

통합 프로세스 엔지니어링을 위한 해양 프로세스 기본 설계 방법론

황지현*, 노명일†**, 차주환***, 이규열****

서울대학교 조선해양공학과 대학원* / 울산대학교 조선해양공학부**
서울대학교 공학연구소*** / 서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소****

Offshore Process FEED(Front End Engineering Design) Method
for Integrated Process Engineering

Ji-Hyun Hwang*, Myung-Il Roh†**, Ju-Hwan Cha*** and Kyu-Yeul Lee****

Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Seoul National University, Korea*

School of Naval Architecture & Ocean Engineering, University of Ulsan, Korea**

Engineering Research Center, Seoul National University, Korea***

Department of Naval Architecture & Ocean Engineering and Research Institute of Marine System
Engineering, Seoul National University, Korea****

Abstract

In this study, an offshore process FEED(Front End Engineering Design) method is systematically established to perform integrated process engineering for topsides systems of LNG FPSO(Floating, Production, Storage, and Off-loading unit) based on the concepts and procedures for the process FEED of general offshore production plants. First, various activities of the general process FEED engineering are summarized, and then the offshore process FEED method, which is suitable for application to all types of offshore oil and gas production plants, is proposed. Second, an integrated process engineering environment is built based on the proposed FEED method. Finally, the integrated process engineering environment is applied to topsides systems of an LNG FPSO in order to verify the validity and applicability of the proposed FEED method. As a result, it is shown that the proposed FEED method can be applied to the process FEED engineering of FPSOs and moreover will be able to contribute to perform successful offshore projects in the future.

※Keywords: Offshore process FEED(해양 프로세스 기본설계), Integrated process engineering (통합 프로세스 엔지니어링), Topsides systems(상부 시스템), Offshore oil and gas production plants(해양 오일/가스 생산 공장), Offshore projects(해양 프로젝트)

접수일: 2009년 12월 9일, 승인일: 2010년 3월 9일

† 교신저자: miroh@ulsan.ac.kr, 052-259-2165

1. 서론

대표적 해양 자원인 오일 및 가스의 수요 증가로 경제성이 있는 해역이 확대되면서 해양 생산 설비들의 설치 해역이 점차 심해 역으로 이동하고 있고, 다기능의 해양 플랜트에 대한 필요성이 커지고 있다(Jung et al. 2006). 이에 따라 심해 역에서 원유의 생산, 저장 및 하역이 가능한 OI FPSO(Floating, Production, Storage, and Off-loading unit)의 수요가 증가하게 되었고, 최근에는 가스 수요의 증가와 함께 새로운 개념의 LNG FPSO의 수요가 발생하게 되었으며 향후 이에 대한 많은 발주가 예상된다. OI/LNG FPSO는 심해에 분포하고 있는 오일 및 가스를 육지로 이송하기 위하여 해상에서 전처리 공정을 수행하는 생산 플랫폼들이다. 여기서 수행하는 주요 기능은 초기 광구(Well, 오일 및 가스가 존재하는 심해 광구)에서 올라오는 유체를 가벼운 탄화 수소 성분(Light Hydrocarbon Components, 예: 가스)과 무거운 탄화 수소 성분(Heavy Hydrocarbon Components, 예: 오일)으로 분리한 후 불순물(H_2O , N_2 , CO_2 , H_2S)을 허용 기준 이하로 제거하여 안전하게 육지로 이송하는 것이다. 이러한 해양 플랜트의 설계 단계는 크게 FEED(Front-End Engineering Design, 기본 설계를 포함한다고 가정) 단계와 상세 설계 단계로 나눌 수 있다. 이중 FEED 단계는 해당 광구 지역의 개발 여부를 결정짓는 매우 중요한 단계로서 FEED 결과물을 근거로 해당 지역 개발의 경제성을 분석하며, 해당 지역의 개발 가치가 충분하다고 판단되면 그 다음 단계인 상세 설계 단계로 넘어 가게 된다. 즉, FEED 단계는 해당 지역의 개발 여부 및 상세 설계 단계의 뼈대가 되는 매우 중요한 것으로 해당 지역에서의 해양 프로젝트 성공 여부를 결정할 수 있는 중요한 부분임을 알 수 있다. FEED 단계에서 최종적으로 얻고자 하는 것은 해양 플랜트의 가격과 무게 그리고 배치이다. 이 결과물을 통해 전체 프로젝트에 소요되는 비용과 프로젝트의 실현 가능성을 판단할 수 있다. 여기서, 최종 해양 플랜트의 전체 가격, 무게, 배치 등을 판단하기 위해서는 탑재되는 각 시스템 별 용량 및 크기가 먼

저 결정되어야 하며 이를 통해 각 장비별 배치를 할 수 있게 된다. 이를 위하여 해양 플랜트 설계를 시작할 때 가장 선행되어야 하며 중요한 분야가 프로세스 설계이며, 본 연구는 FEED 단계에서 프로세스 설계를 수행함에 있어 (1) 최적화된 프로세스 FEED 방법을 정립하고, (2) 이의 효용성 검증을 위해 이를 기반으로 한 통합 프로세스 엔지니어링 인프라를 구축하며, (3) 최종적으로 이를 미래 수요가 급격히 증가 될 것으로 예상되는 LNG FPSO의 FEED 단계에 적용한 후 그 결과를 제시함으로써 향후 해양 플랫폼의 설계를 수행함에 있어 성공적인 FEED 결과물을 얻고자 함에 있다.

