

LNG극저온 펌프 시험용 냉매 순환 냉각 시스템

이근태, 최성웅, 김기덕, 김정훈, 고득용
한국기계연구원

1. 서 론

세계 에너지 수요 상승 및 고유가가 지속됨에 따라 청정성, 안전성, 편리성, 경제성 등의 장점을 가진 LNG 수요가 급증하고 있다.(그림 1) 또한, 지구환경문제 해결을 위해 국제해사기구(IMO)에서 선박 엔진의 NOx, SOx, PM 배출 규제를 강화함에 따라 청정연료인 LNG의 사용에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내 조선업은 약 70% 이상의 LNG 선박 건조 시장을 점유하고 있고, 청정연료 추진선박의 시장을 선도하기 위해 LNG 연료 추진선박 개발 완료 및 상용화를 추진하고 있다. 하지만 LNG극저온 장비의 핵심 극저온 기자재는 주로 미국, 유럽 등 선진사로부터 수입하고 있어 시장 경쟁력에 한계를 보이고 있는 실정이다.

극저온 기자재에 대한 해외 기술 종속을 탈피하고자 최근 국내에서도 조선/해양 플랜트 분야를 중심으로 극저온 펌프, 밸브, 열교환기, 압축기 등 관련 주요 기자재의 연구/개발이 활발히 진행되고 있으나, 관련 기업이 대부분 중소/중견기업들이고 자본력이 미약하여 고가의 극저온 시험 설비를 자체 보유하지 못하고 있으며 국내에도 LNG극저온 기자재의 성능평가 기관이 없기 때문에 대부분 해외 전문 기관의 성능평가/인증에 의존하고 있다. 이러한 이유 때문에 해외의 복잡한 인증 절차로 인한 제품개발 기간 상승, 국내 신제품 반출로 인한 국내 기술 해외 유출, 과도한 시험비용에 의한 개발 비용 상승 등의 문제점이 발생하여 LNG극저온 기자재의 국내 개발 및 조기 시장 진입의 저해요인으로 작용하고 있다.[1, 2]

이에 따라 한국기계연구원, 경상남도, 김해시가 공동으로 대한민국 조선-해양플랜트 산업의 육성을 위해 국내 처음으로 경상남도 김해 지역에 국제공인 시험인증 및 국제협력 사업 등 극저온 관련 산업 기술지원 및 기자재

개발 업무의 지원을 위해 “LNG·극저온기계 기술 시험인증센터(이하 LNG극저온센터)”를 구축하였다.(그림 2) LNG극저온센터는 특히 액화천연가스운반선인 LNG선 및 극저온용 기기분야 성능평가가 가능하게 구축되어 있으며 현재 LNG극저온 펌프 성능평가 시스템 준공 완료(2014년 10월) 후 예냉 등의 시운전을 앞두고 있다. 시운전 완료 후 한국인정기구인 KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme)에 인정 신청하여 국제공인 시험인증기관화를 추진할 예정이다.

이 글에서는 LNG극저온센터 성능평가 시스템 중 LNG극저온 펌프 성능평가 시스템에 대해 소개하고자 한다.

가스 수급 동향 및 전망



그림 1. 가스(LNG) 수급 동향[3].

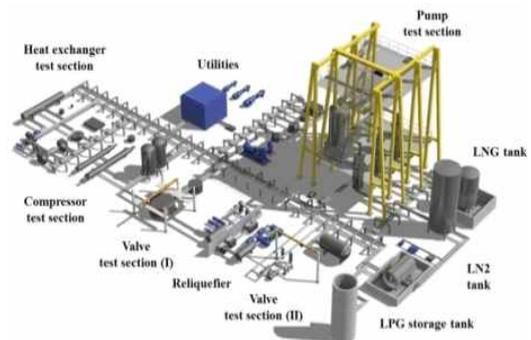


그림 2. LNG·극저온기계기술 시험인증센터 시험설비 조감도.

2. LNG극저온센터 성능평가 시스템

2.1 중앙공급시스템

LNG극저온센터 중앙공급시스템은 펌프, 밸브, 열교환기, 압축기 등의 LNG극저온 기자재 성능 평가가 가능하도록 극저온 작동 유체를 저장 및 공급하고, 제어시스템에 의하여 극저온 환경 유지 및 모니터링 할 수 있도록 설계/제작되었다.

