

IoT센서를 이용한 3D시뮬레이터 기반 실시간 선박 배관 모니터링 시스템에 대한 기초 연구

이기택¹, 김현철^{2*}

¹디케이소프트(주), ²울산과학기술대학교 기계공학부

A Basic Study on Real-Time Piping Monitoring System of Ships based on 3D Simulator using IoT Sensors

Ki-Taek Lee¹, Hyun-Cheol Kim^{2*}

¹DKSOFT Co., Ltd.

²Faculty of Mechanical Engineering, Ulsan College

요약 LNG연료추진선박에서 엔진룸의 가스배관 파손 및 가스누출은 치명적인 구조손상 혹은 폭발, 화재와 직결되므로 항상 실시간 모니터링과 진단이 필요한 분야 중의 하나이다. 검사자가 아날로그 센서를 사용하여 직접 이중배관의 파손 혹은 가스누출여부를 확인하는 방법은 예기치 못한 상황에서 이상 발생시 정확한 위치 파악이 어려워 신속한 대응이 어려운 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하고 배관 모니터링 및 진단 효율성의 극대화를 위해, 본 논문에서는 유·무선통신이 가능한 IoT센서와 위치 동기화가 가능하도록 3D시뮬레이터를 기반으로 하는 실시간 배관 모니터링 및 진단 시스템 구성과 적용 방법에 대한 기초 연구를 수행하였다. 연구 내용으로는 AVEVA Marine 설계 정보와 동일한 배관 모델링이 가능하도록 3D 시뮬레이터를 개발하여 모니터링 GUI 표준 프레임에 적용하고, IoT센서로부터 측정된 데이터는 유·무선통신을 통해 MS-SQL 데이터베이스에 저장되어 시스템 내에서 정량적인 값과 그래프로 표현되어 직관적 진단 분석이 가능하게 하였다. 또한, 개발된 시스템은 성능시험을 통해 효율성을 검토하였다. 그리고 가스배관 전용 IoT센서모듈장치에 대한 개념설계 내용을 소개하였다.

Abstract In LNG-fueled ships, damage to gas pipes and gas leakage is an area that always requires real-time monitoring and diagnosis because it is associated directly with fatal structural damage, explosion, or fire. Currently, an inspector uses an analog sensor to check whether the double pipe is damaged or leaks gas. On the other hand, this method makes it difficult to respond quickly because it is difficult to determine the precise location when an abnormality occurs in an unexpected situation. This study attempted to solve these shortcomings and maximize the efficiency of pipe monitoring and diagnosis by examining the configuration and application of a real-time piping monitoring and diagnosis system based on a 3D simulator to enable location synchronization with an IoT sensor with a wired and wireless communication function. As content, a 3D simulator that enables piping modeling identical to that of AVEVA Marine design information was developed and applied to the monitoring GUI standard frame. The data measured from the IoT sensor was stored in the MS-SQL database through wired/wireless communication and was expressed in quantitative values and graphs within the system, enabling intuitive diagnostic analysis. The efficiency of the developed system was reviewed through performance tests. In addition, the conceptual design of the IoT sensor module device specialized in gas piping conditions was introduced.

Keywords : Piping Monitoring System, IoT Sensor, 3D Piping Simulator, Wired and Wireless Communication, Data Transmission/Reception Interface

본 논문은 2021년 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyun-Cheol Kim(Ulsan College)

