

# LNG선 추진 시스템 기술 동향

윤종현, 여동일 (삼성중공업(주), 기본설계1팀)

## 1. 서 언

고압의 Superheated Steam Boiler와 Steam Turbine Propulsion으로 주류를 이루었던 LNG선의 주 기관들이 최근에는 Conventional 2-stroke Diesel Propulsion 또는 4-stroke Dual Fuel Diesel

Electric Propulsion 등으로 다양화 되었고, 또 다른 형태의 주 기관으로서 Combined Gas Turbine Electric and Steam System (COGES) 또는 Combined Diesel and Gas Turbine Electric System (CODAG), Gas Injection Slow Diesel Engine, 그리고 일본의 Steam Turbine 제조사를 중심으로 시스템 열효율을 개선한 Ultra Steam Turbine 등과 같은 새로운 Propulsion System들이 구체적으로 논의되고 있다. 그 배경에는 다음과 같은 요인들이 있다고 볼 수 있다.

- LNG선의 대형화로 인한 출력 한계 및 설치 공간 한계
- 운전의 용이성
- 경제성 (추진 효율, 화물 운송량, 유지/보수 비용 등)
- 배출 가스 규제 등의 환경 오염 Issue

본 논문에서는 LNG선에 적용 가능한 주 기관의 개요 및 특성, 고려 사항 등을 소개하여 최적의 추진 시스템 선택에 참고하고자 한다.

## 2. LNG선의 추진 시스템

본 장에서는 Conventional Steam Turbine 추진 시

스템을 비롯하여, 그 대안으로서 제시되고 있는 추진 시스템에 대해 소개하고자 한다.

### 2.1 Conventional Steam Turbine

전통적인 Boiler와 Steam Turbine 시스템은 오랫동안 LNG Carrier의 추진시스템으로 독보적인 위치에 있었다. 그 이유는 높은 출력을 가능하게 하고 화물창의 BOG(Boil-Off Gas)를 쉽게 이용할 뿐만 아니라 저급 연료를 이용할 수 있다는 장점 때문이었다. 또한, Turbine의 유지 보수 비용이 비교적 작을 뿐만 아니라 시스템 신뢰도 높은 것으로 평가되고 있다.

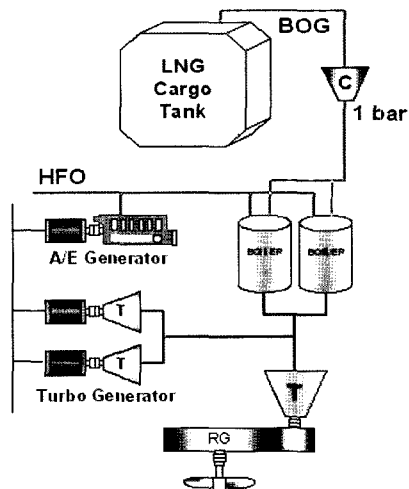


그림 1. Steam turbine 추진시스템

Steam Turbine 추진 시스템은 일반적으로 2대의 Boiler에서 발생된 과열 증기를 이용하여 에너지를 만들어내는 Turbine과 선박에서 필요로 하는 전원을 발생시키기 위한 별도의 Turbo Generator Set로 구성된다. 이러한 Steam Turbine 추진 시스템의 상세 시스템은 그림 1과 같이 구성된다.

LNG Carrier는 화물창에서 자연 발생하는 N-BOG의 처리가 가장 핵심적인 문제였다. 그 동안 Steam Boiler는 이를 처리하기 위한 가장 간단한 방법이었으며, 이러한 LNG Carrier의 특성은 새로운 추진 시스템이 LNG Carrier에 채택되는데 가장 큰 장애물이었다.

그러나 연료의 경제적인 측면에서의 비효율성과 화물창 설계 및 보온 기술의 발전에 의해 N-BOG(Natural Boil-Off Gas)의 양이 감소하였고, 이로서 N-BOG만으로는 상대적으로 높은 출력을 요구하는 Propulsion System을 감당할 수 없게 되었다. 따라서, Steam Turbine 추진 시스템은 많은 양의 HFO(Heavy Fuel Oil) 또는 F-BOG (Forced Boil-Off Gas)를 필요로 한다. Steam Turbine의 높은 연료 소비율은 많은 CO<sub>2</sub>를 배출하며, HFO의 사용으

로 인해 많은 양의 SO<sub>x</sub>를 배출하고 있다. Laden Voyage시 필요한 에너지의 약 50%가 HFO로부터 생산되며, Ballast Voyage시는 60~80% 정도까지 HFO에 의존한다. 환경규제는 앞으로 점점 강화될 것이고, 그 외에 Turbine의 좋지 않은 Maneuvering 특성과 제한된 Redundancy 등은 LNG선 추진 시스템의 대안을 요구하고 있다.

