

특집 1

[플랜트 예지보전 과제]

해양플랜트 예지보전 시스템의 소개

[글] 황진상^{1*}, 박광필², 박정우³, 황호진⁴, 공인영⁵
^{1*}주부품디비, ²주대우조선해양, ³주우리기술,
⁴선박해양플랜트연구소, ⁵주세이프텍리서치
 *mars@partdb.com



그림 1. 스마트플랜트로의 접근

활동에 영향을 제공한다. 이를 체계적으로 대응하기 위해서는 플랜트 정보화 기술이 반드시 필요하며 이 방대한 정보에 대해 추가적으로 지식화 기술이 요구된다.

이러한 사회적 및 기술적 추세로 인해 최근에는 스마트플랜트(Smart Plant)라고 하는 개념을 중심으로 기존의 연구/개발 진행 중이던 여러 종류의 기술들이 체계적으로 통합 및 정리되고 있다. 스마트플랜트는 플랜트의 총 생애주기에 걸쳐 생성 및 활용되는 모든 정보들에 대한 체계적이고 장기적인 통합 및 관리를 기반으로, 정보 자체의 형상(Configuration)을 실시간 관리하며 그 방대한 정보들을 정보화 수준을 넘어 지식화 수준까지 활용하기 위한 기술이다.

이를 위해 현재의 플랜트 분야에서 추가적으로 필요로 하는 기술들이 바로 CPS, 형상관리, 예지보전 등이며, 이와 연계 및 통합되어 지식화된 차세대 ICS(Industrial Control System)가 스마트플랜트의 실현에 중요한 역할을 담당한다. 즉, 통합정보관리 체계를 토대로 체계적인 요건 관리와 함께, 보전 활동을 통한 자산관리, 지식화된 관제의 연계 통합을 통하여 그림 1과 같이 스마트플랜트로의 접근을 실현한다.

1. 해양플랜트 예지보전

1.1 연구 배경

제조산업에서의 플랜트는 자본산업 혹은 장치산업이라고 표현되는데, 발전, 석유화학 등과 같은 분야의 예로 알 수 있듯이 생산되는 제품에 못지 않게 생산시설에 대한 품질관리 등과 같은 운영 및 보전 활동의 중요도가 높은 경우가 대부분이다.

1970년대부터 급속도로 많은 플랜트가 건설되어 왔음으로 인해 현재 여러 국가의 각종 플랜트들이 노후화 단계에 접어들면서 각종 사고가 빈번히 발생하고 있음이 사실이나, 이에 대한 적절한 대처 및 예방 방안은 없는 실정이다.

최근 십여 년간 이를 위한 기술들이 꾸준히 연구 및 개발되어 왔으며, 그 중 CPS(Cyber-Physical System)를 비롯하여 형상관리(Configuration management), 예지보전(Condition based maintenance), 그리고 신뢰성 분석 기법과 고장 분석 기법 등과 같은 각종 보전 활동을 위한 체계화된 기술들이 집중적으로 성장하고 있는 추세이다.

1.2 스마트플랜트 (Smart Plant)

플랜트는 방대하고 복잡한 시스템 구성과 함께 다양하고 복잡한 프로세스 및 활동주체가 장기간에 걸쳐 존재하는 특징을 가지고 있다. 이에 따라 독립적인 형태의 방대한 정보들이 유기적으로 변화하며 타

1.3 해양플랜트 예지보전 시스템

예지보전(豫知保全)은 ‘장비 상태에 대한 전문가적 진단을 통해 수명을 미리 예지하고 고장 발생 이전에 미리 보수하여 전체 시스템의 원활한 운용을 보장하는 유지보수 방법’으로 정의한다.

예방 차원을 넘는 적극적이고 공격적인 해양플랜트의 운영 및 유지보수를 위한 스마트 해양플랜트 예지보전 관련 전략을 수립하였으며, 산업통상자원

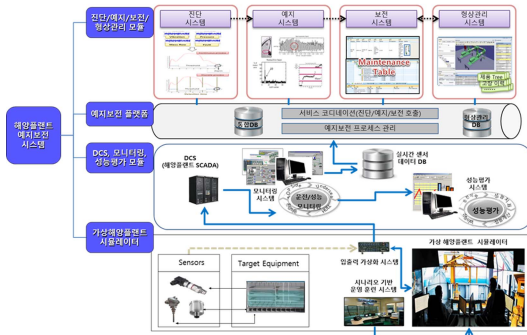


그림 2. 해양플랜트 예지보전 시스템의 구성

부의 산업융합원천기술개발사업으로 ‘해양플랜트 통합 운영 및 유지보수를 위한 예지보전(豫知保全) 시스템 개발’ 과제를 (주)부품디비 주관으로 진행하고 있다.

