

무선 통신 기반 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템 개발

유승열¹·전민성²·이재철²·강동훈²·김동건³·이순섭^{2,†}
경상국립대학교 해양시스템공학과¹
경상국립대학교 조선해양공학과²
(주)엠테스³

Development of Wireless Communication Based Operation State Monitoring System for Open Rack Vaporizer

Seung-Yeol Yoo¹·Ming-Sung Joen²·Jae-Chul Lee²·Dong-Hoon Kang²·Dong-Goen Kim³·Soon-Sup Lee^{2,†}
Department of Ocean System Engineering, Gyeongsang National University¹
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Gyeongsang National University²
MTESS Co., Ltd³

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

An open rack vaporizer is a facility that vaporizes liquefied natural gas using sea water. When a vaporization efficiency of the open rack vaporizer decreases, liquefied natural gas can leak, which can cause great damage to the facility. Operators have to monitor the operation state of the facility in real-time to prevent the accident. However, operators have visited the site and have checked the state by looking at the value of sensors installed in the open rack vaporizer through indicators. For the safe operation of the open rack vaporizer, a monitoring system is needed to monitor the operation state of the open rack vaporizer in real-time without the need for operators to visit the site. In this paper, we developed a long term evolution based monitoring system to monitor the operation state of the open rack vaporizer. The developed system can monitor the real-time operation state of the open rack vaporizer at a control center far from the facility. For the system development, data transmission infrastructure using long term evolution was built. Afterwards a software was developed to monitor the operation state of the open rack vaporizer in real-time using the transmitted data. Finally, performance evaluation was conducted to confirm that the developed system operated successfully without data transmission delay or data missing.

Keywords : Long term evolution(엘티이), Monitoring at a long distance(원거리 모니터링), Open rack vaporizer(해수식 기화기), Operation state(운영 상태), Real time monitoring system(실시간 모니터링 시스템)

1. 서론

액화천연가스 기화기의 한 종류인 해수식 기화기는 액화천연가스(Liquefied Natural Gas, LNG)를 취급하므로 화재 및 폭발 사고가 발생할 경우 대규모의 피해를 유발할 수 있다. 또한 단순 누출 사고가 발생할 경우에도 매우 낮은 온도(약 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$)의 액화천연가스로 인해 장비나 설비 손상으로 이어질 수 있어, 해수식 기화기의 안전한 운영을 위한 시스템적 요건이 마련되어야 한다(Lee, 2018; Ma et al., 2006).

액화천연가스를 취급하고 있는 산업 분야에서는 액화천연가스 취급 설비의 안전한 운영을 위해, 위험성 평가를 실시하고(Kang et al., 2009) 통합 안전 관리 시스템을 개발하고 있으며(Lee et al., 2008), 고장을 진단하고 예지하여 사전에 사고를 방지하기 위한 연구(Kim et al., 2016; Lee, 2016)를 진행하고 있다.

그러나 해수식 기화기의 경우, 운용자가 필요시 현장에서 지시계를 통해 센서로 계측한 값을 확인하는 단계에 머물러 있다. 이로 인해 실시간으로 해수식 기화기의 운영 상태를 파악하는 것이 불가능하고, 센서로 계측한 해수식 기화기의 운영 상태를 관리할 수 없으므로 통합 안전 관리 시스템, 고장 진단 및 예지 시스템의

개발이 불가능하다. 즉, 해수식 기화기의 안전한 운영을 위해서는 운영자가 상시 근무할 수 있는 관제 센터에서 해수식 기화기 운영 상태 계측 데이터를 전송받아 이를 활용할 수 있도록 데이터베이스화하고, 실시간으로 해수식 기화기의 운영 상태를 모니터링하기 위한 시스템이 개발되어야 한다.

4차 산업혁명 시대인 최근, 정보통신기술(Information and Communications Technology, ICT)의 급속한 발달로 타 산업분야에서는 이미 현장이 아닌 원거리에 있는 관제 센터에서 설비 또는 장비의 운영 상태 계측 데이터를 활용하여 모니터링하기 위한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어 스마트 선박 분야에서는 해상에서 있는 선박의 정보를 실시간으로 육상에 전송하고 육상 관제 센터에서 선박을 모니터링 및 제어하기 위한 연구가 진행 중에 있으며 (Jeong et al., 2018; Kim et al., 2017), 스마트 야드에서는 작업자의 안전을 위해 중장비의 운영 위치 또는 접근 상태를 알리거나 생산 공정 중 사용되는 설비 또는 장비들의 운영 상태를 관리자가 확인하기 위한 연구 (Kim et al., 2021; U et al., 2018)가 진행되고 있다. 이들 연구는 각각 다른 통신망을 사용하였으나, 원격지에서 운영 상태 계측 데이터를 활용하여 운영자 또는 관리자가 설비 또는 장비의 운영 상태를 실시간으로 모니터링한다는 공통점이 있다.

따라서 본 연구에서는 원거리에 위치한 관제 센터에서 해수식 기화기의 실시간 운영 상태를 모니터링하기 위한 시스템을 개발하였다. 이를 위해 원거리에서 해수식 기화기 운영 상태 계측 데이터를 전송하고 저장하기 위한 무선 통신 기반의 데이터 전송 인프라를 구축하였으며, 운영 상태 계측 데이터를 활용하여 해수식 기화기의 운영 상태 파악을 위한 정보들을 실시간으로 제공하는 모니터링 소프트웨어를 개발하였다. 최종적으로 개발한 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 성능 평가를 수행하였다.

