

3. 특집 : LNG선박 추진용 디젤엔진

LNG 선박 주기용 ME 및 ME-GI 디젤 엔진

The Introduction of MAN B&W M/E and ME-GI Engine for LNG Carrier



김 성국

Sung-Kuk Kim

- MAN B&W Korea
- E-mail : sgk@manbw.co.kr

1. 소 개

지금 까지 LNG(Liquefied natural gas) 운반선에는 스팀터빈이 유일하게 주기관으로 적용되어 왔으나, 저속 2행정 디젤기관의 적용을 MAN B&W, 한국 조선소 및 Exxon Mobil(with Qatar Gas)사가 공동으로 면밀히 검토한 결과 문제점으로 여겨지던 엔진의 진동은 기존의 스팀터빈선의 프로펠러에서 생기는 진동보다 낮은 것으로 확인 되었으며, 증발가스(BOG)의 처리 문제는 재액화장치의 개발로 해결되면서 2004년 말에 Qatar Gas(with Exxon Mobil)사가 추진하는 QGII 프로젝트에 8척 그리고 2005년 8월에 Ras Gas III 프로젝트에 12척을 포함하여 총 20척의 LNG선에 척당 2대씩 40대의 6S70ME-C 엔진이 채택 및 발주 되었다.

저속 2행정 디젤기관으로 추진되는 총 20척의 LNG선은 대우(4+5), 삼성(2+4) 및 현대(2+3)에서 건조되고 엔진은 현대중공업 엔진기계

사업본부와 두산엔진에서 진량 제작되며, 가장 빠른 엔진의 납기는 2006년 중순이며 첫배의 인도는 2007년 중순이 될 예정이다.

또 선주들에게 시장 상황에 따른 연료 선택의 폭을 넓혀주기 위하여 150~250 bar로 압축된 증발가스(BOG)와 HFO를 어떤 비율로든지 동시에 연소시킬 수 있는 ME-GI 저속 2행정 이중연료 엔진이, 10여년 전부터 일본의 지바 발전소에서 운전중인 12K80MC-GI 엔진의 성공적인 운전을 발판으로, 최근 해상적용을 위해 안전진단의 일환으로 HAZID/HAZOP 연구를 지난 5월에 DNV 선급 주관 하에 성공리에 마치고 선주와 조선소의 선택만을 기다리고 있다. 따라서 현재의 연료가격을 기준으로 스팀터빈(30% 열효율) 대신에 저속 2행정 디젤기관(50% 열효율)을 사용할 경우 연간 약 3백만불(USD) 이상의 운항 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상되며, 초기 설치비는 액화장치를 포함할 경우 스팀터빈 시스템과 거의 같거나 약간 높은 수준이다.

2. LNG선박의 추진출력과 BOG 장치

전통적으로 LNG선의 크기는 130-140K, 선속은 약 20노트 정도로 설계 건조되었으나 최근에는 미국의 주요 오일 선사를 중심으로 선박의 효율성을 높이기 위하여 250K까지 증가시키고 있으며 선속도 기존 선박보다 더 빠른 것을 선호하고 있다. Fig. 1은 선박 크기에 따라 선속과 함께 요구되는 엔진 출력관계를 보인다.

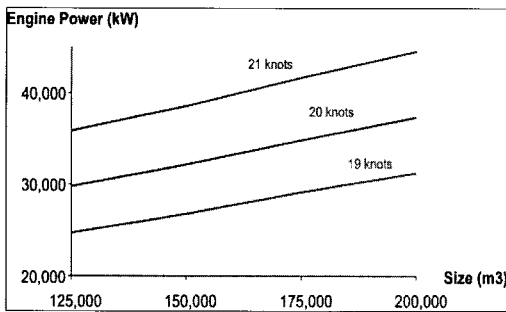


Fig. 1 Typical propulsion power requirements for LNG carriers

Fig. 2는 각종 열기관에 대한 출력 범위와 열효율의 상호 관계를 보이며 여기서 LNG 선박의 주기관에서 요구되는 출력대로 이를 비교해보면 스팀터빈과 디젤기관은 약 20%의 큰 차이가 있음을 확인할 수 있으며 이는 운항비에 상당히 큰 영향을 주는 요소이다.

LNG의 액화상태를 유지하기 위해서는 영하 160도의 초저온 상태가 요구되는데, 자연 증발되

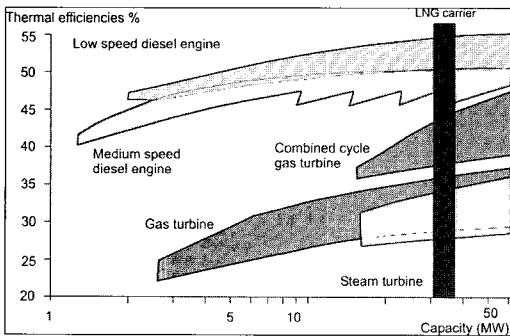


Fig. 2 Typical thermal efficiencies of prime movers

는 가스는 기존의 스팀터빈선에서는 보일러에 공급하여 연소시켰으며 공급에 필요한 에너지의 소모는 Fig. 3에서 보인 바와 같이 디젤기관 사용시보다 상당히 크다. 이는 가스공급시스템의 단열문제와 열효율의 큰 차이로 강제공급장치가 필요하기 때문이다.