### 2.2 Ultra Steam Turbine

Conventional Steam Turbine이 LNG선의 주요 추진 기관으로서의 기능이 다른 추진 시스템으로 대체되면서, 기존 Steam Turbine의 주요 단점으로 지적되던 저효율 (약30%)의 문제를 보완하기 위해 Mitsubishi에서는 기존의 재생 Cycle에 재열 Cycle + IP turbine을 도입하여 전체 효율을 약 15% 향상시킨 그림 2와 같이 구성된 Ultra Steam Turbine 시스템을 소개하였다.

Ultra Steam Turbine의 적용으로 효율의 개선은 도모할 수는 있으나, 타 추진시스템과의 비교할 경우 아직 낮은 수치를 보이고 있으며 시스템의 복잡성에 따른 스팀 엔지니어의 수급에도 여전히 문제가 될 수 있다.

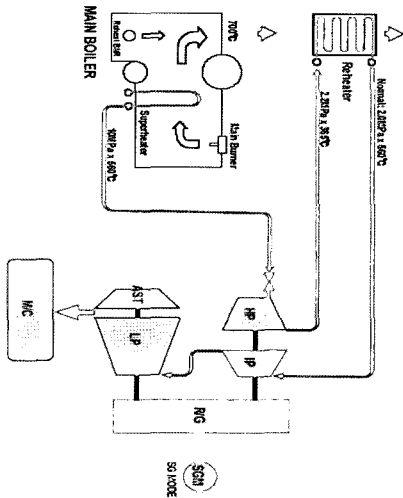


그림 2. Ultra steam turbine 추진시스템

### 2.3 Conventional Slow Diesel Engine

1970년 이후 Diesel Engine은 LNG Carrier를 제외한 모든 선박에 적용되었다. 수 천대의 엔진 설치 경험에 의해 높은 효율과 안전성이 보장되었다. Common Rail Fuel Injection 및 Electronic Engine 등의 기술 개발에 의해 Diesel Engine의 기술은 한 단계 더 진보하고 있다. Diesel Engine은 MDO와 HFO같은 액체 연료만을 연소시킬 수 있기 때문에, LNG Carrier에서의 Boil-off gas는 Reliquefaction Plant에서 재액화 되어야만 한다. 그러나 이러한 재액화 장치의 작동을 위해 많은 양의 전기를 소모하기 때문에 한정된 규모로서만 적용되었다. LNG산업은 유지 보수와 대체 기기에 대해 높은 표준을 요구하고 있기 때문에 Diesel Engine 추진 시스템은 그림

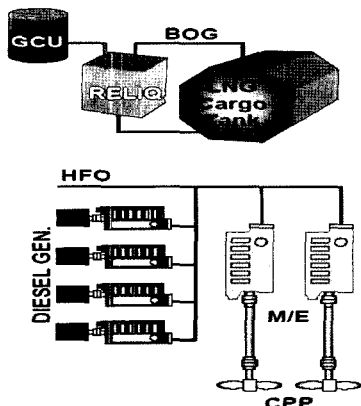


그림 3. Conventional Slow Diesel 추진시스템

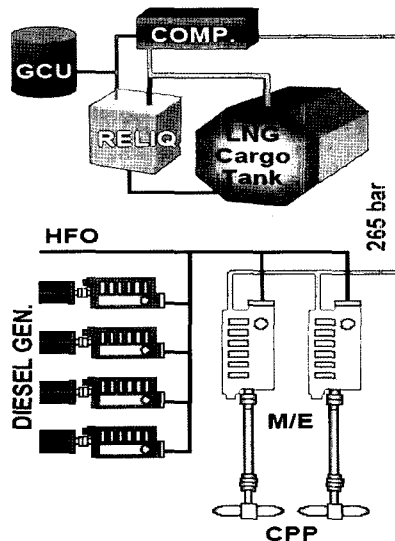


그림 4. Gas Injection Slow Diesel 추진시스템

3에 도시된 바와 같이 2기의 2-Stroke Engine에 직접 연결된 FPP(Fixed Pitch Propeller)의 구성과 Electric Power를 위한 4-Stroke Diesel Generating Sets로 구성된다.