email: hckim@uc.ac.kr

Received May 20, 2021

Accepted September 3, 2021

Revised June 16, 2021

Published September 30, 2021

1. 서론

2000년대 전후로 기후변화와 지구 온난화 문제에 대한 전 세계적 공감대가 형성되면서 증장기적 온실가스(Greenhouse gas) 배출량 감축을 위한 대책 논의가 전 분야에서 본격적으로 시작되었다. 그 결과 2008년 국제해사기구(IMO: International maritime organization, 이하 IMO)에서도 에너지효율설계지수(EEDI: Energy Efficiency Design Index, 이하 EEDI) 등과 같은 해양분야의 온실가스 감축기준지수들을 제시하였고, 2013년 이후 신조선의 경우 EEDI 규제 적용을 의무화하였다. 그리고 단계적 목표로는 2025년까지 약 30%, 2050년까지 약 50% 감축을 강력 권고 사항으로 제시하였다. 여기서 질소 산화물은 2016년부터 2~3.4g/kWh이하로 배출해야 하고, 황산화물의 경우에는 연료유에 포함된 황 함량을 2020년부터 0.5%이하로 줄여야만 한다. 그리고 이산화탄소 배출량은 2030년까지 2008년 대비 40% 감축을 목표로 제시하고 있다. 이러한 단계적 해양 온실가스 감축량을 달성하기 위해서는 완전한 무탄소(Decarbonation) 연료 추진 방식의 개발이 필수적이지만, 높은 기술진입장벽으로 인해 실제로 적용하기에는 아직은 많은 시간이 요구될 것으로 판단되므로, 현재는 액화천연가스(LNG: Liquefied Natural Gas, 이하 LNG) 또는 저유황유(LSFO: Low sulphur fuel oil, 이하 LSFO)를 연료로 사용하거나, 배기가스 탈황장치(Scrubber)를 장착하여 운항하고 있다. 특히, 과도기적 친환경 연료인 LNG를 사용할 경우, 중유(HFO: Heavy Fuel Oil, 이하 HFO) 대비 이산화탄소 발생량은 약 12% 수준, 질소 산화물 발생량은 약 90% 수준으로 감소되며, 황산화물과 미세먼지는 거의 발생하지 않는다고 알려져 있다. 이러한 이유로 2018년을 기준으로 LNG 추진 선박은 약 120척 이상이 이미 운항 중에 있으며, 2026년에는 약 500척 이상의 선박이 LNG를 추진 연료로 사용할 것으로 예상된다[1]. 고압으로 연료를 분사하는 2행정 엔진이 주로 사용되는 LNG 연료 추진 시스템에서 -163℃의 액체 상태로 보관된 연료 탱크 내에 LNG는 높은 단위 성능을 가지는 배관을 통해 연료탱크에서 기화기까지 전달된다. 그리고 기화기에서 액체 상태의 LNG가 기체 상태인 천연가스로 기화된 후, 50℃의 고온과 35MPa의 고압 가스 형태로 배관을 통해 엔진으로 공급된다.

현재 제정 중인 IMO 가이드라인(Guideline)인 IGF 코드(International code of safety for ships using gases or other low-flash point fuels) 초안에서는 이

러한 엔진 공간(Engine room) 내 고온-고압 가스배관의 안전한 수송을 위해 이중배관(Double-wall type pipe) 사용을 요구하고 있으며, 각종 선급에서도 이러한 사항을 자체 규정에 추가하여 강화하고 있다[2]. 한편, LNG 연료 추진 선박의 엔진 내부에서 LNG 관련 설비나 배관의 파손(Failure)으로 가스가 누출될 경우 구조적 손상 혹은 폭발, 화재와 같은 대형 사고로 이어질 가능성이 높으므로, 상시 검사를 수행하여 예방하는 것이 매우 중요하다. 현재는 검사자가 정기적으로 이중배관의 내부와 외부사이 공간에 공기를 주입하여 압력 변화 및 가스 인식 등을 아날로그 센서(Analog sensor)로 검사하여 배관의 파손 혹은 가스 누출 여부를 확인하고 있는데, 이러한 방법은 이상 발생 시 신속한 대응이 어려운 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 해결하고 실시간 진단 효율성 극대화를 위해, 본 논문에서는 IoT센서(Internet of things sensor)를 활용한 유무선통신(Wire and wireless communication)으로 가스배관상태를 실시간 모니터링하고 진단할 수 있는 시스템 구성과 적용 방법에 대한 기초 연구를 수행하였다.

2. 관련 연구 현황

4차 산업혁명 시대가 빠르게 다가오면서 그 핵심기술들 중 하나가 지능형 첨단 센서이며, 이러한 똑똑한 센서들 덕분에 인공지능, 사물인터넷 등 활발한 연구가 가능하게 되었다[3-6]. 그 중 본 내용과 관련된 몇 가지 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 조영창 등(2018)은 지하시설물의 밀폐공간에서 유해가스 및 생체 신호를 동시에 검출이 가능한 휴대형 검출 시스템을 개발하여, 실시간 CO감지 및 생체신호 모니터링 성능을 검토하였다[7]. 이재수 등(2018)은 맨홀아래 지하에 매설된 상수도관의 수압을 효율적으로 측정하기 위해 무선통신모듈을 내장한 수압센서를 상수도관 밸브에 설치하여, 측정 데이터를 저장 및 관리하는 수압측정 시스템을 개발하였다[8]. 전민규 등(2015)는 작업자의 접근이 어려운 상태에서, 배관망의 밸브, 필터, 실린더 등과 같은 요소의 작동이 전기적으로는 정상적이지만 기계적으로 고장이 났을 때 감지할 수 있는 방법으로, 원격 비접촉식 미세 진동 감지 기술을 인공지능망과 연결하여 제안하였다[9]. 전형섭 등(2016)은 카메라를 이용한 고압 증기 배관 누설/진동 감시 시스템을 개발하여 실험을 통해 성능을 검증하였다[10]. 이외에도 다양한 연구가 수행되었다. LNG 연료추

진 선박의 엔진룸 내부 LNG 배관 상태를 모니터링 및 진단하는 시스템 개발에 대한 연구는 다음 조건들을 필요로 한다. 첫째, 복잡하고 두꺼운 강판 구조물로 둘러싸인 엔진룸의 LNG배관상태(Fig. 1)의 실시간 측정 및 이상 발생시 신속한 대응을 위해서는 시스템 상에서 설치된 센서의 정확한 위치파악이 가능해야 한다. 둘째, LNG 배관은 일반적으로 이중구조를 가지고 있으므로 센서 설치 및 측정 방법도 이러한 구조적 특성을 고려해야 한다.