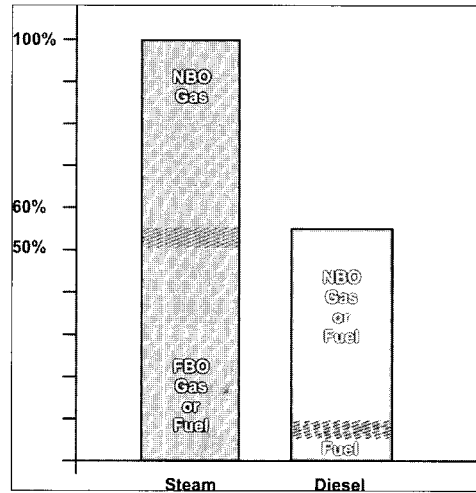


Fig. 3 Propulsion alternative - energy need for propulsion

Fig. 4는 BOG를 다시 화물창으로 회수시키기 위한 재액화장치(Reliquefaction plant)의 계통도를 보여주고 있다. 가스액화장치는 이미 LPG선박에 적용되어 왔으며, 이를 LNG선박에 적용하도록 Hamworthy KSE사에서 개선하여 제품으로 개발하였다.

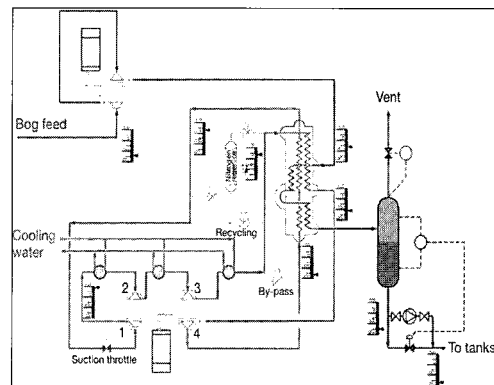


Fig. 4 Moss RSTM LNG reliquefaction system

여기서 액화장치는 간단한 계통으로 구성되어 있는데, BOG는 저압가스압축기(Low-duty compressor)를 거쳐 냉각장치(Cold box)로 보내어지고 이곳에서 질소에 의해 액화되어 화물창으로 회수되며 질소는 브레이톤 사이클(Brayton cycle)에서 냉매 매개체로서의 역할을 한다.

3. MAN B&W사의 2행정 이중연료 디젤기관인 ME-GI의 설계특성

MAN B&W사와 일본 Mitsui사가 공동으로 고압 가스를 사용한 이중연료기관을 지난 수년간 운전해왔었으며 여기서 축적된 기술과 운전경험을 통해서 설계변경 및 안전성을 확보하였다. 최근에 MAN B&W사에서 이를 더욱 발전시킨 ME-GI기관의 설계특성을 토대로 하여 소개하고자 한다.

2행정 저속디젤기관의 평균유효압력(Mep)은 4행정 디젤기관에 비해 낮으므로 저압가스 분사방식을 사용하기가 곤란하다. 즉 기관의 출력이 현저히 떨어져 비경제적이다. 그러므로, 고압분사방식을 채택하여 기존의 액체 연료유 분사기관과 거의 동일한 출력과 열효율을 유지할 수 있고, 소량의 액체 연료유(Pilot oil)를 먼저 분사, 점화시키고, 가스는 그 직후에 분사하지만, 압축행정을 피하므로 기관성능을 저해하는 노킹(Knocking)을 방지할 수 있다.

3.1 개요

지난 수십 년간 디젤 엔진의 개발 방향과 목표는 주로 사용연료의 가격 영향을 받아왔으며, 결과적으로 50% 이상의 기관 열효율을 달성할 수 있었다.

1980년대 이후, 2행정 대형저속기관에 천연가스를 연료로 사용하고자 하는 많은 관심 속에 고압가스 분사방식 기관의 연구개발이 지속적으로 가속화되어 왔으며, 저압가스 분사 기관의 평균유효압력에 악영향을 미치는 노킹 문제를 해결하기 위해 고압가스 분사방식을 채택하고, 가스 분사시기를 최적화하여 압축행정을 피하였다.

설계 및 기술적인 내용들을 다음의 3가지로 구분할 수 있다.