이와 관련된 연구 현황을 살펴보면, 국내 산업체(대형 조선소)의 경우, 지금까지 많은 시추선, 반잠수식 시추선, 고정식 구조물 등을 건조하였지만 초기에는 생산 분야를 주로 담당하였다. 특히, 프로세스 설계의 경우 Technip(2009), Mustang Engineering(2009), Doris Engineering(2009) 등의 해외 설계 용역 업체가 설계한 내용을 그대로 생산하는 역할만을 수행해 왔다. 참고로, Technip은 Petrobras P-37, Elf Nkossa, Total Dalia, Total Akpo 등의 FPSO 프로젝트에 참여하였고, Mustang Engineering은 Chevron Agbami, Nexus Crux 등의 FPSO 프로젝트에 참여하였으며, Doris Engineering은 CPTL Farwah 등의 FPSO 프로젝트에 참여한 바 있다. 따라서 국내 산업체의 프로세스 설계 능력은 많이 부족한 실정이다. 다만, 생산 과정 중 해당 설계 용역 업체와의 업무 협의를 통해 프로세스 설계 기술의 일부가 파악되었을 뿐이다. 하지만 이마저도 국내 조선소간에는 공유되고 있지 않아 해양 구조물의 프로세스 설계 기술은 해외 일부 업체들만의 전유물로만 여겨지고 있다. 이러한 폐쇄적인 환경에서도 그나마 다행인 것은 최근 해양 구조물 관련 학회 등을 통해 극히 제한적이지만 프로세스 설계 방법이 소개되고 있다는 점이다. 국내 대학, 연구소 역시 해양 구조물의 프로세스 설계와 관련된 연구는 거의 수행되고 있지 않고 주로 해양 구조물의 파랑/하중 응답 해석(Shin et al. 2000, Lee et al. 2000), 국부 강도 해석(Lee et al. 1998, Kim et al. 2004), 계류

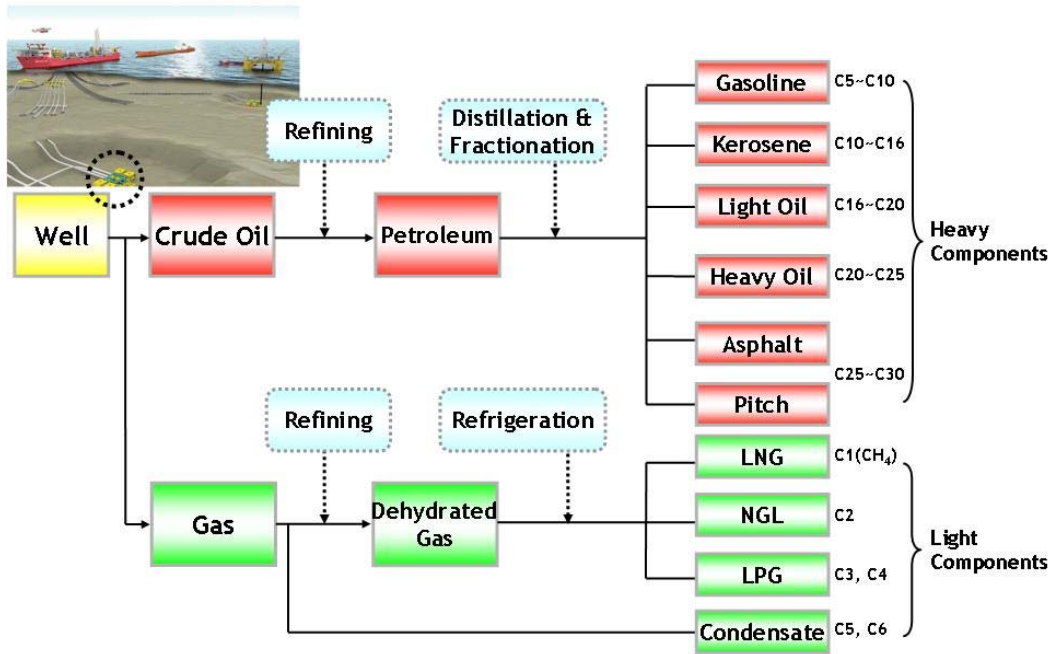


Fig. 1 Production of oil in offshore and onshore engineering

시스템 해석(Na et al. 2004, Kim et al. 2006) 등 구조 역학/유체 동역학 문제의 해결과 관련된 해양 구조물의 국부적인 연구만이 주로 수행되고 있는 실정이다.

국외 산업체의 경우, Technip, Mustang Engineering, Doris Engineering 등의 해양 구조물 전문 설계 업체를 중심으로 이들이 다양한 석유/가스전 개발 사업 컨소시엄에 설계 업체로서 참여하면서 나름대로의 설계 경험을 쌓아가고 있다. 국외 대학, 연구소(예, 미시건대, MIT) 역시 해양 구조물의 프로세스 설계와 직접 관련된 실무적인 연구와는 달리, 이를 뒷받침하는 구조 역학/유체 역학 분야에 대한 기초 연구를 주로 수행하고 있다(Lake et al. 2000, Newman and Lee 2002, Matsuura and Bernitsas 2006).

2. 해양 프로세스 FEED의 개념

2.1 해양 / 육상 엔지니어링

Fig. 1은 해상 및 육상에서 오일 및 가스를 생산하고 정제 과정을 거쳐 실생활에 사용되는 석유

화학 제품을 얻기까지의 과정을 나타내고 있다. 여기서 알 수 있듯이, 해양 엔지니어링에서 중요한 것은 가벼운 탄화 수소 성분과 무거운 탄화 수소 성분의 분리 및 정제, 그리고 시장 판매용 가스와 오일의 요구 기준에 맞추어 육상으로 안전하게 이송하는 것이다. 육상 엔지니어링은 해상 엔지니어링을 통해서 이송 받은 시장 판매용 가스와 오일을 전 세계 수요처에서 요구하는 석유 화학 제품으로 변환하는 과정으로서 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 분리 및 정제 공정을 통해 무거운 탄화 수소 성분들로 구성된 제품을 얻는 것이고, 두 번째는 냉각 공정을 통해 가벼운 탄화 수소 성분들로 구성된 제품을 얻는 것이다. 최근 주목 받고 있는 LNG FPSO의 경우, 과거 육상 엔지니어링 영역에 해당되는 냉각(액화) 공정을 해상에서 수행할 수 있도록 탑재한 것으로서 점차 육상 엔지니어링 기술들이 해상으로 이동해 오는 것을 느낄 수 있으며, 향후 해상 엔지니어링 분야의 보다 큰 확대가 예상된다.