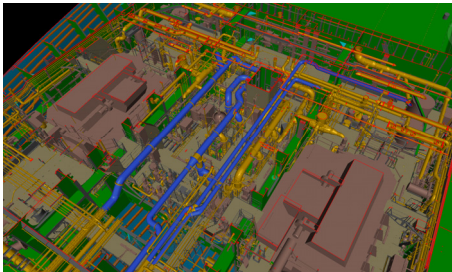


Fig. 1. An example of double-wall pipes arrangement (blue pipe) in the engine room of LNG dual-fuel propulsion vessel

본 연구에서는 케이블 트레이(Cable tray)를 통해 유무선 통신이 가능한 센서와 개발된 3D시뮬레이터 기반 시스템을 연결하여 센서 위치 및 측정값을 실시간 연동하고, 이중배관구조를 고려한 IoT센서 모듈장치의 개념

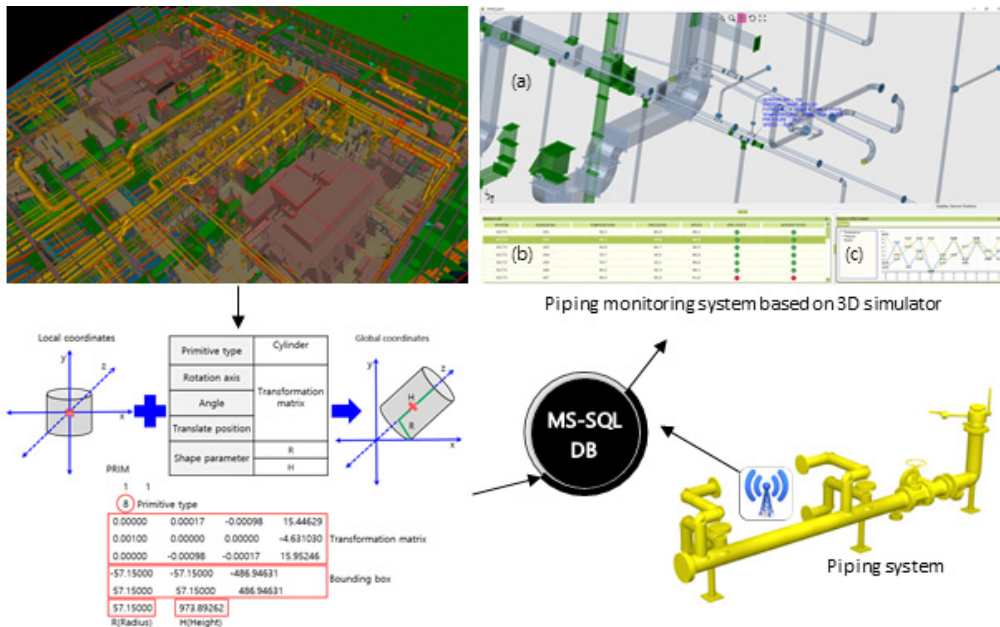
설계를 수행하여 상기의 문제들을 해결하려고 시도하였다. 그리고 개발된 시스템의 성능 검증을 위해 온도 IoT 센서 시제품을 제작하여 가스배관 모니터링 모의시험을 수행하였다.

3. 3D시뮬레이터 기반 배관 모니터링 시스템

설계 및 기능

3.1 IoT센서와 3D시뮬레이터 기반 시스템의 구성 및 구조

LNG연료추진선박의 엔진룸에는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 가스배관이 다른 일반 배관들과 함께 복잡하게 배치되어 있다. IoT센서로부터 배관의 파손 및 누수가 감지될 경우, 이상 신호 알람과 함께 정확한 위치를 파악하는 것이 신속한 대응을 위한 중요한 기능 중의 하나이다. 이를 위해 3D 시뮬레이터를 기반으로 하는 모니터링 시스템을 개발하였다. 개발 시스템은 확장성과 재사용성을 고려하여 객체지향 프로그램으로 표준화하고, 모듈별로 클래스화하여 C# 환경에서 통합 운영된다. 그리고 IoT센서로부터 측정된 데이터, 통신처리서버(TCP receive server), 3D배관시뮬레이터가 시스템 내의 MS-SQL 데이터베이스를 중심으로 연동되도록 하였다.



