

시스템엔지니어링 탐색적 접근을 통한 플랜트 엔지니어링 선행설계 전문인력 양성을 위한 스마트 교육시스템 개념설계에 관한 연구

홍대근¹⁾ 박창우²⁾ 서석환³⁾ 서활원^{1)*}

1) 포스텍 철강대학원, 2) 서울대학교 공학전문대학원, 3) 포스텍 철강대학원/스마트팩토리연구센터

A Study on Conceptual Design of Smart Training System for Advanced Plant Design and FEED Engineers Based on Exploring Systems Engineering

Dae Geun Hong¹⁾, Chang Woo Park²⁾, Suk Hwan Suh³⁾, Hwal Won Sur^{1)*}

1) GIFT (Graduate Institute of Ferrous Technology), POSTECH

2) GSEP(Graduate School of Engineering Practice), Seoul National University

3) GIFT/Smart Factory Research Center, POSTECH

Abstract : Front End Engineering Design (FEED), currently dominated by a few advanced countries, creates the highest added-value in the in plant construction industry. In the domestic plant engineering industry, it is difficult to acquire its own technology capability and experience due to lack of experience and shortage of experts in advanced design fields such as basic design and FEED. To achieve competitiveness with the advanced countries, it is necessary to establish smart training system for advanced plant design and FEED engineers. This study aims to design an integrated training framework for plant engineering and FEED using system engineering to build a smart plant engineering education system that learns design knowledge based on educational content and experience based on design stage for chemical plant.

Key Words : Smart Training Program, Plant Engineering, Plant Design, FEED (Front End Engineering Design), Systems Engineering

Received: March 7, 2018 / **Revised:** June 7, 2018 / **Accepted:** July 6, 2018

* 교신저자 : Hwal Won Sur, hwsur@postech.ac.kr

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.

1. 서론

Engineering News Records (ENR)에 따르면, 세계 엔지니어링 시장은 연평균6%의 성장 폭으로, 2020년에는 \$1.7 trillion 규모로 성장할 것으로 예상되고 있다[8]. 산업/기반시설 시장분석 기업인 ARC Advisory Group은 2012년 세계 플랜트 공정운전 교육시장 규모는 약 5천억 원이며, 향후 9~10%의 고성장을 이룰 것으로 예측되고 있다. 이러한 비약적인 엔지니어링 시장의 성장과 함께, 엔지니어링 사업을 수행하는 국가 및 기업들 간 수주 경쟁이 점점 심화되고 있다. 하지만, 현재 엔지니어링 시장은 미국, 독일, 영국, 캐나다 호주 등 엔지니어링 선진 국가들에 의해 전체 시장의 64%이상이 점유되어 있는 반면, 우리나라는 1.4% 수준의 낮은 시장 점유율을 보이고 있다[1].

엔지니어링 수명주기 관점에서 보면, 선진국들은 부가가치가 높은 Front End Engineering Design (FEED)와 같은 전방 가치사슬 분야를 포함하여 경쟁우위를 갖고 있는 반면, 우리나라를 비롯한 엔지니어링 후발업체는 상대적으로 부가가치가 낮은 상세설계, 구매, 시공 등 후방 가치사슬 분야에 치중하고 있는 상황이다[2]. 국내 플랜트 엔지니어링 산업의 경쟁력 회복을 위하여 산업구조를 고부가가치 영역인 개념설계, 기본설계 및 FEED 등 선행설계 영역으로의 고도화 대책마련이 시급하다. 특히, 국내 플랜트 엔지니어링 산업은 기본설계 및 FEED 등 선행설계 분야 경험 부족과 전문 인력 부족으로 자체적인 기술역량 및 경험 확보가 어려운 상황이다.