2.2 해양 프로세스 FEED 엔지니어링

해양 플랜트는 크게 상부(Topsides)와 선체(Hull)의 두 부분으로 나눌 수 있다. 상부는 해양 플랜트의 갑판부로서 오일 및 가스의 생산을 주로 담당하고, 선체는 해양 플랜트의 하부로서 오일 및 가스의 저장을 주로 담당한다. 즉, LNG FPSO와 같은 해양 플랜트는 선박("선체") 위에 플랜트("상부")가 설치된 것으로 볼 수 있다. 해양 플랜트는 그 특성상 선체에 비해 상부 시스템의 설계 비중이 월등히 높으며, 그 담당 부분에 따라 프로세스 설계, 배관 설계, 기계 설계, 계장 설계, 전장 설계, 선장 설계 등으로 나뉜다. 이 중에서 프로세스 설계가 해양 플랜트의 상부 설계의 핵심 부분이라 할 수 있다(Hwang et al., 2008). 한편, 프로세스 설계는 그 구체화 정도에 따라 FEED와 상세 설계로 나뉜다. 앞서 설명하였듯이, FEED 단계에서는 발주자의 요구 사항(예, 오일 및 가스의 하루 생산량 등)에 따라 상부에 설치되는 프로세스 시스템, 유틸리티 시스템 등의 종류, 사양 등을 결정하고, 상세 설계 단계에서는 FEED 단계에서 결정된 사항을 면밀히 검증하여 구체화하게 된다. 즉, FEED의 결과에 따라 상세 설계 기간이 달라질 수 있으며, 심지어는 해당 해양 플랜트 프로젝트 자체가 취소될 수도 있다. 따라서 프로세스 FEED는 해양 플랜트의 생산 능력과 건조 여부까지도 결정하는 매우 중요한 설계 단계라 할 수 있다.

2.2.1 해양 프로세스 FEED 항목 정의

Fig. 2는 해양 플랜트의 프로세스 FEED 단계에서의 중요 업무를 개략적으로 나타내고 있다. 먼저, 발주자의 요구사항("설계 기준", Fig. 2의 ①)을 명확히 도출하여 설계 범위 및 대상(상부 내 각종 장비, 계기 등)을 도출한다. 그 다음, 설계 대상을 기반으로 전체 프로세스 흐름(오일 및 가스 생산을 위한 작업 라인) 및 전체 프로세스 흐름을 보조 하는 유틸리티 흐름을 정의하고, 각 흐름별 물질적 / 열역학적 특성과 요구되는 유틸리티 사양들을 시뮬레이션 과정을 거쳐 결정된다("프로세스 시뮬레이션 / 유틸리티 구성", Fig. 2의 ②). 그 후, 앞의 결과를 이용하여 상부를 구성하는 각종 장비, 계기, 배관 등의 사양을 결정한다

("프로세스 계산 / 유틸리티 계산", Fig. 2의 ③). 그리고 앞의 프로세스 시뮬레이션 / 유틸리티 구성의 결과를 종합하여 전체 프로세스 라인의 운용 조건(온도, 압력, 유량, 구성 성분)을 테이블로 나타내고, 전체적인 안전과 제어의 개념을 그림으로 묘사한 PFD(Process Flow Diagram)와 UFD(Utility Flow Diagram)를 작성한다(Fig. 2의 ④). 그 다음, 결정된 각 장비, 계기 등의 구매 및 운용에 필요한 정보를 포함하는 PED(Process Equipment Datasheet), PID(Process Instrument Datasheet), UED(Utility Equipment Datasheet), UID(Utility Instrument Datasheet)를 생성한다(Fig. 2의 ⑤). 끝으로 앞서 작성한 PFD, UFD를 근거로 각종 장비, 계기들의 공급 업체들로부터 받은 데이터와 해양 플랜트에서 가장 중요한 운전, 안전, 유지 보수 요소들을 각 시스템 별 고려 사항들에 맞게 반영하여 실제 상부 시스템들을 상세하게 구체화한 P&ID(Piping & Instrumentation Diagram)를 개략적으로 작성한다(Fig. 2의 ⑥). 지금까지 서술한 이런 작업들을 하는 목적은 해당 광구를 개발하기 위하여 투입되는 생산 플랫폼의 가격, 무게, 배치를 파악하여 개발 시 경제성이 있는지를 파악하기 위한 것으로 FEED 결과물과 경제성이 있다는 것이 판단되어 실제 업무를 수행하게 될 경우 상기 기술한 FEED 결과물들이 프로세스 상세 설계 단계로 전달하게 된다.

2.2.2 해양 프로세스 FEED 목적

프로세스 FEED 를 수행하는 목적은 (1) 상부 전체 시스템의 용량을 결정하여 해당 공급 업체들로부터 이에 맞는 데이터를 받아 전체 시스템들의 크기를 결정하는 것과 (2) 전체 시스템들을 연결하는 배관들의 크기를 정하는 것이다. 이를 통해 결국 전체 상부 시스템 및 배관들의 효율적인 배치가 가능하게 되고 상부의 무게 정보 등을 통해 설치 시 필요한 크레인 등의 제반 장비들을 선정할 수 있으며, 그리고 가장 중요한 부분인 상부 전체 가격 등을 예측할 수 있게 된다. 즉, 프로세스 FEED 결과물이 해양 플랜트의 전체 설계 / 생산 분야의 시작을 가능하게 하는 가장 중요하며, 후행 다른 분야 설계 / 생산 업무 및 나아가 그