2. 해수식 기화기의 사고 위험성

2.1 해수식 기화기

천연가스는 탐사 및 채굴 후 액체 상태의 액화천연가스로 수송된다. 그러나 천연가스를 연료로 사용하기 위해서는 액체 상태로 수송된 액화천연가스를 다시 기화시켜야 한다. 이때 사용되는 설비가 액화천연가스 기화기이다.

액화천연가스 기화기는 프로판이나 물, 글리콜 혼합액 등을 열매체로 사용하는 중간 유체 증발기, 공기를 열매체로 사용하는 대기식 기화기, 해수를 사용하여 액화천연가스를 기화시키는 해수식 기화기와 같이 액화천연가스를 기화시키기 위해 사용하는 열매체에 따라 다양한 종류가 있다. 또한 겨울철에 하락하는 해수식 기화기의 성능을 보조하기 위해 연료를 사용하여 해수를 가열함으로써 액화천연가스를 기화시키는 연소열 기화기와 같이 보조적 용도로 사용하는 기화기도 존재한다.

이 중 해수식 기화기는 천연 열매체인 해수를 사용하여 액화천연가스를 기화시키므로 운영비용이 상대적으로 저렴하다는 장점이 있다. 또한 해수의 수온이 5°C 이상일 경우 우수한 기화 성능을 보여, 겨울철과 같이 해수의 온도가 낮은 상황을 제외한다면 운영비용 대비 기화 효율이 좋다 (Kim and Yun, 2019).

이러한 이유로 전 세계 액화천연가스 터미널 기화설비 중 해수식 기화기가 90 %를 차지하고 있으며, 우리나라에서도 해수식 기화기를 많이 사용하고 있다.

2.2 사고 위험성

해수식 기화기는 기화 효율 감소로 인해 액화천연가스 누출 사고가 발생할 위험이 있다. 즉, 기화 효율 감소를 유발하는 요인을 파악하여 액화천연가스 누출 사고를 방지해야 한다.

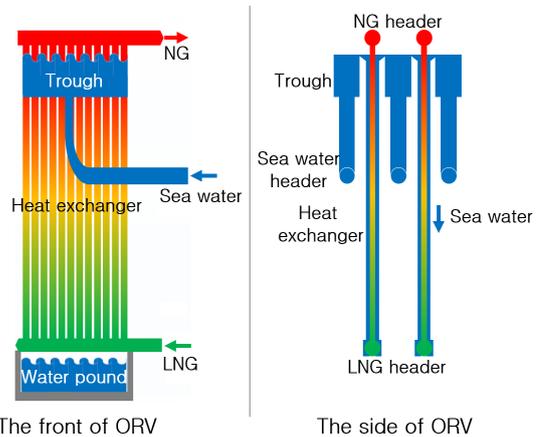


Fig. 1 Structure of an open rack vaporizer

Fig. 1과 같이 해수식 기화기는 하단부에 위치한 액화천연가스 헤더를 통해 액화천연가스가 공급되고, 전열관을 통해 상단부로 이동하는 동안 해수가 전열관을 타고 흘러내리면서 액화천연가스의 온도를 상승시켜, 천연가스 헤더에서 기화된 천연가스가 배출되도록 한다. 이 과정에서 열매체로 사용하는 해수의 온도가 5°C 이하로 떨어지면 기화 효율이 급격히 감소한다. 해수를 공급하는 과정에서 해초류나 따개비 등이 유입될 수 있는데, 이것이 기화기 표면에 달라붙는 경우에도 기화 효율이 떨어진다 (Won, 2015). 기화 효율이 감소하면 액화천연가스가 정상적으로 기화하지 못해 파이프 내부에 잔류하면서, 파이프 주변의 해수를 얼게 만든다. 이로 인해 파이프의 소성 변형 및 파손이 발생하여 액화천연가스가 누출될 수 있다.

따라서 해수식 기화기의 기화 효율 감소로 인한 액화천연가스 누출 사고를 방지하기 위해서, 해수식 기화기 운용자는 해수의 온도와 액화천연가스가 지나가는 전열관의 온도를 실시간으로 확인하여 기화 효율이 감소하지 않도록 조치를 취하거나, 기화 효율 감소 문제가 이미 발생하였다면 이를 빠르게 해결해야 한다.

3. 모니터링 시스템 개발

개발한 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템은 해수식 기화기와 멀리 떨어진 관제 센터에서 해수식 기화기의 운영 상태를 실시간으로 모니터링하기 위한 시스템이다. 즉, 관제 센터에서 액화천연가스의 상태 정보와 기화된 천연가스의 상태 정보를 파악해야 하며, 해수식 기화기의 기화 효율 감소 여부를 파악하기 위해 해수 공급량 및 공급되는 해수의 온도 그리고 전열관의 온도에 대한 정보를 실시간으로 파악해야 한다.

Fig. 2는 이를 파악하기 위해 해수식 기화기 테스트 베드에 설치한 센서의 종류 및 위치를 나타낸 것이다. 공급되는 액화천연가스의 온도와 압력을 파악하기 위해 액화천연가스 헤더에 온도 센서와 압력 센서를 설치하였으며, 기화되어 배출되는 천연가스의 온도, 압력 및 배출량을 확인하기 위해 천연가스 헤더에 온도 센서, 압력 센서 그리고 유량 센서를 설치하였다.

