

3. 특징 : LNG선박 추진용 디젤엔진

LNG 선박 추진을 위한 바르질라 DF50 엔진

The Introduction of Wärtsilä DF50 Engine for LNG Carrier



남 정 길

Jeong-Gil Nam

- 목포해양대학교 기관시스템공학부
- E-mail : jgnam@mmu.ac.kr



김 진 우

Jin-Woo Kim

- Wärtsilä Korea
- E-mail : jinwoo.kim@wartsila

1. 소 개

바르질라 50DF 2중 연료(Duel fuel) 엔진은 '연료의 유연성'과 '고 성능'의 새로운 의미를 준다. 바르질라 50DF는 천연가스나 LFO(Light Fuel Oil) 뿐만 아니라, 특정한 변경을 통해서 HFO (Heavy Fuel Oil) 로도 운전이 가능한 4 행정 1사이클 DF 엔진이다. 게다가 이 엔진은 천연가스로부터 LFO/HFO로 전환 할 수 있으며, 엔진 운전 중에 역으로도 부드럽게 변경이 가능하다.

바르질라 50DF 엔진은 실린더당 950 kW로써 최대 17,100kW의 출력을 내며, 형상에 있어서는 6L 이상에서 18V 엔진까지 제작되며 어느 다른 가스 엔진보다도 최대 47%의 높은 열효율을 가진다. 특히 이 엔진은 LNG 선박에 탑재되어 운항 중에 있으며, Fig. 1은 150k(150,000m³) LNG선박을 위한 바르질라 DF50엔진의 배치도를 보인다.

2. 설계 개념

바르질라 50DF 엔진은 Fig. 2에 보이며 정교한 2중 연료기술과 신뢰성이 높고 충분히 잘 검토된 바르질라 46 HFO 엔진을 근간으로 하여 발전시킨 것이다. 바르질라 50DF 엔진은 연료의 유연성과 함께 고출력, 유해배출물의 저감, 고 효율 및 높은 신뢰성을 갖고 있다. 엔진 기능은 주변의 조건이나 연료에 상관없이 최적의 운전조건을 유지하도록 진보된 자동화 시스템에 의해서 제어된다. 가스 공급 및 파일럿 연료 분사 모두 전자적으

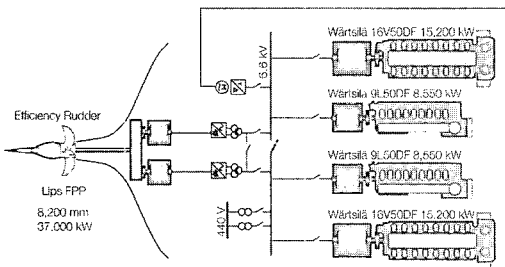


Fig.1 Gensets for 150k LNG carrier

로 제어된다. 이것은 정확한 공연비가 각 실린더마다 개별적으로 제어될 수 있고, 확실하고 안정한 연소를 하기 위해 파일럿 연료가 최소량 분사될 수 있도록 해준다. 모든 파라미터(특성)들은 운전하는 동안에 자동적으로 조절된다.

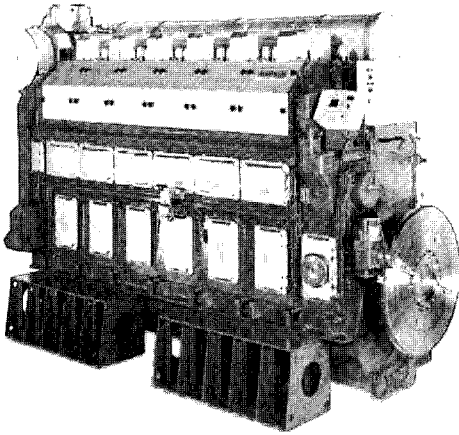


Fig. 2 Wärtsilä 6LDF dual-fuel engine

바르질라 50DF 엔진은 안전하고 연료의 유연성을 바라는 고객의 요구에 맞추어 가스 및 액화연료로 운전 가능하도록 설계되었다. 모든 바르질라 엔진과 같이 50DF 엔진은 간결하고 올바른 설계를 가지고 있다. 그리고 배관과 외부 연결은 최소화 되었고, 안전 허용치는 충분하며, 정비는 쉽고 빠르게 할 수 있으며, 전자적 안전보호 장치가 내장되어 있다. 각각이 전자적으로 조절되는 밸브들은 노킹과 점화실패를 피하고 모든 실린더가 운전 범위내에 유지되도록 해준다.