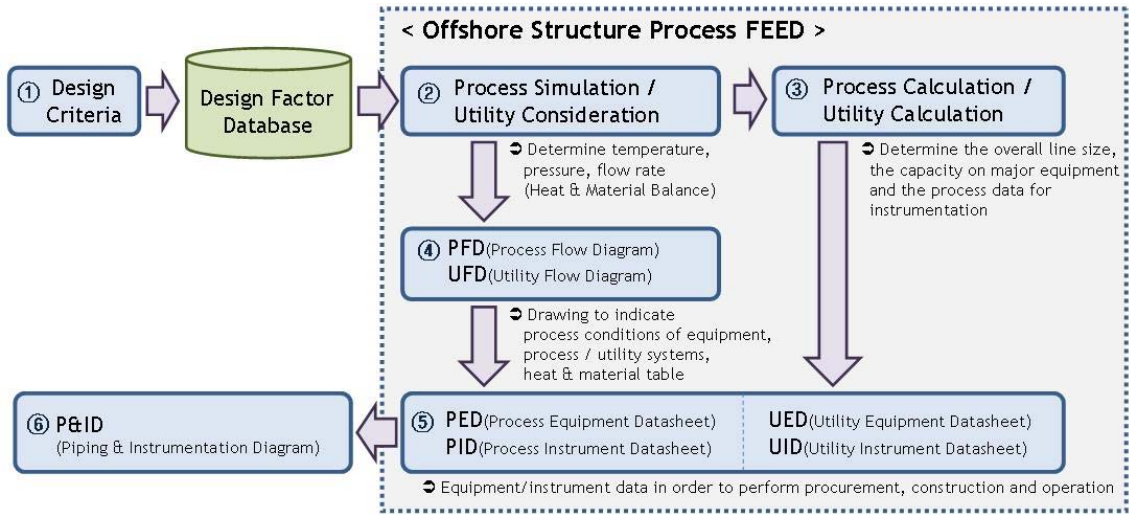


Fig. 2 Activities of the general process FEED engineering

프로젝트의 성공 여부도 좌우되게 한다는 것을 알 수 있다.

3. 해양 프로세스 FEED 방법론의 제안

Fig. 3은 본 연구에서 제안하고자 하는 프로세스 FEED 방법에 대한 전체적인 도식도를 나타내고 있다. 이를 통해, 프로세스 시스템 및 유틸리티 시스템의 용량 및 크기와 전체 상부 시스템에 설치된 배관의 크기를 얻을 수 있다. 제시된 FEED 방법을 통해 얻은 전체 상부 시스템의 용량 및 크기를 근거로 각 시스템의 공급 업체들로부터 각종 데이터를 받을 수 있으며, 궁극적으로 전체 가격, 무게 및 해당 시스템들의 크기 정보로부터 효율적인 배치까지 가능하게 됨으로써 해당 광구의 개발 가능성 여부를 빠르게 결정할 수 있게 된다. 본 연구에서 제안한 프로세스 FEED 방법의 각 내용에 대해 설명하면 다음과 같다.

3.1 열역학적 방법 연구

프로세스 시뮬레이션에 앞서, 온도, 압력, 부피의 3가지 물성치의 상관 관계를 일정한 규칙을 갖는 수학적 방정식 즉, 상태 방정식으로 표현해야 한다. 현재 액체와 증기의 거동을 모두 설명할 수 있는 3차식 형태의 Peng-Robinson 상태 방정식

이 가장 널리 사용되고 있다. 이는 상태 방정식의 개선 과정 즉, 이상 기체 상태 방정식을 기반으로 하여 실제 기체에 보다 잘 맞도록 경험적, 실험적으로 수정해 가는 과정을 통해 발전된 상태 방정식으로서, 분자간의 인력에 의한 압력의 감소량에서 부피 의존성 부분을 수정함으로써 실제 기체의 값에 보다 접근함을 실험적으로 증명한 방정식이다.

3.2 프로세스 구성 및 시뮬레이션 / 유틸리티 구성

프로세스 구성 및 시뮬레이션(프로세스 시스템에 해당), 유틸리티 구성(유틸리티 시스템에 해당)은 각 운전 조건에서의 단위 조작에 따른 흐름별 물성치 등을 얻기 위한 공정 모사를 의미한다. 각 장비들의 효율적인 배치 및 광구에서 올라오는 유체의 온도, 압력, 유량, 몰 분율(Mole Fraction) 조건들에 따른 사례 연구를 수행하여 각 장비별 가장 혹독한 조건까지 만족할 수 있는 사례를 설계 조건으로 선정하여 고려하게 된다. 본 단계가 해양 프로세스 FEED를 수행함에 있어 각 장비, 계기 및 배관의 사양을 결정짓는데 가장 중요한 역할을 한다. 이를 위하여 전체 시스템의 운전 조건 및 구성을 가장 최적화 시킬 수 있는 방법을 찾는 것이 성공적인 FEED 결과물을 얻는데 있어

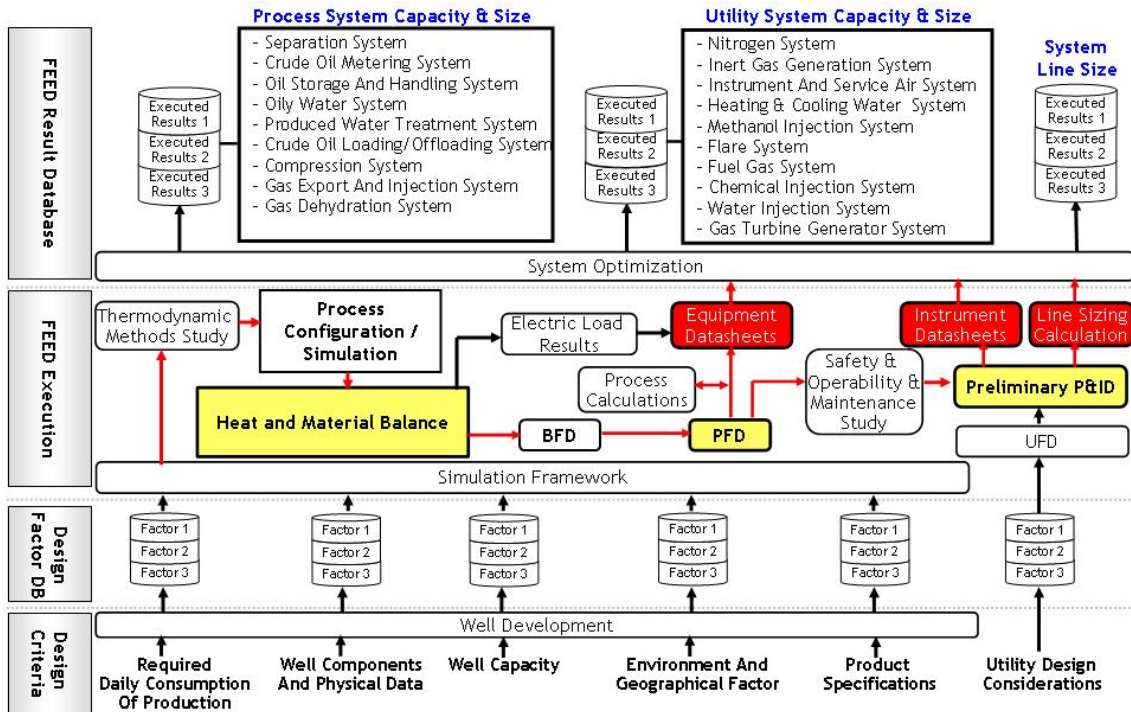


Fig. 3 Offshore process FEED engineering schematic

가장 중요하다.