엔지니어링 사업 전체의 수익성을 결정하고, 상세설계, 구매, 시공 등 후방 가치사슬 엔지니어링 수주 경쟁력을 좌우하는 전방 가치사슬은 부가가치가 높지만, 한국을 포함한 엔지니어링 후발업체는 전문인력 부족으로 성장하는데 한계를 보이고 있다[3]. 그동안 국내에서 건조한 다양한 육/해상 플랜트 건조경험을 기반으로 산재한 국내 기본설계 및 FEED 설계 전문인력의 역량을 결집하여 국내 실정에 맞는 지능형 플랜트 엔지니어링 설계교육

시스템의 개발을 정책적으로 지원할 필요가 있다. 특히, LNG 플랜트 등 전략적으로 중요한 핵심 플랜트 엔지니어링 공정을 선별하여 각기 특성에 따른 설계 프로세스의 정의와 프로세스별 설계 지식을 체계적으로 반영한 교육 콘텐츠 및 지식기반의 체험 학습을 지원할 수 있는 교육과정 개발이 시급하다. 또한, 설계단계별 교육 콘텐츠 및 지식기반 구축과 더불어 동적공정시뮬레이션, VR, AR, 빅데이터 등 최신 ICT를 융합하여 설계교육의 지능화 및 효과를 극대화할 수 있는 교육방안 개발이 필요하다.

본 연구에서는 화공플랜트 공정에 대해 설계단계별 교육콘텐츠 및 경험에 기초한 설계지식을 학습하는 스마트 플랜트 엔지니어링 교육시스템을 구축하기 위해서, 시스템엔지니어링을 이용하여 플랜트 엔지니어링 선행설계 통합교육 프레임워크를 설계하고자 한다. 이를 위해서, 2장에서는 우선 플랜트 엔지니어링 교육프로그램과 시스템엔지니어링 접근을 활용한 기존 연구를 살펴보고 한계점을 분석한다. 3장에서는 스마트 플랜트 엔지니어링 교육시스템 구축을 위한 시스템엔지니어링 적용방안을 제안한다. 마지막으로, 4장에서는 연구를 통해 발견한 교훈과 한계점에 대하여 논하고, 추후 연구계획으로 마무리 한다.

2. 문헌연구

2.1 플랜트산업과 엔지니어링의 역량 확보

플랜트 엔지니어링 산업은 지식서비스와 기계설비·건설 등 제조업이 융복합된 산업으로서 산업 파급효과가 높고, 기술 혁신을 통한 석유화학, 철강, 기계, 조선, 에너지 등 주력 장치산업의 고부가가치화와 시장 확대에 기여하는 주력산업이다[3]. (산업별 부가가치율(%) : 엔지니어링(56), SW(50), 제조업(33), 건설업(21)). 플랜트 엔지니어링 프로젝트의 진행단계에서 고부가가치 영역인 선행설계(FEED)는 일반적으로 설계과정의 시작인 개념설계(Concept Design) 단계와 끝 단계인 상세설계(Detailed Design)를 연결하는 설계 및 엔지니어링 과정을 포함하고

있다. 플랜트 엔지니어링분야에서 선행설계는 플랜트 건설사업의 초기 선행 설계단계에서 수행되며 실제 프로젝트 수행단계에서 발생하는 설계변경의 최소화와 건설비용의 최적화를 목표로 한다. 따라서 이 선행설계는 새로운 발명이나 기술이 아닌 오랜 실무경험에 기반하는 경험기술이라 할 수 있으며, 실제로 적용해 본 Track Record가 중요시 되고 있다.

플랜트 엔지니어링 산업의 원가구성은, 전방 가치사슬인 FEED를 포함한 엔지니어링(기획·설계·관리)이 약 9%, 플랜트 기자재(구매조달)가 약 58%, 시공 33%로, 외견상 엔지니어링의 비중은 낮으나 설비 사양 등 실제 구매조달 및 시공과 관련된 의사결정의 70% 이상을 점유하여 가장 큰 영향을 미친다. 이러한 이유로 선진 기업들은 보유한 핵심·원천 기술과 전문인력을 기초로 FEED 설계 분야를 독점하며 시장 지배력을 강화하고 있다. 이러한 카르텔 형성은 국내 기업 등 신참 기업들에게 높은 진입장벽으로 작용하고 있다. 2013년 설계분야 시장의 64.8%를 미국·영국·호주·네덜란드 등 주요 4개국이 점유하였으며, 국내 기업의 시장 점유율은 1.4%에 불과하다[1]. 선진 기업들은 M&A를 통해 사업분야를 다각화하거나, 다수의 현지인 고용 등을 통해 사업 확장에 수반되는 위험을 낮추며 신흥 시장에 진출하는 전략을 구사하고 있다.