바르질라 50DF 엔진은 천연 가스로 운전하든지 LFO/HFO로 운전하든지 간에 동일한 출력을 낼 수 있도록 설계되어 있다. 가스로 운전되는 바르질라 50DF 엔진은 HFO 엔진보다도 NO_x와 CO₂ 발생이 훨씬 낮다. 이 엔진은 천연가스 운전용으로 O₂ 5%에서 NO_x 배출물 500mg/Nm³, 건식 및 독일 TA-luft 표준을 준수하도록 최적화되어 있으며, 이는 2g/kWh의 NO_x에 상응한다. 해양환경과 관련하여 2차 연료의 조건은 O₂ 15%에서 NO_x 970ppm Vol, 건식 및 World Bank NO_x 또는 12.91g/kWh 이하이다.

3. 설계 특징

3.1 희박연소

바르질라 50DF 엔진은 완전연소에 필요한 량보다 더 많은 공기를 실린더에 넣어서 공기와 가스를 혼합한 희박 연소(lean-burn) 원리로 운전한다. 희박 연소는 최고 온도를 내려서 NO_x 배출량을 줄여주며, 효율은 증가되고 노킹을 피하면서 높은 출력까지 도달시켜 준다. 희박 공연 혼합의 연소는 실린더에 소량의 LFO(Pilot fuel) 분사로부터 시작된다. 파일럿 연료는 종래의 엔진연소 과정에서 점화되며, 주과급을 위한 고 에너지 점화원을 공급해 준다. 가장 좋은 효율과 가장 낮은 유해 배출물을 얻기 위하여, 모든 실린더는 정확한 공연비와 정확한 양의 파일럿 연료분사가 시기 적절하게 이루어지도록 조절된다. 바르질라사는 각 실린더에서 요구되는 연소 조절에 대처 할 수 있을 뿐만 아니라, 각 실린더를 운전범위 내에 유지함으로써 모든 조건하에서 효율과 유해배출물이 적게 발생하도록 특별한 전자 제어 시스템을 개발하였다. 그리고 안정되게 잘 조절된 연소는 엔진 구성품에 있어서 기계적 열적 부하를 줄여주는데 기여를 한다.

3.2 유해배출물

현재 엄격한 유해배출물 규제는 NO_x 배출물의 저감을 요구하고 있다. 내연기관에 있어서 이것은 NO_x 생성을 관장하는 주 파라미터인 최고 온도와 지체 시간의 조절을 의미한다. Fig. 3에서와 같이 바르질라 50DF 엔진에 있어서 공연비는 2.2로써 매우 높다. 연소에 의해서 방출된 같은 비열량은 많은 량의 공기를 가열하는데 사용되기 때문에 결과적으로 최고 온도와 NO_x의 생성이 줄어든다. 혼합은 실린더 내에서 NO_x 생성 점을 피하도록 연료와 공기가 실린더내로 안내되기 전에 미리 혼합되기 때문에 실린더 전체를 통해서 균일하다. 이러한 독특한 특성으로부터 얻어지는 이점은 바르질라 50DF 엔진의 현저하게 낮은 NO_x 배출량으로 엄격한 규제에도 대처가 가능하다.