현재 국내의 대형 조선소에는 대부분 AVEVA Marine사의 설계 소프트웨어를 사용하여 상세 및 생산 설계를 수행하고 있으며, 3D CAD 설계 및 엔지니어링 정보를 선박 건조 작업에 제공하고 있다. 이때 3D CAD 설계모델 정보는 RVM파일로 저장되는데, RVM파일의 3D CAD 형상정보를 분석한 후, 상용 그래픽 라이브러리 (EyeShot Ver 12.0 for C#)를 이용하여 3D 배관 시뮬레이터로 구현하였다. 이때 RVM파일로부터 직접 형상 모델링을 수행하므로 설계 정보 손실없이 동일한 3D 시뮬레이터 구현이 가능하다. Fig. 2는 구현된 배관 모니터링 시스템의 구조와 구성요소를 나타낸다. AVEVA Marine의 RVM파일을 분석한 후 필요한 설계 형상 정보를 개발된 3D 배관 시뮬레이터 내에서 동일하게 생성한다. 그리고 IoT센서로부터 측정값은 시스템 내에서 정량적 값과 그래프로 나타낸다. 이때 모든 정보는 MS-SQL 데이터베이스에 저장되어 상호 연동되어 작용한다. Table 1은 Fig. 2의 IoT센서, 통신 그리고 시스템이 가져야 할 기능과 특성을 나타낸다. 여기서 IoT센서는 센서 정보의 송수신 기능과 WIFI네트워크 기능을, TCP처리서버는 센서 클라이언트와 서버와의 통신기능을, 그리고 모니터링 시스템은 센서 데이터를 분석하여 3D 시뮬레이터와 정보를 통합 뷰 플랫폼에 나타낸다.

3.2 IoT센서와 3D시뮬레이터의 위치 동기화

실제 배관에 설치되는 IoT센서 위치와 동일한 좌표를

시스템 상에서 구현된 3D시뮬레이터를 통해 확인할 수 있다. 기준 좌표는 적용되는 3D CAD 설계 모델의 좌표를 따른다. 기본 설계 단계에서 선박은 AP (After perpendicular, 이하 AP)를 원점 좌표(기준 좌표)로 하여 설계가 수행된다. 따라서 상세 및 생산 설계에서도 일반적으로 AP를 전역 기준 좌표(Global reference coordinate)로 작업이 수행된다. 그러나 설계 단계 특성에 따라 국부기준좌표(Local reference coordinate)를 사용하기도 하므로, RVM파일의 3D CAD 모델 좌표를 기준으로 센서 위치가 3D 배관 시뮬레이터에 동기화될 수 있도록 하였다. 그리고 사용자는 3D뷰 상에서 확대 및 회전을 통해 구현된 3D배관시뮬레이터 상에 설치된 센서 위치에서 배관의 상태 정보를 직관적으로 확인할 수 있도록 하였다(Fig. 2(a), Fig. 3).

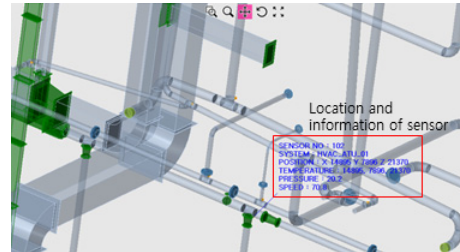


Fig. 3. Synchronization of sensor location on 3D pipe model and displaying the relative information e.g. piping status

Table 1. Functional definition of components of the system

Component	Function	Description
IoT sensor	WIFI network TCP socket communication	WIFI network connection function for communication with the server
	Sensor information receiving	Receiving the value of the sensor connected to the micro-controller board
	Sensor information transmission	Sending the value of the sensor connected to the micro-controller board to the server through WIFI
TCP receive server	Sensor socket communication	Communication handling with sensor clients trying to connect to the server
	Sensor information receiving	Receiving Sensor information sent from the sensor client
	Sensor information DB saving	Saving the received sensor information to database
Piping monitoring system	3D simulator view	Analyzing 3D CAD information of RVM file and displaying piping 3D modeling in 3D simulator view
	Sensor information view	Displaying the received sensor information as sensor list
	Sensor chart view	Displaying the sensor signal as chart
	Risk alarm view	Displaying the sensor information as an alarm, when an abnormality occurs

3.3 IoT센서 작동 상태 수치화 및 신호 상황 그래프 표현

IoT센서로부터 수신한 데이터를 수치화하여 작동 상태를 파악할 수 있도록 그리드 기능(Grid function)을 적용하였다(Fig. 2(b), Fig. 4). Fig. 4는 IoT센서로부터의 측정값과 함께 IoT센서의 오작동 유무(초록색: 정상, 붉은색: 오작동 혹은 이상 현상)를 나타내는 그리드 목록을 나타낸다. 그리드 상에 표시된 IoT센서 상태를 3D 배관 시뮬레이터 상에도 표시하여 정보가 연동되어 직관적으로 파악될 수 있도록 하였다. IoT센서 신호의 작동 유무 혹은 측정값을 표시할 경우에는 IoT센서 번호와 위치를 사용자가 숙지하고 있어야 한다. 그러나 개발 시스템에서는 해당 IoT센서를 선택하면, 동시에 3D 배관 시뮬레이터 상에도 나타나게 함으로써 오작동 및 이상 발생시 쉽게 센서 위치를 찾아서 대응할 수 있도록 하였다.



