

## 해양플랜트 장비 성능 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스 설계

유승열\* · 서주완\*\* · 이재철\*\*\* · 황세윤\*\*\*\* · 황호진\*\*\*\*\* · 이순섭\*\*\*\*\*†

\* 경상대학교 해양시스템공학과 박사과정, \*\* 경상대학교 해양시스템공학과 석사과정,

\*\*\*, \*\*\*\*\* 경상대학교 해양시스템공학과 교수, \*\*\*\* (주)마리모엔지 대표, \*\*\*\*\* 선박해양플랜트연구소 책임연구원

## Database Development for Equipment Performance Monitoring System in an Offshore Plant

Seung-Yeol Yoo\* · Ju-Wan Seo\*\* · Jae-Chul Lee\*\*\* · Se-Yun Hwang\*\*\*\* · Ho-Jin Hwang\*\*\*\*\* · Soon-Sup Lee\*\*\*\*\*†

\* PhD Candidate, Department of Ocean System Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

\*\* Master's Student, Department of Ocean System Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

\*\*\*, \*\*\*\*\* Professor, Department of Ocean System Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

\*\*\*\* CEO, Marimo Eng. co. Ltd., Incheon, 22212, Korea

\*\*\*\*\* Principal researcher, Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, Daejeon 34103, Korea

**요 약** : 안전한 해양플랜트 운용을 위해 장비 성능평가를 실시하고 그 결과를 모니터링 할 수 있는 시스템이 필요하다. 현재는 육상으로부터 멀리 떨어진 해양플랜트의 특성상 장비 성능평가를 위해 정기적으로 계측 데이터를 저장매체에 저장한 후 육상으로 운반해야한다. 이로 인해 성능평가 주기가 길어지고, 다음 성능평가가 시행되기 전까지의 장비의 성능 저하 정도를 알 수 없어 장비의 고장을 방지하기 어렵다. 따라서 육상이 아닌 해양플랜트 내에 온보드(on-board) 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 구축할 필요가 있다. 본 논문에서는 해양플랜트 내에서 장비 성능을 평가하고 그 결과를 가시화하는 장비 성능 모니터링 시스템을 개발하기 위한 초기 단계로, 장비 성능 모니터링 시스템의 데이터베이스를 설계 및 구축하고자 한다. 이를 위해 주요 장비의 태그 데이터를 선정하여 분석을 진행하였다. 최종적으로 장비 상태를 실시간으로 계측한 데이터를 해양플랜트 내에서 저장 및 관리하기 위해 온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스를 설계 및 구축 하였다.

**핵심용어** : 해양플랜트, 장비 성능평가, 모니터링, 온보드 시스템, 데이터베이스

**Abstract** : To ensure the safe operation of offshore plants, a system is needed for evaluating the equipment performance and for monitoring the results. Currently, owing to the operating environments of offshore plants situated far from the land, measurement data must be periodically stored in storage devices and carried on the land for evaluating the equipment performance. Consequently, it is difficult to prevent equipment failure because the performance evaluation cycle is long. Furthermore, until the next performance evaluation is conducted, it is difficult to determine the equipment's degree of performance degradation. Hence, it is necessary to install an onboard equipment performance monitoring system within the offshore plant. In this study, to evaluate and visualize the results of equipment performance within an offshore plant, a database was designed as the initial step towards the development of an equipment performance monitoring system. The tag data of major equipment were selected and analyzed. Furthermore, in order to store and manage the data measured in real time within the offshore plant, a database was developed for the onboard equipment performance monitoring system.

**Key Words** : Offshore plant, Equipment performance evaluation, Monitoring, On-board system, Database

\* First Author : holdcurry90@gnu.ac.kr, 055-772-9197

† Corresponding Author : gunsslee@gnu.ac.kr, 055-772-9191

## 1. 서론

센싱기술과 통신기술이 발달함에 따라 해양플랜트에서 필요로 하는 모니터링 시스템 또한 발전하고 있다. 최근 필요로 하는 모니터링 시스템은 장비 상태 데이터를 분석하여 장비 효율, 열화상태와 같은 장비의 성능을 평가하고 그 결과를 운용자가 모니터링 가능한 시스템이다. 기존의 모니터링 시스템은 장비의 이상신호를 감지하고 이를 운용자가 확인하는 시스템으로 운용자는 이상신호가 노이즈(noise)와 같은 일시적인 현상인지, 장비의 고장 발생 또는 그 징후를 의미하는 것인지, 센서의 오작동인지 판단해야 한다. 이는 기존의 모니터링 시스템이 해양플랜트 사고 원인의 대다수를 차지하는 인적요소를 위험요소로 가진다는 것을 의미한다. 또한 운용자가 항상 올바른 판단을 내리고 행동한다는 가정을 하더라도 예기치 못한 장비의 비정상적인 동작이 발생할 수 있어 해양플랜트의 안전한 운용을 보장하기 어렵다. 실제로 Deepwater Horizon 사고 사례(BP, 2010; Graham et al., 2011)가 있다. Deepwater Horizon의 BOP(Blow Out Preventer)에 이상이 발생했다는 신호를 계측기의 오작동으로 판단하여 기름 누출로 이어졌으며, BOP를 제어하는 컨트롤러의 고장으로 인해 원유분출을 차단하는 것 또한 실패하여 대규모의 기름 유출사고로 이어졌다.

운용자가 장비 성능을 모니터링하여 실시간으로 장비의 성능 변화를 파악하고 장비의 현재 성능이 요구 성능에 미치지 못할 경우 조치를 취함으로써 장비 고장을 방지한다면 보다 안전한 해양플랜트 운용을 보장할 수 있다. 아래는 해양플랜트의 장비 상태와 장비 성능평가 결과를 모니터링 하기 위한 시스템 및 이를 위한 데이터베이스에 관한 연구 동향을 분석한 것이다.

Kim and Won(2015)은 해양플랜트에서 위험관리 대상인 원심압축기의 실시간 성능 모니터링을 위해 데이터를 관리하고자 하였다. 그러나 해당 데이터는 가상으로 생성한 데이터이며, 대량의 장비 데이터에 대한 실시간 관리법을 제시하였으나 이를 활용한 성능 모니터링을 실시하지는 않았다.