- 1) 이중연료기관(Dual Fuel Engine) 설계특성
- 2) 이중배관장치(Double Wall Pipes) 설계특성
- 3) 안전장치(Safety) 설계특성

3.2 이중연료기관(Dual fuel Engine) 설계특성

ME-GI기관은 성능적 측면(출력, 회전수, 열효율, 배기가스 량 및 온도 등)에서 이미 형식승인을 받아 생산되고 있는 전자제어 방식인 ME기관과 동일하게 설계되었으며, 단지 주연료로 가스를 사용하는 것이 크게 다른 점이다.

Fig. 5는 S70ME-GI기관을 보여주고 있는데 ME기관과 비교하여 추가로 가스공급배관(Gas supply pipes), 실린더 커버에 부착되는 가스분배블록(Gas distributor block with internal accumulator), 가스분사밸브(gas injection valves) 및 분사가스 제어용 ELGI 밸브가 설치되며, 배기가스 리시버(Exhaust gas receiver), 제어/조종시스템을 약간 수정, 보완하였다. 그 외에 ME-GI기관 운전에 필수적인 다음의 기기들이 요구된다.

- 고압가스 압축기(HP compressor, 냉각기 포함, 250-300bar의 압축압력)
- 맥동완충 가스탱크 (Pulsation / buffer tank)
- 압축기 제어 시스템 (Compressor control system)
- 안전장치(Hydrocarbon 측정기 포함)
- 환기장치 (Ventilation system)
- 밀봉오일장치 (Sealing oil system)
- 불활성가스 공급장치 (Inert gas system)

Fig. 6은 배관장치의 개략도이며, 가스압축기에서 토출된 고압가스는 주배관과 플렉시블 분기관을 통과하여 각 실린더의 가스밸브 블록과 축압기(Accumulator)로 공급된다. 이 분기관은 주로 ME기관의 연료유 분사장치와 동일하게 가스의 유동적 설계특성과 견고한 구조의 주배관장치 및 기

관 구조물 사이의 다른 열 팽창율에 의해 미치는 응력문제를 고려하여 플렉시블배관을 채택하였다.

맥동완충 가스탱크는 최대출력에서 1행정

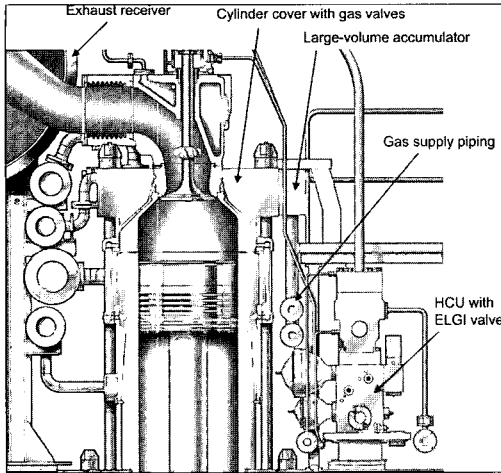
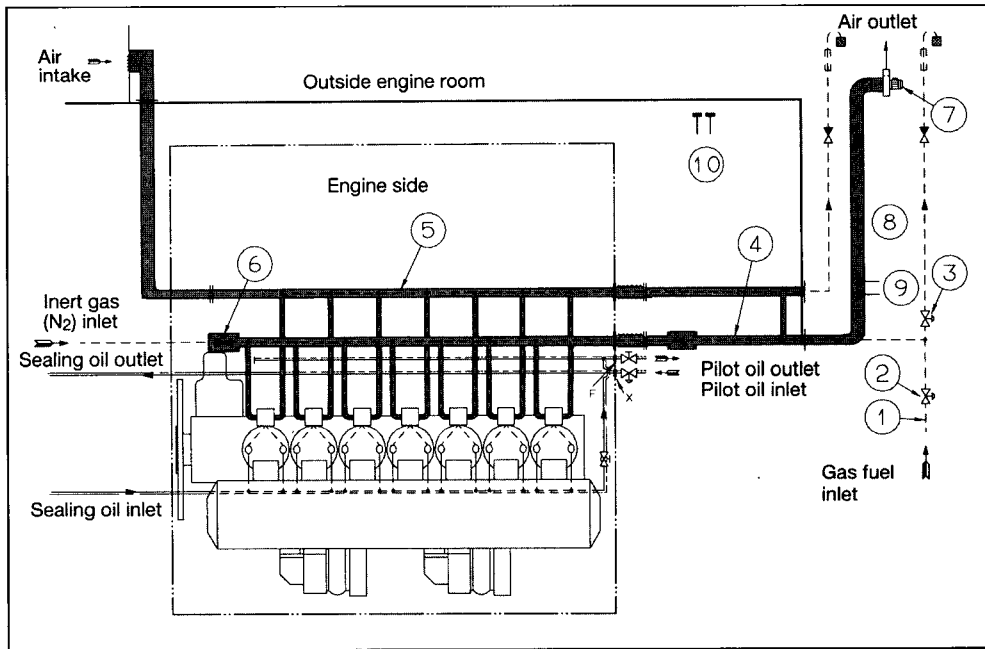