그러나, 2-Stroke Engine의 설치로 인해 배기 가스의 배출은 법규의 규정 안에서 적절히 이루어지나 우수하지는 않다. SCR Unit와 같은 부가 장치를 설치하지 않으면 NOx의 배출량은 비교적 많으며 HFO를 연료를 사용하는 한 SOx의 배출도 무시할 수 없을 것이다.

### 2.4 Gas Injection Slow Diesel Engine

Conventional Slow Diesel Engine의 연료 선택의 폭이 좁다는 단점을 극복하고 BOG 연료의 사용을 통한 운항 비용 절감을 도모하기 위해, 그림 4처럼 Gas Injection Burning이 가능한 Slow Diesel Engine이 소개되어 있다.

본 시스템의 경우 최대 265bar의 가스 공급 압력에 따른 안전성에 대한 우려 때문에 주요 선사들은 거부감을 가지고 있으며, 적용 시 기관실에 대한 Fire & Explosion Analysis를 실시하여 Jet Fire 등의 위험에 대비한 조치가 필요 수행되어야 한다. 그리고, 고압 가스 생성을 위한 고압의 Piston Type Gas Compressor 적용에 따라 타 추진시스템 적용 LNG

선 대비 진동을 고려한 설계가 요구된다.

### 2.5 Gas Turbine Electric

그림 5에 도시된 Gas Turbine은 장비의 크기에 비해 고출력을 얻을 수 있는 기관이며, 항공용 엔진 기술이 적용되어 신뢰도가 높고, 회전기라는 특성 상 거의 진동이 없는 등 장점을 가지고 있으나, 상대적으로 타 추진 시스템에 비해 높은 가스 압력(약 40bar)이 요구되며 Power plant의 저 효율을 극복하기 위한 열 회수 장치 등의 추가 고려가 필요하고, 필요 출력에 따라 Cylinder Bore Size나 Cylinder 개수를 선택할 수 있는 Diesel Engine과 달리, Gas Turbine은 선택할 수 있는 Model 한두 개로 한정되어 있어 다양하지 못하다.

### 2.6 DF (Dual Fuel) Diesel Electric

Electric 추진 시스템은 기관 및 관련 장비의 배치에 있어서 유연한 대안을 제시한다. 이 시스템은 2개로 분리된 Engine Room과 보조 시스템을 채택하여 redundancy를 제공하며, Re-liquefaction plant를 설치할 필요 없이 연료로서 BOG를 사용하며,

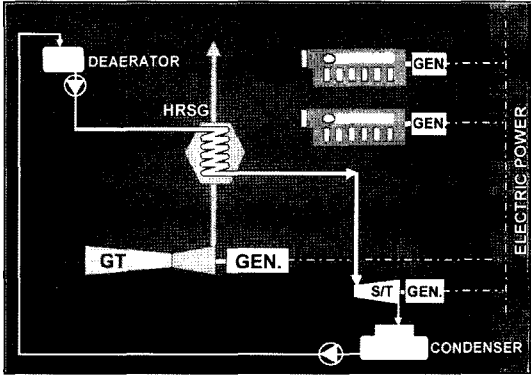


그림 5. Gas Turbine Electric 추진시스템

표 1. 추진시스템 별 폐기가스 량

	NOx (g/kWh)	SOx (g/kWh)	CO2 (g/kWhx100)	Particulars (g/kWh)
2 stroke diesel (low speed)	17.0	12.9	5.5	0.5
4 stroke diesel (medium speed)	12.0	13.6	6.12	0.4
DF diesel electric	1.3	0.05	5.0	0.05
Steam turbine	1.0	11.0	9.3	2.5
Gas turbine	2.5	0	5.9	0.01