Fig. 4. An display example of operation status and measured value of IoT sensors on the grid view

배관에 설치된 IoT센서는 일정 시간 간격으로 배관상태를 측정하여 시스템으로 송신하게 된다. 이때 수신되는 측정 데이터를 24시간 연속 관찰할 수 없으므로, 측정 데이터의 흐름을 일괄적으로 파악할 수 있도록 시간에 따른 측정 그래프를 제공하도록 하였다.



Fig. 5. An example of displaying piping status trend over time for values measured from IoT sensors

Fig. 5는 각 센서들로부터 5초 간격으로 측정된 값을 그래프로 나타낸 것이다. 측정 그래프는 과거와 현재의 배관 상태를 직관적으로 파악할 수 있게 하고, 이상 현상 발생 가능성에 대해 사용자가 관찰하지 못한 부분도 판단할 수 있는 보조 자료로 활용할 수 있다.

3.4 IoT센서와 3D 시뮬레이터 기반 경고 알람

IoT센서로부터의 측정값은 개발 시스템의 센서 목록 그리드(Sensor list grid) 상에 ID항목 상에 나타난다. 이때 IoT센서가 정상 상태이면 센서 상태(Sensor state)가 “초록색”, 고장이 나거나 오작동을 할 경우에는 “붉은색” 아이콘으로 표시된다(Fig. 2(b), Fig. 4). 만일 배관 내부의 가스가 누출될 경우에는 IoT센서 유형에 따라 누출 상태를 경고할 수 있도록 알람(Warning alarm) 기능을 적용하였다(Fig. 6). 예를 들어, 일정 온도 혹은 압력 이상/이하일 경우 경고 메시지를 나타내거나, 식(1)과 같이 측정된 현재 데이터가 과거 일정 기간의 평균 값보다 상대적으로 크게 나타날 경우, 경고 메시지를 보내거나 배관 흐름을 차단하는 제어 기능을 수행할 수 있다.

$$\text{alarm or control} = 1, |s_j - \bar{s}| > \alpha \quad (1) \\ = 0, \text{ otherwise}$$

$$\bar{s} = 1/n \times \sum_{i=1}^n s_i$$

여기서 s_i 는 과거 i 시간에 측정된 센서 측정값, s_j 는 현재 j 시간에 측정된 센서 측정값, n 은 과거 계측된 횟수, $\bar{s}$ 는 과거 n 번 계측된 값의 평균, α 는 변화 크기(사용자가 지정하거나 규칙 적용), $|s_j - \bar{s}|$ 는 현재 측정값과 과거 평균과의 차(Difference)를 나타낸다.

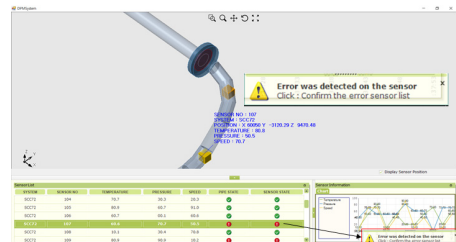


Fig. 6. An example of linkage between the abnormality check function of IoT sensor and 3D simulator

4. IoT센서와 개발 시스템과의 통신 및 데이터 연동

엔진룸을 포함한 선박의 모든 공간은 복잡한 강판 구조물로 둘러싸여 있기 때문에 IoT센서와 시스템 간의 원활한 통신을 위한 환경이 어려운 것이 사실이다. 그러나 전장설계에서 케이블 트레이(Cable tray) 배치를 통해 유·무선 통신을 위한 연결이 가능함을 확인하였다. 한편, IoT센서로부터 측정한 데이터를 개발 시스템에서 무선 통신으로 동기화하기 위해 보드 센서 클라이언트 기능을 이용하여 무선 네트워크 장치와 IoT센서를 연결하도록 H/W셋팅을 수행하였다. 그리고 개발 시스템의 통신환경 설정에서 무선네트워크 장치의 세팅정보를 서버 시스템의 IP와 Port 정보에 Fig. 7과 같이 세팅하여 IoT센서와의 데이터 통신여부를 확인할 수 있도록 하였다. 그리고 IoT센서로부터 측정된 데이터의 저장 및 관리를 위해 데이터베이스 표준화 작업을 수행하였다.