Gim et al.(2014)은 해양플랜트의 장비 계측 데이터를 수집하고 모니터링 체계의 구축을 위해 해양플랜트에서 사용중인 DCS(Distributed Control System)를 기반으로 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템을 구축하는 방안을 제시하였다. 그러나 SCADA 시스템으로 수집한 계측 데이터를 활용하는 단계까지는 진행하지 않았다.

Lee et al.(2016a)과 Lee et al.(2016b)은 파력-해상풍력 복합발전시스템에서 수많은 센서를 실시간으로 제어하고, 계측 데이터를 관리하고자 SCADA 시스템을 설계하였다. 그러나

대상 플랜트가 육상센터까지 직접적인 통신이 가능한 거리에 존재하여 일반적인 해양플랜트에 적용하기에는 한계가 있다.

Kim et al.(2014)은 해양플랜트의 주변 환경을 영상으로 수집하고 이를 통계적 기법으로 분석하고자 다단 데이터베이스(multi-stage database)를 제안하였다. 대량의 빅데이터를 저장 및 관리한다는 점에서 의의가 있으나 실시간 처리가 불가능 하는 것과 무선 통신 모뎀을 이용하여 육상과 가까운 위치에 설치된 해양플랜트에서만 적용가능하다는 한계를 가진다.

Gerner et al.(2007)은 BP(British Petroleum)의 해양플랜트 관리프로그램을 연구하였으며, Elman et al.(2013)은 ALLMS(Anchor Leg Load Monitoring System)를 연구하였다. 이들은 해양플랜트 장비의 성능평가를 실시하여 장비의 열화상태를 파악하고자 하였다. 그러나 대상 해양플랜트가 원해에 있어 계측 데이터를 저장매체에 저장한 후 주기적으로 육상으로 보내서 성능평가를 진행하였다는 한계가 있다.

Hwang et al.(2016)과 Hwang and Hwang(2017; 2018)은 시뮬레이터로 가상의 해양플랜트 장비 계측 데이터를 생성하여 장비 성능평가 및 고장 예측을 통한 예지보전 시스템을 개발하고자 하였다. 이들은 RTDB(Real-Time Database)를 사용하여 실시간으로 계측데이터를 데이터베이스화 하였다. 그러나 장비의 성능평가를 위한 데이터베이스를 추가로 구축하기 위한 시간이 필요해 실시간 성능평가가 이루어지지 않았다.

즉, 현 시점에서 실시간 장비 성능 모니터링 시스템을 구축하는 것에 많은 어려움이 따른다. 또한 해양플랜트와 육상까지의 거리가 비교적 가까워 통신망을 이용해 계측정보를 전달 받을 수 있는 환경을 전제로 하여, 원해에 설치된 해양플랜트에 적용하기에 부적합하다. 따라서 육상(onshore)이 아닌 해양플랜트 내에 온보드(on-board) 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 구축할 필요가 있다. 이는 짧은 주기의 성능평가를 가능하게 하며, 탄력적인 성능평가 주기 조절로 이상징후 관측 시 빠르게 장비 성능평가를 실시하여 그 결과를 모니터링 할 수 있도록 한다.

본 연구에서는 온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 개발하기 위한 초기 단계로 해당 시스템을 위한 데이터베이스를 설계 및 구축하고자 한다. 먼저 대상 해양플랜트의 주요 장비를 선정하고 대상 태그 데이터(tag data)를 선정하여 이를 분석하였다. 또한 해양플랜트 내에서 실시간으로 전송되는 데이터 관리 방안을 고려하여 최종적으로 해양플랜트의 장비 성능 모니터링 시스템의 데이터베이스를 설계 및 구축하였다.

## 2. 장비 성능 모니터링 시스템

### 2.1 개요

장비 성능 모니터링 시스템은 장비 성능평가를 실시하고 그 결과를 운용자가 모니터링 할 수 있는 시스템이다.

해양플랜트 내에서 사용하는 모니터링 시스템은 센서를 사용하여 장비의 상태를 계측한 값을 단순 가시화하여 운용자가 볼 수 있도록 하고, 장비의 이상 또는 고장과 같은 비정상적인 상태가 계측된 경우 알람을 울려 운용자가 이를 인지하고 대응할 수 있도록 한다. 그러나 해양플랜트는 육상으로부터 멀리 떨어진 해상의 극한 환경 속에서 운영되고 있는 복합 설비로써, 예기치 못한 문제가 발생하면 즉각적인 대처를 하는 것이 어렵고 이것이 사고로 이어질 경우 그 피해가 매우 크다. 즉, 해양플랜트의 안전한 운용을 보장하기 위해서 장비의 고장을 사전에 방지할 수 있어야 하는데, 현재 해양플랜트 내에서 사용하는 모니터링 시스템은 아직 미흡하다.

장비 성능 모니터링 시스템은 이러한 문제의 해결방안이 된다. 장비 성능평가를 통해 지속적인 이상 징후가 나타나거나 장비 성능이 하락하는 시점으로부터 일정 기간 이전까지의 계측 데이터를 분석하여 해당 시점의 장비효율과 열화 상태를 파악하고, 운용자가 그 결과를 모니터링하여 장비의 성능을 일정하게 유지하기 위한 조치를 취할 수 있다.

### 2.2 시스템의 필요성

해양플랜트는 운용환경의 특성상 장비나 설비의 고장이 대형사고로 이어질 수 있어 이를 방지하기 위해 매우 보수적인 설계(Park and Kim, 2016)를 하여 왔다. 예를 들어 부유식 해양플랜트의 계류선(mooring line)은 파도나 해류, 조류 등으로 인한 지속적인 부하가 발생하고 피로 손상으로 이어질 수 있다. 일반적으로 피로 손상을 확인하기 위해 비파괴 검사를 실시한다. 그러나 해수면 아래에 위치해 있는 부유식 해양플랜트의 계류선에 적용하는 것은 어려우며, 피로 손상이 발생할 경우 계류선을 교체하는 것 또한 쉽지 않다. 이를 해결하기 위해 해당 해역에서 발생할 수 있는 상황을 매우 엄격하게 가정하고 이를 견딜 수 있도록 계류선을 설계함으로써 기대수명을 충족한다.