2.2 선행설계 시장진입을 위한 플랜트 엔지니어링 전문인력 양성

플랜트 엔지니어링 산업은 소수의 발주자에 의한 일괄수주(턴키) 방식의 발주가 일반화되어 있어 프로젝트 종합관리·설계·기자재·시공 등의 기술개발이 통합적, 체계적으로 진행되어야 시너지 효과를 얻을 수 있다. 기획·타당성조사, 프로젝트 종합관리, 개념·기본설계 등 고부가가치 엔지니어링 기술 영역은 EPC 방식에서 구매·시공 사업의 수주 경쟁력을 좌우할 뿐 아니라 프로젝트 전체의 부가가치를 결정하는 핵심영역이다[2]. 지금까지 국내 플랜트 엔지니어링 기업들의 사업영역이 상세설계 및 시공 등 과당경쟁, 저부가가치의 후속 공정에 편중

되어 있던 것을 탈피하여 선행 설계단계인 기본설계 및 선행설계로 사업영역을 확장함으로써 사업을 보다 안정적으로 수주할 수 있는 기반의 확보가 필요하다.

고부가가치 상품군의 FEED 시장 진출을 위한 기본설계 및 FEED 인력양성을 위해서는 선택과 집중 개념에 입각하여 기본설계 고급인력 양성을 위한 인프라를 구축해야 한다. 하지만, FEED 시장 진출에 필요한 전문인력을 양성하는 교육 인프라는 EPC 업계가 자체적으로 구축·운영하는 데는 한계가 있으므로 FEED 전문인력 양성 사업을 정책적으로 지원할 필요가 있다. 지속적인 사내/사외 또는 온라인/오프라인 교육실시를 통한 FEED 전문인력 양성을 위해서, 핵심 FEED 기술역량을 보유한 고급 엔지니어 양성과 기업 현장경험 및 기술 전수를 위한 현장밀착형 고급 소프트웨어 핵심인력 양성 교육과정 및 지원체계가 구축되어야 한다.

FEED 수행절차, 업무범위, 제출서류, 국제표준/코드, 분야별 특성, 협력절차, 입찰예가산정, SW 활용 등 그동안 국내에서 건조한 다양한 육/해상 플랜트 건조경험을 기반으로 산재한 국내 기본설계 및 FEED 설계 전문인력의 역량을 결집하여 국내 실정에 맞는 지능형 플랜트 엔지니어링 설계교육 시스템을 개발해야 한다. 특히, LNG 플랜트와 같이 전략적으로 중요한 고부가가치 플랜트를 대상으로 각기 특성에 따른 설계 프로세스의 정의와 프로세스별 설계 지식을 체계적으로 반영한 교육과정 개발이 필요하다. 또한, 동적공정시뮬레이션, VR, AR, 빅데이터 등 최신 ICT를 융합하여 콘텐츠 및 지식 기반의 체험 학습을 지원할 수 있는 교육환경이 구축되어야 한다.