Server IP : 192.168.1.152

START

Server Port : 7000

STOP

SensorNo	SensorId	SystemNo	Position	State
1	59F8B8C049E7918B...	SY501	X 58264.1 Y -7807.96 ...	!
2	21804D4C7A4C05CB...	SY501	X 58279.74 Y -7965.6 ...	!
3	1A538E424A16C5C2...	SY501	X 58413.08 Y -8007.1 ...	!
4	9A700C2489E40BB670...	SY501	X 58379.52 Y -8082.97 ...	!
5	0747CCAB5E1197AC...	SY501	X 60313.92 Y -8761.5 ...	!

Server IP : 192.168.1.152

START

Server Port : 7000

STOP

SensorNo	SensorId	SystemNo	Position	State
1	59F8B8C049E7918B...	SY501	X 58264.1 Y -7807.96 ...	✓
2	21804D4C7A4C05CB...	SY501	X 58279.74 Y -7965.6 ...	✓
3	1A538E424A16C5C2...	SY501	X 58413.08 Y -8007.1 ...	✓
4	9A700C2489E40BB670...	SY501	X 58379.52 Y -8082.97 ...	✓
5	0747CCAB5E1197AC...	SY501	X 60313.92 Y -8761.5 ...	✓

>> Server Start

Fig. 7. Connection between IoT sensor module and data server

5. 온도 IoT센서 시제품 제작

개발 시스템의 모의 성능 검토를 위해 기존 배관을 손상시키지 않고 설치가 가능한 온도 IoT센서모듈을 제작하였다. 가스 혹은 압력 IoT센서는 설치 및 시험에 구체적인 모듈장치설계가 필요하며, 기존 배관의 구조를 부분적으로 변경해야 한다. 또한, 온습도 IoT센서는 모듈 설계 및 배관 외부 설치가 어려운 단점이 있었다. 그러나 온도 IoT센서는 배관 표면의 온도 상승 혹은 하강으로 인해 가스배관의 이상상태를 파악할 수 있으며, 기존 배관을 손상시키지 않고 배관 표면에 설치함으로써 시스템 모의 성능 시험이 가능하다. Fig. 8은 “Platinum RTD Sensor”를 기초로 한 온도 IoT센서모듈장치를 나타낸다. Adafruit PT1000 RTD Temperature Sensor Amplifier(저항온도센서 증폭기), Arduino Uno WiFi Rev2의 테스트 소켓 점퍼 케이블, Platinum RTD

Sensor를 연결하여 5세트의 온도 IoT센서모듈장치들을 제작하였다.

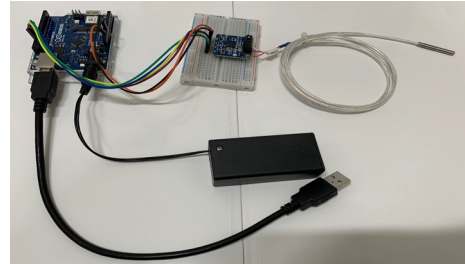


Fig. 8. An example of temperature IoT sensor module prototype for testing

6. 시스템 성능 시험

본 연구를 통해 개발된 IoT센서와 3D시뮬레이터 기반 배관 모니터링 시스템의 성능 검증을 위해 중소조선연구원 공장동의 배관 시스템에서 데이터 연동 및 개발 파일럿(Pilot) 시스템의 기능 검증을 수행하였다. 5세트의 온도 IoT센서는 곡률이 심한 부분과 평탄한 부분에 설치한 후, 시스템 성능 시험을 수행하였다(Fig. 9). 시험 항목별 성능 평가 결과는 다음과 같다.

- IoT센서와 시스템 간의 데이터 동기화 시간: 3~12 초, 평균 6.8초(0.11분)
- IoT센서와 3D 시뮬레이터 간의 송수신 시간: 9~12 초, 평균 10.4초(0.17분)
- IoT센서 위치와 3D CAD 모델 상의 위치 표기 오차: 1.1~8.89mm, 평균 5.3mm
- IoT센서와 시스템 간의 데이터 송수신 인터페이스 기능: 각 센서 별로 독립적으로 인터페이스 변경을 통해 10초 혹은 2초 간격으로 데이터를 획득 할 수 있음을 확인함.