Fig. 5 New modified parts on the ME-GI engine

(stroke)당 20회 정도의 분사량에 해당하는 용량을 가진다. 가스공급장치는 커먼레일 구조이며, 가스분사밸브는 독립된 구조의 제어오일장치에 의해 제어된다. 이 제어장치는 ME유압제어 서브오일장치 및 ELGI밸브로 구성되어 유압오일로 가스분사밸브의 개, 폐 타이밍을 제어한다. Fig. 7에서 이중연료 운전모드시 파일럿 오일을 공급하는 연료유 부스터는 ELGI밸브 내부에 구성되는 압력계 및 on-off 밸브에 의해 ELGI밸브와 연결된다.

운전모드는 Fig. 8에 보이며 제어장치에 의해 다음의 3가지로 선택하여 운전할 수 있다.

- 1) 최소 액체연료유 운전모드(Min. fuel mode) : 최소의 연료유(Pilot oil, 5%)와 가스(95%)로 운전
- 2) 가스/연료유비 조절운전모드(Specified gas mode) : 가스의 공급이 부족할 경우 연료유와 가스 공급량의 비율을 적절하게 조절하여 운전
- 3) 연료유 단독 운전모드(Fuel oil-only mode) : 연료유를 100% 공급하여 운전



- | | | |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1. High pressure pipe from gas compressor | 5. Main venting pipe (double pipe) | 9. HC sensors in double wall pipes |
| 2. Main gas valve | 6. Inert gas valve in main gas pipe | 10. HC sensors in engine room |
| 3. Main venting valve | 7. Suction fan | |
| 4. Main gas pipe (double pipe) | 8. Flow control | |

