

플랜트 설계 및 운영 데이터 통합관리 시스템 설계

이재현^{1*} · 서효원²

¹대구대학교 산업경영공학과 / ²한국과학기술원 산업시스템공학과

Design of a Plant Life Cycle Data Management System for Plant Operation and Maintenance

Jae Hyun Lee¹ · Hyo Won Suh²

¹Department of Industrial Engineering, Daegu University

²Department of Industrial and System Engineering, KAIST

Plant life cycle consists of design, construction, certification, operation, and maintenance phases, and various and enormous plant life cycle data is involved in each phase. Plant life cycle data should be linked with each other based on its proper relationships, so that plant operators can access necessary plant data during their regular operations and maintenance works. Currently, the relationships of plant life cycle data may not be defined explicitly, or they are scattered over several plant information systems. This paper proposes high level design of a plant life cycle data management system based on pre-defined plant life cycle database design. ISO-15926 standard is adapted for the database design. User-interface designs of the plant life cycle data management system are explained based on analysis of plant owners' requirements. A conceptual design of the database is also described with the entity-relationship diagram.

Keywords: Plant Life Cycle Data Management, Plant Data Structure, Virtual Plant Platform, Smart-cube Design

1. 서론

최근 사물인터넷과 대용량 데이터 처리기술 발전에 따라 정유 플랜트 분야에서도 정유 플랜트에 설치된 센서 네트워크를 활용한 플랜트 운영과 유지보수 최적화 접근방법들이 개발되고 있다. 과거에는 중요 설비의 고장예방관리를 위해 특정 설비에 설치된 몇몇 센서로부터 얻은 센서 데이터를 분석하여 설비의 고장상태를 판단하는 방법들이 개발되었다. 하지만 최근에 건설되는 플랜트들은 센서 데이터를 실시간으로 전송할 수 있는 네트워크 인프라를 갖추고 있기 때문에 여러 설비와 공정 운전 상태를 동시에 수집이 가능하다.

플랜트 설비의 유지보수 최적화를 위해서는 개별 설비의 최

적화보다는 공정에 시스템적으로 연결된 설비들 상태를 종합적으로 분석하는 기술이 필요하다. 플랜트의 설비들 각각 독립적으로 운영되기 보다는 하나의 공정을 운영하기 위해 시스템적으로 연결되어 있기 때문이다. 특정 설비의 고장은 해당 설비만의 문제일 수도 있지만, 공정에 연결된 다른 설비의 문제로 파급될 수도 있다. 또한, 공정 운전조건의 변화에 따라 지속적인 영향을 받아 설비의 문제가 발생한 것일 수도 있다.

저자들은(Lee and Suh, 2015) 논문에서 플랜트에 설치된 다양한 센서 데이터들을 종합적으로 분석할 수 있는 가상플랜트 플랫폼 정보시스템을 제안하였다. 이 플랫폼 정보시스템을 제안한 배경은 현재 플랜트 산업에서 활용되는 정보시스템들만으로는 센서 데이터를 종합적으로 분석할 수 없기 때문이다.

제4회 산업융합 활성화 방안 및 사례연구 논문공모전 수상논문

본 논문은 산업통상자원부의 산업핵심기술개발사업과제번호 10048341)과 국토교통부 플랜트연구개발사업과제번호 14IFIP-B091004-01)의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다

* 연락저자 : 이재현 교수, 38453 경상북도 경산시 진락읍 대구대로201 대구대학교 산업경영공학과 Tel : 053-850-6544, Fax : 053-850-6549,

E-mail : jaehyun.lee@daegu.ac.kr

2016년 1월 6일 접수; 2016년 4월 29일 수정본 접수; 2016년 5월 10일 게재 확정.

플랜트 산업에서 활용되는 정보시스템은 크게 플랜트 EPC (Engineering, Procurement, Construction) 기업에서 활용하는 PLM (Plant Life cycle Management) 시스템과 플랜트 운영자가 활용하는 플랜트 CMMS(Computerized Maintenance Management System) 시스템으로 분류할 수 있다. PLM 시스템의 경우 플랜트 설계에 관련된 데이터들을 관리하고 있으며, CMMS 시스템의 경우 플랜트 유지보수를 위한 플랜트 운전정보와 유지보수 관련 데이터를 관리하고 있다. 플랜트의 센서 데이터를 종합적으로 분석하기 위해서는 플랜트의 설비 유지보수 데이터뿐만 아니라 그 설비와 연결된 다른 설비와 공정의 설계 데이터들이 함께 필요하다. 하지만, 현재 상용 플랜트 정보시스템은 플랜트 설계부터 설치, 운전, 유지보수에 이르는 플랜트 수명주기 데이터를 통합적으로 관리하기 위한 데이터 구조를 제공하지 못하고 있다.

가상플랜트 플랫폼 정보시스템이 통합적 플랜트 수명주기 데이터와 수집된 센서데이터를 체계적으로 관리한다면 플랫폼 시스템으로서 다양한 기능들을 추가할 수 있을 것이다. 예를 들어, 플랜트 공정, 기기, 구조물(예: 파이프, 밸브 등)의 개별 이상상태를 진단하는 기능, 그리고 공정, 기기, 구조물들을 종합적으로 고려한 이상상태 진단하는 기능, 그리고 플랜트 운전 및 유지보수 최적화 기능들이 플랫폼 시스템에 단계적으로 추가될 수 있을 것이다.