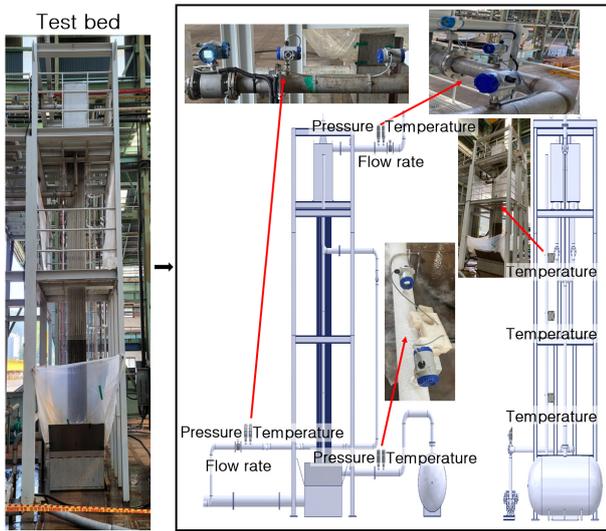


Fig. 2 Location of sensors installed test bed

또한 충분한 양의 해수 공급 여부 및 공급되는 해수의 온도를 확인하고자 해수 헤더에는 압력 및 유량 센서와 온도 센서를 설치하였다. 전열관에는 세 개의 온도 센서를 설치하여 전열관의 온도를 계속하였다.

이렇게 센서를 설치하여 해수식 기화기 운영 상태 계속 데이터를 획득한 후, 원거리에서 실시간으로 모니터링하도록 해수식 기화기 운영 상태 계속 데이터를 실시간으로 전송하기 위한 인프라를 구축하였다.

3.1 데이터 계측을 위한 인프라 구축

해수식 기화기의 운영 상태를 원거리에 위치한 관제 센터에서 실시간으로 모니터링하기 위해 해수식 기화기 운영 상태 계속 데이터를 1초 간격으로 전송 가능하도록 Fig. 3과 같이 데이터 전송 인프라를 구축하였다. Fig. 3에서 'FM'은 유량 센서, 'P'는 압

력 센서 그리고 'T'는 온도 센서이다. 센서와 센서 데이터 전송 장치는 유선으로 연결되어 있고 센서를 통해 계측된 액화천연가스의 압력과 온도, 해수 및 천연가스의 유량, 압력 그리고 온도 계속 데이터를 실시간으로 센서 데이터 전송 장치로 전달한다. 센서 데이터 전송 장치에는 엘티이(Long Term Evolution, LTE) 라우터를 장착하여, 엘티이 통신망을 통해 계속 데이터들을 서버로 전송 및 데이터베이스화하였다. 모니터링 소프트웨어는 데이터베이스에 접근하여 계측 데이터들을 받아오고 이를 가시화하였다.

해수식 기화기 운영 상태 계속 데이터를 전송하기 위한 통신망을 엘티이 통신망으로 선택한 이유는 통신망 구축비용 및 용이성, 데이터의 전송 거리, 속도 및 통신망의 안정성에 있다.

현재 운영되고 있는 해수식 기화기에서 운용자는 계속 데이터를 지시계를 통해 확인하고 있으며, 계속 데이터를 서버에 전송하여 저장하거나 관리하지 않는다. 즉, 계속 데이터를 실시간으로 전송하기 위해서는 통신망을 새로 구축해야 한다. 유선 통신망을 구축하려면 케이블을 설치 및 매설하는 작업이 필요하며 거리가 멀어질수록 통신망 구축에 필요한 비용이 증가하나, 무선 통신의 경우 라우터를 설치하는 것과 같이 비교적 간단하고 낮은 비용으로 통신망을 구축할 수 있으므로 유선 통신망을 제외하였다.

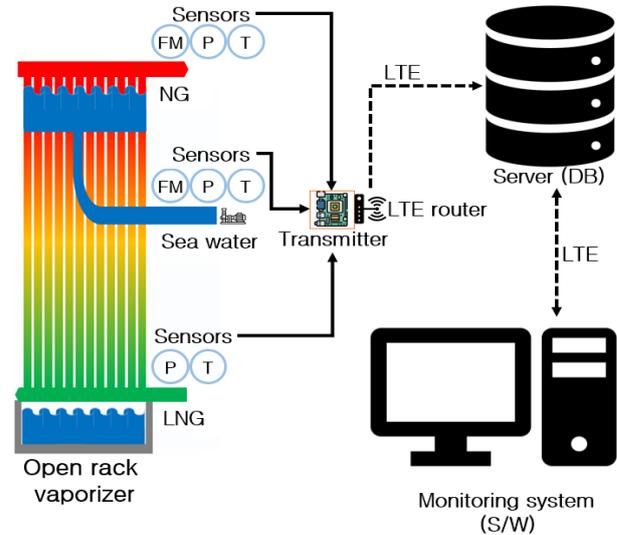


Fig. 3 Construction of infrastructure for operation state monitoring system for open rack vaporizer

무선 통신망 중 블루투스, 지그비(zigbee) 그리고 와이파이(Wireless Internet, Wif-Fi)는 장거리 데이터 통신이 어려우므로 제외하였다. 로라(Long range, LoRa)는 전력 소모가 적으며 기지국이나 중계기를 필요로 하지 않는다는 장점이 있으나, 20 km 정도의 통신 한계 거리 (Han and Lee, 2018)를 가지고 있어 제외하였다. 위성 통신은 거리 문제로부터 자유로우나 속도가 상대적으로 느리고 비용적인 측면에서 부적합하여 제외하였으며, 거리와 속도 측면에서 우수한 5G는 전국적으로 통신망이 구축되어 있는 엘티이 통신망에 비해 구축 규모가 작아, 수도권과 대도시

를 벗어나면 상대적으로 안정성이 떨어지므로 제외하였다.

최종적으로 이미 상용화된 통신망을 사용하므로 새로운 통신망을 구축할 필요가 없고, 속도와 안정성 측면에서 가장 적합한 엘티이 통신망을 선정하였다.