그러나 유가의 하락과 더불어 기존에 운용중인 해양플랜트의 설계 수명이 한계에 도달한 현 시점에서 이것이 다른 의미로 해석되었다. 설계 당시 예상한 것에 비해 실제 운용 환경에서 가해지는 부하가 현격하게 미치지 못해 설계 수명에 비해 실질적으로 운용 가능한 수명이 길다는 것이다. 즉, 새로운 해양플랜트를 설치하기에 경제적으로 부담스럽고

무엇보다 기존에 운용중인 해양플랜트의 실제로 운용 가능한 수명이 남아있어, 설계수명한계에 도달한 기존의 해양플랜트를 여전히 운용하려는 움직임(Gim et al., 2015)이 생겨났다. 핵심은 과연 잔류 수명이 얼마나 남아있는가에 있었다. 해양플랜트의 사고는 재앙적 규모의 대형 사고로 이어질 가능성이 높고 경제적, 환경적, 인명 피해적 측면에서 엄청난 손실을 일으키므로, 잔류 수명을 논리적이고 수치적인 근거로 증명(Herbst, 2007; 2011)하고 이를 관리할 수 있어야 했다. 운용회사는 장비 성능평가를 통해 이를 해결하고자 하였다. 장비 성능평가란 장비의 정확도를 평가하여 해당 장비가 설계 시 목표한 기능과 성능을 일정수준 이상으로 유지하는지를 확인하는 작업을 뜻한다.

그러나 비교적 육상에서 가까운 곳에 설치되어 계측 데이터를 육상으로 전송하는 것이 용이한 고정식 해양플랜트와 달리 부유식 해양플랜트는 장비 성능평가에 필요한 데이터를 저장매체에 저장하고 이를 육상으로 운반해야 한다는 제약이 있다. 이로 인해 장비 성능평가 시행 주기가 길고, 장비 성능평가를 시행한 이후 장비 성능이 기준이하로 하락하는 상황이 발생할 경우에 이를 확인 할 수 없다. 해양플랜트 내에서 장비성능평가를 실시하고 그 결과를 모니터링 할 수 있다면 육상으로 데이터를 운반하지 않음으로써 장비 성능평가 주기를 짧게 가져갈 수 있으며, 탄력적인 성능평가 주기 조절이 가능하여 이상징후 관측 시 빠르게 장비 성능평가를 실시하여 운용자가 그 결과를 모니터링 할 수 있다. 따라서 해양플랜트 내에서 장비 성능평가를 실시하고 그 결과를 모니터링 할 수 있도록 온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템이 필요하다.

### 2.3 시스템의 구조

장비 성능 모니터링 시스템은 크게 데이터 저장 모듈과 성능평가 모듈 그리고 모니터링 모듈로 나눌 수 있다.

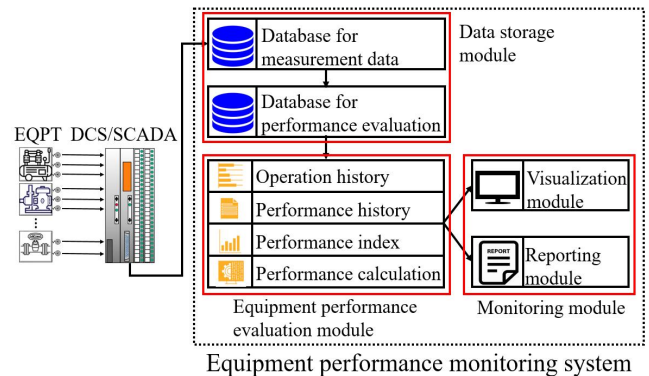


Fig. 1. Equipment performance monitoring system.

Fig. 1은 장비 성능평가 모니터링 시스템의 구조를 도식화한 것이다. 장비 성능평가 모니터링 시스템은 크게 데이터 저장 모듈(data storage module), 장비 성능평가 모듈(equipment performance evaluation module) 그리고 모니터링 모듈(monitoring module)로 구성되어 있다.

데이터 저장 모듈은 계측 데이터를 전송받고 저장하며 성능평가에 필요한 계측 데이터를 다시 데이터베이스화한다. DCS 또는 SCADA 시스템으로부터 전송받는 계측 데이터를 저장하기 위해 데이터베이스(database for measurement data)에 일차적으로 저장한다. 계측 데이터는 그 수가 많으며 실시간으로 전송되는 데이터이므로 이를 처리하기 위한 방안을 고려해야 한다. 성능평가 데이터베이스(database for performance evaluation)는 계측 데이터 데이터베이스로부터 장비 성능평가에 필요한 데이터를 따로 추출하여 저장 및 관리하기 위한 데이터베이스이다.

장비 성능평가 모듈은 데이터를 성능평가 데이터베이스(database for performance evaluation)부터 데이터를 불러와 장비의 운전이력, 성능이력, 성능지표 및 성능계산을 실시하여 장비의 성능을 평가한다. 장비에 대해 교체를 실시하기 전까지 해당 장비의 가동시간과 유지보수 또는 이상으로 인한 정지시간을 통해 가용성을 계산하나 낙수계수법(rainflow counting)을 사용하여 장비의 피로 손상 정도를 계산하는 것과 같이 장비의 현재 성능과 열화상태를 계산한다.

모니터링 모듈에서는 장비의 성능평가를 실시한 결과를 가시화하여 운용자가 이를 볼 수 있도록 하기 위한 기능을 하며 필요에 따라 보고서를 작성할 수 있도록 가시화 모듈(visualization module)과 보고서 모듈(reporting module)로 구성된다.

## 2.4 장비 성능 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스

온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 구축하기 위해 우선적으로 데이터베이스를 고려해야 한다. Fig. 2는 육상의 장비 성능평가 시스템과 온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템 사이의 계측 데이터 흐름을 비교한 것이다.