본 논문은 가상플랜트 플랫폼 정보시스템의 핵심이 되는 통합 플랜트 수명주기 데이터 관리 시스템의 설계 아이디어를 제안한다. 기존 (Lee and Suh, 2015) 논문에서는 개념적인 데이터 구조와 활용 가능성을 제안하였고, 본 논문은 이를 확장하여 통합 데이터관리 시스템의 상세 데이터 구조와 사용자화면 설계를 제안한다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 제 2장에서는 센서데이터 분석을 활용한 설비 고장진단 방법들에 대한 기존 연구들을 살펴보고, 종합적 플랜트 센서데이터 분석을 위해 기존 플랜트 PLM 시스템과 CMMS 시스템들이 제공하는 기능의 한계점을 설명한다. 제 3장에서는 가상플랜트 플랫폼 정보시스템의 개요와 플랜트 수명주기 데이터를 관리하기 위한 데이터 구조 설계 접근방법을 설명한다. 제 4장에서는 플랜트 통합 데이터관리 시스템의 요구사항 분석 결과를 제시한다. 제 5장에서는 요구사항을 만족시키기 위한 화면 설계 결과를 설명한다. 제 6장에서는 플랜트 수명주기 데이터 구조를 ERD(Entity-Relationship Diagram)로 표현하고 설명한다. 제 7장에서는 가상플랜트 플랫폼 정보시스템의 화면설계 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안한 플랜트 수명주기 데이터 구조의 효용을 설명한다. 마지막으로 제 8장에서는 결론과 향후 연구방향을 설명한다.

2. 기존 연구

통합 플랜트 수명주기 데이터 관리시스템의 필요성을 설명하기

위해 먼저 센서 데이터들을 바탕으로 플랜트 설비이상을 진단하는 기존 접근방법들을 알아본다. 그리고 기존의 상용 플랜트 정보시스템의 기능들을 설명하고 상용 시스템들이 플랜트 센서데이터로 플랜트 설비상태를 진단하기 위해 부족한 점이 무엇인지 설명한다.

2.1 센서데이터 기반 설비이상 진단 방법

센서데이터 기반의 설비 유지보수 활동을 CBM(Condition-based Maintenance)라고 한다(Shin and Jun, 2015). Garcia *et al.* (2011)은 플랜트에서 수집한 센서데이터를 분석하여 설비의 이상을 진단하는 접근방법을 제안하였다. 각각의 센서로부터 수집된 데이터는 시계열 데이터이고 몇 개월에 걸쳐 수집된 데이터이기 때문에 그 양이 방대하다. 방대한 센서 데이터들로부터 특정 패턴을 찾기 위해 시간창(time window)의 크기를 다양하게 변화시키면서 센서데이터들의 그래프상 움직임을 단순화 시키는 DFA(Detrended Fluctuation Analysis)(Peng *et al.*, 1995) 방법을 적용한 후 데이터마이닝 기법을 적용하였다. 또한, 서로 다른 센서 데이터들 간의 상관관계를 분석하기 위해 cross-correlation 기법을 적용하였다. Fort *et al.*(2015)은 설비의 유지보수에 HMM(Hidden Markov Model)을 적용하는 접근방법을 제안하였다. HMM에서 관찰되는 데이터가 설비의 상태 모델이라면 숨겨진 모델은 설비의 유지보수 활동모델이라 할 수 있다. 설비 유지보수 이력에서 어떤 업체가 언제 유지보수 활동을 했는지에 따라 설비의 상태가 변화를 추정할 수 있는 HMM을 만들 수 있다고 제안하였다. Banerjee and Das(2012)는 모터에 부착된 여러 센서데이터들로부터 SVM(Support Vector Machine) 기법을 활용해 모터의 이상상태를 예측할 수 있는 방법을 제안하였다. Djurdjanovic *et al.*(2003)은 여러 센서들로부터 수집한 센서데이터를 바탕으로 설비의 기대수명을 예측하는 접근방법을 제안하였는데, 한 설비의 수명을 예측하기 위해 설계모델 데이터, 전문가 지식, 과거 운전 정보와 센서데이터를 종합적으로 분석하는 접근방법이었다.

이처럼 센서데이터를 기반으로 플랜트 설비의 이상을 진단하기 위해서는 수집된 센서데이터만으로는 데이터 분석에 한계가 있으며, 설계 데이터와 과거 유지보수 이력 정보, 전문가 지식이 종합적으로 필요하다.

2.2 상용 플랜트 정보시스템의 관리 데이터

상용 플랜트 정보시스템은 크게 플랜트 EPC에서 사용되는 PLM과 플랜트 운영단계에서 사용되는 CMMS로 구분할 수 있다. 상용 PLM으로는 Intergraph(2015), AVEVA(2015), Siemens(2015)사의 제품 등이 있으며, 상용 CMMS로는 SAP(2015), ORACLE(2015), IBM(2015)사의 제품 등이 있다. PLM은 플랜트 설계 및 건설 지원을 위한 데이터를 관리하는데, 대표적인 플랜트 설계 데이터로는 PFD(Process Flow Diagram), P&ID(Piping and Instru-

mentation Diagram), 플랜트 2D, 3D 모델, 설비 및 구조물 사양서 등이 있다. CMMS는 플랜트 자산 운영을 지원하기 위한 데이터를 관리하는데, 대표적으로는 설비 자산, 유지보수 업무, 설비 매뉴얼, 설비 계약 및 구매 관련 자료들이 있다. 최근 상용 PLM이나 CMMS 시스템들은 관리 대상 데이터의 범위를 확장하여 상호간의 관리 데이터를 포함하려고 노력하지만 기술적/정책적 한계로 인해 수명주기 데이터의 통합을 핸드오버(Handover) 데이터베이스 구축과 같은 별도의 서비스를 통해 추진하고 있다.