해수식 기화기 운영 상태 계측 데이터를 전송하기 위한 통신망을 선정한 후, 이러한 데이터를 저장하고 관리하기 위해 통합 서버에 데이터베이스를 구축하였다. 이는 해수식 기화기 모니터링 시스템의 확장성을 고려한 결과이다.

현재의 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템은 해수식 기화기 테스트 베드의 운영 상태를 모니터링한다. 설비 한 대의 운영 상태를 모니터링하므로 운영 상태 계측 데이터를 시스템에 직접적으로 전송하여 모니터링을 실시하는 것이 효율적이다. 그러나 현장에서는 다수의 해수식 기화기를 복합적으로 사용하는 경우도 있다. 다수의 해수식 기화기로부터 운영 상태 계측 데이터를 전송받을 경우, 각 설비 별 데이터를 분리 및 구분하여 저장하고 관리하기 위해 통합 데이터베이스를 구축하는 것이 유리하다. 따라서 단일 설비의 운영 상태를 모니터링하는 상황임에도 불구하고, 향후 다수의 해수식 기화기 운영 상태를 모니터링하는 시스템으로 확장을 고려하여 통합 서버를 설치하고 데이터베이스를 구축하였다.

해수식 기화기 운영 상태 계측 데이터 전송을 위한 통신망을 선정하고 전송된 데이터를 저장 및 관리하기 위한 통합 서버를 구축한 후, 모니터링 소프트웨어를 개발하기 위해 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 구성과 기능을 선정하였다.

3.2 시스템 구성 및 기능

해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 구성과 필요 기능을 정의하기 위해 실제 해수식 기화기 운영 전문가와 회의를 진행하였으며, Fig. 4는 결정된 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 구성도이다.

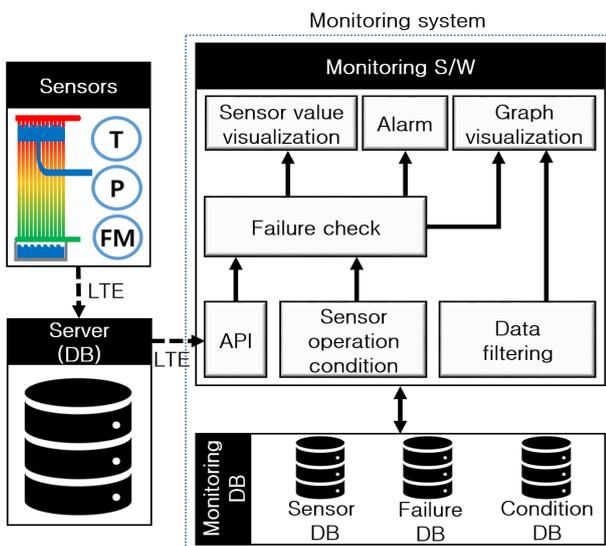


Fig. 4 Structure of the monitoring system

센서 운영 조건(Sensor operation condition) 설정 기능, 고장 점검(Failure check) 기능, 데이터 필터링(Data filtering) 기능, 센서값 가시화(Sensor value visualization) 기능, 알람(Alarm) 기능 그리고 그래프 가시화(Graph visualization) 기능으로 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템을 구성하였다.

센서 운영 조건 설정 기능은 해수식 기화기 운용자 또는 관리자가 센서의 운영 조건 범위를 설정하기 위한 것이며, 설정값에 따라 고장 점검 기능에서 운영 상태 계측 데이터를 정상, 이상 및 고장으로 분류하였다. 만약 운영 상태 계측 데이터에 노이즈가 있어 해수식 기화기의 운영 상태를 파악하기 어려운 구간이 존재하면, 필터링 기능으로 해당 구간의 노이즈를 제거하였다.

센서값 가시화 기능은 의미 그대로 정보 가시화를 위한 것으로, 실시간 운영 상태 계측 데이터와 이를 계측한 센서 및 해당 센서의 설치 위치를 가시화하였다.

알람 기능은 해수식 기화기에서 이상 및 고장이 발생하면 이를 알려주고 과거의 이상 및 고장 발생 이력을 제공하는 기능이며, 그래프 가시화 기능을 통해 센서값의 실시간 변화와 데이터 필터링 결과를 그래프로 가시화하였다.

3.3 그래픽 사용자 인터페이스

해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 필요 기능을 정의한 후 그래픽 사용자 인터페이스(Graphical User Interface, GUI)를 설계하였다. 그래픽 사용자 인터페이스 설계 목표는 시인성을 높이고 조작 횟수를 최소화하는 것이다.

해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템에서 제공하는 정보를 하나의 화면에 모두 가시화하면 시인성이 떨어지고, 다수의 화면에 분류하여 가시화하면 특정한 화면으로 이동하기 위한 조작이 필요하다. 따라서 정보가 가시화되는 최적의 화면 수를 결정하고 필요한 조작 행위를 정의하여, 시인성과 조작 횟수 최소화에 대한 균형을 맞추었다.

화면 수는 총 여섯 개로, 메인 화면과 다섯 개의 보조 화면을 구성하였다. 해수식 기화기 운용자가 상시 확인해야 하는 정보 및 즉각적으로 확인해야 하는 정보를 메인 화면에서 제공하고, 그 외에 운용자가 필요시 추가적으로 확인할 필요가 있는 정보들은 각각 보조 화면에서 제공하도록 구성하였다.

메인 화면과 다섯 개의 보조 화면을 구성한 후에는 메인 화면과 보조 화면 사이의 상호 작용 및 각 화면별로 가시화되는 정보를 얻기 위해 필요한 행위를 정의하고 최소한의 조작으로 이를 행할 수 있도록 버튼과 같은 컴포넌트(component)를 선정하여 배치하였다.