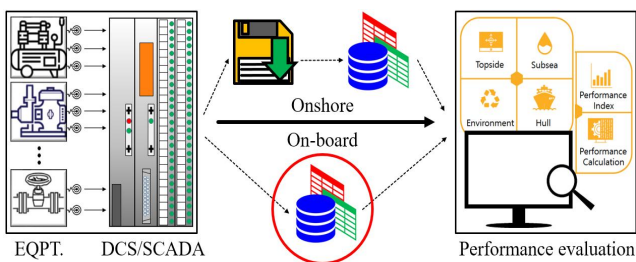


Fig. 2. Onshore system vs on-board system.

다양한 센서를 사용하여 장비의 상태를 계측하면 DCS 또는 SCADA 시스템에서 이를 모아 일괄적으로 전송한다. 육상의 장비 성능평가 시스템은 계측 데이터를 일정 기간 동안 단순 저장한 후 육상으로 데이터를 운반하고 이것을 데이터베이스화 하여 장비 성능평가를 실시한다. 그러나 온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템은 DCS 또는 SCADA 시스템에서 실시간으로 전송되는 계측 데이터를 저장 및 관리하고 장비 성능평가에 필요한 데이터를 추출 및 분석하여 성능평가에 필요한 데이터들의 관계를 파악한 후 데이터베이스화 할 수 있어야 한다. 따라서 온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 개발하기 위해 그에 적합한 데이터베이스 설계 및 구축이 선행되어야 한다.

## 3. 데이터베이스 설계

### 3.1 태그 데이터 선정

온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스 설계를 위해 먼저 대상 태그 데이터를 선정한다. 태그란 데이터를 검색하기 용이하도록 데이터에 이름을 붙인 것으로, 태그 데이터는 계측 데이터에 해당 데이터를 계측한 센서명을 붙인 데이터를 의미한다. 대상 해양플랜트는 D사의 FLNG로써 크게 Top-side, Hull-side, Sea-side의 세 가지 시스템으로 분류할 수 있다. 대상 해양플랜트는 Top-side에서 5,379개의 태그 데이터를, Hull-side에서는 1,449개의 태그 데이터를, Sea-side에서 289개의 태그 데이터를 획득하고 있다. 그러나 태그 데이터는 장비를 계측한 센서명과 계측 시간 및 계측 값을 정보로 가지는 데이터이므로 각 태그 데이터의 구성이 유사하여 본 연구에서는 중요도에 따라 세 가지 시스템에서 각각 한 개의 장비를 선택하고 해당 장비의 태그 데이터를 선정하였다. Table 1에 대상 태그 데이터를 정리하여 나타내었다.

Table 1. Target tag lists

Category	Tag name	Specification
Top-side	11VIB3-571	[T.INL] Vibration, inlet system, condensate stabilization unit, compressor, inlet stabilizer compressor(1st & 3rd stage)
Hull-side	22STR3-902	[H.STO] Strength, storage and offloading system, storage unit, tank, pump tower
Sea-side	81TEN3-950	[S.] Tension, utility system, thruster and mooring unit, package, mooring chain J

Top-side에서 선정된 태그 데이터는 Inlet 시스템을 구성하고 있는 장비 중 고장이 빈번하게 발생하는 장비인 압축기(compressor)에 대한 진동 데이터이다. 진동은 압축기의 주요 고장모드이므로 압축기의 성능평가에 고려되어야 할 데이터이다.

Hull-side에서 선정된 태그 데이터는 펌프 타워(pump tower)의 강도 데이터이다. 펌프 타워는 장비가 아닌 설비이지만 피로 손상으로 인해 일반적으로는 균열이 심화될 때까지 이를 파악하기 어려워 성능평가를 실시해야 한다.

Sea-side에서 선정된 태그 데이터는 계류 시스템의 계류선에 작용하는 장력 데이터이다. 계류선 또한 피로 손상으로 인해 균열이 발생할 수 있으며, 계류선의 파손은 심각한 사고를 초래하므로 성능평가를 실시해야 한다.

### 3.2 데이터베이스 설계 절차

데이터베이스의 설계 절차는 크게 다섯 단계로 나누어 설명할 수 있다. Fig. 3은 데이터베이스 설계 절차를 도식화한 것이다.

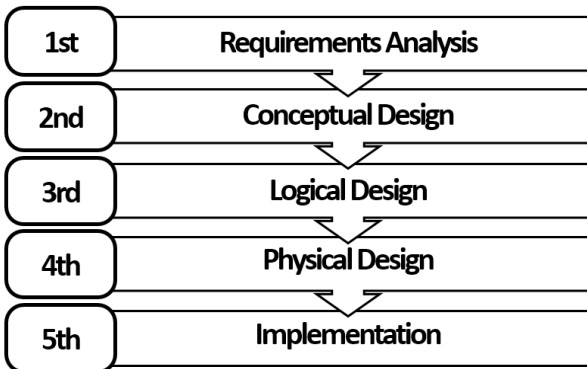


Fig. 3. Database design steps.

첫 번째는 요구사항 분석(requirements analysis)이다. 사용자의 요구사항을 분석하여 구축해야 할 데이터베이스의 용도를 파악하는 과정이다. 장비 성능평가 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스의 핵심은 계측 센서명, 계측 시간, 계측 값으로 이루어진 계측 데이터를 장비성능평가가 가능하도록 관리하는 것에 있다. 특정 장비에 대해 해당 장비를 계측하는 센서들의 정보를 확인하고 각 센서가 계측한 데이터에 접근할 수 있어야 하며, 성능평가 모듈에서 장비 성능을 계산할 수 있도록 특정 기간동안 계측된 데이터에 접근할 수 있어야 한다. 즉, 계측 데이터와 장비를 관계 짓고 필요한 데이터에 접근할 수 있어야 하므로 관계형 데이터베이스를 사용하여 장비 성능평가 데이터베이스를 설계하였다.

두 번째는 개념적 설계(conceptual design)이다. 요구사항 분석을 끝내고 그 결과를 토대로 중요한 개체(entity)를 추출하여 각 개체의 주요 속성과 키 속성을 선별한다. 그 후 개체사이의 관계를 정의하여 이를 개체 관계도(ERD, Entity-Relationship Diagram)로 나타낸다. 개체 관계도란 요구사항으로부터 얻어진 정보들에 대해 도형을 사용하여 개체, 속성, 관계성을 표현함으로써 사람이 이해할 수 있도록 나타낸 것이다. 3.3에서 장비 성능평가 모니터링 시스템의 데이터베이스를 위한 개체 관계도를 작성한 결과를 나타내었다.