해당 과제는 해양플랜트의 효율적 운영 및 유지보수를 위해, 해양플랜트 설비 및 장비의 정보를 실시간으로 수집하고, 이를 기반으로 예지보전을 수행하는 의사결정 지원 시스템 개발을 최종 목표로 하고 있다. 이를 위해 해양플랜트 SCADA 시스템으로 획득된 정보들을 기반으로, 해양플랜트 예지보전 솔루션이 지능형 보전활동을 실현하며, 가상 해양플랜트 운영 시스템에서 이를 검증하는 체계로 구성되어 있다. 그림 2는 해양플랜트 예지보전 시스템의 구성을 도식화한 것이다. 시스템 구성은 다음과 같으며, 해양플랜트 전용의 유지보수 분야와 운영 훈련 분야에 적용할 수 있는 기술이다.

- 해양플랜트 SCADA 시스템
- 해양플랜트 예지보전 솔루션
- 가상 해양플랜트 운영 시스템

2. 해양플랜트 SCADA 시스템

2.1 개요

해양플랜트 SCADA 시스템은 그림 3과 같이, 해양플랜트에 설치된 센서로부터 운전데이터를 수집하고 해양플랜트 제어신호를 발생하는 분산제어시스템과 실시간 DB(Database)에 수집된 데이터를 이용하

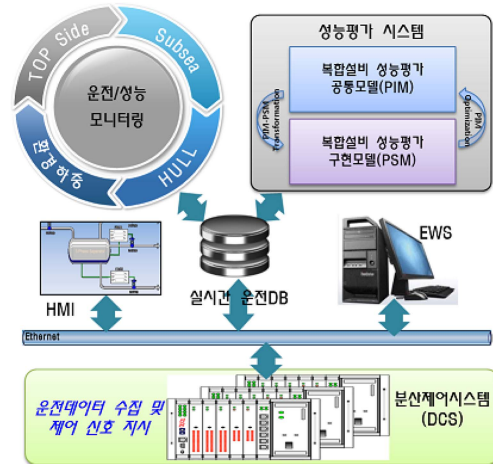


그림 3. 해양플랜트 SCADA 시스템 구성도

는 운전/성능 모니터링 시스템과 성능평가시스템으로 이루어진다. 또한, 분산제어시스템의 내장 제어로직을 설정하고 관리하는 EWS(Engineering Work Station) 컴퓨터와 해양플랜트 운전관리자 (Operator)를 위한 그래픽 사용자 인터페이스인 HMI (Human-Machine Interface) 컴퓨터도 포함된다

분산제어시스템은 해양플랜트의 운전 데이터를 수집하여 실시간 운전 DB를 통해 운전/성능 모니터링 및 성능평가시스템으로 전송한다.

운전/성능 모니터링 시스템은 해양플랜트 분산제어시스템으로부터 실시간 운전 데이터를 취득하여 제반 장비의 실시간 운전 현황 및 성능을 통합 모니터링 하는 시스템이며, 장기간 운전 이력 정보를 예지보전 플랫폼에 제공한다.

공통모델 기반의 해양플랜트 설비 성능평가 시스템은 해양플랜트 분산제어시스템과 실시간 운전 DB로부터 수집한 설비에 대한 출력 정보의 변이량을 분석하여 성능평가 결과를 도출하고 이를 성능 DB를 통해 예지보전 플랫폼에 전달하며, 사용자에게 설비의 성능 추이 변화와 성능 평가 결과를 제공한다.

2.2 분산제어시스템

분산제어시스템은 하나의 단위 제어기로 제어할 수 없는 대규모의 플랜트 프로세스를 제어하기 위해 다수

의 단위 제어를 통신 네트워크(Communication Network)로 연결하여 제어 로직을 구현하는 시스템이다.