Fig. 5는 이러한 절차로 시인성과 조작 횟수 최소화를 고려하여 설계한 메인 화면의 그래픽 사용자 인터페이스 설계 결과이다. 메인 화면에서는 해수식 기화기 캐드 모델의 정면도와 측면도를 사용하여 어떤 센서가 어느 위치에 설치되어 있는지를 가시화하고, 각 센서들이 위치한 곳에서 센서 계측 데이터를 함께 가시화하였다. 또한, 이상 및 고장 발생 유무 확인을 위해서 각 센서들의 아이콘을 배치하였다. 해수식 기화기의 운영 상태에 따라 아

이콘의 색깔이 초록색(정상 상태), 노란색(이상 상태) 또는 빨간색(고장 상태)으로 변화도록 하여 이상 및 고장 발생 시 이를 즉각적으로 확인할 수 있다.

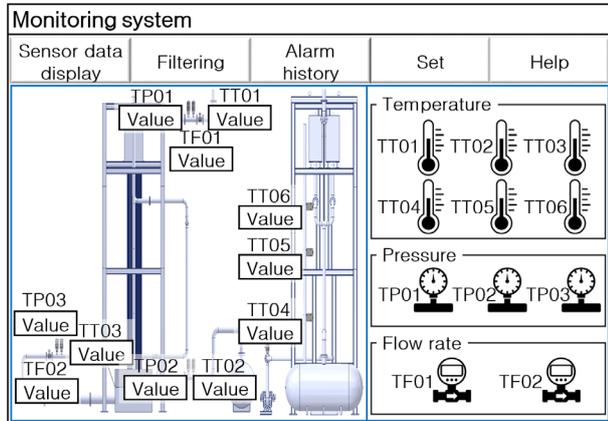


Fig. 5 Graphical user interface for the monitoring system - main view

조작 횟수 최소화를 위해, 메인 화면에서 이러한 정보를 확인함에 있어서 추가의 조작이 없도록 하였다.

메인 화면 상단에 위치한 버튼은 보조 화면에 접근하기 위한 것이다. 필요시 버튼을 누르면 센서로 계측한 데이터의 실시간 변동값, 데이터 필터링 결과 값, 이상 및 고장 발생 이력, 센서 운영 조건 설정값 또는 도움말을 제공하는 보조 화면으로 이동한다.

3.4 시스템 구현

그래픽 사용자 인터페이스 설계를 완료한 후 해수식 기화기 운

영 상태 모니터링 시스템을 구현하였다. 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 개발 환경은 비주얼 스튜디오 2019(Visual studio 2019)이며, 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 필요 기능들은 c#으로 구현하였다. 그래픽 사용자 인터페이스는 c#의 윈도우즈 폼(windows form)을 사용하여 구현하였다.

해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템을 구현한 후 원거리에서 해수식 기화기 운영 상태를 실시간으로 모니터링하기 위해, 거제에서 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 소프트웨어를 실행하여 창원에 설치된 해수식 기화기 테스트 베드의 운영 상태를 모니터링하였다.

실제로 해수식 기화기 테스트 베드에 이상 또는 고장을 일으킬 경우 안전사고가 발생할 위험이 있어, 이상 또는 고장 발생 유무와 과거에 있었던 이상 및 고장 이력을 모니터링할 때에는 센서 운영 조건 설정값을 변경하여 해수식 기화기 테스트 베드가 정상 운영함에도 이상 또는 고장이 발생한 것으로 인식되도록 하였다.

Fig. 6은 이러한 조건에서 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템을 실행한 화면을 나타낸 것이다.

TT는 온도 센서를, TP는 압력 센서를, TF는 유량 센서를 의미한다. 따라서 메인 화면에서는 기화되어 배출되는 천연가스의 온도(TT_01), 압력(TP_01) 및 배출량(TF_01), 해수식 기화기에 공급되는 액화천연가스의 온도(TT_02)와 압력(TP_02), 열매체로 사용되는 해수의 온도(TT_03), 압력(TP_03) 및 공급량(TF_02) 그리고 전열관의 위치별 온도(TT_04 ~ TT_06)에 대한 실시간 운영 상태 계측 데이터를 가시화하였다. 또한 메인 화면의 오른쪽에 위치한 각 센서 아이콘의 색깔로 정상(초록색), 이상(노란색) 및 고장(빨간색) 상태를 나타내었다.

해수식 기화기 운영 상태 계측 데이터는 1초 간격으로 전송되지만 메인 화면에서는 3초 간격으로 가시화하였다. 1초마다 운영 상태 계측 데이터를 가시화할 경우 값이 빠르게 변동되어 사용자