2.3 공학교육 설계분야에서 시스템엔지니어링 엔지니어링 접근

플랜트 엔지니어링과 선행설계 전문인력 양성은 전통적인 교육 프로그램과 달리, 화학공학, 기계공학, 전기공학, 토목/건설 공학, 프로젝트 매니지먼트 등 다양한 학문들이 통합되고 상호 관련되어야 한

다. 이와 같이 복잡한 교육 프로그램을 실패 없이 성공적으로 개발하기 위해서는, 개발자의 경험에 기반하여 직관적으로 개발하는 전통 접근 방법 보다 [9], 복잡한 이해관계자의 요구사항부터 교육 프로그램의 결과물까지 체계적이고 종합적으로 개발하는 체계적이고 종합적인 접근 방법이 요구된다. 시스템엔지니어링은 위와 같은 필요를 만족시킬 수 있는 하나의 대안적인 접근방법이 될 수 있다. 시스템엔지니어링은 비행기, 자동차, 기차 등 복잡한 시스템을 개발함에 있어 고객의 요구를 만족시키는 시스템의 솔루션을 도출하고 검증하기 위한 체계적이고 종합적인 엔지니어링 접근방법이다. 시스템엔지니어링은 1950년대부터 우주, 국방, 항공 산업 등 복잡하고 새로운 시스템을 다루는 분야에서 주로 적용되어 왔으며, 최근에는 철도, 자동차, 전자 산업 등 다양한 분야에서 적용되고 있다.

최근 들어 공학 교육과정을 개발함에 있어서 시스템엔지니어링 접근을 적용한 연구가 보고되고 있다. O'Shea(2007)은 educational learning system 에 systems engineering methodology을 적용하였다. 그는 현대의 교육 시스템은 점점 대형화되고, 복잡해지고 있으며, 이로 인해 실패에 취약해지고 있다고 주장하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 그는 여러 산업에서 복잡한 대형 시스템 개발에 흔히 적용되고 있는 형식화 된 방법론인 시스템엔지니어링 접근이 교육 시스템 개발의 실패를 줄이고, 품질을 향상시킬 수 있다고 주장하였다.

Bozkurt and Randolph-Gips(2011)는 온라인 교육과정의 설계와 콘텐츠에 적용하기 위한 시스템엔지니어링 프레임워크를 제안하였다. 그들은 온라인 교육과정의 개발은 다양한 이해관계자(교수, 학생, 대학, 산업체)가 참여하기 때문에 매우 복잡하다고 언급하고 있으며, 그들은 복잡한 시스템 개발에 흔히 적용되는 구조화된 방법론이 온라인 교육과정 설계 및 콘텐츠 시스템에도 적합할 것으로 주장하였다.

기존 관련 연구들은 대부분 교육 프로그램과 교육 프로그램 개발의 복잡성을 언급하고 있으며, 이

러한 복잡성을 성공적으로 해결하기 위한 수단으로서 시스템엔지니어링 접근의 필요성을 주장하였다.

3. 스마트 플랜트 엔지니어링 교육시스템 구축 프레임워크

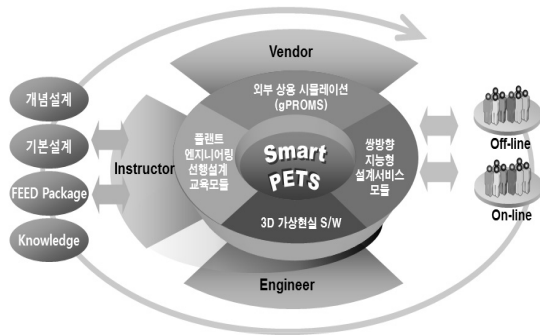
3.1 시스템즈 엔지니어링 프로세스

시스템엔지니어링을 다루고 있는 많은 연구들이 학계 및 산업계 전문가들에 의해서 수행되었으며, ISO/IEC 15288, MIL-STD 499B, ANSI/EIA-632, ISO/IEC 26702 등 다양한 표준들 및 핸드북들 (Department of Defense, 1994; ANSI/EIC 632, 1999; International Organization for Standardization, 2007)이 존재한다. 본 연구에서는, 이중 국제적으로 가장 범용적으로 사용되고 있는 ISO/IEC 15288과 INCOSE 핸드북에 초점을 맞추며, 이를 기반으로 스마트 플랜트 엔지니어링 교육 시스템 구축을 위한 시스템엔지니어링 프로세스를 개발한다.