하나의 단위 제어기는 프로세싱 모듈과 입출력 모듈, 센서 네트워크 모듈, 전원공급장치로 구성된다. 프로세싱 모듈은 엔지니어링 컴퓨터(EWS)로부터 제어 로직을 다운로드 받아 제어 로직을 실행하고 통신망에 인터페이스하는 기능을 한다. 입출력 모듈은 아날로그 신호 입력, 아날로그 신호 출력, 디지털 신호 입력, 디지털 신호 출력을 처리하는 기능을 가진다. 센서 네트워크 모듈은 디지털 통신 기능을 내장한 스마트 센서 또는 구동기(Actuator)와 입출력을 처리하고, 전원공급장치는 단위제어기의 프로세싱 모듈, 입출력 모듈, 센서 네트워크 모듈이 동작하는 전원을 공급한다.

해양플랜트 SCADA 시스템은 두 개의 통신망으로 구성되는데, 제어 통신망(Control Network)은 단위 제어기들이 프로세스 제어를 위해 실시간으로 통신하는 데이터를 전송하기 위해 사용하며, 정보 통신망(Information Network)은 데이터베이스, 엔지니어링 스테이션(EWS) 및 HMI 컴퓨터에 프로세스의 운전 데이터를 전송하기 위해 사용한다. 제어 통신망과 정보 통신망은 통신망 장애에 대비하기 위해 각각 이중화되어 있다.

2.3 프로세스 제어 및 HMI

해양플랜트 FPSO 는 크게 Top-side, Hull-side, Subsea-side의 시스템으로 구분할 수 있으며, 선체/계류 시스템, 가스 전처리 및 액화시스템, 화물창 및 하역시스템, LNG 재기화 시스템 등의 Up-stream 프로세스 및 Down-stream 프로세스 공정을 포함하고 있다.

공정의 FDS(Functional Design Specification)를 기반으로 하는 제어/안전 알고리즘으로 분석하고, 그 결과를 바탕으로 프로세스 제어 로직을 분산제어시스템에 구성한다. 운영 및 모니터링 작업을 위한 HMI는 사용자 및 개발자의 접근성이 좋은 범용 HMI 도구를 이용하여 구성한다.

2.4 운전/성능 모니터링 시스템

해양플랜트의 여러 주요 구성 장비, 모듈, 시스템으로부터 고속의 대량 센서 및 운전 데이터가 실시간으로 발생한다. 실시간 운전 DB는 이들 대량의 데이터 및 이벤트 정보를 분산제어시스템을 통해 실시간으로 수집 및 장기간 동안 온라인 보관, 즉시 가공하여 필요한 정보로 활용할 수 있도록 하는 시스템이며, 시간과 공간의 제약 없이 해양플랜트에 대한 운전 상황을 동시에 실시간으로 통합하여 모니터링 및 분석 가능 하도록 하는데 있다.

2.5 성능평가시스템

성능평가 시스템은 대상 시스템 또는 특정 설비에 대해 기자재업체나 EPC(Engineering, Procurement, and Construction)에서 제공하는 에너지 효율을 기준으로, 측정된 데이터를 통해 투입 에너지 대비 출력 에너지를 계산하여 에너지효율의 변위를 지속적으로 감시하여 이를 운영자에게 시정각 정보를 제공하는 시스템이다. 원양의 극한 환경에서 수십 년 동안 운영되는 해양플랜트에 탑재되는 설비들은 높은 내구성이 요구되며 지속적으로 성능을 모니터링할 필요가 있기 때문에 설비에 대한 성능평가 시스템은 필수적이다.

미국기계학회(ASME, American Society of Mechanical Engineers)등 플랜트 설비 관련 국제 표준 기관에서 제시하는 성능평가 기준을 바탕으로 설비에 대한 성능을 실시간으로 평가하여 설비가 최고의 효율을 낼 수 있도록 하며 설비의 이상유무를 파악하여 처리하는 예지보전진단 시스템과 연동하여 설비가 최적의 상태에서 동작할 수 있도록 해준다.

3. 해양플랜트 예지보전 솔루션

3.1 개요

해양플랜트 예지보전 솔루션은 해양플랜트 SCADA 시스템으로부터 수집되는 정보들을 기반으로 설비의 상태를 진단하고 열화를 측정함으로써 잔여 수명을 정확히 예측하여 고장이 일어나기 직전에 보전을 실