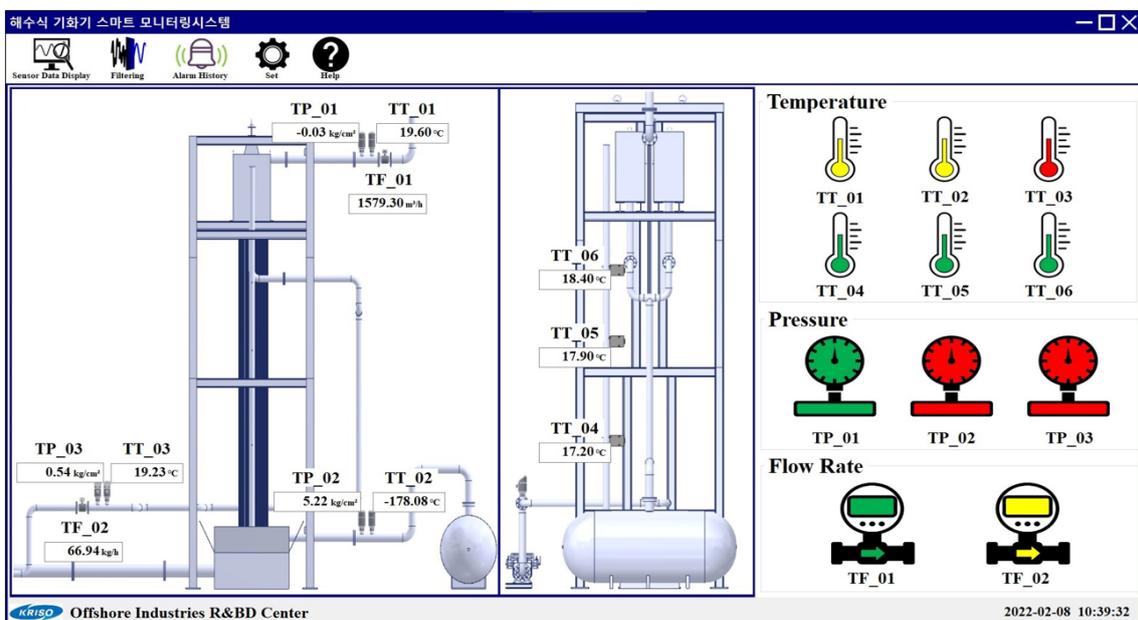


Fig. 6 Implementation results of the monitoring system - main view

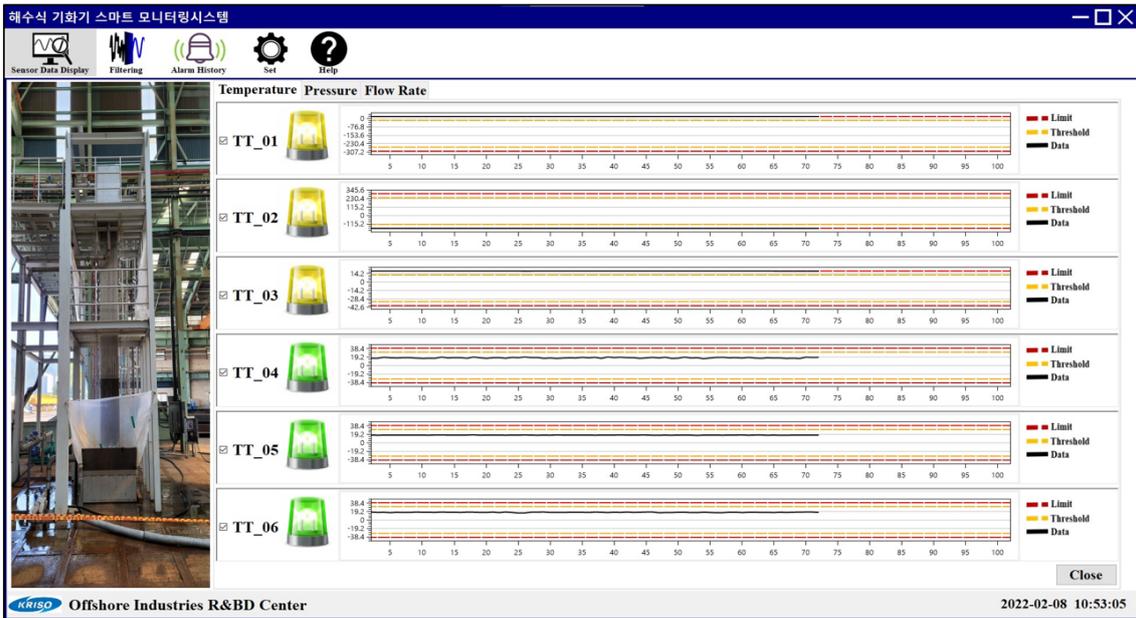


Fig. 7 Implementation results of the monitoring system – sensor data display view

가 숫자를 파악하는데 어려움이 있어, 3초 간격으로 운영 상태 계측 데이터를 가시화하였다.

메인 화면에서 ‘Sensor data display’ 버튼을 누르면 1초마다 갱신되는 운영 상태 계측 데이터를 그래프로 확인할 수 있다. ‘Sensor data display’ 화면에서는 온도 센서, 압력 센서 그리고 유량 센서로 구분하여 운영 상태 계측 데이터를 나타내었다.

Fig. 7에서는 온도 센서로 계측한 값을 1초 간격으로 갱신하여 그래프로 가시화하고 있다. 그래프에서 빨간색 점선 사이의 영역은 정상 운영 조건 범위이며, 노란색 점선은 정상 운영 조건 범위의 70%에 대한 영역이다. 노란색 점선과 빨간색 점선 사이에 운영 상태 계측 데이터가 나타나면 고장이 발생한 것은 아니나 고

장이 발생할 위험이 높은 이상 상태이며, 빨간색 점선 밖에 나타나면 정상 운영 조건 범위를 벗어난 것으로 고장으로 판단하였다. TT_01, TT_02 그리고 TT_03은 운영 상태 계측 데이터가 노란색 점선과 빨간색 점선 사이에서 나타나므로 배출되는 천연가스, 공급되는 액화천연가스 그리고 해수의 온도에 이상이 있으며, TT_04, TT_05 그리고 TT_06은 노란색 점선 안쪽에 운영 상태 계측 데이터가 나타나므로 전열관에서의 온도는 정상이다.