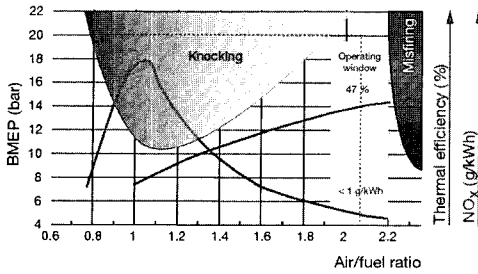


Fig.3 A Special Electronic system for Wärtsilä 6LDF dual-fuel engine

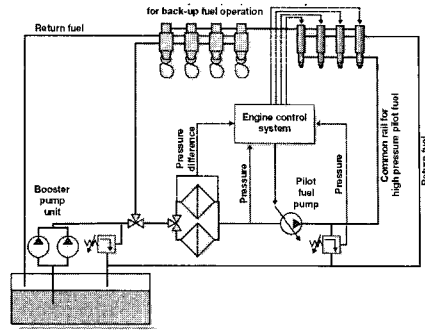


Fig. 4 Dual fuel oil supply system

3.3 연료시스템

Fig. 4에서와 같이 바르질라 50DF 엔진의 연료 장치는 가스용과 디젤 연료용의 2가지로 크게 나누어진다. 바르질라 50DF 엔진은 항상 주 디젤과 파일럿 연료 모두를 사용하며 디젤 모드에서 시동한다. 가스 주입(허용)은 연소가 모든 실린더에서 안정화 되었을 때에만 활성화 된다. 이것은 정확하고 신뢰성이 높은 시동을 보증해 준다. 가스 모드에서 엔진이 운전 될 때 파일럿 연료량은 전 부하(full load)시 소모되는 연료량의 1% 미만이다. 파일럿 연료의 양은 엔진 제어 장치에 의해서 조절된다.

(1) 가스 공급 장치

천연가스는 밸브 스테이션을 통해서 엔진에 공급된다. 가스는 깨끗하게 공급되도록 먼저 필터링 된다. 가스 압력은 밸브 스테이션에 위치한 밸브에 의해서 조절된다. 가스압력은 엔진부하에 따라 달라지고, 전 부하에서 엔진 전의 압력은 LCV (Low Calorific Value) 36 MJ/Nm³를 유지하기 위하여 3.9 bar(g)로 하고 LCV가 낮아질수록 압력은 증가 시켜야 한다. 시스템은 확실하고 고장이 없는 가스 공급을 위해서 필수품으로 차단 밸브와 통풍(Venting) 밸브를 포함한다. 가스는 엔진을 따라, 배열되어 있는 큰 커먼레일(common-rail) 관을 통해서 공급된다. 각 실린더는 실린더 헤드에 가스 주입 밸브용으로 각각의 주입(feed) 파이프를 갖추고 있다. 엔진에 있는 가스 파이프는 요구에 따라서 2중벽으로 설계할 수 있다.

(2) 디젤유 공급 장치

엔진에 연료유 공급은 파일럿 연료용과 2차(Backup) 연료용의 2가지로 나누어진다. 파일럿 연료는 펌프에 의해서 요구되는 압력으로 올려진다. 펌프장치는 두 겹의 필터, 압력조절기 및 피스톤형 펌프를 포함한다. 고압 파일럿 연료는 각 실린더에 있는 분사 밸브로 커먼레일을 통해서 분배된다. 파일럿 연료는 약 900 bar 압력으로 분사되고 분사시기와 기간은 전자적으로 제어 된다. 2차 연료는 정상적인 캠축 구동에 의해서 분사펌프로 공급된다. 분사펌프로부터 나온 고압연료는 디젤 엔진용으로 표준 설계된 스프링 부하로 압축된 분사 밸브에 공급된다.

3.4 부품

(1) 분사밸브

바르질라 50DF 엔진은 2개의 니들(twin-needle) 분사 밸브를 가지고 있다. 큰 니들 밸브는 디젤 모드에 사용되고, 작은 것은 엔진이 가스 모드에서 운전 시 파일럿 연료유용으로 사용된다. 파일럿 분사는 전자적으로 제어되고 주 디젤분사는 유체역학적으로 제어된다. 개별적으로 제어되는 솔레노이드 밸브는 엔진이 가스 모드에서 운전 시 모든 실린더에 파일럿 연료분사의 최적 타이밍과 최적 기간을 제공한다. NOx 형성은 주로 파일럿 연료량에 의존하기 때문에, 연소실에 희박한 공기-가스의 혼합을 위하여 확실하고 신뢰성이 높은 점화원을 사용하므로, 상기의 연료분사 밸브는 매우 낮은 NOx 형성이 가능하도록 설계한다.