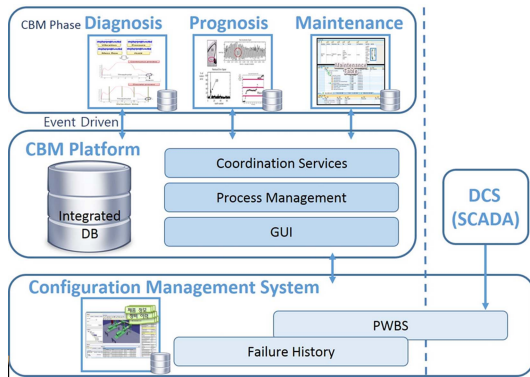


그림 4. 해양플랜트 예지보전 솔루션의 구성

시할 수 있도록 지원하는 의사결정 지원 솔루션으로 정의한다. 이 솔루션은 지능형 진단, 예지, 보전 시스템을 포함하며, 이를 통합 관리하는 예지보전 플랫폼과 해양플랜트 설비 및 장비의 형상(Configuration)을 항상 유지시키는 형상관리 시스템으로 구성된다.

그림 4는 해양플랜트 예지보전 솔루션의 구성 요소들을 표현한 다이어그램이다. 진단 시스템은 설비 상태를 실시간으로 감지하여, 이상 신호에 대한 고장 여부를 진단하고 예측한다. 예지 시스템은 대상 시스템의 미래 시점의 고장 이상 유무를 예측하며 잔여수명 시간을 계산한다. 보전 시스템은 최적의 유지보수 방법, 절차, 주기를 제시한다. 형상관리 시스템은 운영/유지보수의 정확도를 향상시키고 안전성을 확보하기 위한 관리 시스템이다. 예지보전 플랫폼은 예지보전 관련 의사 결정을 지원하기 위해, 해양플랜트 SCADA 시스템에서 제공하는 정보들을 진단, 예지, 보전 시스템에 전달하고, 각 단계에 대한 활동 시나리오 및 세부 프로세스를 관리하고 통합한다. 또한 각 시스템 간의 정보 교환 및 수집/축적되는 공유 데이터를 통합적으로 관리하는 역할을 수행한다.

3.2 예지보전 솔루션 구성요소

3.2.1 지능형 진단(Diagnosis) 시스템

지능형 진단(Diagnosis) 시스템은 해양플랜트 설비의 상태를 실시간으로 감지하여 발생 가능한 고장에 대하여 미리 예측하기 위한 진단을 수행한다. 진단을 위한 신호처리(Signal Processing)와 처리된 신호

를 기반으로 설비의 상태를 진단하는 독립적인 기능으로 구성된다(Ozturk 등, 2014). 이 시스템은 해양플랜트의 주요 대상 장비에 대한 고장 유형(Failure Mode)을 분석하여 센서로부터 획득되는 신호 데이터들을 처리하고, 진단 알고리즘을 통해 장비의 이상 징후에 대한 감지 및 판단하는 역할을 수행한다.

3.2.2 예지(Prognosis) 시스템

예지(Prognosis) 시스템은 진단 결과에 따라 구동되며, 해양플랜트에서 수집되는 데이터를 분석하여 설비의 열화 상태를 판단한다. 이를 활용하여 장비/설비의 잔여수명, 고장확률 등을 일정 주기 혹은 이벤트(Event) 기반으로 성능을 예지하며, 이를 유지보수 계획 최적화에 활용하는 의사결정 지원 시스템이다(조상제 등, 2014). 이 시스템은 진단의 결과 이상 징후에 해당하는 진단 데이터를 획득하여 고장 관련 임계값(Critical Limit)을 설정하고, 이상 징후에 대한 추세선을 추정하여 잔여 수명을 예지하는 역할을 수행한다. 이 때 고장확률 밀도 함수, 신뢰도 함수, 불신뢰도 함수 등을 추정하는 예지 알고리즘이 사용된다.

3.2.3 보전(Maintenance) 시스템

보전(Maintenance) 시스템은 해양플랜트 장비/설비의 주요 정보들을 이용하여 경제성평가 기법으로 분석하고, 이를 통해 최적의 유지보수 방법, 절차, 주기를 제시한다. 주요 정보는 주요 인자들의 운전 중 거동변화 측정 데이터, 운전 시스템의 고장 원인, 특성, 영향, 결과 및 위험도 해석 자료, 유지보수 사례 등을 포함한다. 이를 통해 장비/설비 가동시간 증가 및 불필요한 부품 교체 비용에 대한 낭비를 줄여 예방정비의 효율을 극대화할 수 있다(이순섭, 2014). 이 시스템은 고장 유형 및 고장 시나리오(Scenario)를 기반으로 하여 치명도(Criticality) 평가 및 심각도(Severity) 평가를 통해 안전수준 및 고장방지를 위한 보전 대책을 제시하는 역할을 수행한다.