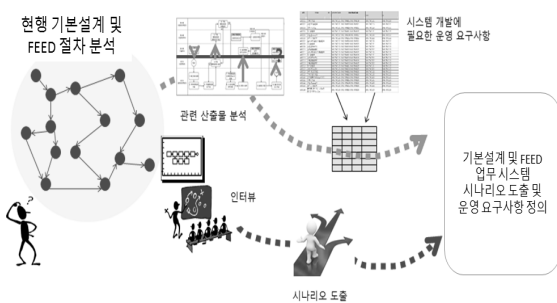
ISO/IEC 15288과 INCOSE 핸드북은 1) 협약 프로세스, 2) 조직의 프로젝트 지원 프로세스, 3) 프로젝트 프로세스 그리고 4) 기술 프로세스의 4개의 프로세스 그룹들로 구성되고, 각 프로세스 그룹들은 여러 핵심 프로세스들로 구성된다. 본 연구에서는 우리는 이들 프로세스 그룹 중 기술적인 관점에서 이해관계자의 요구사항으로부터 요구사항을 만족하는 시스템의 개발 및 운영, 유지보수까지 다루고 있는 기술 프로세스를 중심으로 한다. 이는 기술 프로세스의 목적이 본 연구의 목적인 스마트 플랜트 엔지니어링 교육시스템 을 체계적이고 종합적으로 개발하는 목적과 가장 잘 부합하기 때문이다.

3.2 시스템엔지니어링 기반 플랜트 엔지니어링

본 연구에서는 Figure 1과 같이 플랜트 엔지니어링 선행설계 전문인력 양성을 위한 지능형 통합설계 교육시스템(Smart-PETS: Smart Plant Engineering Training System) 기술을 확보함에 있어서, 1) 개방형 시스템으로 개발하여 향후 새로운 요



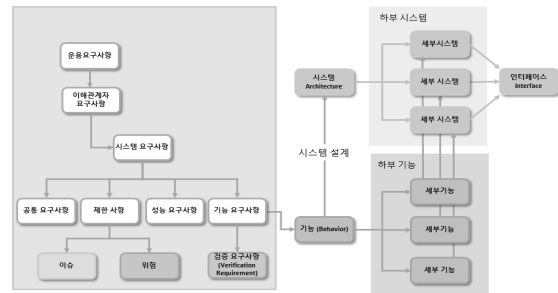
[Figure 1] A conceptual model of the Smart-PETS



[Figure 2] An image of FEED work scenario extraction and operation requirement definition

구사항 및 환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 소프트웨어 개발, 2) 학습자가 스스로 성취도 진단 및 맞춤형 처방을 할 수 있는 자기주도적인 교육환경 제공, 3) 3차원 가상현실 소프트웨어를 이용하여 가상현실의 공간에서 체험할 수 있는 교육환경 제공, 4) 현장 공정 설계 전문가의 지식을 활용하여 공정 설계 노하우를 교육시스템에 맞춤형하여 설계 모듈별 또는 설계 상황별 가이드 제공을 목표로 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 수요기업(현대오일뱅크)의 지식노하우를 바탕으로 교수설계자가 개발한 플랜트 개념설계, 기본설계, FEED Package의 내용을 교육기관(포항공과대학교, 서울대학교, 연세대학교)과 상용 소프트웨어 개발업체((주)솔트웍스, 피에스이코리아(유))가 협력하여 실무 엔지니어가 쉽게 학습할 수 있는 교육 플랫폼을 구축하고자 한다.