Fig. 6: General arrangement of double-wall piping system for gas

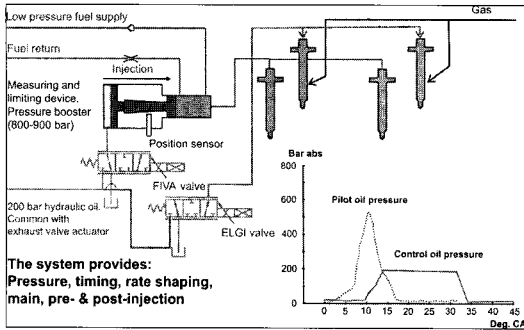


Fig. 7 ME-GI fuel injection system

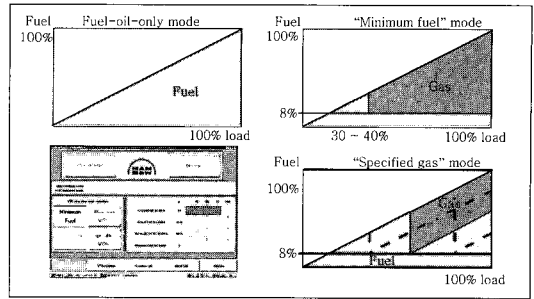


Fig. 8 Fuel Type Modes - MAN B&W 2-stroke dual fuel low speed diesel

여러가지 변수에 따른 기관의 적절한 운전제어는 Fig. 9와 같이 나타낼 수 있고, 기본적으로 가스압축기의 설계 토출압력과 실제압력의 차이를

비교하여 그 크기에 따라 가스/연료유비 또는 파일럿 오일공급량을 가감하여 운전을 제어하며, 연료유와 가스의 발열량이 차이가 날 경우 출력 변

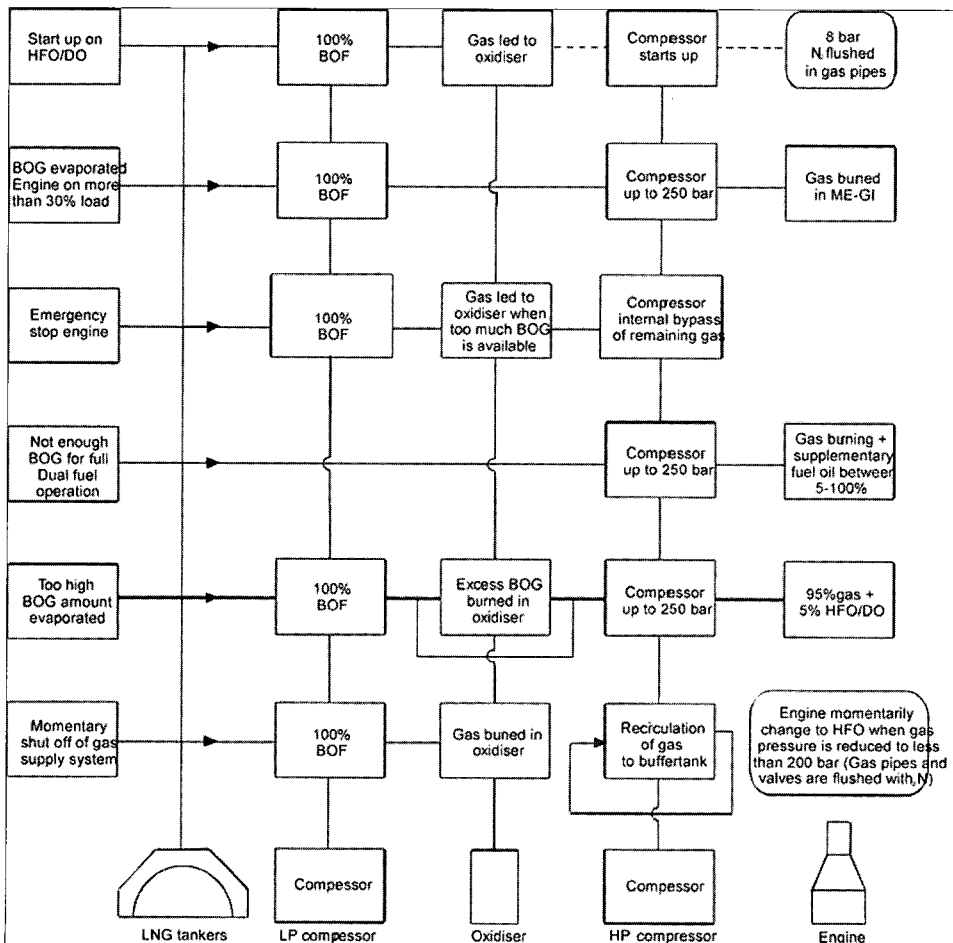


Fig. 9 Engine control system diagram

동이 생긴다면 크랭크축 회전수의 변동 값을 측정하여 연료유와 가스공급량을 가감하여 운전을 제어할 수 있다.

3.3 이중배관장치(Double Wall Pipes) 설계특성

고압가스를 주연료로 사용하므로 배관장치는 특별히 정상압력의 1.5배로 설계하였고, 심각한 고장상태가 발생하더라도 안전하게 작동되도록 설계하였다.

1) 외부장치(External systems)

- 밀봉오일장치(Sealing oil system) : Fig. 10에서 고압가스와 제어오일 사이의 밀봉 및 작동 부품의 윤활을 위해 가스분사밸브까지 밀봉오일을 공급한다. 밀봉오일펌프는 독립된 구동장치로 운전되며, 가스운전모드 전에 기동해야 한다. 가스압력보다 25-50bar 높게 유지하며, 밀봉오일의 소모량은 0.1g/bhph로 적으며 연소실내로 누설되는 오일은 연소된다.

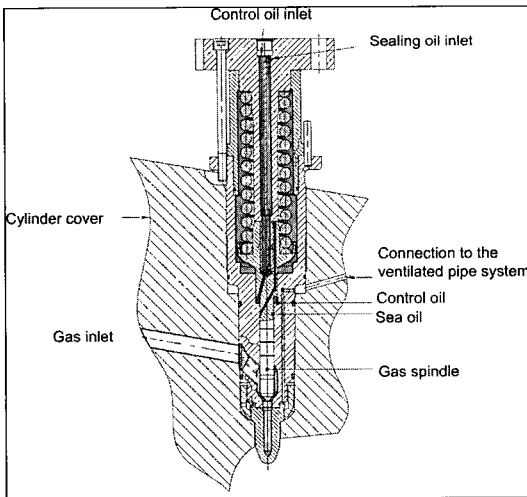


Fig. 10 Gas injection valve

- 환기장치(Ventilation system) : Fig. 11은 고압가스를 사용하므로 내·외부 이중가스관(Double wall pipe)을 사용하는데, 가스가 내부관에서 누설될 때 외부관과의 사이 공간에 있는 가스를 전기구동 기계식 팬에 의해 외부로

배출시켜 화재, 폭발을 방지한다.

- 불활성가스 공급장치(Inert gas system) : 가스운전모드를 마친 경우에는 관련 가스장치에 불활성가스(N₂, CO₂)로 치환(Purging) 시켜 안전한 상태로 유지시켜 준다.

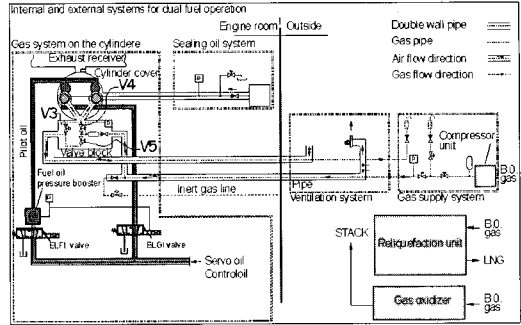


Fig. 11 Internal and external systems for dual fuel operation

- 가스공급장치(Gas supply system) : Fig. 12, 13처럼 다음의 주요장치로 구성된다.