3.2.4 형상관리(Configuration Management) 시스템

형상관리(Configuration Management) 시스템은 해양플랜트의 운영 및 유지보수 정확도를 향상시키기

위해, 해양플랜트의 설계기준/요구사항, 설계형상, 물리적 형상이 항상 일치되도록 유지시켜주는 시스템이다(안경의 등, 2014). 이 시스템은 예지보전 솔루션의 기반이 되며 형상(Configuration)에 관한 다양한 정보 요구사항들을 반영하였으며, 형상 변경에 대한 프로세스 및 워크플로우(Workflow)를 체계적으로 제공하여 예지보전 솔루션이 항상 일관된 정보들이 사용될 수 있도록 지원한다.

3.2.5 예지보전 플랫폼(Platform)

예지보전 플랫폼(Platform)은 예지보전 관련 의사결정을 지원하기 위해 진단, 예지, 보전 단계에 대한 시스템 프로세스를 통합하고 각 단계에서 공유하는 정보를 관리한다. 해양플랜트 SCADA 시스템에서 제공되는 정보들을 진단, 예지, 보전 단계의 담당 시스템에 전달하고, 각 시스템 간의 정보 교환을 통합적으로 관리하는 기능을 수행한다(황호진 등, 2014). 예지보전 플랫폼은 형상관리 시스템을 근간으로 작동하며, SCADA 시스템으로부터 발생하는 이상 징후 이벤트를 감지하여 예지보전 프로세스를 구동시킨다. 필요에 따라서는 사용자의 입력에 의해서도 작동한다. 예지보전 플랫폼은 각 단계 별 시스템의 정보의 원활한 흐름을 제공하며, 예지보전과 관련된 다양한 지원 서비스를 제공한다. Fig. 2는 예지보전 플랫폼의 관계도를 나타낸 것이다.

3.3 운영 개념

이상과 같이 예지보전 솔루션은 형상관리 시스템을 근간으로 하여 이상 징후 감지 시 예지보전 플랫폼이 구동되며, 예지보전 플랫폼을 통해 해당 설비 및 장비에 대한 상태를 진단하는 진단 시스템(Diagnosis), 진단 결과를 활용하여 향후 상태를 예측하는 예지 시스템(Prognosis), 예지 결과를 기반으로 보전 활동에 대한 의사 결정을 지원하는 보전 시스템(Maintenance)으로 구성되어 운영한다.

4. 가상 해양플랜트

4.1 개요

가상 해양플랜트는 실제 플랜트의 작동 원리를 컴퓨터상에 구현한 것으로서, 플랜트의 운전 상황을 가상으로 모사하기 위한 시스템이다. 가상 해양플랜트는 실제 플랜트 운영에 따른 위험과 비용을 부담할 필요가 없기 때문에, 반복되는 교육 훈련용이나 신규 개발되는 모니터링 시스템에 유용하게 활용될 수 있으며, 모델은 분산제어시스템을 검증하는 HILS(Hardware-In-the-Loop System) 시스템 구현의 중요한 요소가 된다.

가상 해양플랜트 분야는 가상해양플랜트 시뮬레이터와 시나리오 기반 운영 훈련 시스템으로 구성되어 있다.

4.2 가상 해양플랜트 시뮬레이터

해양플랜트의 기하학적 형상 특성(Virtual Model)과 기능적 특성(Dynamic Model)을 결합하여, 실제 해양플랜트의 작동 원리 등 장비 특성을 컴퓨터상에서 재현한 시스템으로 대상 해양플랜트인 LNG FPSO 공정 시뮬레이션 시스템과 가상화를 위한 VR(Virtual Reality) 시스템으로 구분된다.

4.2.1 공정 시뮬레이션

공정 시뮬레이션은 공정의 동적 거동을 컴퓨터로 모사하는 것을 뜻하며, 초기 조건, 입력, 교란에 대해 공정의 응답과 같은 동적 특성을 수학적 형태로 표현한 것이다.