상기의 결과를 바탕으로, 만일 LNG연료추진선박의 엔진룸 내부에서 5구역에 떨어져 있는 위치의 배관 상태를 검사관이 직접 검사하는데 각 약 60분정도 소요된다고 가정할 경우, 개발된 시스템을 사용할 경우에는 실시간으로 동시 측정 가능하므로 약 90%이상의 작업 효율성이 있다고 예상할 수 있다. IoT센서 위치와 3D CAD 배관모델 상 위치 표기 오차는 평균 5.3mm로 나타났다. 이는 시스템의 3D CAD 배관모델 상에 IoT센서 위치는 정확히 표시되지만, 실제 배관 상에 IoT센서 설치시 작업자가 육안으로 계측하여 설치하기 때문에 발생하는 누

적된 오차를 의미한다. 따라서 정확한 위치에 IoT센서를 설치하기 위해서는 세심한 설치 방법이 수반되어야 함을 알 수 있다. 또한, 부가적으로 IoT센서와 별도의 공간에서 무선 통신을 통해 데이터 송수신이 가능함을 확인하였다. 이는 검사자가 항상 위험에 노출된 상태에서 가스 배관을 검사하는 경우에 비해 안전성이 확보된 공간에서 시스템 모니터링이 가능함을 보여준다.

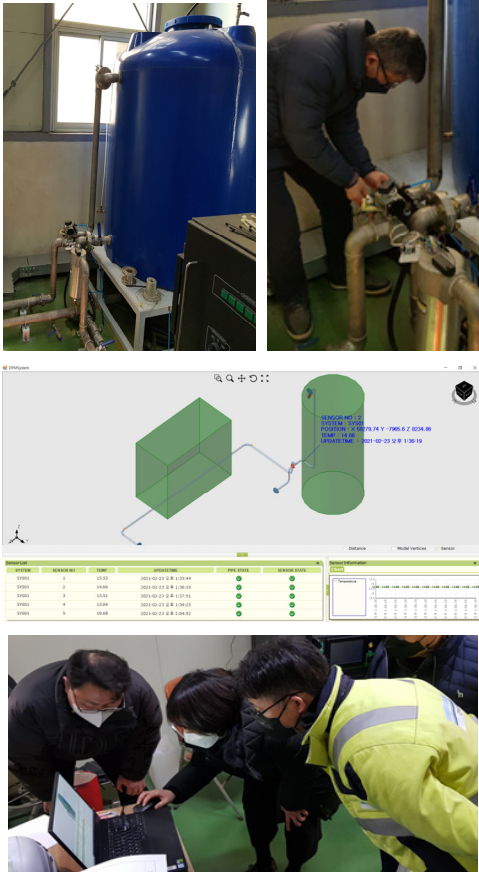


Fig. 9. Performance test process of developed system

7. 가스 배관 상태 검증을 위한 IoT센서모듈장치 개념설계

LNG 연료추진 선박의 연료계통 시스템에는 FGSS Room, Tank Space, Fuel Preparation Room, Bunker Station 등 공간에 누수 감시 장치를 포함하게 되어 있어서, 온도 및 가스 탐지기(Gas detector)가 사용되고 있다. 이는 개발 제품의 적용범위가 이중배관과

함께 연료공급 배관을 포함하는 각종 공간에도 확장 적용할 수 있음을 의미하므로, 공간과 배관 형식에 적합한 IoT센서모듈장치를 설계하여, 본 연구의 개발 시스템과 연결시 모니터링 및 진단 성능을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 배경으로 본 연구에서는 가스 수송용 이중배관의 이상상태를 감지하는 장치의 개념설계를 수행하였다[11]. 제안한 가스수송용 이중배관 IoT센서모듈장치는 이중배관 내부의 일부에 설치되는 삽입관, 배관 상류와 하류의 압력변화를 측정하는 신호 감지 및 발생부를 포함한다(Fig. 10). 측정 신호는 제어기와 연결되어 있어, 본 연구의 개발 시스템에서 이상신호 감지 시 가스밸브의 개방 혹은 차단을 수행하여 제어하는 개념이다. 본 장치 개념은 향후 상세설계를 통해 시제품 제작 및 성능 검토를 수행하여 통합 가스 배관 모니터링 시스템 구현에 적용할 예정이다.

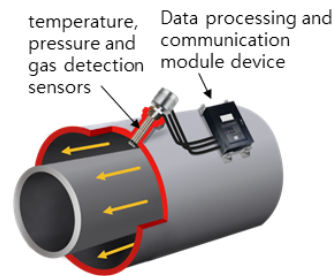


Fig. 10. Concept design of IoT sensor module for measuring gas piping status

8. 결론

본 연구는 LNG연료추진선박의 엔진룸 내 가스 이중배관상태를 실시간 모니터링하는 시스템 개발에 필요한 표준화 작업과 기반 기술을 내용으로 하며, 내용을 정리하면 다음과 같다.