- * 저압압축기(LP compressor)
- * 고압압축기(HP compressor) : 약 250-300 bar로 가스를 압축하며, 내장된 열 교환기로 토출된 가스는 45℃로 유지된다.
- * 완충탱크/축압기(Buffer tank/accumulator) : 가스압력의 맥동을 최소화한다 (+/- 2bar).
- * 내부 여과장치(Inlet filtration system) : 2 단 필터로 구성되며, 혼합된 이물질을 제거한다.
- * 압축기 제어장치(Compressor control system) : 가스공급량을 기관의 출력에 따라 공급하며, 최소 제어량은 최대공급량의 30% 정도이고, 시동 및 정지, 차단(Sut-down) 및 비상차단(Emergency shut-down)등의 기능이 있다.
- * 화물감시장치(Cargo monitoring system) : 항상 BOG량을 측정하여 기관에 안정적인 공급이 가능하도록 한다.

가스공급장치는 기관의 안정적 운전을 위해 여분(Redundancy)의 개념으로 동일한 장치를 추가적으로 구비해야 하지만 비경제적이므로 가스운

전모드가 불가능할 경우 즉시 연료유 단독 운전모드가 가능하도록 하였다.

가스누설시 안전을 위해 내·외부 이중관 사이 공간에 HC(Hydrocarbon)측정기를 구비하여 필요시 경보 및 가스공급을 차단하도록 하였다.

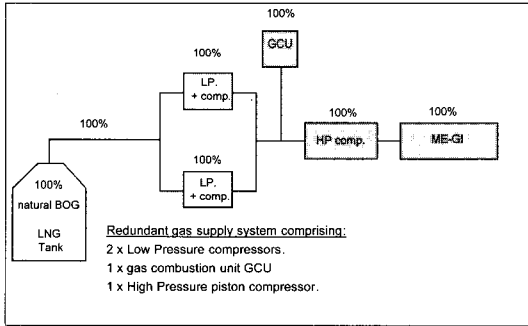


Fig. 12 Gas supply system-natural BOG only

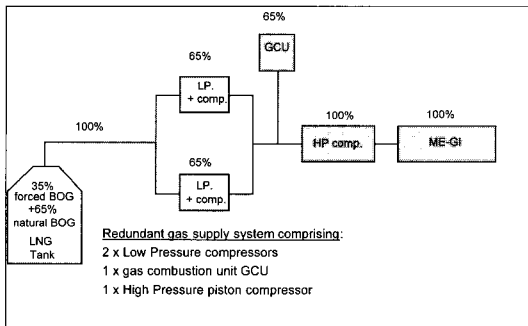


Fig. 13 Gas supply system - natural and forced BOG

2) 내부장치 (Internal systems)

Fig. 5에 대략적인 부품들을 보여준다.

- 배기리시버(Exhaust receiver) : 미연소된 가스가 배기리시버 내부에서 연소, 폭발이 발생해도 약 15bar까지 견딜 수 있는 구조로 설계, 보강되었다.
- 연료분사밸브(Fuel injection valves) : 이중 연료(가스 및 연료유)의 연소를 위해 파일럿 오일 분사밸브와 가스분사밸브가 인접하게 설치된다. 가스는 실린더커버에 가공된 구멍을 통하여 가스 분사밸브로 공급되며, 실린더 커버와 연료분사 밸브 및 밸브 하우징과 스프링 가이드 사이에서 가스의 누설을 막기위해 고온가스의

특성에 적합한 밀봉 링을 설치한다. 가스는 250-300bar로 공급되는데, 가스의 누설을 막기위해 밀봉오일의 압력을 가스압력 보다 25-50bar정도 높게 유지한다. 파일럿 연료밸브는 가스운전모드가 불가능할 경우, 100% 연료유로 운전된다.

- 실린더 커버(Cylinder cover) : 연료분사밸브의 노즐 틈이 연소되는 것을 막기위해 노즐 틈 바로 앞에 용접구조인 보호 안내대(Protective guard)가 설치된다.
 - HCU(Hydraulic cylinder unit) : 기존의 캠 구동장치 대신에 고압의 유압에 의해 연료유와 배기변 구동을 담당하는 부품이며, 많은 배관을 줄이기 위해 ELGI밸브, 가스밸브 제어오일용 배관 등은 이 HCU에 통합시킨 간단한 구조이다.
 - 밸브블록(Valve block) : 실린더커버 측면에 부착되며, 축압기(Accumulator), 차단밸브(Shut-down valve) 및 두개의 퍼지밸브(Purge valve)로 구성된다.
- 누설 가스는 이중고압관 사이로 빠져나가도록 되어있고, 가스압력의 급격한 압력강하를 막기 위해 Accumulator를 설치하는데, 압력강하는 20-30 bar를 초과하지 않아야 하며, 그 이상시에는 즉시 안전장치를 작동시켜 가스공급을 차단한다.
- 가스배관(Gas pipes) : 고압의 가스공급을 위해 커먼레일 구조로 되어 있으며, 각 실린더의 밸브블록에 가스를 공급하도록 분지관으로 구성된다.