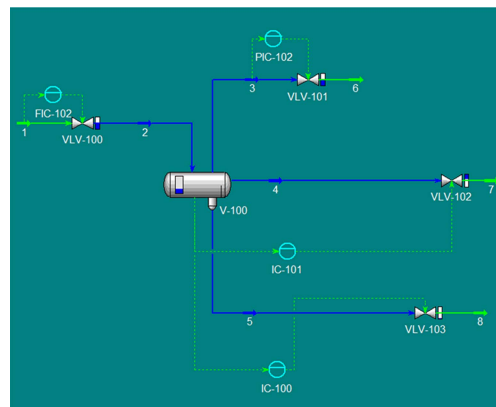


그림 5. 3상 분리기의 동적 거동 모델



그림 6. 장비 내부의 유동 상태의 가시화

연구과제에서 대상으로 하는 LNG FPSO 공정은 유정에서 올라온 원료 가스(feed gas)로부터 물질을 분리하여 원하는 가스를 생산하는 공정을 뜻한다. 기본적으로 원료 가스는 탄화수소(hydrocarbon) 성분과 다른 불순물의 혼합물 형태이며, 순차적으로 불순물을 제거하며 순수한 천연가스를 분리하는 것이 기본 공정이다.

그림 5은 공정 시뮬레이션 모델링의 한 예로, 상용 시뮬레이션 시스템을 이용하여 대상 공정 중 inlet 시스템의 수평형 3상 분리기의 동적 거동 모델을 나타낸 것이다(Park, 2014).

4.2.3 VR 시스템

대상 해양플랜트의 장비 등 형상을 모델링한 후 그 3차원 형상을 현실감 있는 그래픽 모델로 변환하여 가시화 장치를 통해 전시해주는 시스템이다.

밸브 등 장치의 기계적인 움직임을 구현하기 위해 기구학적 모델(kinematic model), 작업자 관점에서 대상물을 보고 위치를 이동할 수 있는 아바타 모드, 공정 데이터나 경보 정보를 전시할 수 있는 기능 등이 구현된다(Gong, 2014). 실제 해양플랜트에서는 직접 볼 수 없는 장비 내부의 유동이나 상태도 본 시스템에서 그림 6과 같이 가시화한다.

4.3 시나리오 기반 운영 훈련 시스템

OTS(Operator Training System)는 실제 플랜트의 공정과 제어 시스템을 모사하여 사용자가 실제 플랜트를 운전하는 것처럼 느끼게 함으로써 이를 운전자

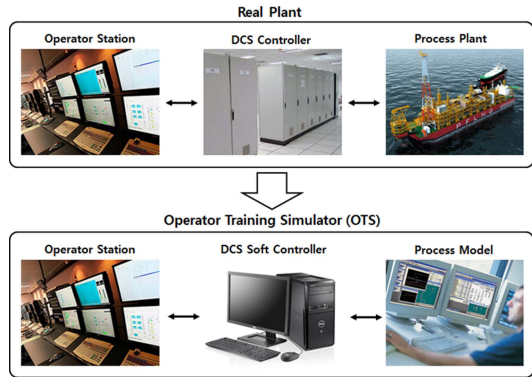


그림 7. 실제 플랜트와 비교한 OTS의 구성

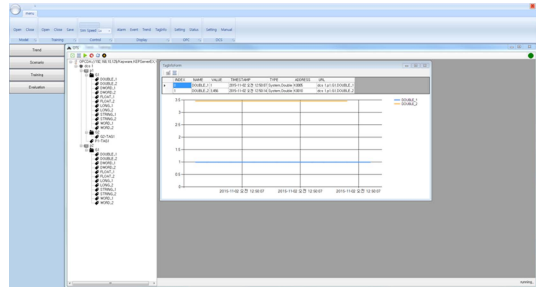


그림 8. 가상 해양플랜트 운영 시스템의 프로세스 상태 표시

훈련에 이용한 시스템이며, 그림 7과 같이 실제 플랜트의 제어 시스템을 가상으로 구현한다(Lee, 2014).

기능은 강사(instructor)를 위한 기능과 운전자(operator) 및 현장 운전자(field operator)를 위한 기능으로 구분되며, 해양플랜트 운영 중에 발생할 수 있는 이상 상황이나 유지 보수 경우에 대한 시나리오를 바탕으로 각자의 역할을 수행하기 위한 훈련을 수행한다.

가상 해양플랜트 운영 시스템(VOP-OS, virtual offshore plant-operating system)은 전체 해양플랜트를 통제/운영하는 시스템으로(Gong, 2014), 강사 조작반에서 선택된 시나리오에 따라 훈련을 진행한다.