플랜트 엔지니어링 선행설계 전문인력 양성을 위한 지능형 통합설계 교육시스템 요구사항을 분석하기 위해서, Figure 2와 같이 기본설계 및 FEED 운

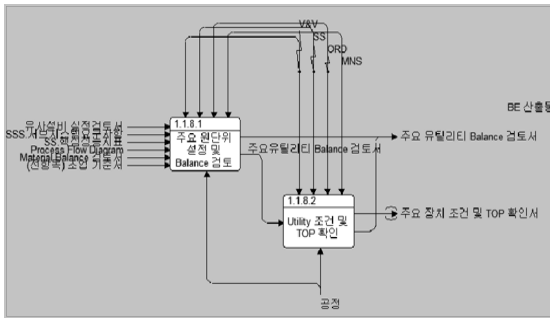


[Figure 3] An image of the Smart-PET system development method based on systems engineering

용시나리오 작성을 통해서 운용 환경 내에서 예상되는 모든 사용 정황과 미처 파악하지 못한 요구사항들이 식별될 수 있고, 대상시스템에 대한 사회적·조직적 영향 또는 제약사항들을 추가적으로 분석한다. 다시 말해서, 화공기초, FEED 분야별 설계·표준·코드, FEED 수행절차, 기술적·경제적 보증 등 화공 플랜트 설계를 위한 이론과 실무교육 요구사항을 분석하고, 화공플랜트 모듈화된 설계활동에서 PDF 설계 변경이 이루어지면 연관되어 있는 다른 모듈(예, P&ID)에서도 설계변경이 자동으로 반영되는 지능형 P&ID 요구사항을 분석한다.

또한, 시스템 요구사항을 분석 및 수정하여 완전한 요구사항으로 재정의·기록·유지하고, 이해관계자 요구사항과의 추적성(Traceability) 확보한다. 다시 말해서, 기본설계단계에서 생성된 데이터와 FEED 단계에서 생성된 설계 자료간의 추적성을 제공하고, 각 추적성 분석 시 관련된 문서·의사결정사항등과 관련된 기타 자료를 DB화하고 추적성 검토 시 활용할 수 있도록 전산지원 환경을 구축한다. Figure 3과 같이 요구사항이 만족되는지를 어떻게 검증할 것인가를 기술한 검증요구사항을 개발하여 이해관계자 요구사항, 시스템 요구사항과 추적성을 제공하고, 검증요구사항을 기준으로 개발된 3D 가상 시뮬레이터 기반 플랜트 엔지니어링 통합교육시스템을 평가하고 효과성을 측정한다.

기본설계 및 FEED 엔지니어링 업무 지원시스템의 도출된 각 기능을 대상으로 기능을 구현할 수 있는 시스템 구성요소를 식별하고, 식별된 시스템



[Figure 4] An example of utility balance in process design phase with CORE S/W

요소간의 물리적 인터페이스를 정의한다. 이를 위해서 기본설계 및 FEED 프로세스를 구성하는 세부 엔지니어링 활동을 모듈화하고, 각 모듈에 대한 입력·출력·고려사항 등을 파악한다. Figure 4와 같이 단위 모듈간의 입력·출력·고려사항 정보를 명세화하여 모듈간의 상호연계가 가능하도록 구조화하고, 단위 모듈 또는 모듈로 구성된 컴포넌트에 대한 설계전문가가 보유하고 있는 설계 노하우(암묵지)를 명시화하여 구조화한다.

3.3 시스템엔지니어링 기반 스마트 플랜트 엔지니어링 교육 프레임워크

본 연구의 대상 시스템은 플랜트 엔지니어링 단계에서 특히, FEED 역량을 키울 수 있는 교육 프로그램 개발을 위한 교육 시스템이고, 교육 시스템은 물리적 시스템과 달리 개발과정과 결과물에서 차이가 존재하기 때문에, 우리는 전문가들과 함께 일반적인 시스템엔지니어링 프로세스를 화공 설계 및 모델링, 플랜트 시뮬레이션, 시스템엔지니어링, 프로젝트관리, 교육 개발을 포함한 전문가들 함께 교육 시스템 목적에 맞도록 tailoring 하였다. Table 1과 같이 제안된 시스템엔지니어링 프로세스는 이해관계자 요구사항 정의, 시스템 요구사항 정의, 아키텍처 설계, 구현, 통합, 검증, 확인, 운용 그리고 유지보수 9개의 프로세스들로 구성되고, 각 프로세스는 다수의 주요 활동으로 구성된다.