가스배관을 Fig. 14처럼 내·외부 이중관으로 구성되며, 내부관의 파손시 누설된 가스가 기관실 등으로 누설되는 것을 방지하는 구조로 되어 있고, 가스 누설시 항상 HC측정기로 분석, 감시하고, 내·외부관 사이를 반드시 환기장치를 사용하여 외부로 배출시킨다.

각 배관은 정상압력보다 50% 더 높게 설계되고, 열팽창을 고려하여 유연한(Flexible) 구조로 되어 있고, 또한 지나친 가스 압력의 맥동에 견딜 수 있도록 설계하였다.

가스운전 모드를 하지 않을 때는 불활성 가스(N₂, CO₂)로 이중배관 사이를 퍼징(purging)한

다. 내·외부 이중관 사이의 공간은 독립구동 기계식 환기장치로 1시간당 10회 정도 환기용 공기를 치환시킬 수 있는 용량으로 설계되었고, 이 공간내의 압력은 기관실의 압력 이하로 낮게 유지하며, 환기 팬 모터는 안전을 고려하여 덕트 외부에 설치하였다. 환기 팬의 재질은 비점화성 방폭물질이며, 환기용 공기는 배출된 가스가 전혀 혼합되지 않도록 안전구역에서 흡입해야 한다.

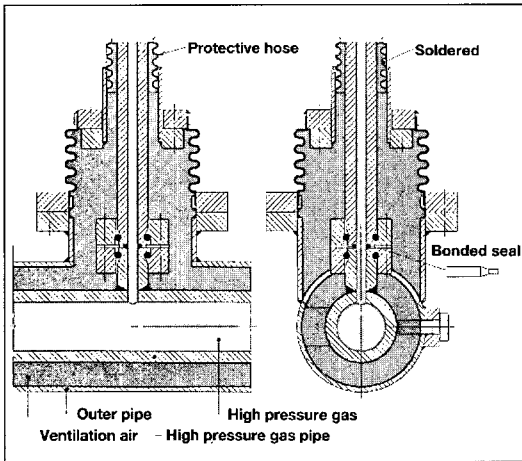


Fig. 14 Gas system branching

가스배관 계통은 Fig. 11과 같이 환기용 공기가 외부의 안전구역으로부터 흡입되어 이중관 구조인 주 환기배관을 거쳐, 각각의 실린더블록으로 연결되는 분지관(Manifold), 실린더블록, 주가스 공급배관 및 배출측에 설치되는 흡입 블로워를 거쳐 대기로 방출되도록 구성된다. 이중배관 계통은 모든 구석까지도 환기되도록 설계되었지만, 실린더커버에 설치된 가스 분사밸브에서 누설되는 가스는 구조상 환기시키기가 곤란하다. 하지만 극히 소량의 가스가 누설되는 것은 무시할 수 있고, 많은 양이 누설되면 환기장치로 배출되며, HC 센서로 감지된다.

- 연료유 부스터장치(Fuel oil booster system)
Fig. 8처럼, 이중연료 운전모드에 필요한 연료유 부스터(Fuel oil pressure booster), 위치 감지 센서(Position sensor), 파일럿 오일을 제어하는 FIVA valve 및 가스분사량을 제어하는 ELGI valve로 구성된다. 기존의 ME기관에

적용되는 연료유부스터 장치와 거의 동일한 구조이며, 단지 파일럿 오일의 분사압력을 측정하는 압력센서와 분사량을 측정하는 위치센서(Position sensor)가 추가되고 가스의 분사량은 ELGI밸브에서 토출된 제어오일에 의해 제어된다.

3.4 안전장치(Safety) 설계특성

안전장치와 배기장치는 Fig. 7에서 소개하고 있다.

1) 외부안전장치(Safety devices - external systems)

가스의 누설을 감지하는 HC 측정기가 설치되며, 가스의 집적도가 Lower explosion limit의 최대 30%시 경보를 발생하며, 60%에서는 가스공급을 차단(Shut-down) 한다. 또한, 밀봉오일장치의 작동이 비정상적일 경우, 밀봉오일압력이 가스압력이하로 떨어진다면 가스가 반대로 밀봉오일장치로 침투하여 가스포켓 등을 형성할 수 있으며, 이로 인해 ELGI밸브의 작동에도 영향을 줄 수 있기 때문에 밀봉오일압력을 측정하여 필요한 경우 가스운전모드를 정지해야 하며 즉시 연료유 단독운전모드로 전환된다.