3. 플랜트 수명주기 데이터 통합 접근방법

제 3장에서 플랜트 수명주기 데이터 모델을 설계하기 위한 기본적인 구조를 설명한다.

3.1 플랜트의 통합 DB : '스마트 큐브'

데이터큐브는 OLAP(On-Line Analytical Processing) 시스템에서 데이터를 여러 측면에서 분석하기 위해 사용하는 데이터 모델링 기법이다. 본 논문에서는 제안하는 플랜트 수명주기 데이터 통합을 위한 데이터 구조로 데이터큐브 구조를 활용한다.

데이터큐브의 세 가지 축을 각각 플랜트 구성요소, 시간, 지식화 수준으로 정의한다(<Figure 1> 참조). 플랜트 구성요소 축은 플랜트의 공정, 기기, 구조물 등 서로 다른 의미를 갖는 데이터 엔티티들을 가지고 있다. 시간축은 플랜트 운전 시간에 따라 발생하는 각 플랜트 구성요소들의 데이터를 지칭한다. 마지막으로 지식화 수준축은 센서데이터, 측정척도, 상태정보, 의사결정결과를 포함하여 플랜트 운전 및 유지보수 과정에서 발생하는 데이터, 정보, 지식의 관계를 표현한다. 일반적인 데이터큐브와는 달리 지식화 수준을 표현하기 때문에 본 논문에서 이러한 데이터 구조에 '스마트큐브'라는 이름을 붙였다.

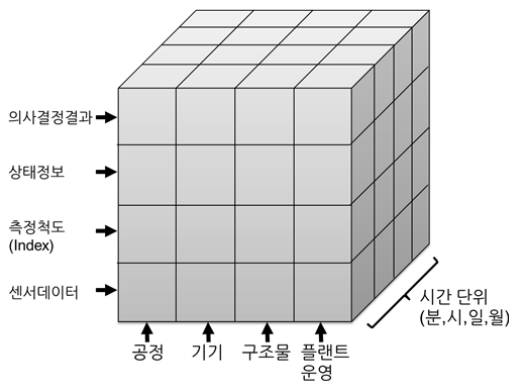


Figure 1. Smart Cube : A Plant Data Cube Structure

스마트큐브의 핵심은 서로 다른 플랜트 구성요소들 간의 물리적 연결 관계를 바탕으로 플랜트 유지보수 최적화를 지원할 수 있는 데이터구조라는 것이다. 기존의 센서데이터 분석기반

설비상태 진단방법은 특정 설비의 센서데이터만을 분석 대상으로 하였다. 하지만, 스마트큐브는 플랜트에 설치된 공정, 기기, 구조물들의 설계 및 설치 정보와 이들 간의 구조적 연결관계를 제공하고, 이들로부터 수집된 여러 센서데이터의 상관관계를 분석할 수 있는 데이터 구조를 제공한다.

스마트큐브의 데이터 구조는 플랜트 수명주기 데이터 통합을 통해 궁극적으로 공정의 최적화, 설비 유지보수의 최적화 등에 활용될 수 있다.

3.2 ISO-15926 표준모델

스마트큐브는 플랜트 수명주기 데이터 통합을 위한 상세 데이터 모델로 ISO-15926의 설비 데이터 모델 요구사항을 반영하였다.

ISO 15926 설명 자료(Leal, 2005)는 플랜트의 설비정보를 모델링하기 위한 요구사항을 설명하였다. 플랜트 설비정보를 저장하기 위해서는 개념적 설비정보, 설비 유형별 설계정보, 그리고 설치 정보 및 물리적 설비정보를 구분하여 저장해야 한다. 이를 그림으로 표현하면 <Figure 2>와 같다. <Figure 2>의 M2 : Meta Model은 개념적 설비정보를 정의한 데이터 모델을 의미한다. M1 : Model은 Pump와 같은 설비 유형별 속성정보를 정의한 데이터 모델을 의미한다. M0 : Individuals은 플랜트 설계 도면 상 특정 위치에 설치되는 설비 정보와 해당 위치에서 물리적으로 운전중인 설비정보를 정의한 데이터를 의미한다. <Figure 2>에서 'Pump_123'과 'Pump#1' 예제는 각각 설비 설치 정보와 물리적 설비정보를 표현하고 있다. 스마트큐브의 데이터 모델을 설계할 때 ISO-15926에서 제시한 설비 데이터 모델링 요구사항을 반영하여 설계하였다.