세 번째는 논리적 설계(logical design)이다. 개체 관계도를 바탕으로 각 개체들 간의 관계를 설정하여 데이터 스키마를 작성한다. 이때, 모든 개체와 다대다 관계 및 다중 값 속성은 릴레이션(relation)으로 나타내고 일대다, 일대일 관계는 외래키로 표현한다. 이 과정을 완료한 후 속성의 데이터 타입, 길이, 널(null) 값 허용여부, 기본 값, 제약조건 등을 결정한다. 장비 성능 평가 모니터링 시스템의 데이터베이스를 위해 이를 진행한 결과는 3.4에 나타내었다.

네 번째는 물리적 설계(physical design)이다. 하드웨어나 운영체제의 특성을 고려하여 효율적으로 운영할 수 있도록 데이터베이스 관리 시스템을 설정한다. 필요한 인덱스 구조와 내부 저장 구조 등에 대한 물리적 구조를 설계하는 단계이다. 본 논문에서는 대상으로 선정된 FLNG의 장비 운영환경을 기준으로하여 동일하게 하드웨어와 운영체제의 사양을 선정하였다. 인텔의 1 세대 cpu인 린필드의 i5와 8 GB의 메모리, 500 GB의 HDD(Hard Disk Drive)의 상대적으로 낮은 성능의 컴퓨터에서도 원활하게 작동할 수 있도록 하였다.

마지막으로 구현(implementation)에서 SQL로 명령문을 작성하고 데이터베이스를 구현한다.

### 3.3 Entity Relationship Diagram

데이터 스키마를 작성하기 위해 주요 개체를 선정하고 개체 사이의 관계를 결정하였다. Fig. 4는 작성한 개체 관계도이다.

장비 성능 모니터링 시스템은 센서로 계측한 장비의 데이터를 통해 성능평가를 실시하고 그 결과를 모니터링 하기 위한 시스템이므로 다음과 같은 개체로 이루어져 있다. 먼저 장비의 계측 정보를 저장하기 위해 계측 데이터(measurement data)를 개체로 가진다. 계측 데이터는 태그명(tag name), 계측 시간(time stamp), 계측 값(value)을 속성으로 가지며 이것은 DCS 또는 SCADA 시스템으로부터 전달받는 데이터 정보를 나타낸 것이다. 계측 데이터가 어떠한 센서로부터 계측되는 것인지, 해당 센서는 어떠한 장비에 부착된 것인지에 대한 정보를 저장하고 관리하기 위해 장비를 상위 개체로 지정하고, 그 하위 개체로써 태그를 선정하였다.

해양플랜트 장비 성능 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스 설계

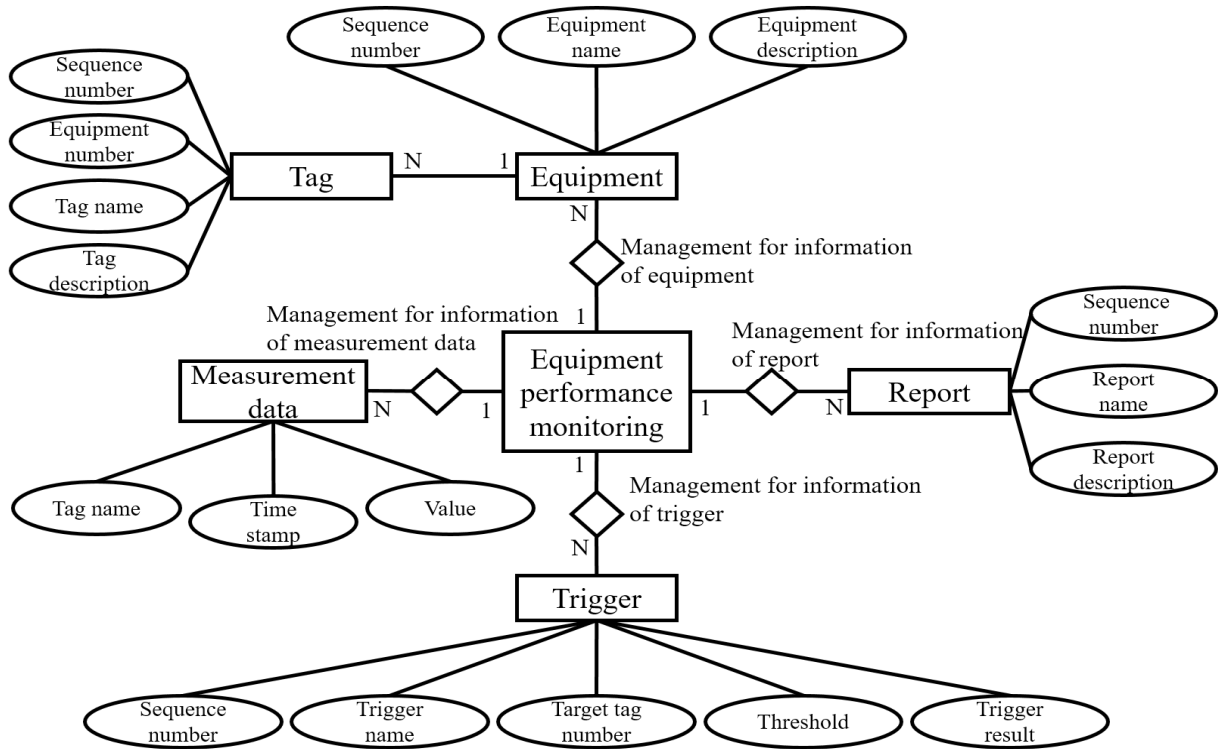


Fig. 4. Entity relationship diagram.

장비는 장비 일련번호(sequence number), 장비명(equipment name) 그리고 장비 설명(equipment description)을 속성으로 가진다. 하위 개체인 태그는 태그의 일련번호, 상위 개체인 장비의 일련번호와 동일한 값을 가지는 장비 번호(equipment number), 계측 데이터의 태그명과 동일한 값을 가지는 태그명, 마지막으로 태그 설명(tag description)을 속성으로 가진다.