가스밸브의 작동이 불량한 원인(누설은 아님)으로 기관에 공급되는 가스압력이 현저히 감소될 경우에는 각 실린더에 설치된 밸브블록에 있는 축압기의 압력계로 확인할 수 있다. 천연가스는 공기보다 가벼우므로 공기와 혼합되지 않도록 역지밸브(Non return valve)를 가스배관장치에 설치하였다.

LNG선박의 경우 LNG탱크 내BOG(Boil off gas)의 압력이 현저히 낮으면 Stop/Off 신호를 기관에 보내어 가스운전모드를 정지하도록 한다.

2) 내부안전장치(Safety devices - internal systems)

안전에 관련된 자료들은 MAN B&W사의 상세 자료에 나와 있으며, 엔진에서 발생하는 주요 문제점으로는 가스분사밸브의 불량(Defective gas injection valves), 분사가스의 점화실패

(Failure of injected gas ignition)등이 있다.

- 가스분사밸브의 불량(Defective gas injection valves) :

가스분사밸브가 개방된 상태에서 작동이 불량하거나, 밸브스핀들의 고착으로 인해 다량의 가스가 연소실로 분사되고, 미연소된 가스/연료유가 배기관, 배기리시버로 혼입되는 경우도 있다. 이때 배기변 후단부에서 배기온도는 급격히 상승하게 되어 공급된 소기와 접촉하는 경우에는 소기중의 산소(15%)와 반응하여 연소, 폭발이 발생할 수 있으며, 배기가스 고온 경보가 발생한다.

많은 량의 미연소 가스가 배기리시버 내로 들어가서 연소되어 큰 폭발이 발생할 경우 충분히 견딜 수 있도록 배기리시버는 약 15 bar 까지 견딜 수 있도록 설계되었다.

기관의 연소실내로 분사되는 가스량은 최대출력(MCR)에 요구되는 량을 초과해서는 안되며, 이를 위해 기관의 매회전당 각 실린더에 공급되는 가스량은 밸브블록의 축압기에서 발생하는 압력강하로 측정하여 확인한다.

가스분사밸브의 고착이나 가스배관의 파손에 의한 비정상적인 가스의 공급상태는 즉시 감지되며, 가스공급은 차단되고 배관은 불활성가스로 퍼지된다. 가스분사밸브가 조금 누설될 경우에도 연소실로 많은 가스가 공급될 수 있고 배기가스온도는 증가하게 되므로 비정상적인 증상을 확인 할 수 있다.

- 분사가스의 점화실패(Failure of injected gas ignition) : 분사가스의 점화실패는 다음의 주요 원인이 있다.

- * 연료유부스터의 작동불량
- * 연료유부스터 플런저의 고착
- * 연료유부스터의 제로 인덱스(0-index)
- * 연료유공급의 실패

어떤 원인이든지 신속히 감지하여 파일럿 오일의 최초분사 실패 시 즉시 가스공급을 차단한다.

아주 드문 경우, 파일럿 오일은 분사되지만 배기변의 고착, 소손 등으로 인하여 연소실 압축압력이 누설되어 낮은 압축압력 때문에 연소되지 못하는 경우도 있는데, 이 경우 배기리시버로 다량의 미연소 가스가 누설되어 극심한 연소가 발생할 수 있다.

하지만, 배기변의 소손으로 인한 누설은 비교적 긴 시간에 걸쳐 서서히 진행되므로 배기가스온도의 상승으로 그 증상을 알 수 있다.

또한, 파일럿 오일 분사밸브의 스프링들 고착이 드물게 발생할 수 있고, 이중연료 운전모드에서 기관에 영향을 미칠 수 있다. 하지만 파일럿 오일의 분사는 가능하므로 가스의 점화에는 문제가 없는 데, 간혹 노킹이 발생할 수도 있다. 이것을 확인하기 위해 실린더 압력감시장치(Cylinder pressure monitoring system)가 설치된다.

4. 맺음말

50%의 높은 열효율을 가진 저속 2행정 디젤엔진을 적용할 경우 스팀터빈 대비 약 40%의 연료비를 절감할 수 있을 뿐 아니라 이산화탄소 배출량도 그 만큼 줄일 수 있어 운항비가 적게 들고 친환경적인 대안으로 인식되고 있으며, 현재 20척의 LNG선에 기 적용된 40대의 6S70ME-C(HFO Burning) 엔진에 이어 증발가스(BOG)와 HFO를 어떠한 비율로도 동시에 연소할 수 있는 ME-GI 엔진에 제액화장치 1대와 가스 압축기 1세트를 같이 설치할 경우 초기 투자비는 스팀터빈 시스템 보다 싸면서도 모든 시장 상황과 항해 구역에 따라 여러가지로 요구되는 모든 방법의 운전이 가능한 최상의 시스템이 될 것이다.