Fig. 8은 메인 화면에서 ‘Filtering’ 화면을 실행할 때 나타나는 화면이다. ‘Sensor data display’ 화면과 동일하게 온도 센서, 압력 센서 그리고 유량 센서로 구분하여 각 센서 별 운영 상태 계측 데이터의 데이터 필터링 결과를 확인할 수 있다. 검색 기간에서

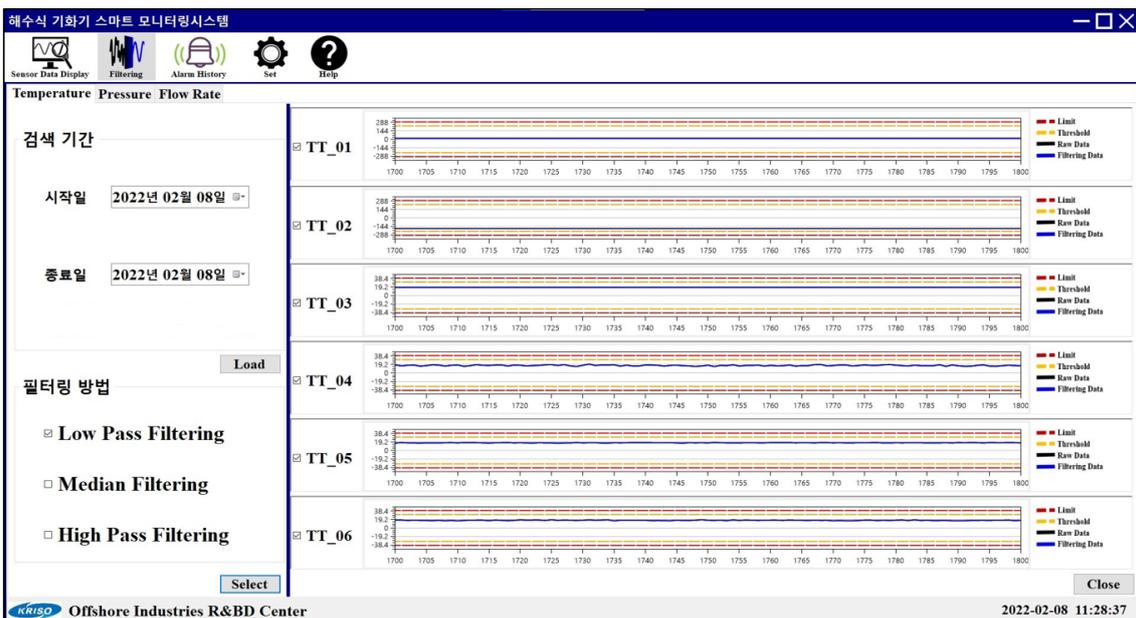


Fig. 8 Implementation results of the monitoring system – filtering view

데이터 필터링이 필요한 구간의 날짜를 선택하고 데이터 필터링 방법을 선택하면 노이즈가 제거된 결과를 그래프로 가시화하였다. 이때 선택할 수 있는 데이터 필터링 방법은 해수식 기화기 운용자의 요구사항에 따라 저역 통과 필터, 중간값 필터 그리고 고역 통과 필터로 구성하였다. Fig. 8은 2022년 2월 8일에 계측된 온도 데이터에 저역 통과 필터를 적용하여 데이터 필터링을 실시한 결과이다. 그래프의 검은 실선은 원시 데이터(raw data)이며, 파란 실선은 필터링 결과 값이다. 정상, 이상 그리고 고장 상태는 'Sensor data display' 화면과 동일하게 빨간색 점선과 노란색 점선으로 구분하였다.

3.5 시스템 성능 평가

해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템을 구현한 후 성능 평가를 수행하였다.

먼저, 엘티이 통신망에서 데이터 손실 또는 전송 지연 문제없이 해수식 기화기 운영 상태 계측 데이터가 실시간으로 전송되고 가시화되는가를 평가하였다. 이를 위해서 화상회의를 통해 해수식 기화기 테스트 베드 운용자와 실시간으로 성능 평가를 수행하였다. 해수식 기화기 테스트 베드를 작동시키고 동시에 서버의 데이터베이스에 해수식 기화기 계측 데이터가 저장되고 이것이 다시 해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템에 가시화되기까지, 각자 스톱워치를 사용하여 센서의 지시계에 표시된 값, 데이터베이스에 전송된 데이터의 값, 해수식 기화기 운영상태 모니터링 시스템에 가시화된 값을 비교하고 각 값이 나타난 시각을 확인하였다. 성능 평가는 한 번 실시할 때마다 30분씩 3회 측정하였고, 3회 측정 과정에서 이상이 없으면 720분 측정을 1회 실시하였으며 총 세 번의 성능 평가를 수행하였다.

성능 평가 결과 해수식 기화기 테스트 베드를 작동시키고 해수식 기화기 운영상태 모니터링 시스템에서 가시화가 시작되기까지 최대 0.3초의 전송 지연이 발생하였다. 해수식 기화기 테스트 베드가 작동된 후 최초로 센서 데이터를 전송하기까지 시간이 걸려 이러한 현상이 나타났다. 최초의 한 번을 제외하고 엘티이 통신망 환경에서 데이터 전송 지연 문제는 발생하지 않았으며 데이터 손실 문제도 발생하지 않았다.

다음으로 해수식 기화기 운영 상태를 모니터링하기 위해 구현한 센서 운영 조건 설정 기능, 고장 점검 기능, 센서값 가시화 기능, 알람 기능, 그래프 가시화 기능 그리고 데이터 필터링 기능이 정상적으로 작동하는가를 확인하였다. 센서 운영 조건 설정 기능을 확인하기 위해 설정값을 변경하면 변경한 값이 고장 점검 기능에 전달되어 정상, 이상 그리고 고장 상태 구분을 위한 센서 운영 조건 범위가 설정값에 맞게 변동되는가를 확인하였다. 이후 고장 점검 기능에서 운영 상태 계측 데이터를 실시간으로 설정값에 맞게 정상, 이상 그리고 고장으로 분류하였는가를 확인하였다. 센서값 가시화 기능에서는 실시간으로 운영 상태 계측 데이터가 가시화되는 것과 센서 종류 및 설치 위치가 정상적으로 표기되고 있는지를 확인하였으며, 알람 기능에서 실시간으로 이상 및 고장 상태를 알려주고 발생 이력을 저장하는지를 확인하였다.