주요 시험 기자재로는 그림 3과 같이 작동 유체를 보관하는 100m³ 용량의 LNG 저장탱크, 150m³ 용량의 LN₂ 저장탱크와 시험 설비 압력 제어 및 기액 분리를 위한 65m³ 용량의 Circulation Drum, 시험루프 내에서 열침입 및 압력강하로 발생하는 기체(BOG, Boil-Off Gas)를 재사용하기 위한 액체 질소로 냉각하는 열교환기(Chiller), 이상 상태 발생 방지를 위한 긴급차단밸브 등으로 구성되어 있다. 또한 주요 제어 기자재로는 제어 프로세스 신뢰성 향상 및 이상 발생 파급 효과 최소화하기 위한 분산제어 시스템(DCS, Distributed Control System), 안정적인 펌프 구동을 위한 고압(6600V) 및 저압(480V) 인버터 및 제어장치, 제어 밸브 공급용 공압 설비, 긴급 전원 차단을 대비한 UPS 및 비상발전기, 누설 및 화재 감지를 위한 가스 디텍터 및 불꽃 감지기 등으로 구성되어 있다.

시험 설비 상태 모니터링 및 시험 결과를 도출을 위한 압력, 온도, 진동, 유량, Tank 레벨 등의 계측 데이터와 시험환경 조성을 위한 펌프, 밸브, 히터 등의 주요 기자재의 동작 상태값은 모두 DCS로 전송되며 1msec로 저장 및 관리되게 구성하였다.



그림 3. LNG·극저온기계기술 시험인증센터 시험설비.

LNG극저온센터는 화재 폭발의 근원인 점화원을 제거하기 위하여 국가공인기관(한국산업 안전공단-KOSHA)의 시험에 합격한 전기 기자재를 사용하였고 기자재 방폭 구조는 방폭 지역 분류에 따라 내압 방폭 및 본질 안전 방폭으로 선정하여 설치하였다. 또한 예기치 못한 폭발 및 화재를 대비하고자 220m³ 용량의 소방용수 탱크, 토출 압력이 10Mpa이며 유량이 120m³/h인 주 소방펌프, 정전을 대비한 발전용 예비 소방펌프, 소방용수 압력 보충을 위한 충원 펌프를 설치하였다.

가연성 물질(LNG) 및 고압가스(LN₂)를 작동유체로 사용하는 LNG극저온센터의 안전 운전 및 사고 예방을 위하여 고압가스 안전관리법에 의거한 고압가스 제조시설의 완성 검사 필증을 획득하였고 산업안전보건법에 의거한 공정안전보고서(PSM, Process Safety Management) 시운전 중 심사를 진행 중이며 안전 및 안정적인 시험 설비 운영을 위해 지속적인 안전 관리를 수행 중이다.

LNG극저온센터는 선진사의 단일 품목 기자재 성능평가 시스템과는 다르게 펌프, 압축기, 밸브, 열교환기 성능평가 시스템을 유기적으로 통합 운영할 수 있는 중앙공급시스템을 구축하였으며 이로 인해 성능평가 시스템의 가동률 극대화, 시험비용 저감 및 시험시간 단축 등을 도모하여 후발 기관으로서의 단점을 극복하고 경쟁력을 확보할 수 있도록 하였다.

2.2 LNG극저온 펌프 성능평가 시스템

LNG극저온 펌프 성능평가 시스템은 표 1에 나타낸 바와 같은 LNG 운반선 펌프, LNG

표 1. 시험대상 LNG 펌프의 사양.