장비의 성능을 평가하고 이를 모니터링 하기위해 트리거와 리포트를 개체로 선정하고 각각의 속성을 정하였다. 트리거는 트리거 일련번호, 트리거명(trigger name), 태그의 일련번호와 동일한 값을 가지는 대상 태그 번호(target tag number), 장비의 고장 발생 유무를 확인하기 위한 한계 값(threshold) 및 트리거 결과(trigger result)를 속성으로 가진다. 리포트는 리포트 일련번호, 리포트명(report name), 리포트 설명(report description)을 속성으로 가진다.

3.4 데이터 스키마

데이터베이스의 논리적 구조를 표현하기 위해 개체 관계도를 사용하여 데이터 스키마를 작성하였다. 각 개체들에 대한 속성명과 데이터 타입, 데이터 포맷을 선정하였다. Table 2는 태그 데이터에 대한 데이터 스키마를 나타낸 것이다.

Table 2. Data schema - tag data

Attribute name	Description	Type	Format
TAG_NM	Tag name	nvarchar	A50
REG_DT	Time stamp	nvarchar	A50
DATA_VALUE	Value	decimal	F2.7

속성에서 태그명과 같이 문자를 데이터로 가지는 경우 각각 문자의 길이가 때문에 가변형 문자열을 사용하기 위해 문자열 자료형 중 하나인 'nvarchar'를 사용하였다. 계측 시간은 날짜 및 시간에 대한 정보를 데이터로 가지는 속성이지만 숫자와 기호가 혼용된 형태의 값을 가지므로 태그명과 동일하게 'nvarchar'를 사용하였다. 계측 값과 같이 소수 형태의 숫자가 입력되어야 하는 속성은 실수형 자료형 중 하나인 'decimal'을 사용하였으며 일련번호처럼 정수가 입력되는 속성은 정수형 자료형인 'int'를 사용하였다. 포맷은 저장해야 할 정보의 크기를 고려하여 지정하였다.

3.5 데이터베이스 구축 결과

DSC 또는 SCADA 시스템으로부터 실시간으로 전송되는 계측 데이터의 데이터베이스화는 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 세 단계로 나누어서 진행하였다.



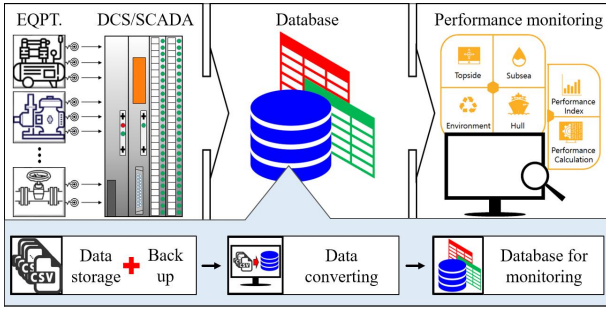


Fig. 5. Step of storing tag data.

먼저 DCS 또는 SCADA 시스템로부터 실시간으로 전송되는 계측 데이터를 저장하기 위해 CSV(Comma-Separated Value) 형태의 파일로 단순 저장하였다. 이때 데이터의 손실 등의 문제를 방지하고자 파일 백업을 함께 실시하였다. RTDB를 사용하면 계측 데이터를 실시간으로 데이터베이스화하여 효율적으로 관리할 수 있으나, 해양플랜트의 공간적 요소, 운영환경적 요소와 경제적 요소를 고려해볼 때 단순히 실시간으로 전송되는 데이터를 처리하기 위해 RTDB를 사용하는 것은 적합하지 못하므로 이와 같이 계측 데이터를 저장하였다. 장비의 이상작동 발생과 같이 성능평가가 필요한 경우 CSV 파일에서 필요한 파일을 선정하여 이를 데이터베이스화 할 수 있도록 하였다. 이를 위해 데이터베이스의 물리적 설계 단계에서 MS SQL을 사용하여 쿼리(query)문으로 데이터베이스를 생성하고 성능평가가 가능하도록 데이터 테이블을 생성하였다. 이후 성능평가에 필요한 CSV 파일의 내용을 데이터 테이블의 형식에 맞게 불러오고 저장할 수 있도록 데이터 변환 프로그램을 개발하였다.

Fig. 6은 계측 데이터의 데이터 테이블을 생성하기 위해 작성한 쿼리문과 그 결과를 나타낸 것이다.

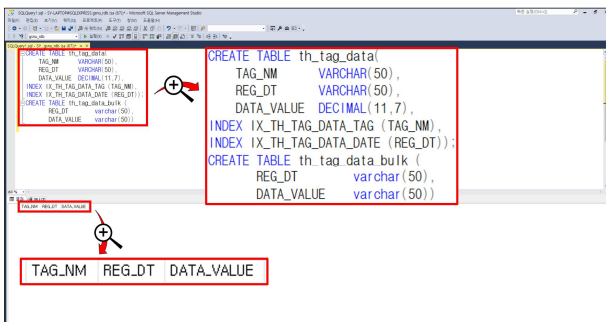


Fig. 6. Creation of data table.

데이터 스키마에서 작성한 속성명과 타입, 포맷에 맞추어 쿼리문을 작성하였다. Fig. 6의 상단부는 MS SQL의 쿼리문 입력창을, 하단부는 쿼리문을 실행한 결과로 생성된 데이터

테이블의 모습을 보여준다.

Fig. 7은 데이터 변환 프로그램의 메인화면이다.

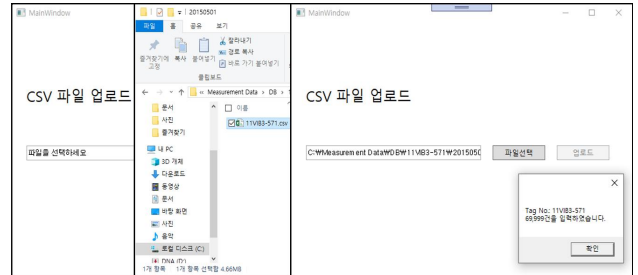


Fig. 7. Program for data converting.