예를 들어 HP(High Pressure) inlet separator에서 내부 유체 수준이 비정상적으로 증가하는 훈련 시나리오를 선택하는 경우, 운전자는 조작반에서 발생하는 경보 정보를 감지하고 현장 운전자에게 확인 및 조치를 요청하게 된다. 현장 운전자는 가상해양플랜

트의 해당 장비 위치로 이동하여 문제점을 파악하고 조치를 하며, 이 시나리오에의 문제 해결을 위해서는 현장 작업자는 수동 밸브를 조작한다. 이 과정에서 변화되는 프로세스의 상태가 그림 8과와 같이 가상 해양플랜트 운영 시스템에 표시된다.

각 시나리오는 가상해양플랜트에서 이상 상황을 정의하고, 운전자 및 현장 운전자가 문제를 인식하고 조치를 하는 과정에서 걸리는 시간과 조치의 적합성 등을 판단하여 훈련 과정을 평가한다.

5. 결 론

해양플랜트는 해상에 한번 설치되면 20~30년 동안의 장기간 운영되는 특성이 있으며, 최근에는 복합화, 대형화되고 있는 추세이다. 이에 해양플랜트의 운영 및 유지보수를 효율적으로 관리하는 기술이 중요하며, 이에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 활동의 일환으로, 산업통상자원부에서는 해양플랜트 예지보전 시스템 개발을 지원하고 있다. 이 과제에서는 일반적인 보전법이 아닌, 적극적이고 공격적인 보전 방식인 예지보전 기법을 해양플랜트에 적용하는 시스템을 개발한다. 이를 통해 해양플랜트의 고가의 장비를 경제적으로 사용할 수 있도록 하는, 열악한 해상 운영 환경, 고장 시 발생하는 손실 비용 등을 최소화할 수 있는 예지보전 시스템을 개발하고 있다. 예지보전 시스템은 해양플랜트 SCADA 시스템으로 획득한 정보들을 기반으로, 해양플랜트 예지보전 솔루션이 지능형 보전활동을 실현하며, 가상 해양플랜트 운영 시스템에서 이를 검증하도록 구성되어 있다.

해양플랜트에 예지보전 시스템을 적용하면, 기존의 방식에서 문제가 되는 최상의 장비 성능 및 경제성을 동시에 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 시스템을 통한 진단, 예지, 보전과 관련된 의사결정을 지원하므로, 인적 실수로 인한 오류를 미연에 방지하고, 비전문가도 설비 관련 고장을 분석하고 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Ozturk, B., Kim, K.S., Kim, Y.I. and Lee, J.H. (2014). "Fault Diagnosis of Rotating Machines in Offshore Plant based on Morlet Wavelet Transform", 2014 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 314-321.
2. 조상제, 전홍배 (2014). "해양플랜트 LNG FPSO Compressor 장비의 예지 시스템 개발에 관한 연구", 2014 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 304-309.
3. 이순섭 (2014). "해양플랜트 운영을 위한 보전시스템 설계", 2014 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 167-175.
4. 안경익, 이용권, 류동수 (2014). "원전 형상관리를 위한 주요 기자재정보 관리방안", 2014 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 26-32.
5. 황호진, 박병재 (2014). "해양플랜트 운영 및 유지보수를 위한 예지보전 솔루션 개요", 2014 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 310-313.
6. Park, K.P., Lee, J.B., Lee, H.J., Jo, A.R., Jo, Y.K. Jung, H.J. and Oh, E.S., "Study on System Configuration of Offshore Production Unit for Virtual Plant". Proceedings of 19th CAD/CAM Conference, Pyeongchang, Republic of Korea, pp.324-333, February 2014.
7. Gong, I.Y., Ahn, S.P. and Choi, K.Y., "Concept of Virtual Offshore Plant System and Construction Visualization System". Proceedings of 19th CAD/CAM Conference, Pyeongchang, Republic of Korea, pp.320-323, February 2014.
8. Lee, J.B., Park, K.P. and Jung, H.J., 2014. "Functional Requirements of FLNG OTS based on Functional Analysis of Existing OTS Projects". Proceedings of the Korean Society of Ocean Engineers Autumn Conference, Jeju, Republic of Korea, pp. 205-211, October 2014.
9. Gong, I.Y., Ahn, S.P. and Choi, K.Y., "Concept of Virtual Offshore Plant System for Operating Training". Proceedings of the Korean Society of Ocean Engineers Autumn Conference, Jeju, Republic of Korea, pp.182-185, October 2014.