3.3 열 및 물질 평형

열 및 물질 평형은 앞서 설명한 최적화된 프로세스 구성 및 시뮬레이션을 통해 얻어지는 각 프로세스 시스템 별 물성치와 전기 부하를 의미한다. 이것이 상부 프로세스 시스템의 설계를 위한 가장 중요한 데이터가 되며 이를 근거로 프로세스 시스템의 장비, 배관 및 계기에 대한 사양이 결정된다. 즉, 상부 시스템에 대한 성공적인 FEED 결과물을 얻기 위해서는 FEED 초기 단계에서 정확하고 신속하게 열 및 물질 평형 정보 즉, 프로세스 데이터를 구하고 이들을 효율적으로 관리하는 것이 매우 중요하다.

3.4 유틸리티 평형

유틸리티 시스템의 경우, 프로세스 시스템을 보조하는 역할을 하며 보통 프로세스 시스템을 구성하는 흐름들의 설계 조건이 결정되면, 이에 맞추

어 유틸리티 시스템을 구성하는 흐름들의 설계 조건도 결정된다. 여기서 구한 각 유틸리티 시스템 별 물성치와 전기 부하와 같은 유틸리티 평형이 상부의 유틸리티 시스템의 설계를 위한 가장 중요한 데이터가 되며 이를 근거로 프로세스 시스템의 장비, 배관 및 계기에 대한 사양이 결정된다.

3.5 BFD(Block Flow Diagram)

앞서 설명한 프로세스 구성 및 시뮬레이션과 유틸리티 구성이 끝난 후 전체 상부 시스템에 대한 흐름을 알기 쉽게 나타낸 도면으로 오일, 가스, 물 등을 처리하는 시스템들 사이의 유기적인 관계를 파악할 수 있다. 일반적으로 FEED 초기 단계에서 전 분야의 설계 엔지니어들에게 상부 시스템의 이해를 돕기 위해 제작 후 활용한다.

3.6 PFD

프로세스 구성 및 시뮬레이션 결과, 설계 조건 별로 각 흐름의 상태(온도, 압력, 유량 및 물 분

을)를 나타낸 열 및 물질 평형 테이블과 안전 및 제어 방법을 나타낸 각 프로세스 시스템 별 흐름을 표시한 도면이다. 이를 근거로 각 프로세스 장비들의 정보들을 각 해당 공급 업체들로부터 받을 수 있으며, 이를 확장하면 프로세스 시스템에 대한 P&ID가 된다. PFD 단계까지가 프로세스 FEED에 있어 개념 설계 단계를 나타내며 해당 광구의 개발 프로젝트의 수행 여부를 결정짓는데 있어 중요한 역할을 차지한다.

3.7 UFD

상부의 모든 장치에 대한 필요 유틸리티 시스템을 계통도화하여, 각 시스템 별 온도, 압력 조건 및 소요 유량을 나타낸 테이블과 안전과 제어 방법을 나타낸 각 유틸리티 시스템 별 흐름을 표시한 도면이다. 이를 근거로 각 유틸리티 장비들의 정보들을 각 해당 공급 업체들로부터 받을 수 있으며, 이를 확장하면 유틸리티 시스템에 대한 P&ID가 된다. 앞서 기술한 PFD에 마찬가지로 UFD 단계까지가 개념 설계 단계를 나타내며 역시 중요한 역할을 차지한다.

3.8 프로세스 및 유틸리티 계산

프로세스 구성 및 시뮬레이션, 유틸리티 구성의 결과 값인 프로세스 및 유틸리티 데이터를 기반으로 전체 상부 시스템 내 각종 장비, 계기 및 배관의 최적 설계를 위해 각종 계산을 수행한다. 주로 상부를 구성하는 주요 장비들인 분리기(Separator), 펌프, 압축기, 열 교환기 관련 계산들, 배관 크기 관련 유압 계산, 그리고 배관, 완화 및 제어 밸브 등에 장착되는 각종 계기에 대한 관련 계산들을 수행한다.

3.9 장비 데이터시트

프로세스 구성 및 시뮬레이션과 프로세스 계산 결과를 기초로 모든 장비에 대한 프로세스 및 기계적 측면을 포함한 데이터시트를 작성한다. 즉, 프로세스 및 유틸리티 데이터가 입력된 장비 데이터시트를 작성하고, 해당 장비 공급 업체들과의 유기적인 기술 협의를 통해, 최종 선정된 특정 장비 공급 업체로부터 관련 데이터를 받아 최종 장

비 데이터시트를 완성하게 된다. 최종 장비 데이터시트에는 각 장비에 대한 구매, 제작 및 운전에 필요한 모든 정보가 나타나 있다.

3.10 안전 / 운전 / 유지 보수 관련 연구

PFD와 UFD에 명시된 각종 정보들을 근거로 상부 시스템의 운전 중에 일어날 수 있는 모든 위험요소를 사전에 발견하여 설계에 반영하기 위한 위험 및 운전 분석(HAZOP: HAZard and OPerability study) 및 설계에 반영된 장비 및 계기들에 대한 유지 보수를 위한 연구를 수행한다. 본 연구를 통해 얻어진 PFD로부터 각 세부 시스템들에 대한 P&ID를 작성할 수 있게 된다. 즉, 상부 시스템들의 P&ID 작성을 위해서는 본 안전/운전/유지 보수 관련 연구가 아주 중요하며 핵심 사항이다.

3.11 초기 P&ID

PFD와 UFD에 운전, 안전 및 유지 보수 연구 결과 및 공급 업체로부터 받은 데이터를 반영하면 상부의 시스템 별 P&ID를 작성할 수 있다. P&ID는 운전 조건, 장비 데이터, 배관 데이터 및 프로세스의 안전 및 제어 방법 등 기계, 배관, 계정에 필요한 모든 정보를 함축적으로 도식화한 계통도이다. FEED가 끝나고 해당 광구 개발이 확정된 후 상세 설계 단계로 넘어가서는 가장 중요한 부분이 바로 생산과 직접적으로 연관된 본 P&ID 작성 단계이다. 참고로, 상세 설계 단계에서의 P&ID 수준은 실제 상부 시스템들을 제작할 수 있도록 모든 장비, 계기 및 배관에 대한 정보가 함축적으로 표현되어 있어야 하기 때문에 보다 상세한 P&ID 작성을 위해 소요되는 설계 인력 및 시간은 상당하다.