‘파일선택’을 누르고 CSV 파일이 저장된 경로로 접속한 후 필요한 CSV 파일을 선택하면 CSV 파일의 내용을 데이터베이스에 업로드 할 수 있다. CSV 파일은 태그명을 파일명으로 하여 저장된 파일이며, 계측 시간에 따른 계측 값들이 순차적으로 나열되어 있다. 데이터 변환을 통해 이를 데이터베이스화 하면, CSV 파일명을 계측 데이터에 대한 데이터 테이블의 ‘TAG\_NM’에 저장하며, 계측 시간 정보는 시간 순서에 맞추어 ‘REG\_DT’에 저장한다. 계측 값은 계측 시간과 대응되도록 ‘DATA\_VALUE’에 순차적으로 저장되도록 하였다. ‘업로드’ 버튼을 누르면 CSV 파일의 내용을 데이터베이스에 저장하게 된다. 업로드가 성공적으로 진행된다면 안내창이 생성되어 결과를 확인할 수 있도록 하였다.

데이터 변환을 완료하면 MS SQL Server Management Studio에서 그 결과를 확인할 수 있다. Fig. 8은 Top-side의 Inlet 시스템 내에서 작동하는 압축기의 진동 계측 데이터를 계측 데이터의 데이터 테이블에 저장한 결과를 나타낸 것이다.

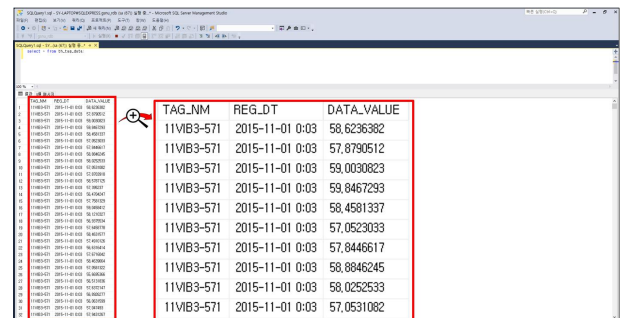


Fig. 8. Database of measurement data for compressor.

가장 왼쪽에 기입되는 정보는 데이터의 순서를 나타내는 번호이며 ‘TAG\_NM’에서 태그명에 대한 정보를, ‘REG\_DT’에서 센서로 데이터를 계측한 시간에 대한 정보를 확인할 수 있다. 압축기의 진동 상태 계측 데이터는 0.5초 간격으로 계

## 해양플랜트 장비 성능 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스 설계

측된 데이터이므로 분당 120개의 데이터가 저장되어 나타난다. 'DATA\_VALUE'에서 계측 값을 확인할 수 있다.

쿼리문을 사용하여 태그에 따른 계측 데이터를 검색하면 Fig. 9와 같은 결과를 얻을 수 있다.

SEQ	EQPT_SEQ	TAG_NM	TAG_DES	REG_DT	DATA_VALUE
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	58.6236382
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	57.8790512
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	59.0030823
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	59.8467293
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	58.4581337
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	57.0523033
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	57.8446617
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	58.8846245
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	58.0252533
111906	10457	11VB3-571	[T.INL]VIBRATION	2015-11-01 0:03	57.0531082

Fig. 9. Database of tag information for compressor.

태그에 대한 데이터 테이블과 계측 데이터에 대한 데이터 테이블을 태그명을 기준으로 검색하면 계측 데이터를 측정하는 태그의 일련번호, 해당 태그가 부착되어있는 장비의 일련번호 및 태그의 설명에 대한 정보를 불러올 수 있다. 'SEQ'는 태그 일련번호를, 'EQPT\_SEQ'는 해당 태그가 부착된 장비 일련번호를 알려준다. 'TAG\_NM'은 계측 데이터의 데이터 테이블과 동일하게 태그명이 나타나며 'TAG\_DES'에서 해당 태그의 설명을 확인할 수 있다.

쿼리문을 사용하여 장비를 기준으로 계측 데이터를 검색하면 Fig. 10과 같은 결과를 얻을 수 있다.

EQPT_SEQ	EQPT_NM	EQPT_DES	TAG_NM	REG_DT	DATA_VALUE
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	58.6236382
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	57.8790512
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	59.0030823
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	59.8467293
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	58.4581337
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	57.0523033
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	57.8446617
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	58.8846245
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	58.0252533
10457	COMPRESSOR	INLET STABILIZER COMPRESSOR(1ST & 3ND STAGE)	11VB3-571	2015-11-01 0:03	57.0531082

Fig. 10. Database of equipment information for compressor.

특정 장비를 기준으로 해당 장비의 계측 데이터 정보를 검색하고 관리함으로써 장비 성능평가에 활용할 수 있다. 'EQPT\_SEQ'와 'EQPT\_NM'은 각각 장비 일련번호와 장비명이 나타난다. 'EQPT\_DES'에서 장비에 대한 설명을 확인할 수 있다.

최종적으로 해양플랜트의 안전한 운영을 위한 장비 성능 모니터링 시스템의 데이터베이스를 설계 및 구축하였으며

실시간으로 전송되는 계측 데이터를 필요에 따라 성능평가가 가능하도록 데이터베이스화 되었음을 확인하였다.

## 4. 결론

해양플랜트의 안전한 운영을 위해 센서를 통해 장비의 상태를 실시간으로 계측하고 이러한 정보를 활용하여 육상에서 장비 성능평가를 실시하고 있다. 그러나 원해의 해상에서 운용되는 부유식 해양플랜트는 장비 성능평가를 위해 계측 데이터를 저장매체에 저장하여 육상으로 운반해야 한다. 이러한 과정으로 장비 성능평가 주기가 길어지며, 성능평가와 다음 성능평가 사이의 공백 기간동안 장비의 성능하락이 발생 시 이를 파악하기 어렵다. 해양플랜트 내에서 성능평가를 실시하고 이 결과를 모니터링 가능한 온보드 형태의 장비 성능평가 모니터링 시스템을 구축한다면, 성능평가 시행 주기를 줄이고 필요에 따라 주기를 탄력적으로 조정하여 이러한 문제를 해결할 수 있다.