특히 교육시스템의 특징을 아키텍처 설계 단계에서 반영하기 위해서 비전, 추진목적, 인재상 설계,

교육체계 설계, 교육과정 설계, 교과목 설계 네 개의 서브 프로세스로 세분화하였다. 플랜트 유형별 선행설계(개념/기본설계, FEED) 프로세스를 디자인하고, 프로세스 단계별 입·출력 요소를 구조화 및 각각에 대한 교육요소를 구체화하여 교과목 및 교육과정을 설계한다. 교육 내용을 난이도 별로 구성하여 교육 대상자에 따라 학습 난이도를 결정할 수 있도록 맞춤형 교육을 실시한다. 학습 난이도를 초급, 중급, 고급의 세 단계로 나누어 산업체를 대상으로는 인턴이나 신입 사원 교육부터 경력사원들의 재교육까지도 가능하도록 구성한다. 교육방법에서도 이론, (가상)실습 과정으로 나누어 기초적 플랜트 공정이론부터 고난도 3D 가상플랜트 적용 실습 교육을 통해 프로그램을 공부할 수 있도록 구성한다. 이론교육은 공정 분야, 설계 분야별 교육으로 구성하고 초급, 중급, 고급 수준별 이론 교육 과정을 구성한다.

4. 결론

국내 플랜트 엔지니어링 산업의 경쟁력 회복을 위하여 산업구조를 고부가가치 영역인 개념설계, 기본설계 및 FEED 등 선행설계 영역으로의 전환이 필요한 시점이다. 하지만, 국내 플랜트 엔지니어링 산업은 기본설계 및 FEED 등 선행설계 분야 경험 부족과 전문 인력 부족으로 자체적인 기술역량 및 경험 확보가 어려운 상황이다. 전문인력 부족으로 성장의 한계를 극복하기 위해서는 그동안 국내에서 건조한 다양한 육/해상 플랜트 건조경험을 기반으로 산재한 국내 기본설계 및 FEED 설계 전문인력의 역량을 결집하여 국내 실정에 맞는 지능형 플랜트 엔지니어링 설계 교육시스템 개발이 필요하다.

이를 위해서 본 연구에서는 플랜트 엔지니어링 선행설계를 위한 전문인력 양성 교육 프로그램을 체계적으로 개발하기 위해서 시스템엔지니어링 관점에서 교육시스템 개발 프레임워크를 제안하였다. 다시 말해서, 플랜트 엔지니어링 선행설계를 위한 전문인력 양성은 다양한 이해관계자가 관계하고, 다

<Table 1> A framework for developing smart plant engineering training system based on systems engineering

기술 프로세스		주요 활동
이해관계자 요구사항 정의 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 이해관계자 요구사항 추출 - 이해관계자 요구사항 정의 - 이해관계자 요구사항 분석 및 유지
시스템 요구사항 정의 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 요구사항 정의 - 시스템 요구사항 분석 및 유지
아키텍처 설계 프로세스	비전, 추진목적, 인재상 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 교육 비전 설계 - 교육 추진목적 설계 - 교육 인재상 설계
	교육체계 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 교육방식 설계 - 교육해법 설계 - 기본소양 설계 - 기초기술 설계
	교육과정 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 교육과정 개념설계(전공, 연구, 기초, 실무 등) - 교육과정 상세설계(운영방안, 이수방안 등)
	교과목 설계	<ul style="list-style-type: none"> - 교과목 개념설계(Syllabus) - 교과목 상세설계(교수법, S/W, 사례, 실습 등 활용방안)
구현 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 교과목 강의자료 개발 - 교과목 실습방안 개발
통합 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 교과목 강의자료와 실습방안 종합
검증 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 개발된 교육과정 검증
확인 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 개발된 교육과정 확인
운용 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 교과목/교육과정 운용 준비 - 교과목/교육과정 운용 개시
유지보수 프로세스		<ul style="list-style-type: none"> - 교과목 평가 - 교과목 개선 - 교육과정 개선