3.12 계기 데이터시트

프로세스 구성 및 시뮬레이션과 프로세스 계산 결과를 기초로 모든 계기에 대한 데이터시트를 작성한다. 즉, 프로세스 및 유틸리티 데이터가 입력된 계기 데이터시트를 작성하고, 해당 계기 공급 업체들과의 유기적인 기술 협의를 통해, 최종 선정된 특정 계기 공급 업체로부터 관련 데이터를

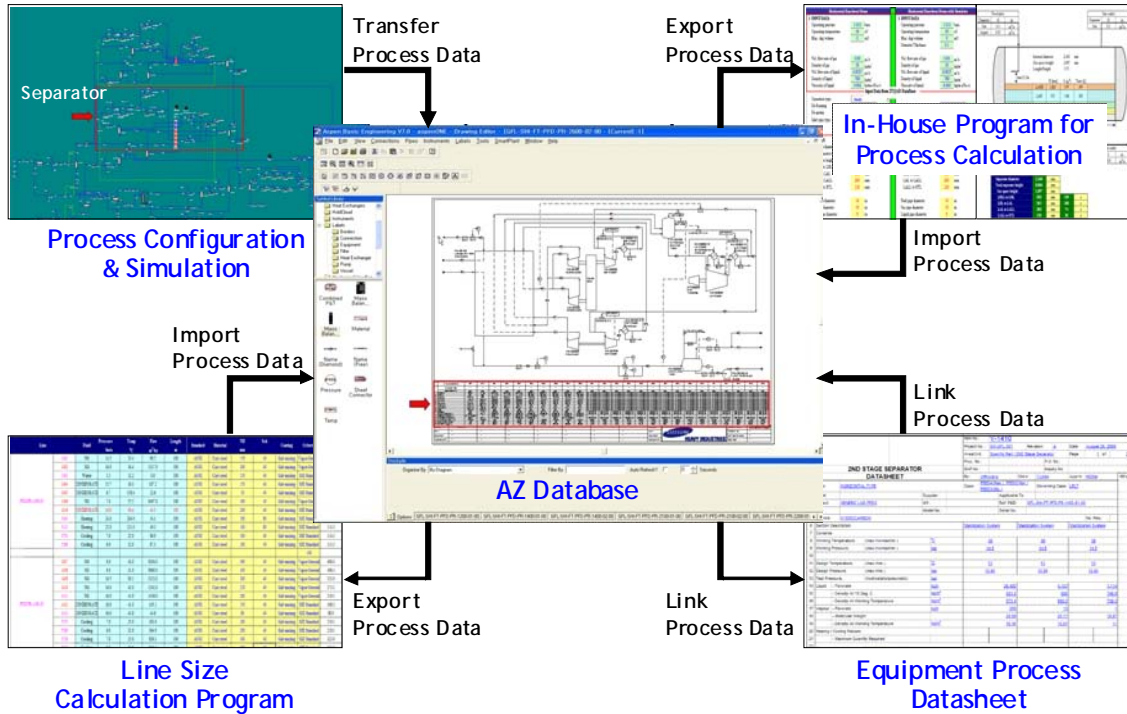


Fig. 4 Integrated process engineering infrastructure based on the proposed offshore process FEED method

받아 최종 계기 데이터시트를 완성하게 된다. 최종 계기 데이터시트에는 각 계기에 대한 구매, 제작 및 운전에 필요한 모든 정보가 나타나 있다.

3.13 배관 크기 계산

운전 조건, 프로세스 및 유틸리티 데이터, 즉 유체 상태, 유량, 압력, 온도에서 유속, 압력 강하 등의 결과를 검토하여 전체 상부 시스템 내 배관 크기의 최적 설계를 위해 각종 계산을 수행한다. 여기서도 알 수 있듯이 정확한 배관 크기를 계산하기 위해서는 프로세스 구성 및 시뮬레이션과 유틸리티 구성을 통해 정확한 프로세스 및 유틸리티 데이터를 얻어야 한다는 것을 알 수 있다.

4. 제안된 해양 프로세스 FEED 방법론을 기반으로 한 통합 프로세스 엔지니어링 환경

본 연구에서는 앞서 제안된 해양 프로세스 FEED 방법론의 효용성을 검증하기 위해 이를 기반으로 한 통합 프로세스 엔지니어링 환경을 제시하였다(Fig. 4 참조). 물론 제안 방법론의 각 요소 단계의 실행을 위해서는 상용 프로그램을 일부 활용하였다. 제시된 통합 프로세스 엔지니어링 환경의 구성 및 작동 과정은 다음과 같다.

(1) 상용 공정 시뮬레이션 프로그램인 Aspen사의 HYSYS(Aspentech 2009)를 이용, 프로세스 구성 및 시뮬레이션, 유틸리티 구성을 수행하여 FEED 결과물을 얻기 위한 전체 프로세스 및 유틸리티 흐름과 프로세스 데이터(각 흐름별 온도, 압력, 유량 등)를 생성한다. 생성된 결과는 모두 상용 엔지니어링 프로그램인 Aspen사의 Zycad(Aspentech 2009)(이하 AZ)로 전달되고, 이중 프로세스 및 유틸리티 흐름은 각각 PFD와 UFD의 형식으로 변환되며 프로세스 데이터는 AZ 데이터베이스에 저장된다.

(2) 자체 개발 프로그램에서 AZ 데이터베이스에 저장된 결과를 입력으로 하여 프로세스 및 유틸리티 계산을 수행하고, 수행 결과 얻어진 전체 상부 시스템 내 각종 장비와 계기의 최적 사양은 다시 AZ 데이터베이스에 저장된다.