(2) 가스 주입 밸브

가스는 공기가 흡기밸브에 들어가기 전에 실린더로 주입된다. 가스 주입 밸브는 각 실린더로 들어가는 가스의 양을 정확하게 조절하기 위해서 엔진 제어 시스템에 의해서 전자적으로 작동되고 제어된다. 각 실린더의 연소는 완전하게 개별적으로 제어 될 수 있다. 이 가스 주입밸브는 흡기 밸브에 관계없이 타이밍을 맞출 수 있기 때문에, 실린더에 있는 가스가 직접적으로 배기 시스템에 공급될 위험성 없이 소기 시킬 수가 있다. 독립적인 가스 주입은 효율과 유해배출물 측면에서 정확한 공연비와 최적의 작동점을 보장한다. 이것은 또한 정지, 노킹 및 점화실패 없이 신뢰성이 높은 성능을 유지시켜 준다. 가스 주입 밸브는 짧은 행정과 특별히 선택된 재질을 가지고 있어서 낮은 마모율과 긴 정비 주기를 제공하여 준다.

(3) 분사 펌프

바르질라 50DF 엔진은 바르질라사에 의해서 개발되고 잘 검증된 모노블록(monoblock) 분사 펌프를 이용한다. 이 펌프는 연료분사와 관계 있는 고압에 잘 견디고, 캐비테이션을 피하기 위해서 정압 경감 밸브를 갖는다. 연료 펌프는 항상 작동을 위하여 준비되어 있으며, 필요하다면 가스에서 연료유로 전환 할 수 있다. 플런저는 내마모 코팅이 되어 있다.

(4) 파일럿 펌프

파일럿 연료 펌프는 엔진 구동이다. 또한, 엔진 제어 장치로부터 정확한 연료 배출압력에 대한 신호를 받으며, 요구되는 압력을 단독적으로 맞추고 유지한다. 파일럿 펌프는 지배적인 연료 압력을 엔진 제어 시스템에 전달한다. 고압 연료는 커먼레일 파이프를 통해 각 연료분사 밸브에 공급되고, 커먼레일 파이프는 시스템 내에서 압력파에 대한 완충과 압력의 축적장치 역할을 수행한다. 연료시스템은 누설을 알리는 경보장치와 함께 2중벽으로 설계되어 있다.

(5) 운전모드 전환

엔진은 전부하의 80% 이하에서 연료유에서 가

스 작동모드로 자동적으로 전환 될 수 있다. 전환은 부하 변동 없이 운전자의 명령에 따라 자동적으로 수행된다. 약 1분 정도의 전환기간 동안에 연료유는 점진적으로 가스로 대체 된다. 엔진은 가스 공급 중단이 발생할 수도 있지만 어떤 부하에서도 순간적으로 그리고 자동적으로 가스로부터 연료유 작동으로 전환된다.

(6) 공연비 제어

어떤 운전 상태에서도 정확한 공연비는 성과와 에미션을 최적화하기 위해서 필수적이다. 바르질라 50DF 엔진은 배기가스 웨스트 게이트(waste-gate) 밸브가 갖추어져 있다. 배기가스의 일부는 웨스트 게이트 밸브를 통하여 터보차저를 바이패스(bypass) 한다. 이 밸브는 고부하 엔진 상태에서 여러가지 조건에 관계없이 공연비를 정확하게 조절한다. Fig. 5는 공연비를 제어하는 모습이다.

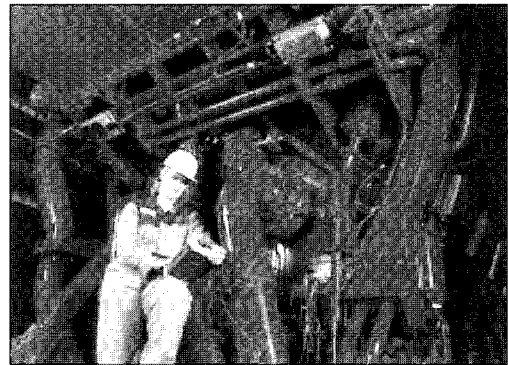


Fig. 5 Air-fuel ratio control

(7) 엔진 냉각시스템

50DF 엔진은 여러가지 냉각효과를 위해서 최적화된 유연한 냉각 시스템을 가지고 있다. 이 냉각 시스템은 고온(HT)용과 저온(LT)용의 분리된 2개의 회로를 가지고 있다. 고온용 회로는 저온용 회로가 윤활유 냉각기를 조절하는 동안에 실린더 라이너와 실린더 헤드의 온도를 제어한다. 또한, 이 회로들은 2단 과급 공기 냉각기 각각의 부분에 연결된다. 고온 및 저온용 물 펌프는 일반적으로 엔진 구동된다.