표 2. 추진시스템 별 종합비교

	Steam Turbine	Dual Fue Diesel	Slow Diesel Turbine	Gas
효율	기준	+38%	+44%	+31%
유지보수	우수	보통	불리	우수
Cargo space	기준	+ 7K	+ 7K	+ 9K or more
대형선 적용 (출력제한)	불가	적합	적합	적합
경제성 평가	불리 대형선 적용불가	우수 친환경적	우수 경제적	보통 Cargo 용량 증가시 경제성 확보

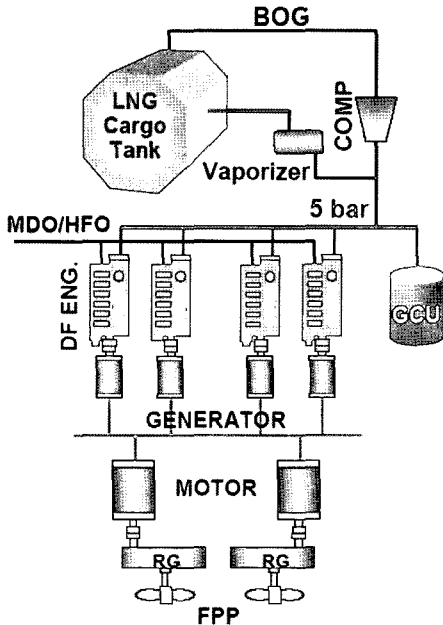


그림 6. DF Electric 추진시스템 구성도

비상시 Back-up 연료로서 MDO 또는 HFO를 사용할 수 있다. 또한 별도의 보조 Generator Set이 필요 없어 시스템이 간단해진다. 전기 구동시스템이 적절한 Redundancy를 가지고 있다면 FPP(Fixed Pitch Propeller)와 함께한 Single Screw Electric 추진이 가장 경제적인 구성이다.

DF Electric 추진 시스템은 다음의 그림 6과 같이 구성된다.

### 3. LNG선의 추진 시스템의 비교

LNG선의 추진시스템간의 폐기 가스 배출량 및 각 시스템 별 장·단점을 비교하여 정리하였다.

각 추진시스템 별 폐기가스 배출량은 표 1에 나타내었으며, 본 표에 나타난 바와 같이 DF Electric 추진 시스템이 가장 우수한 것으로 평가되고 있다.

앞에서 설명한 각 추진시스템의 종합 비교를 표 2에 나타내었다.

시스템 효율 및 경제성 측면에서 DF Electric 시스템과 Slow Diesel System이 여타의 시스템보다 우수하나, 최근 LNG선의 대형화 추세 및 Gas 가격, HFO/DO 가격이 고려된 선박 운항 경제성이 추진시스템을 결정하는 주요한 요인이다.

#### 4. 결 언

근래 들어 경제성과 친환경에 대한 관심이 급증하면서 Steam turbine 추진 시스템의 비경제성과 비환경적인 측면이 부각 되었고, 이를 대신할 만한 새로운 추진 시스템에 대해 비교 및 고찰 하였다.

새롭게 제시된 추진 시스템 중에서 Slow Diesel 시스템과 DF Electric 시스템이 우수한 것으로 평가되나 그 중에서도 환경적인 측면과 기술적인 측면 및 기타 조건들을 비교해 볼 때 DF Electric 추진 시스템이 다른 추진시스템에 비해 고효율성, 안정성, 환경친화성 및 선박 내부 시스템의 최적화 등

많은 장점을 가지고 있어, 기존의 Steam turbine 추진 LNG 선박을 대체해 나갈 것이다.

#### 참고문헌

- 1 Dosung Kong, Saweon Kang, Jinmo Kim, SHI, Gastech 2005, "Development of Large LNG Carriers with Dual Fuel Diesel Electric Propulsion", 2005
2. Jean Marc Hosanski, Total, Gastech 2005, "LNG Market Globalization : Impact on commercial arrangements and prices", 2005
3. Rolls-Royce, 28 July 2005, "LNG Carrier COGES System, DNS 108463 Issue 2"
4. GE Energy, March 2001, "LM2500+ Marine Gas Turbine Generator Package Product Description" ⚓

윤 종 현 | 삼성중공업 기본설계1팀 기전장계획 파트장



- 1966년 1월생
- 1988년 서울대학교
- E-mail: jong.h.youn@samsung.com

여 동 일 | 삼성중공업 기본설계1팀 PM 과장



- 1970년 1월생
- 1994년 인하대학교
- E-mail: di.yeo@samsung.com