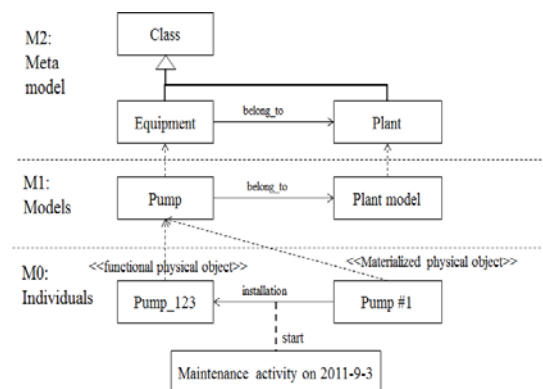


Figure 2. A Plant Data modeling Requirement Example

4. 플랜트 수명주기 데이터 관리 시스템 요구사항과 기능 분석

플랜트 수명주기 데이터 관리 시스템에 대한 요구사항 중 플랜트 정보제공 관점의 요구사항들을 정리하여 <Table 1>로 나

Table 1. Requirements of a Plant Data Management System

제공정보 종류	상세 요구사항
플랜트 기초 정보 제공	공정, 기기, 구조물 기초 정보제공 센서 기초 정보제공
플랜트 구조적 관계정보 제공	공정-기기-구조물의 P&ID 위치 정보제공 공정-기기-구조물의 Material 입출력 관계제공 기기 세트(set)소속 기기 간의 구조적 관계 정보제공 (공정-기기-구조물)센서 간의 구조적 관계 정보제공
연결관계 정보 제공	Material 입/출력 관계 기반 공장기기-구조물의 선후관계 정보 제공 Material 입/출력 관계 기반 센서들의 선후관계 정보제공 기기, 구조물 관련 문서매뉴얼, 유지보수 지침 등 정보제공
센서 데이터 정보 제공	특정 센서의 현재 데이터 값 보기 특정 센서의 기간 내 데이터 값리스트, 그래프) 보기 여러 센서들의 현재 데이터 값들 보기 여러 센서들의 기간 내 데이터 값비교 표, 비교 그래프) 보기
센서 데이터 분석 정보 제공	특정 센서 시간 구간별 데이터 변화도 보기 여러 센서의 시간 구간별 데이터 변화도 비교 보기
센서 데이터의 패턴 분석 결과 정보 제공	공정, 설비, 구조물 센서데이터의 패턴 분석 결과규칙, 그래프) 보기 공정, 설비, 구조물 종합적 센서데이터의 패턴 분석 결과규칙, 그래프) 보기
상태 예측 정보 제공	공정, 기기, 구조물의 현재 상태 보기 공정, 기기, 구조물의 예측 이상상태정보보기
의사결정 결과 정보 제공	현재/과거 공정 운전 조건 보기 기기, 구조물의 유지보수 계획 보기 운전조건 변화 또는 유지보수 계획 변화에 따른 예상 파급 효과 보기 유지보수 이력 정보제공
유지보수 이력 정보 제공	현재 운전 중인 기기 구조물의 자산정보보기 기기, 구조물의 유지보수 과거 기록 보기

타내었다. 본 요구사항들은 일반적인 정유플랜트의 센서 데이터 통합을 위한 요구사항들이라 할 수 있다.

플랜트 기초정보와 구조적 관계, 연결관계 정보제공 : 플랜트의 통합데이터를 구성하기 위해서는 먼저 가장 기본이 되는 플랜트에 대한 기초 정보들을 필요로 한다. 기본적인 정보들은 공정, 기기, 구조물, 센서의 이름과 설명, 주요기능에 대한 정보가 있다. <Figure 3>은 플랜트의 구조적 관계를 보여주는

플랜트의 P&ID의 일부이다. P&ID는 플랜트 설계도로서 각 기기들이 어떻게 연결되어 있고 어떤 센서들이 부착되어 있는지 상세히 알 수 있다.

플랜트 정보요소들간의 구조적 관계는 여러 개의 설비/부품들이 모여 하나의 시스템/설비를 이루고 있을 때 이를 표현하기 위한 관계를 뜻한다. 구조적 관계 정보는 배관 및 P&ID에서의 위치정보와 Material 입/출력 관계정보가 있으며, 기기 세트 소속 기기 간의 관계, 공정-기기-구조물과 센서 간의 관계 정보가 있다.

연결관계는 플랜트를 구성하는 공정과 설비, 구조물, 센서들이 특정 공정의 운영을 위해 연결되어 있는 관계를 뜻한다. 기기들은 특정 재료(Material)를 처리하기 위해 입/출력 재료들로 연결되어 있다. 입/출력 재료들의 종류와 상태 정보들은 공정의 운전 조건과 함께 설비의 이상상태에 영향을 미치기 때문에 설비들 간의 연결관계와 함께 관리 되어야 한다. 또 기기, 구조물에 관련된 매뉴얼, 유지보수지침 등의 문서정보도 연결 관계를 갖는다.

센서데이터 관련 정보제공 : 센서데이터는 플랜트의 이상상태를 예측하거나 유지보수 활동을 위해 필요하다. 이 때문에 센서데이터를 여러 측면에서 분석한 결과를 사용자에게 제공하

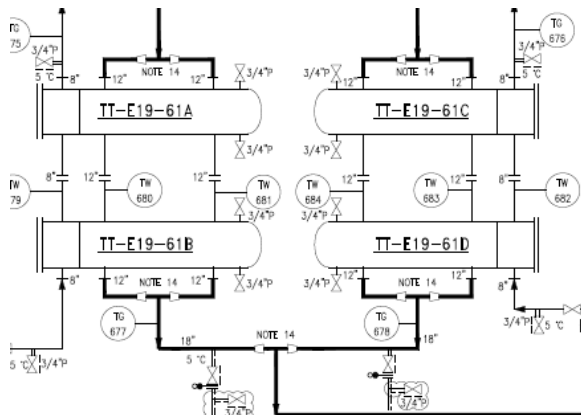


Figure 3. A Plant P&ID Example

는 기능이 필요하다. 센서데이터의 기본 정보로 특정 센서데이터의 현재 값을 보여주어야 하고, 원하는 기간 내의 데이터 값 목록과 그래프를 통해 센서데이터의 추이를 보여줄 수 있어야 한다. 또 여러 센서들의 현재 데이터 값들을 한 화면에서 비교해 볼 수 있으며, 여러 센서들의 사용자가 원하는 기간 내의 데이터 값을 비교할 수 있는 비교표 또는 비교 그래프를 보여주어야 한다.

