LNG선의 대형화

과거 MOSS형이 건조의 주종을 이루었을 때는 LNG선의 대형화는 탱크의 수를 늘리거나 기존 구형의 적도부분을 확대시키는 방법이 적용되었는데 여기에는 추가 건조비용의 문제와 선체중량의 증가 등으로 많은 제약이 따랐다.

그러나 2000년 이후 멤브레인이 주종을 이루면서 카고 탱크의 크기 제약이 비교적 적어 125K~138K의 선박들이 145K~155K 급으로 키워지게 되었다.

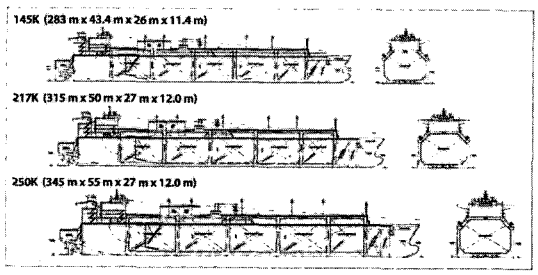

그림 9 LNG 선의 사이즈E별 라인-엎(Line-up)

그러나 기존 주 LNG 수입국인 일본,한국과 대만, 주 수출국인 인도네시아, 말레이시아 등의 터미널의 수심이 12m 이하여서 150K급 이상은 입항하기가 어려웠으나 카타르에서 미국, 영국을 운항할 대형 LNG의 신조 계획을 발표하면서 12m의 제약을 받지 않는 수출입 터미널의 신조 또는 시설확충을 고려하 게 되었다. 이에 따라 2004년 말 210K 급 대형 LNG(8척+8척)를 우리나라 조선 3사가 전량 수주를 하게 되면서 대형화를 현실화 시켰다.

또한 카타르가스는 제 2단계로 250k 급이상의 대형 LNG(Q-MAX)도 검토하고 있어 대형화는 카타르가스 및 엑손모빌, 코노코-필립스, Shell사 등 Oil major들의 주도하에 어느 시점까지 지속될 것으로 보인다.

9. LNG선 추진기관의 다양화

과거 LNG선은 기화가스를 연료로 이용하여 고온고압의 스팀을 생성, 스팀 터빈을 구동시켜 추

력을 얻는 스팀 터빈 추진 방식을 채택해왔으나 효율이 낮고 큰 엔진 룸 공간을 요구하는 단점이 있었다.

이점을 극복하고자 여러가지 추진 장치가 검토되어 2004년 이중(Dual) 연료 디젤-전기 추진장치와 재액화 플랜트를 장착한 저속 디젤 엔진을 적용한 선박을 계약하기에 이르렀다.

이중(Dual) 연료 디젤-전기는 모터를 이용한 전기추진방식으로 기화가스를 이중(Dual) 연료 디젤엔진의 주 연료로 사용할 수 있어 디젤엔진이 스팀터빈에 비해 높은 열효율로 인해 높은 운항 경제성이 부각되어 프랑스 아틀란틱조선소를 시작으로 삼성과 현대에서 수주하여 현재 건조 중에 있다.

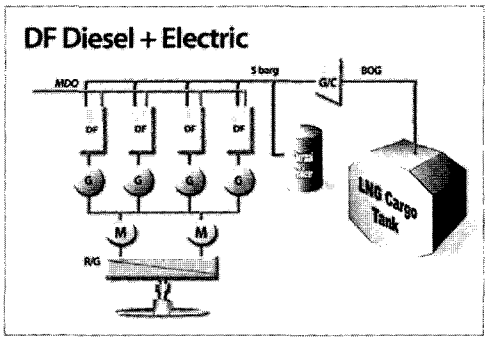

그림 10 이중 연료 디젤 전기 시스템의 개략도

저속 2행정 디젤을 이용한 추진방식은 카타르 프로젝트의 대형 LNG에 적용되어 국내대형 조선 3사에서 건조 중이다. 장점으로는 기화가스를 재액화 플랜트를 사용하여 응축시켜 화물로 되돌릴 수 있다는 점이다.

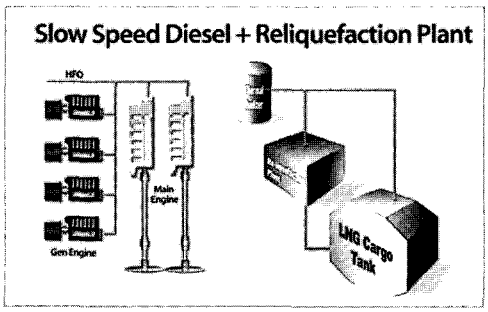

그림 11 저속 디젤엔진의 추진시스템 개략도

또한 대형 LNG에 추가로 검토중인 가스 터빈 전기추진 방식도 점차 많은 관심을 받고 있다. 가스 터빈 적용시 시스템이 간단하고 단위 중량/체적당 출력이 높아 경제성이 재평가되고 있다. 그러나 LNG 선박에 처음 적용되는 개념으로 수리 보수유지의 문제와 Redundancy의 범위에 관해 많은 토론이 되고 있는 실정이다.

10. 다양한 가스관련 선종의 등장

천연가스 수요의 급증과 더불어 다양한 종류의 수송 방법들이 검토되고 있는데 여기에는 고압용기에 가스를 저장 운송하는 CNG(Compressed natural gas), PNG(Pressured natural gas)선과 PLNG(Pressured liquefied natural gas)선 그리고 육상 수입기지를 대신 할 해상구조 터미널인 FSRU, 일반 LNG선에 재기화설비와 Turret mooring을 장착한 RV(Regasification vessel) 등도 개발되고 있다.

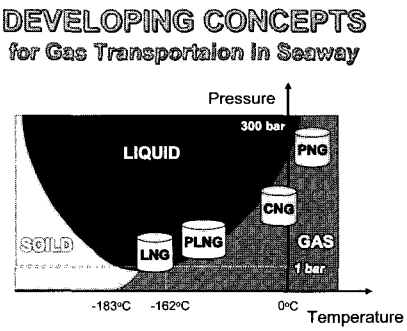

그림 12 압력과 온도에 따른 운송방법

11. 맺음말

LNG의 수요가 향후 지속적으로 증가할 것으로 전망되는 가운데 LNG를 수송할 선박의 수요 또한 지속적인 증가가 전망되고 있다.

LNG 선박 건조에 있어 한국조선소의 위상은 이미 최고에 이르렀고 관련 기술 또한 주도적으로 이끌고 있는 실정이다.

향후 LNG선의 기술동향은 첫째는 대형화의 추구와 그에 따른 슬로싱(Sloshing) 문제 등의 극복에 따른 기술적 진보가 예상되며 둘째는 추진시스템의 다양화로 운항경제성의 향상을 꾸준히 추구 할 것으로 전망된다.

아울러 대체 수송선의 기술발전이 동시에 이루어져 다양한 종류의 운송수단과 육상 터미널을 대체할 방법들이 소개되고 적용될 것으로 전망된다.