Item	LNG Cargo Pump	LNG Terminal Pump
Flow rate (m ³ /hr)	3,000	400
Head (m)	180	2,000
Power (kW)	740	1,100
Voltage (V)	440/6,600	440/3,300/6,600

극저온 냉동시스템 개발 현황

터미널 펌프 등의 LNG를 작동유체로 하는 펌프의 성능평가 수행을 목표로 하며 표 2와 같이 최대토출유량 3000m³/h이고 최대토출압력 2.0Mpa 내의 LNG극저온 펌프의 성능평가 수행이 가능하다. 사용 가능 전압은 3Φ 440/3300/6600V이고 최대 사용 전력은 750kW까지 시험이 가능하며 고/저압 인버터를 이용하여 주파수 조절(60Hz)을 통해 펌프가 가변 제어 할 수 있도록 설계되어 있다. 시험 대상 펌프 설치를 위해 15, 10, 7.6m³ 체적의 시험용기가 병렬로 연결되어 있어 시험 대상 펌프 사이즈 변화에 대응 가능하도록 구성하였다.(그림 4)

그림 5는 LNG극저온 펌프 성능평가 시스템의 PFD(Process Flow Diagram)을 나타내고 있다. 유량 3000m³/h급 LNG 운반선용 LNG Cargo 펌프 성능평가 시험 경우 성능평가에 필요한 작동유체는 저장탱크로부터 Circulation Drum으로 자동 공급되고, BOG를 제거한 -157.7℃, 0.12MPa 조건의 액체 상태의 유체만 시험 용기에 공급된다. 작동 유체는 시험 대상 펌프의 펌핑에 의해 압력이 10Mpa이상으로 상승되어 순환하며, 시험 루프 내에 압력 및 열손실에 의해 발생하는 기체 유체를 제거하기 위한 칠러를 통해 과냉각 되고 이후 압력제어밸브를 통해 시험 대상 펌프의 흡입 압력 수준인 0.12Mpa까지 감압되어 Circulation Drum으로 재순환되는 루프로 구성하였다. 작동 유체 과냉각용 LN₂ 공급은 LN₂ 저장탱크에서 펌프를 통해 칠러에 공급되며 유량은 최대 35.4m³/h의 공급 가능하고 작동유체 온도에 의해 공급 유량이 조절된다. 칠러에서 기화된 GN₂는

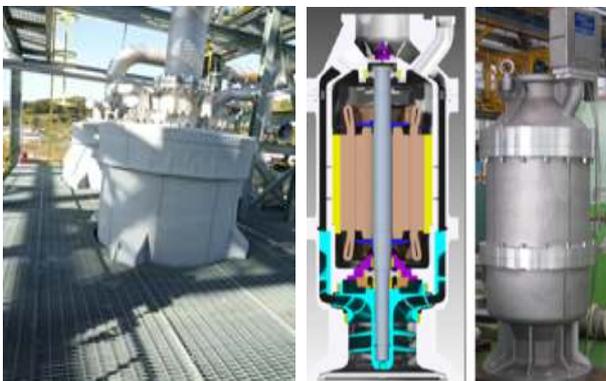


그림 4. LNG극저온 펌프 시험 용기 및 시험 대상 펌프.

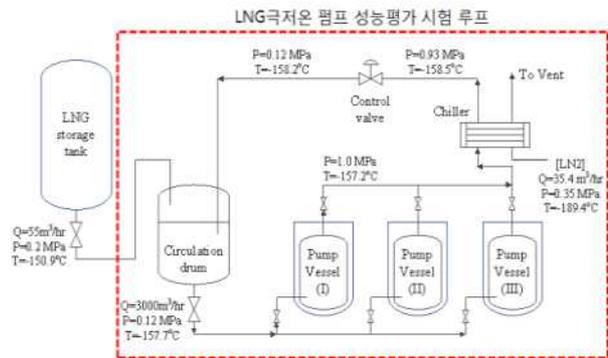


그림 5. LNG극저온 펌프 성능평가 시스템 개략도대상 펌프.

히터를 통해 상온으로 승온되고 굴뚝(Stack)을 통해 대기로 방출되게 구성하였다.

LNG극저온 펌프 성능평가 시험 방법은 국제표준규격인 ISO 13709(Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries, Second Edition 2009)에 의거하여 원심 펌프 시험 미국 국제 규격인 ANSI/HI 1.6-2000 (American National Standard for Centrifugal Pump Tests, November 2005 Release) 기준에 따라 수행된다.

LNG극저온 펌프 성능평가를 위해 국제 공인 인증된 센서를 설치하였고 진동, 작동 유체 밀도, 작동 유체 유량, 펌프 입력 Power, 펌프 입/출구 온도 및 압력, 펌프 시험 용기 레벨 등을 측정하여 식 (1)을 통해 펌프 출력, 식 (2)을 통해 펌프 효율, 식 (3)을 통해 양정 등을 도출하고 진동 수준, NPSH_R(Net Positive Suction Head Required) 등을 평가할 예정이다.