센서데이터 분석결과 정보제공 : 설비 유지보수 최적화를 위해서는 수집한 센서데이터들의 분석이 필요하다. 설비 이상상태에서의 센서데이터 패턴을 분석하고 사전에 설비 이상상태를 감지하여 예방조치를 할 수 있어야 한다. 이를 위해 센서데이터의 데이터 값뿐만 아니라 많은 센서데이터들을 분석한 결과를 보여준다. 특정 센서데이터를 시간 구간별 변화도 제공이 필요하다. 또 여러 센서들의 시간 구간별 데이터 변화도를 한 화면에서 비교하며 볼 수 있도록 하여 데이터 패턴을 확인할 수 있도록 해야 한다.

이상상태 예측 및 의사결정 결과 정보제공 : 공정과 설비, 구조물 별 각각 센서데이터와 플랜트 종합적인 센서데이터의 패턴을 분석하고 찾아낸 규칙과 그래프를 보여 주어야 한다. 그 밖에도 상태예측 정보를 제공하여 공정, 기기, 구조물의 현재 상태와 예측되는 이상 상태를 보여준다. 또 의사결정 결과 정보제공을 위해 현재와 과거 운전조건들과 기기, 구조물의 유지보수 계획을 보여 주고, 이런 운전조건이나 유지보수 계획의 변화가 어떤 파급효과를 보여 주는가를 예측한 정보를 제공한다.

5. 사용자 화면설계

사용자 화면은 스마트큐브에 저장되어 있는 데이터들을 사용자가 확인할 수 있도록 구성하였다. 사용자 화면설계를 통해 스마트큐브에 어떤 플랜트 데이터와 상세 속성들이 정의되어야 하는지 간접적으로 확인할 수 있다. 화면 설계 시 제 4장에서 정의한 요구사항과 기능들을 모두 고려하였다.

사용자 화면은 Failure, Process, Equipment, Sensor, Structure facility, Document, Material으로 나누어져 있고 이들은 기본 정보를 보여주는 'Information', 관련된 다른 구성을 링크로 보여주는 'Link', 센서데이터 값을 보여주는 'Sensor' 유지보수이력을 보여주는 'Maintenance', 유지보수를 통해 교체된 물리적 자산정보 'Asset', P&ID 상의 위치를 보여주는 'P&ID' 탭들로 구성되어있다. Failure 라는 메뉴는 센서데이터에서 이상을 보이는 기기 또는 구조물들의 링크를 보여준다.

기기의 고장을 예측하는 시나리오를 가정하여 사용자 화면들을 설명한다. 사용자는 먼저 <Figure 4>처럼 좌측의 Failure 트리뷰를 통해 현재의 이상 기기들을 파악 할 수 있다. Failure에는 Equipment와 Structural Facility 트리 노드들에서 각각 이상이

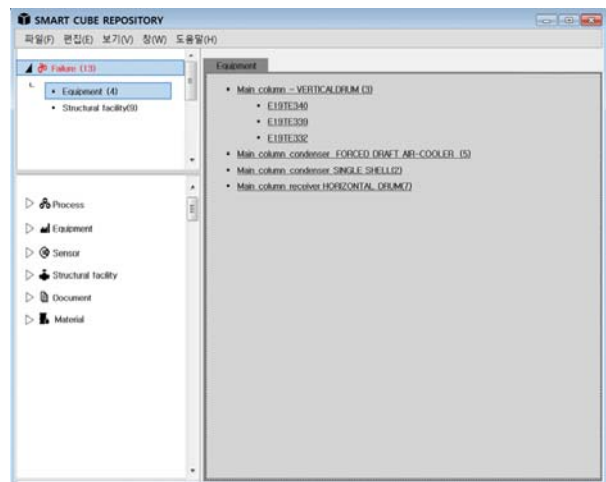


Figure 4. A Screen Design Example : Highlighting an Equipment in the Abnormal Condition

있는 기기 또는 구조물을 확인하고 링크를 통해 관련 정보를 얻을 수 있다. 이들의 하위 항목에는 기기나 구조물에 연결되어 있는 센서들 중 이상이 있는 센서들을 링크로 보여준다. 이상기기의 링크 옆 괄호 안의 숫자는 이상이 있는 센서들의 개수를 나타낸다. 이 화면을 통해 이상이 감지되는 기기들을 확인한 사용자는 링크를 통해 <Figure 5>와 같은 해당 기기화면을 볼 수 있다. 이 화면에서 사용자는 기기의 이름이나 P&ID 위치, 주요기능, 유지보수이력, 자산 정보 등 필요로 하는 정보들을 볼 수 있다. 기기에 관한 필요한 정보를 모은 사용자는 <Figure 5>의 화면에서 이상상태와 관련 있는 센서로 이동한다.