그래프 기능에서는 1초 간격으로 운영 상태 계측 데이터가 그래프로 가시화되는가를 확인하였으며, 설정값에 맞게 노란색과 빨간색 점선이 표기되어 이상 및 고장 상태 발생 영역을 표기하는지를 확인하였다. 필터링 기능에서는 선택한 날짜의 운영 상태 계측 데이터를 누락 없이 불러오는지, 저역 통과 필터, 중간값 필터 그리고 고역 통과 필터 중 하나를 선택하면 선택한 필터로 데이터 필터링을 실시하는지를 확인하였으며, 필터링 결과를 확인하여 저역 통과 필터, 중간값 필터 그리고 고역 통과 필터에 대한 성능 또한 확인하였다.

해수식 기화기 운영 상태 모니터링 시스템의 구현 기능에 대한 성능 평가 결과, 설계 목적에 맞게 정상 작동하는 것을 확인하였다.

4. 결론

해수식 기화기는 기화 효율이 감소할 경우 액화천연가스 누출 사고가 발생할 수 있어, 운영 상태를 실시간으로 모니터링할 필요가 있다. 그러나 기존에는 현장에서 지시계를 통해 해수식 기화기의 운영 상태를 확인하고 있어 실시간 모니터링이 불가능하였다.

따라서 본 연구에서는 엘티이 통신망을 기반으로 원거리에 있는 관제 센터로 해수식 기화기 운영 상태 계측 데이터를 전송하기 위한 인프라를 구축하였으며, 실시간으로 해수식 기화기 운영 상태를 모니터링하는 시스템을 개발하였다.

이후 개발 시스템을 사용하여 거제에서 창원에 설치된 해수식 기화기 테스트 베드 운영 상태를 실시간으로 모니터링하였으며, 성능 평가를 수행하여 개발 시스템으로 데이터의 손실이나 지연 없이 해수식 기화기 운영 상태를 실시간으로 모니터링하는 것을 확인하였다.

현재 개발 시스템은 하나의 해수식 기화기를 모니터링하는 시스템이나, 향후에는 개발 시스템을 다수의 해수식 기화기 운영 상태를 모니터링하기 위한 통합 모니터링 시스템으로 발전시킬 예정이다. 또한 데이터 전송 속도를 고려할 때 엘티이에 비해 5G가 우수하므로, 5G의 통신망 구축 규모가 확대되어 5G의 안전성이 높아진다면 통신망을 엘티이 통신망에서 5G로 변경할 예정이다.

후 기

본 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원(P0001968, 2022년 산업혁신인재성장지원사업)과 경상남도의 지원(PGS4470, 해양플랜트기자재 스마트 모니터링 기술개발)을 받아 수행된 연구임

References

Han, B. W. and Lee, B. Y., 2018. *Study of development on*

wireless sensing network system using LoRa Technology. 2018 Convention of Korean Society of Civil Engineers, Gyeongju, Republic of Korea, 18–19 October 2018.

Jeong, N.J., Natsagdor, B. and Jung, H.K., 2018. LTE based High-speed Maritime Wireless Communication (LTE-M) Router System. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 22(3), pp.542–547.

Kang, M.J., Lee, Y.S. and Lee, S.R., 2009. A study on systematic risk assessment method for LNG storage facilities. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 13(1), pp.14–20.

Kim, N.K. and Yun, S.K., 2019. Study on the LNG vaporization characteristics of Open Rack Vaporizer (ORV) with two-way seawater supplying system. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 23(1), pp.41–46.

Kim, J.Y., Ok, K.S., Kim, J.W. and Cho, I.S., 2017. A database design for remote maintenance of navigation and communication equipments in a vessel. *Journal of the Korean Institute of Information and Communication Engineering*, 21(11), pp.2052–2060.

Kim, K.D., Cho, K.H., Heo, Y.J. and Myung, S.H., 2021. Implementation of IoT System for Smart Yard Monitoring and Control. *Korean Journal of Computational Design and Engineering*, 26(4), pp.444–450.

Kim, Y.J., Cho, S.J., Jun, H.B., Ha, C.H. and Shin, J.H., 2016. A Study on Fault Prediction Method in a Pump Tower of LNG FPSO. *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 21(2), pp.111–121.

Lee, S.H., Lim, Y.S. and Han, C.H., 2008. A study on integrated safety management system of LNG storage/transport facilities. *Journal of the Korean Institute of Gas*,

12(3), pp.1–6.

Lee, S.S., 2016. Development of maintenance system for LNG-FPSO(Korean). *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 21(1), pp.63–69.

Lee, Y.H., 2018. Analysis of the Impact of Fire and Explosion Accidents due to LNG Leaks in the LNG Re-gasification Process. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, 24(6), pp.2287–3341.

Ma, Y.W., Lee, S.R. and Yoon, K.B., 2006. The Investigation of Accidental Case for LNG Terminal. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 10(4), pp.47–51.

U, J.H., Kim, J.H. and Kim, Y.M., 2018. A study on the smart factory diagnostics for smart shipyard construction (Korean). *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 55(4), pp.16–23.

Won, J.G., 2015. *Risk and insurance*, 2(117), KOREANRE.