- AVEVA Marine과 3D CAD 정보 100% 호환 인터페이스 개발
- 3D 시뮬레이터 기반 GUI시스템 설계 및 표준화
- IoT센서와 3D시뮬레이터 간의 송수신 인터페이스 구현 및 데이터 표준화
- IoT센서와 3D CAD 모델상의 위치 동기화
- 가스 IoT센서모듈장치에 대한 개념설계 정립
- 온도 IoT센서와 3D시뮬레이터 기반 배관 모니터링 시스템 성능시험 완료

- IoT센서와 3D시뮬레이터 기반 실시간 배관 모니터링 시스템 구현을 위한 기반 기술 확보

최근 기후 위기에 대응하기 위한 전략으로 CO₂ 등을 포함한 온실가스가 배출을 줄이기 위해 LNG, 수소, 암모니아 등의 친환경가스 연료추진 선박에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그런데 이들 가스들은 다루기 어렵고 위험하다는 공통점을 가지고 있다. 따라서 가스배관을 실시간으로 모니터링하여 진단하고, 이상 현상 발생 시 신속히 대처할 수 있는 시스템 개발에 대한 연구도 반드시 병행되어야 한다. 향후 본 연구에서 제안된 IoT센서모듈장치 개념이 구체적으로 상세설계를 통해 개발되어 제품화되면, 배관 모니터링 시스템과 결합하여 실시간 가스 배관 모니터링 및 진단, 제어가 가능해질 것으로 예상된다.

References

- [1] Y. S. Lim, "Miscellaneous Knowledge about Eco-friendly Ship 1th Edition", p.152, Jisungsa-Book, 2020.
- [2] S. B. Park, M. J. Sim, M. S. Kim, J. H. Kim, J. M. Lee, A Study of Thermo-Mechanical Analysis for the Design of High Pressure Piping System for Natural Gas Fuel Vessel, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol.39, No.4, pp.425-431, May 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5916/ikosme.2015.39.4.425>
- [3] S. Y. Chae, J. H. Park, A Design and Implementation of Testing and Management System for IoT Sensors, *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC)*, Vol.16, No.5, pp.151-156, Oct. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.5.151>
- [4] M. S. Kwon, U. J. Gim, J. J. Lee, O. Y. Jo, IoT-based Water Tank Management System for Real-time Monitoring and Controlling, *Journal of Convergence for Information Technology*, Vol.8, No.6, pp.217-223, Aug. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.22156/CS4SMB.2018.8.6.217>
- [5] A. Mateen, Q. Zhu, S. Afsar, M. Usman, IoT and Wireless Sensor Network Monitoring for Campus Security, *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC)*, Vol.18, No.6, pp.33-41, Dec. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.33>
- [6] J. S. Shin, Integrated Safety System based on IoT, *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 24 No. 10, pp. 159-165, October 2019.
DOI: <https://doi.org/10.9708/jksci.2019.24.10.159>
- [7] Y. C. Cho, K. J. Kwon, J. H. Jeong, M. S. Kim, A Study on the Sensor Module System for Real-Time Risk Environment Management, *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol.22, No.4, pp.953-958, Dec. 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7471/ikeee.2018.22.4.953>
- [8] J. S. Lee, I. H. Choi, K. F. Hong, H. Y. Choi, H. J. Roh, K. K. Ahn, An Efficient Water Pressure Measurement System of the Water Pipes using IoT, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, Vol.17, No.1, pp.114-122, Jan. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.1.114>
- [9] M. G. Jeon, G. R. Cho, K. K. Lee, D. H. Doh, A Monitoring System Based on an Artificial Neural Network for Real-Time Diagnosis on Operating Status of Piping System, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, Vol.39, No.2, pp.199-206, Oct. 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2015.39.2.199>
- [10] H. S. Jeon, J. S. Suh, G. S. Chae, K. S. Son, S. O. Kim, N. H. Lee, Development of Leak and Vibration Monitoring System for High Pressure Steam Pipe by Using a Camera, *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol.36, No.6, pp.496-503, Nov. 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7779/JKSNT.2016.36.6.496>
- [11] G. T. Lee, H. C. Kim, Detecting Device and Method for Abnormal Condition of Gas Transporting Double-Pipe, *Korean Intellectual Property Office*, Patent Application Number 10-2020-0161617, 2020.

이 기 택(Ki-Taek Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 조선해양공학과 (공학석사)
- 1999년 3월 ~ 2002년 2월 : 중소기업연구원 연구원
- 2011년 1월 ~ 2014년 1월 : STX 포스텍 조선해양CAD개발팀장
- 2015년 4월 ~ 현재 : 디케이소프트(주) 대표이사

<관심분야>

조선해양 설계/생산, S/W개발, 정보통신

김 현 철(Hyun-Cheo Kim)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 조선해양공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 독일 베를린공대 조선해양공학과 (공학박사)
- 2004년 4월 ~ 2012년 2월 : 삼성중공업 책임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 울산과학대학교 기계공학부 부교수

〈관심분야〉

조선해양 시스템설계, 선박설계 및 성능평가