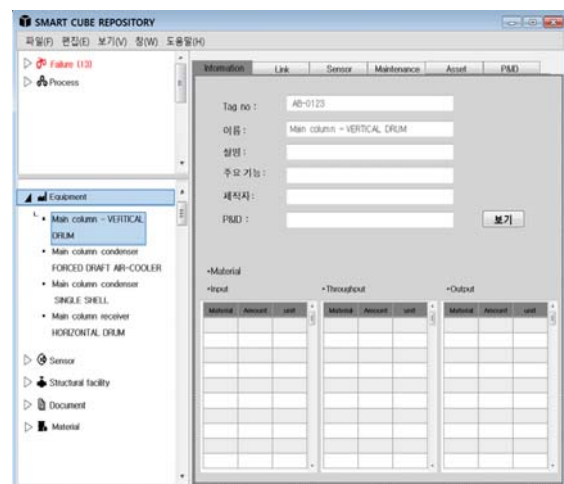


Figure 5. A Screen Design Example : Providing Information of the Highlighted Equipment

기기 링크에서와 마찬가지로 센서 링크에서도 해당 센서에 대한 기본정보와 P&ID 위치 그리고 관련 링크들을 확인할 수 있다. 특히 센서데이터에서는 <Figure 6>과 같이 화면에서 센서데이터의 값을 테이블과 그래프를 통해 알 수 있다. 이 화면

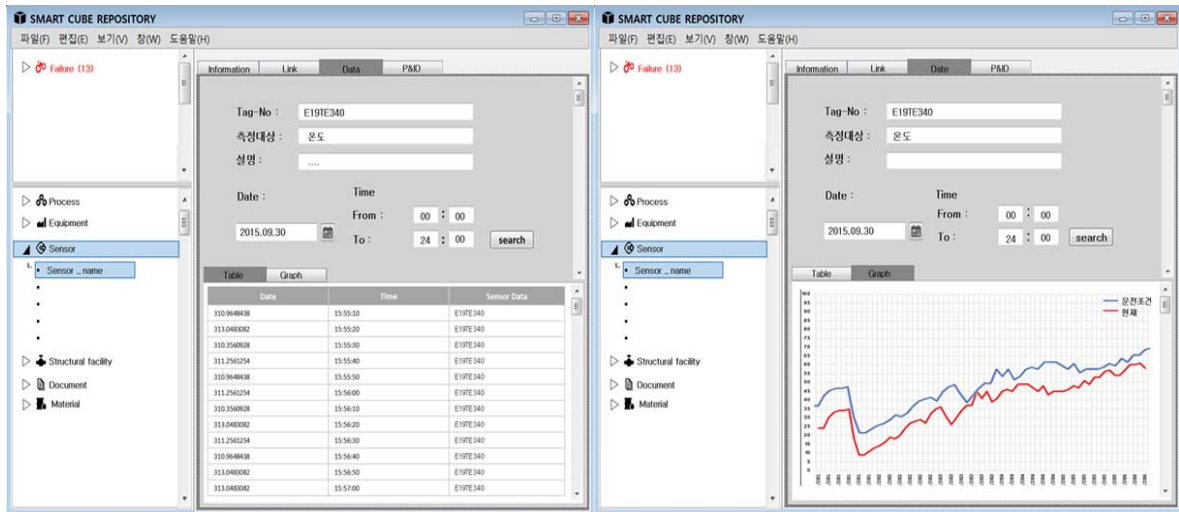


Figure 6. A Screen Design Example : Tracing Sensors Attached to the Highlighted Equipmen

에서는 기본운전 조건과 현재의 데이터를 그래프를 통해 비교 할 수 있으며 원하는 날짜와 시간대의 그래프를 검색하여 확인 할 수 있다. 센서들의 비교를 통해 해당 기기나 구조물들이 서로 어떤 영향을 미치는지 알 수 있고 기기에 고장이 발생했을 경우 그 원인이 해당 기기 안의 문제인지 다른 기기나 구조물에 있는 지를 쉽고 빠르게 파악하여 유지보수 단계로 넘어갈 수 있도록 한다.

6. 데이터 모델 설계

앞서 정의한 요구사항 및 기능 분석 결과와 사용자 화면설계 결과를 바탕으로 스마트큐브의 상세 데이터 모델 설계를 <Figure 7>과 같이 진행하였다. <Figure 7>에서 상단 좌측과 우측은 각각 요구사항과 기능들에 해당하고 하단 좌측과 우측은 각각 그에 해당하는 사용자 화면과 ERD 설계 결과이다.

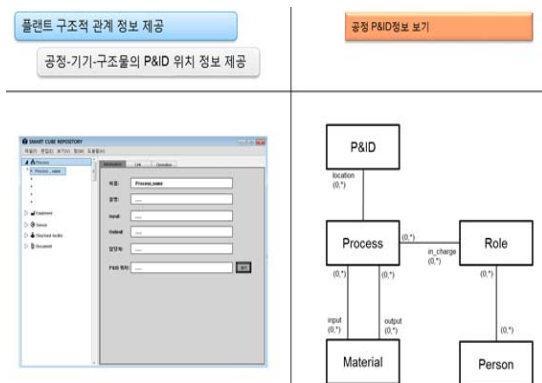


Figure 7. ERD Design Strategy

각 화면들이 정보제공 관점에서 정의되었기 때문에 ERD의 여러 엔티티와 관계들도 센서기반 가상 플랜트의 정보제공 관

점에서 필요한 데이터들을 모두 커버한다고 할 수 있다. <Table 2>는 ERD에서 정의된 엔티티들의 목록을 보여주고 있다.