(3) AZ 데이터베이스에 저장된 결과를 기반으로 배관 크기 결정 프로그램은 전체 상부 시스템 내 배관들의 크기를 계산하고 그 결과를 다시 AZ 데이터베이스에 저장한다.

(4) AZ 데이터베이스에 저장된 결과를 PED, UED 형식에 맞추어 장비 관련 공급 업체에게 전달하고, 이들로부터 데이터(가격, 무게, 크기 등)를 전달받아 최종 PED, UED를 작성하게 된다.

(5) AZ 데이터베이스에 저장된 결과를 PID, UID 형식에 맞추어 계기 관련 공급 업체에게 전달하고, 이들로부터 데이터를 전달받아 최종 PID, UID를 작성하게 된다.

즉, 통합 프로세스 엔지니어링 환경은 제안된 해양 프로세스 FEED 방법론의 절차에 따라 각 과정들이 AZ 데이터베이스에 저장된 프로세스 데이터를 서로 공유하면서 수행되어 최종적으로 프로세스 FEED의 최종 결과물인 전체 상부 시스템의 무게, 배치 및 가격을 산출하게 된다.

5. LNG FPSO의 상부 시스템에의 적용 예

본 연구에서 제안한 해양 프로세스 FEED 방법의 유효성을 검증하기 위해 이를 전형적인 LNG FPSO의 상부 시스템에 적용시켜 보았다. 프로세스 FEED의 최종 결과물인 무게, 배치 및 가격을 얻기 위하여 각 시스템 및 계기들의 용량과 전체 배관의 크기를 구하는데 초점을 맞추었다. 본 연구에서는 이러한 결과를 얻기 위해 3단계의 과정으로 나누었다. 프로세스 시스템의 경우, 첫 번째 단계는 프로세스 구성 및 시뮬레이션 연구(유틸리티 시스템의 경우 유틸리티 구성), 두 번째 단계는 시뮬레이션 결과로부터 PFD(유틸리티 시스템의 경우 UFD)를 작성하는 단계, 마지막 단계는 PFD로부터 P&ID를 작성하는 단계이다. 이들 각각에 대해 보다 상세하게 설명하면 다음과 같다.

5.1 프로세스 구성 / 시뮬레이션 연구 (Process Configuration / Simulation Study)

Fig. 5의 ①은 LNG FPSO 상부의 시뮬레이션 결과의 일부를 나타내고 있다. 상부를 구성하는 각종 시스템의 목적은 초기 광구에서 올라오는 유체 중 불순물을 제거한 후 가벼운 탄화수소 성분(가스), 무거운 탄화수소 성분(오일)과 물로 분리하는 것이다. 이들 중 이물질 제거하는 공정은 주로 가벼운 탄화수소 성분의 처리 공정에 포함된다. 이를 고려할 때 LNG FPSO의 상부 구성은 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 가벼운 탄화수소 성분의 처리 공정인 가스 처리 부분, 무거운 탄화수소 성분의 처리 공정인 오일 처리 부분, 마지막으로 물을 제거시켜 주는 수분 처리 부분이다. 각 부분에 대해 요구되는 시장 판매용 오일, 판매 또는 광구 주입용 가스와 물의 사양을 얻기 위해 공정 시뮬레이션을 수행하였다. 전체 공정 시뮬레이션 시 각 장비들의 용량 및 배관 크기 등을 정하는데 있어 시뮬레이션 사례 연구를 수행하였고 각 시스템 별 가장 가혹한 경우를 설계 조건으로 정하여 용량 및 배관 크기를 결정하였다. 각 시스템 별 설계 조건을 얻기 위하여 고려한 요소들은 다음과 같다.

5.1.1 유량 요소의 고려

오일이 매장된 광구의 경우 시간이 흐름에 따라 생산되는 오일, 가스 및 물의 양이 변하게 될 것이다. 따라서 이들을 처리하는 시스템의 경우, 최대 생산되는 유량을 설계 조건으로 해야 한다. 이를 위해 전체 상부 시스템의 시뮬레이션 시 최대 오일 유량, 최대 가스 유량, 최대 물 유량의 각각에 대해 사례 연구를 수행하였다.

5.1.2 광구 성분 요소의 고려

광구에는 가벼운 탄화 수소 성분, 무거운 탄화 수소 성분, 물을 제외한 N_2 , CO_2 , H_2S 와 같은 불순물들이 포함되어 있으며 이들은 상부 공정에 악영향을 미치고 시장 판매용 제품을 얻는데 있어서 방해 인자에 해당한다. 따라서 이러한 이물질들을 제거하기 위한 공정이 상부 시스템에 포함되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 공정의 처리 용량을

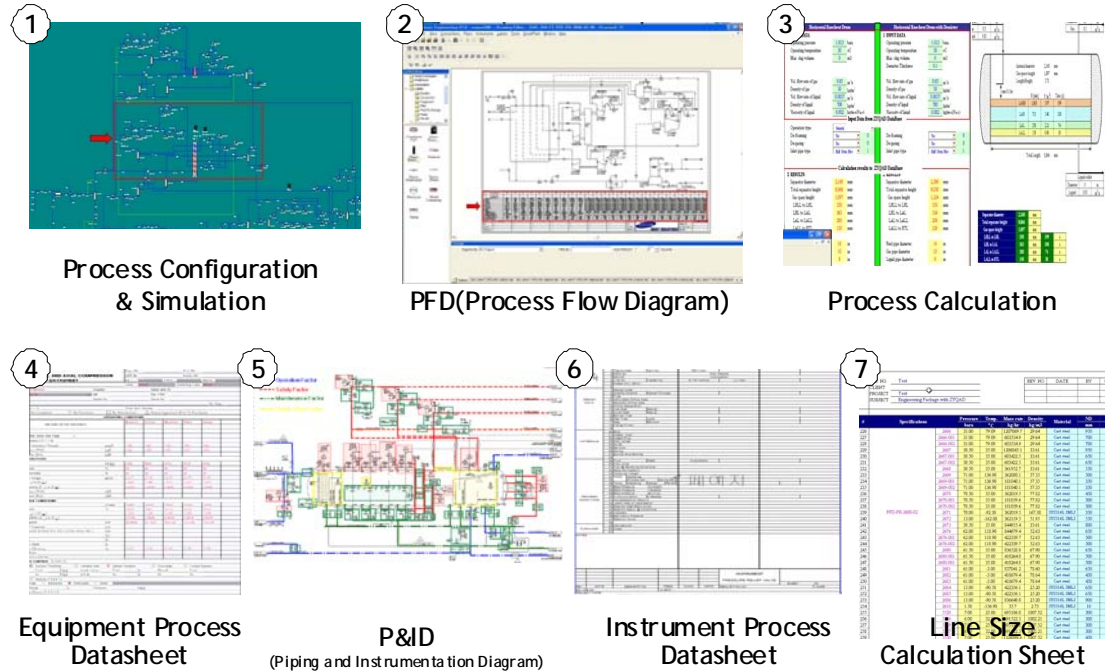


Fig. 5 Application of the proposed offshore process FEED method to LNG FPSO topsides systems

구하기 위하여 각 불순물 성분들이 가장 많이 포함되어 있는 경우에 대한 사례 연구를 수행하였다.