본 연구에서는 온보드 형태의 장비 성능 모니터링 시스템을 개발하고자, 첫 단계로 이 시스템에서 중요한 역할을 하는 데이터베이스를 설계하고 구축하였다. 먼저 대상 해양플랜트의 주요 장비를 선정하고 해당 장비의 계측 데이터를 수집하였다. 다음으로 요구사항을 분석하고 주요 개체를 선정하였으며, 개체사이의 관계를 결정하여 개체 관계도를 작성하였다. 작성된 개체 관계도를 사용하여 데이터 스키마를 작성하고 MS SQL을 사용하여 데이터베이스의 물리적 설계를 진행하였다. 실시간으로 전송되는 계측 데이터는 CSV 형태의 파일로 저장하고 데이터 변환을 위한 프로그램을 개발하여 장비 성능평가에 필요한 데이터를 데이터베이스에 저장할 수 있도록 하였다.

데이터베이스 구축 결과를 확인하기 위해 해양플랜트에서 중요한 기능을 하는 Inlet 시스템의 압축기에 대한 진동 데이터, 탱크 내부에 설치되어 있는 펌프 타워의 강도 데이터, 마지막으로 계류 시스템의 계류선에 대한 장력 데이터를 데이터베이스화한 결과를 확인하였다. 최종적으로 연구 목적에 해당하는 해양플랜트 내에 장비성능 모니터링 시스템을 위한 데이터베이스를 구축하였다.

본 연구에서 사용한 계측 데이터는 시뮬레이션으로 생성한 가상의 데이터이다. 실제 작동중인 회전체 장비의 진동 데이터를 실시간으로 수집하기 위해, 회전체 모니터링 시스템을 구축 중에 있다. 향후에는 이를 활용하여 본 연구에서 구축한 데이터베이스의 유용성을 검토하고자 한다. 또한 압축기, 펌프 타워, 계류선의 성능평가를 실시하기 위해 성능평가 시스템과 현재 구축한 데이터베이스 사이의 인터페이스를 설계하고자 한다.



## 감사의 글

본 연구는 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원(2020년 산업혁신인재성장지원사업, 과제번호: P0001968), 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제(광역)협력권산업육성사업(과제번호: P0004736) 및 BK21플러스사업의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

## References

- [1] BP(2010), Deepwater Horizon Accident Investigation Report, the report of an internal BP incident investigation team, September 2010.
- [2] Elman, P., J. Bramande, E. Elletson, and K. Pinheiro(2013), Reducing Uncertainty Through the Use Of Mooring Line Monitoring, Proceedings in Offshore Technology Conference, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 1-9.
- [3] Gerner, M. B., S. R. Perryman, J. F. Geyer, and J. T. von Aschwege(2007), Marine Monitoring of Gulf of Mexico Deepwater Floating Systems, Proceedings in Offshore Technology Conference, Houston, Texas, U.S.A., pp. 1-6.
- [4] Gim, H. S., K. I. An, and J. S. Hwang(2014), Design of Condition based maintenance system For the integrated and intelligent operation of offshore plant, Proceedings of the Society of CAD/CAM Conference, Pyeongchang, Republic of Korea, pp. 152-155.
- [5] Gim, H. S., K. I. An, D. Y. Song, J. S. Hwang, and H. J. Hwang(2015), The development state of Condition Based Maintenance System for Offshore Platform, Proceedings in the Institute of Electronics and Information Engineers, Jeju, Republic of Korea, pp. 1840-1843.
- [6] Graham, B., W. K. Reilly, F. Beinecke, D. Boesch T. D., Garcia, C. A. Murray, and F. Ulmer(2011), National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling, Deep Water - the Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling, January 2011.
- [7] Herbst, L. T.(2007), NTL No.2007-G26, United States Department of the Interior Minerals Management Service Gulf of Mexico Region, October 2007.
- [8] Herbst, L. T.(2011), NTL No.2011-G01, United States Department of the Interior Minerals Management Service Gulf of Mexico Region, June 2011.
- [9] Hwang, H. J. and J. S. Hwang(2017), Development of Condition based Maintenance Platform to Support the Condition based Maintenance Process in Offshore Plants (in Korean), Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 54(3), pp. 27-30.
- [10] Hwang, H. J. and J. S. Hwang(2018), Development and Application of CBM (Condition-Based Maintenance) Platform Supporting CBM Processes for Offshore Plants, Korean Journal of Computational Design and Engineering, 23(3), pp. 215-224.
- [11] Hwang, J. S., K. P. Park, J. W. Park, H. J. Hwang, and I. Y. Kong(2016), Introduction of Condition based System for Offshore Plants (in Korean), Korean Journal of Computational Design and Engineering, 22(1), pp. 47-53.
- [12] Kim, H. K., H. G. Hwang, G. J. Yoo, J. S. Lee, H. C. Park, O. K. Shin, and S. D. Lee(2014), A Development of Video-complex Remote Monitoring System for Offshore Plant, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 38(1), pp. 56-63.
- [13] Kim, S. S. and J. H. Won(2015), Implementation of Real-time Data Stream Processing for Predictive Maintenance of Offshore Plants, Journal of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers, 42(7), pp. 840-845.
- [14] Lee, J. K., S. Y. Lee, T. H. Kim, and K. S. Ham(2016a), Development of Unified SCADA System based on IEC61850 in Wave-offshore Wind Hybrid Power Generation System, Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, 65(5), pp. 811-818.
- [15] Lee, J. K., S. Y. Lee, T. H. Kim, and K. S. Ham(2016b), A Study on Heterogeneous Computing Environment based on OpenCL for High-speed Operation of Wave-offshore Wind Hybrid Power Generation SCADA System, proceedings of 2016 Conference of the Korean Society for Marine Environment and Energy, Busan, Republic of Korea, pp. 195-198.
- [16] Park, J. Y. and M. H. Kim(2016), Application of the Field of Materials-Destruction in Offshore Plant Industry (in Korean), Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 56(4), pp. 45-47.

Received : 2020. 08. 03.

Revised : 2020. 08. 21.

Accepted : 2020. 08. 28.