Table 2. A List of Entities in the Proposed ERD

엔티티 명	설명
Equipment	기기
Structural_Facility	구조물
Process	공정
P&ID	P&ID 도면
Material	재료
Sensor	센서
SensorType	센서 종류
PFD	공정 흐름도
Measured_Date_XML	센서데이터 XML 파일
Saved_Graph	센서데이터 분석그래프
Facility_Connect	설비 연결관계
Document	문서
File	파일
Material_Type	재료 종류
Company	회사

<Figure 8>은 엔티티와 관계들을 종합하여 작성한 전체 ERD이다. ERD를 보면 플랜트 설계 데이터의 핵심인 P&ID 자료로부터 플랜트의 여러 구성요소 정보들이 연결관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, 공정, 기기, 구조물들이 갖는 재료의 입출력을 통해 연결관계가 명시적으로 표현되고 있다. 각 구성 요소에 연결된 센서데이터들은 시계열 데이터로서 각 센서별로 별도의 XML파일을 이용하여 관리하는 것을 제안하고 있다. 센서데이터를 분석한 결과들은 각 구성요소들의 속성값으로 관리될 것이다. 상세 속성들은 지면 제약으로 생략하였다.

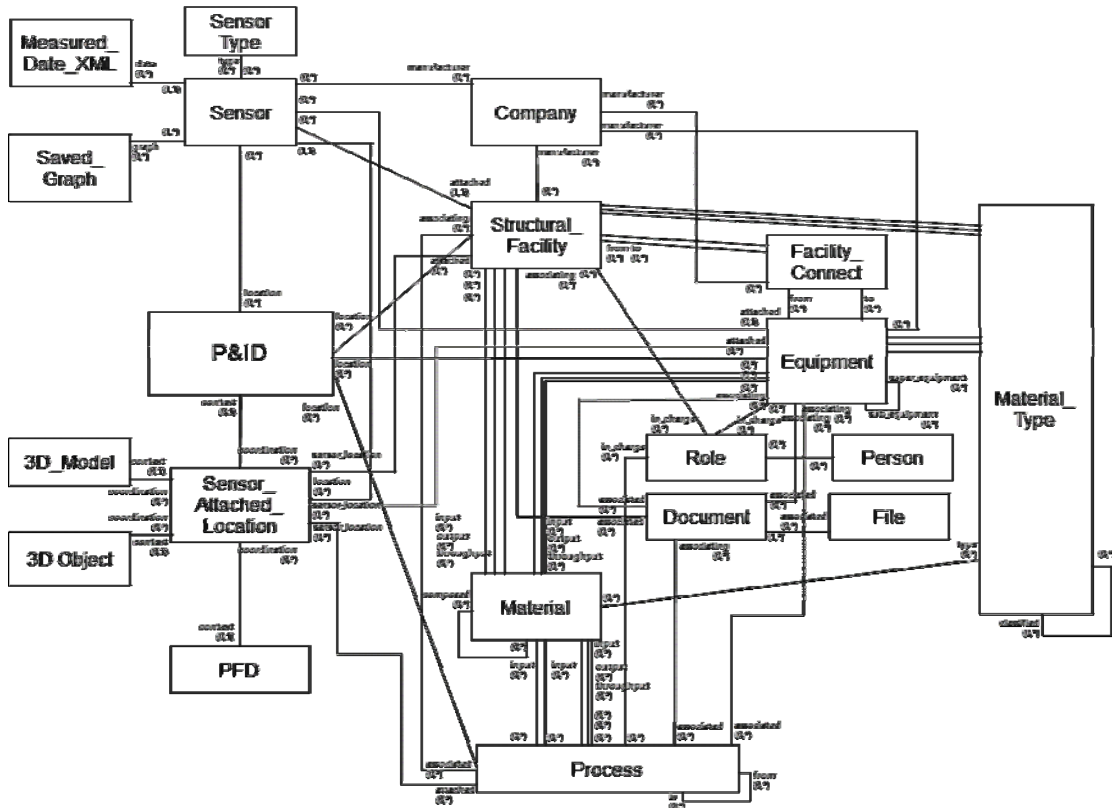


Figure 8. The Proposed ERD for the Smart-Cube

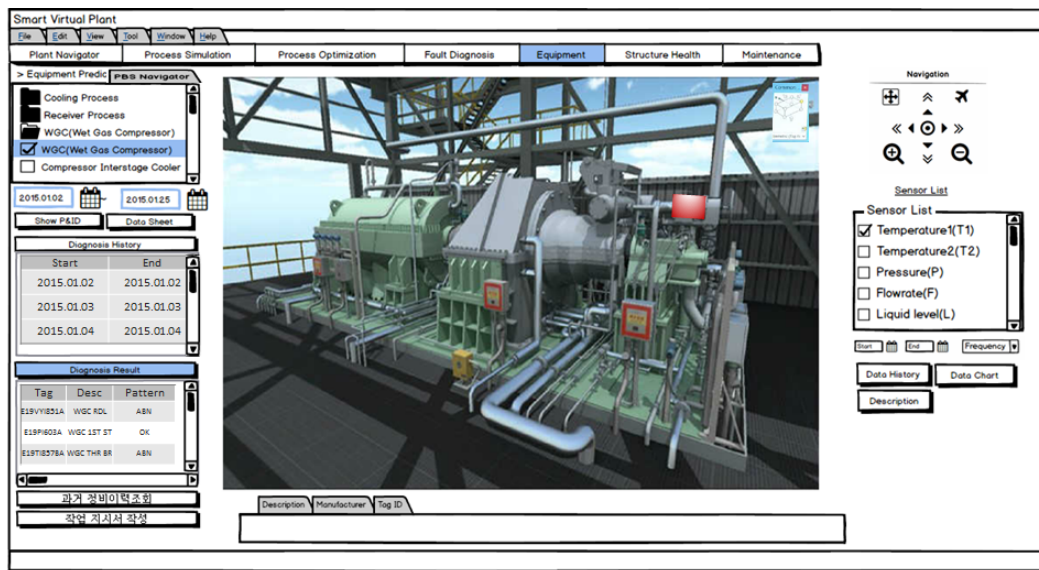


Figure 9. A Screen Design Example : Virtual Plant Platform Screen for Equipment Diagnosis