Table 2. LNG극저온 펌프 성능평가 시스템 사양

LNG 극저온 펌프	
• LNG 극저온 펌프 성능 및 기타 시험 평가 설비	
시험 범위	<ul style="list-style-type: none"> 유량 : 0 ~ 3000 m³/h 입구/출구 압력 : 0.1/1.0 MPa (설계기준 : Max. 2.0 MPa) 입구온도 : -163℃ 사용 전압 : 220/440/3,300/6,600 사용 전력 : 750kW
평가 항목	유량, 양정, NPSH _R , 효율, 진동 등

$$P_w = \frac{Q \times H \times s}{367} \quad (1)$$

Where, Q : Rate of Flow
 H : Total Head
 s : Specific Gravity

$$\eta_p = \frac{P_w}{P_p} \times 100 \quad (2)$$

Where, η_p : Pump Efficiency
 P_w : Pump Output Power

$$H = h_{g_d} + h_{v_d} + Z_d - h_s \quad (3)$$

Where, H : Total Head
 h_{g_d} : Gauge Head
 h_{v_d} : Velocity Head
 Z_d : Elevation Head
 h_s : Suction Head

시험 모드는 LNG극저온 펌프 제조사와 협의하여 총 5개소 이상 수행할 예정이나 만일 제조사의 의견이 없을 시 펌프 정지, 최소 유량, 최소와 정격 유량 사이, 정격 유량, 최대 허용유량 총 5개소로 규정하여 LNG극저온 펌프 성능평가를 수행할 예정이다.

3. 결 론

LNG극저온센터는 준공 후 현재 LNG극저온 펌프 성능평가 시스템 시운전 진행을 앞두고 있다. 시운전을 통하여 예냉 및 시험 절차 등을 정량적으로 확립 한 후 국제공인인증인 KOLAS 및 ILAC-MRA 획득 하여 국제공인 시험인증기관화를 추진할 예정이다. 동시에 LNG극저온 밸브, 열교환기, 압축기 등의 성능평가 시스템을 구축하여 종합 LNG극저온 핵심기자재 국제공인 성능평가기관으로 발돋움할 예정이다.

구축된 LNG극저온 펌프 성능평가 시스템은 실제 플랜트의 극한운전조건과 유사하게 모사할 수 있는 대형 시험설비로써 제품 개발 및 검증(국제공인) 시험을 수행하여 국내 관련 산업의 설계/제작 기술 고도화 및 성능인증 비용 절감 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 관련 기업의 기술 개발 의욕 제고 및 환경을 조성하여 수입 의존도가 높은 극저온용 핵심기기의 국산화 및 전방위적 산업경쟁력 확보가 가능할 것으로 기대 된다.

참고문헌

- [1] 지식경제부, “2011 산업 기술로드맵 주력산업-조선해양”, 2012
- [2] 한국기계연구원, “LNG Carrier용 펌프, 밸브 산업 현황과 성장분석”, Insight Me, No. 01, 2009
- [3] 한국가스공사, “가스(LNG) 수급 동향 및 전망”, 2015

저자이력



이근태(李根泰)
 1977년 11월 25일생, 2003년 부경대학교 냉동공조공학과 졸업, 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 현재 한국기계연구원 선임연구원



최성웅(崔盛雄)
 1978년 03월 16일생, 2005년 고려대학교 기계공학과 졸업, 2007년 서울대학교 기계항공공학부 대학원 졸업(공학석사), 2013년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 한국기계연구원 선임연구원



김기덕(金起德)
 1976년 12월 25일생, 2006년 한라대학교 기계공학과 졸업, 2008년 인하대학원 졸업(공학석사), 현재 한국기계연구원 선임기술원



김정훈(金貞勳)
 1980년 01월 02일생, 2006년 경남과학기술대학교 기계공학과 졸업, 현재 한국기계연구원 기술원



고득용(高得龍)
 1959년 02월 12일생, 1982년 한양대학교 기계공학과 졸업, 1985년 동대학원 졸업(공학석사), 2008년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 한국기계연구원 책임연구원