(8) 엔진 윤활장치

바르질라 50DF 엔진은 엔진 구동 오일 펌프를 가지고 있으며, 주로 엔진 외부에서 취급되는 습식(wet) 이나 건식(dry) 셉프(sump) 오일 시스템으로 갖추어져 있다. 박용 엔진은 건식 셉프 탱크이고, 발전기 엔진은 습식 셉프 탱크이다. 엔진으로 가는 오일의 통로는 전 유동(full-flow) 자동 필터 장치와 최종 보호를 위한 안전 필터를 경유한다. 윤활유는 전 유동 종이 카트리지 필터를 통하여 여과된다. 분리된 원심식 필터는 윤활유 내에서의 과도한 오물질의 표시기로서 작용한다. 분리된 전 윤활(pre-lubricating) 시스템은 엔진 부품의 마모를 피하기 위해서 엔진이 시동되기 전에 사용된다.

4. 자동화 및 운전 제어

4.1 자동화

모든 엔진의 기능은 엔진에 부착된 마이크로 프로세서를 기본으로 분산 제어 장치인 엔진 제어 시스템에 의해서 조절된다. 여러가지 전자식 모듈은 특정한 기능을 위해서 최적화 되었으며, CAN 데이터버스를 통해 서로 의사 전달이 된다.

엔진 제어시스템은 다음과 같은 이점을 제공한다.

- * 전용 커넥터와 조립식 케이블 장치 덕분에 쉬운 정비와 높은 신뢰성을 준다.
- * 데이터버스를 통하여 외부 시스템과 쉽게 접속할 수 있다.
- * 엔진 주위의 케이블을 줄여준다.
- * 높은 유연성과 고객의 요구에 접근이 쉽다.
- * 디지털화된 신호로써 전자기파의 방해로부터 자유스럽다.
- * 쉽게 수리하기 위한 내장형 진단장치가 있다.

4.2 운전 제어

(1) 주 제어 모듈

Fig. 6은 주 제어 모듈을 나타내고 있다. 엔진 제어 시스템의 핵심은 주 제어 모듈이며, 이것은

엔진을 신뢰성 있게 운전하고, 주위 온도 및 가스의 질과 같은 모든 운전 조건에서 최적의 성능으로 엔진을 유지시켜준다. 주 제어 모듈은 모든 다른 모듈에서 보내온 정보를 관독한다. 이러한 정보를 이용하여 주 가스 주입, 공연비 및 파일럿 연료의 양과 분사시기에 대한 기준 값을 결정하여 엔진의 속도와 부하를 조절한다. 주 제어 모듈은 엔진과 안전장치의 시동 및 정지와 관련된 과정을 자동적으로 제어 한다. 그 모듈은 또한 PLC (plant control system)와 함께 상호 의사 교환을 한다.

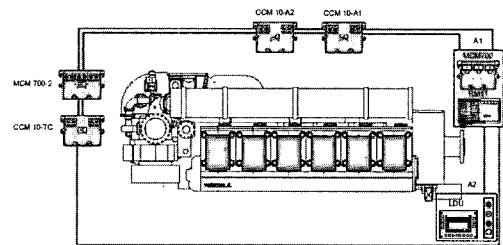


Fig. 6 Main control module

(2) 실린더 제어 모듈

각 실린더 제어 모듈은 3개의 실린더를 감시하고 제어하며, 각 실린더에 개별적으로 가스 주입을 조정함으로써 실린더의 일정한 공연비를 제어한다. 또한, 실린더에서 통제가 안된 연소인 노크의 세기를 측정하고, 그 정보는 일정한 파일럿 연료 분사시기와 가스 주입량을 조정하는데 사용된다. 가벼운 노킹에 대해서는 파일럿 분사 타이밍과 실린더의 일정한 공연비가 자동으로 조절되도록 하며, 심한 노킹에 대해서는 부하를 감소시키거나 가스를 차단하게 한다.

(3) 모니터링 모듈

모니터링 모듈은 센서그룹의 가까운 곳에 위치하여 엔진에서의 케이블 장치를 짧게 해준다. 모니터(감시)된 신호는 주 제어 모듈에 전달되고 엔진 제어와 안전장치용으로 사용된다. 또한, 모니터된 값들은 외부 제어 시스템과 상호 접촉하여 운전자에게 전송된다.