7. 가상플랜트 시스템 활용 시나리오

<Figure 9>은 가상플랜트 플랫폼 정보시스템의 화면설계 결과 중에서도 특정 플랜트 기기에 부착된 센서들의 정보와 센서 데이터를 분석하여 기기의 이상상태를 진단한 결과를 볼 수 있는 화면이다. 그림의 좌측 상단은 플랜트 공정과 공정에 속

한 기기를 선택할 수 있는 화면이 있고, 우측에는 선택된 기기에 부착된 센서 목록을 볼 수 있는 화면이 있다. 좌측 중단과 하단에는 각각 기기의 이상상태를 진단한 이력 목록과 이상상태의 진단 결과를 볼 수 있는 화면이다. 이와 같은 화면에 적절한 프로세스, 기기, 센서 데이터를 보여주면서 기기의 이상상태를 진단한 정보를 보여주기 위해서는 앞서 개발한 플랜트

통합 데이터 모델이 필요한 것을 알 수 있다.

본 논문에서는 지면관계상 기기의 이상상태 진단에 관련된 화면만을 보였으나, 가상플랜트의 구성요소인 플랜트 공정과 구조물, 운전조건들에 대한 이상상태 진단들도 <Figure 9>와 유사한 화면을 필요로 하게 된다. 플랜트 통합 데이터 모델은 가상 플랜트의 구성요소들 간의 연관관계와 구조관계 뿐만 아니라, 센서 데이터와 센서데이터를 분석한 결과, 그로 인해 도출된 이상진단 지식들을 저장할 수 있는 체계를 제공하기 때문에 가상플랜트 플랫폼 정보시스템에 필수적이라 할 수 있다.

8. 결 론

본 논문에서는 가상플랜트 정보시스템의 핵심이 되는 통합 플랜트 수명주기 데이터 관리 시스템을 제안하였고, 이를 개발하기 위한 스마트큐브 설계 결과를 제시하였다. 통합 플랜트 수명주기 데이터 관리 시스템의 상세 데이터 모델을 설계하기 위하여 시스템 요구사항과 기능들을 분석하였고, 사용자 화면 설계를 통해 구체적인 정보 요구사항을 도출하였다. 스마트큐브의 상세 데이터 모델은 ERD로 표현하였다.

통합 플랜트 수명주기 데이터 관리 시스템의 개발은 현재 진행 중에 있다. 본 논문에서 제시한 설계결과를 바탕으로 구현 및 적용 과정을 통해 설계결과를 개선할 필요가 있다. 또한, 여러 센서데이터 분석방법들 중 플랜트에 적용 가능한 방법들을 연구하여 스마트큐브에 적용 가능하도록 설계를 개선하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- AVAEVA (2015), Solutions for the Plant Industries, Available : http://www.aveva.com/en/Products_and_Services/AVEVA_for_Plant.aspx [Accessed : 02 October 2015].
- Banerjee, T. P. and Das, S. (2012), Multi-sensor data fusion using support vector machine for motor fault detection, *Information science*, **217**, 96-107.
- Djurdjanovic, D., Lee, J., and Ni, J. (2003), Watchdog Agent-an in-fotronics-based prognostics approach for product performance degradation assessment and prediction, *Advanced Engineering Informatics*, **17**(3/4), 109-125.
- Fort, A., Mugnaini, M., and Vignoli, V. (2015), Hidden Markov Models approach used for life parameters estimations, *Reliability Engineering and System Safety*, **136**, 85-91.
- Garcia, A. C. B., Bentes, C., Melo, R. H. C. D., Zadrozny, B., and Penna, T. J. P. (2011), Sensor data analysis for equipment monitoring, *Knowledge Inference System*, **28**, 333-364.
- IBM (2015), Maximo asset management, Available : <http://www-03.ibm.com/software/products/en/maximoassetmanagement> [Accessed : 02 October 2015].
- Intergraph (2015), SmartPlant@ Enterprise, Available : <http://www.intergraph.com/products/ppm/smartplant/> [Accessed : 02 October 2015].
- Leal, D. (2005), ISO 15926 life cycle data for process plant : overview, *Oil and Gas Science and Technology-Rev. IFP*, **60**(4), 629-637.
- Lee, J. H. and Suh, H. W. (2015), Requirement analysis and conceptual design of a cybrid virtual plant system, in : 2015 Korea CAD/CAM engineers summer conference, Myongji University, South Korea, 5-11.
- ORACLE (2015), Oracle enterprise asset management, Available : <http://www.oracle.com/us/products/applications/060286.html> [Accessed : 02 October 2015].
- Peng, C., Buldyrev, S., Goldberger, A., Havlin, S., Mantegna, R., Simons, M., and Stanley, H. (1995), Statistical properties of dna sequences, *Phys A*, **221**(1~3), 180-192.
- SAP (2015), Enterprise asset management, Available : https://help.sap.com/saphelp_hba/helpdata/en/07/5af680cb654f37b32db655fe66d939/content.htm [Accessed : 02 October 2015].
- Shin, J. H. and Jun, H. B. (2015), On condition based maintenance policy, *Journal of Computational Design and Engineering*, **2**(2), 119-127.
- Siemens (2015), Explorer Teamcenter and discover your solution, Available : http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/teamcenter/index.shtml [Accessed: 02 October 2015].