양한 학문분야의 융복합으로 복잡성을 가진다. 이러한 대상시스템의 복잡성을 만족시키기 위해서, 본 연구에서는 이러한 복잡성을 갖는 학교와 산업체 수준의 교육 프로그램을 체계적으로 개발할 수 있는 시스템엔지니어링 기반의 플랜트 엔지니어링과 교육을 위한 프레임워크를 개발하였다. 또한, 본 연구에서는 각 분야별 전문가그룹과 협력하여 플랜트 엔지니어링 선행설계 전문인력 양성을 위한 지능형 통합설계 교육시스템, Smart-PETS 개발을 위한 탐색적 연구를 수행하였으며, 시스템엔지니어링을 통해서 앞으로 나아가야 할 연구 방향과 세부 연구 내용을 구조화하였다. 시스템엔지니어링 접근을 통해서 플랜트분야의 지능형 통합교육시스템을 대상으로 불명확하고 복잡한 이해관계자 요구사항을 분석하여 개념단계부터 합리적인 방법을 통해서 시스

템 규격을 개발하고 관리할 수 있었으며, 대상시스템인 플랜트공정 프로세스를 정의, 운영환경 정의, 논리적/물리적 아키텍처 개발, 설계 워크플로우 개발을 통해서 개념설계, 기본설계 FEED 각 단계에서 발생하는 설계 문서 및 정보를 통합 관리하고 추적성을 확보할 수 있었다.

하지만 본 연구에서 제안하는 시스템엔지니어링 기반 교육시스템 개발 프레임워크는 아직까지 실제 사례개발에 완전히 적용되지 못했다는 한계점을 가진다. 다시 말해서, 시스템 생명주기 관점에서 제안된 교육시스템 개발 프레임워크를 기반으로 아키텍처 설계 및 시스템 개발을 추진중이기 때문에 운영 및 유지보수, 그리고 효과는 아직 검증하지 못했다. 이를 위해서 향후 연구에서는 제안된 프레임워크를 실제 플랜트 선행설계 전문인력 양성 교육시스템

사례에 적용하여 효과성을 확인할 계획이다. 또한, 플랜트 엔지니어링 선행설계 전문인력 양성 교육시스템 개발뿐만 아니라 시범운영을 통해서 지속적으로 교육프로그램의 평가하고 개선해 나갈 것이다.

사사(Acknowledgment)

이 연구는 2017년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('10077963').

References

1. 조재현, 서활원, 탁경재, 한형상, 국내 플랜트 엔지니어링 위기 극복 방안 - FEED를 중심으로, KEIT PD ISSUE REPORT, Vol.16-09, pp.45-71, 2016.
2. 기완욱, 김준필, 홍대근, 서석환, 플랜트 FEED 설계를 위한 시스템엔지니어링 기술프로세스 적용방안 연구 - 환경플랜트 사례를 중심으로, 시스템엔지니어링 학술지 Vol.9 No.2, p.37-53, 2013.
3. 한국엔지니어링협회, 엔지니어링산업백서, 한국엔지니어링협회, 2013.
4. Bozkurt, I. and Randolph-Gips, M., A systems engineering framework for online course design and delivery, Proceedings of the 42nd Annual Southwest Decision Sciences Institute Conference, Houston, TX, 2011.
5. INCOSE, Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities, version 3.2.2. International Council on Systems Engineering (INCOSE), 2011.
6. International Organization for Standardization, ISO/IEC 15288:2008: Systems and software engineering - System life cycle processes, ISO, 2008.
7. O'Shea, P., A systems view of learning in education. International Journal of Educational Development, 27(6), pp. 637-646, 2007.
8. Reina, P. and Tulacz, G., 2016. The 2016 top 225 international design firm, Engineering News-Record. Engineering News-Record (ENR). The McGraw-Hill Companies, Inc.
9. Rompelman, O. and Graaff, E. De, The engineering of engineering education: curriculum development from a designer's point of view, European journal of engineering education, 31(02), pp. 215-226, 2006.