5. 보수유지

깨끗한 가스 덕분에 바르질라 50DF 엔진은 구성품의 수명과 보수정비(overhauls)의 주기를 길게 해준다. 하지만, 간편한 정비는 엔진설계에 있어서 핵심요소이다. 엔진은 검사와 정비를 용이하게 하기 위해서 크랭크 케이스와 크랭크 축으로 들어가는 큰 통로를 가지고 있으며, 이러한 방식은 사용가능한 곳에서는 폭넓게 이용되고 있다. 메인 베어링 캡은 상대적으로 무겁기 때문에, 각 베어링 캡은 캡의 조종을 쉽게 하기 위하여 영구히 고정된 유압잭과 함께 장착 되어 있다.

Fig. 7은 보수정비를 하는 모습을 보이고 있으며, 다음의 특징들은 바르질라 50DF 엔진의 쉬운 정비를 촉진시킨다.

- * 배기 시스템 주위에 절연 상자가 탄력성있게 설치되어 있으며, 절연판넬을 제거함으로써 파이프시스템에 쉽게 접근할 수 있게 해준다.
- * 동일한 실린더에 설치된 캡 축은 중간 베어링에 고정(Bolting) 된다.
- * 용이하게 작업을 할 수 있도록 특별히 설계된 넓은 범위의 특수공구와 측정장비 또한 유용하다.
- * 파일럿 펌프는 접근과 정비를 쉽게 하기 위해서 엔진의 앞쪽에 위치 한다.
- * 전기적으로 제어되는 가스주입 밸브는 기계적으로 움직이는 부분이 거의 없을 뿐만 아니라, 주기적으로 조정을 할 필요가 없음을 의미 한다.
- * 3 조각의 커넥팅 로드는 피스톤을 빼지 않고도 대단부(big-end) 베어링의 검사를 가능하게 하고, 대단부 베어링을 분해하지 않고도 피스톤을 정비할 수 있도록 해준다.

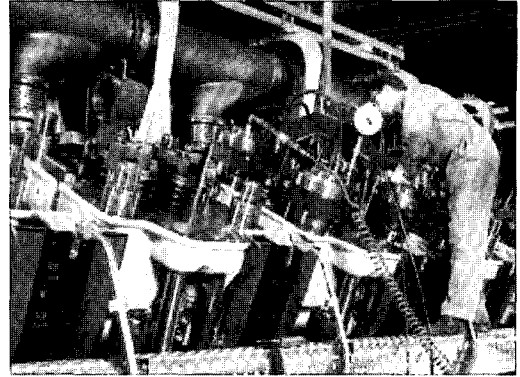


Fig. 7 Maintenance

6. 맺음말

선박은 다른 운송 수단에 비하여 가장 경제적인 운송 수단이며 선박 추진기관인 디젤엔진은 지난 일세기 동안 유가의 변동에 따라 많은 변화를 겪어왔다. 또한 금년 2월 15일 CO₂를 줄이기 위하여 선진국을 중심으로 교토 의정서가 발효되었으며 개발도상국들과 미국 등을 포함한 일부 반대국가들도 이를 피할 수 없을 것으로 생각된다. 따라서 이중연료를 사용하는 디젤엔진은 환경친화적인 저 NO_x, 높은 열효율 그리고 신뢰성을 바탕으로 차세대 LNG선박의 추진 동력원으로 자리 잡을 것이 확실시 되고 있다. Fig. 8은 바르질라 6DF50 엔진이 탑재된 74,000m³급 LNG선을 나타내고 있다.

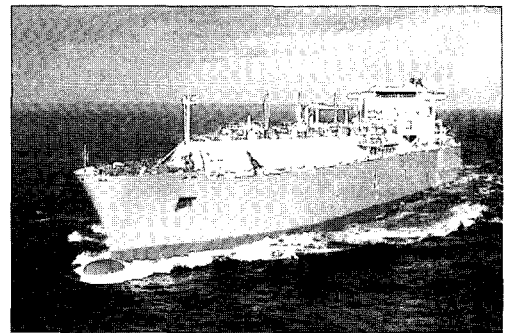


Fig. 8 74,000 m³ LNG carrier using Wärtsilä 6DF50 engine