다음과 같은 중요한 요소들을 고려하여 진행하였다.

5.1.3 압력 및 온도 요소의 고려

광구에서 올라오는 유체의 경우 온도와 압력이 일정하지 않을 수 있다. 따라서 전체 상부의 시뮬레이션을 수행함에 있어 각 온도와 압력의 최고 및 최저값에 대해 미처 고려하지 못했던 문제점들에 대한 사례 연구를 수행하였다.

5.2.1 열 및 물질 평형 정보의 통합

프로세스 구성 및 시뮬레이션의 결과 값인 각 흐름별 온도, 압력, 유량 등과 같은 물성치들을 열 및 물질 평형 테이블 형식으로 PFD 상에 명시해주는 것은 PFD 작성 시 가장 기본이 되며 중요한 사항이다. 또한 본 연구에서는 시뮬레이션 단계에서 얻은 열 및 물질 평형 정보를 근거로 각 장비 및 시스템을 연결하는 배관 크기를 결정하였다.

5.2 시뮬레이션 결과의 PFD로의 확장

Fig. 5의 ②는 상기 시뮬레이션 결과, LNG 생산 시스템 중 가장 중요한 부분인 액화 공정에 대한 PFD를 나타내고 있다. 본 연구에서 구현한 PFD는 FEED 단계에 있는 중요한 결과물 중의 하나로 전체 상부 시스템의 흐름을 안전 및 제어 방법 측면에서 나타내고 있다. 상기 기술한 프로세스 시뮬레이션 결과를 PFD로 나타내는데 있어서

5.2.2 안전 및 제어 방법의 통합

PFD 작성 시 가장 중요한 사항은 각 장비별 안전 및 제어 방법을 표시해 주는 것이다. 즉, 해양 플랜트의 경우 가장 중요한 요소가 안전이며, 이를 위해 PFD는 LNG FPSO의 전체 상부 시스템들 사이의 안전 및 제어 방법을 명시해 주어 운전자가 해양 플랜트를 운영할 때 전체 시스템의 흐름

을 이해할 수 있도록 해야 한다.

5.2.3 프로세스 계산의 수행

Fig. 5의 ③은 본 연구에서 구현한 PFD 중 고압 분리기(밀도차를 이용 광구로부터 올라온 유체를 오일, 가스, 물로 분리하는 장비)의 크기를 결정하기 위한 자체 개발 프로그램을 나타내고 있다. PFD 상에서는 명시되지 않으나 장비 배치 시 각 시스템 별 크기를 빠르게 결정하기 위하여 사용된다. 본 연구에서는 PFD에 명시되어 있는 흐름별 열 및 물질 평형 정보를 근거로 고압 분리기와 같은 주요 시스템 별 사양을 결정하였다.

5.2.4 장비 데이터시트의 준비

Fig. 5의 ④는 상기 고압 분리기에 대한 PED를 나타내고 있다. PFD 상에 명시되어 있는 각 장비별 물성치 및 요구 사항들을 여기에 기입하여 각 장비 공급 업체에 제출하였다. 이 장비 데이터시트를 근거로 각 공급 업체들로부터 그들만의 고유 장비들에 대한 정보를 얻을 수 있으며 이런 정보들을 이용하여 각 장비의 크기, 무게, 가격 등을 산출하였다.

5.3 PFD 결과의 P&ID로의 확장

Fig. 5의 ⑤는 고압 분리기에 대한 PDF를 기반으로 P&ID를 작성한 결과를 나타내고 있다. PFD로부터 시스템을 구성하고 있는 장비들에 대한 가격, 무게, 배치들에 대한 정보를 얻을 수 있었다면, P&ID로부터는 각 장비들을 연결하는 전체 배관 및 전체 배관과 각 장비들에 설치되어 있는 계기들에 대한 가격, 무게, 배치들에 대한 정보를 얻을 수 있다. 따라서 PFD를 기반으로 P&ID를 작성하기 위해 고려해야 할 주요한 요소들에 대한 확립이 중요하게 된다. 각 장비들에 대한 중요한 요소들은 운전, 안전, 유지 보수이며 이들을 근거로 각 장비 및 배관에 관련 계기 및 추가 배관들이 설치되게 된다. Fig. 5의 ⑤에서 빨간색 짧은 점선 부분은 안전 요소 차원에서 배관 및 계기들이 설치된 부분이고, 파란색 일정 쇠선 부분은 운전 요소 차원에서 배관 및 계기들이 설치된 부분이며, 초록색 이점 쇠선 부분은 유지 보수 요소 차원에

서 배관 및 계기들이 설치된 부분이고, 노란색 긴 점선 부분은 유지 보수 요소 차원에서 각 장비 공급 업체들의 정보를 반영한 배관 및 계기들이 설치된 부분이다. 본 연구에서는 이러한 요소들을 반영하여 전체 상부 시스템에 대한 PFD를 기반으로 P&ID를 작성하였다. 따라서 초기 프로세스 구성 / 시뮬레이션에서 시작하여 P&ID 작성을 마치게 됨으로써 LNG FPSO의 상부 시스템을 구성하고 있는 전체 장비, 계기, 배관들의 가격, 무게, 배치에 대한 정보를 구할 수 있었으며 이를 통해 성공적인 FEED 결과물을 얻을 수 있었다. 본 연구에서 P&ID 작성 시 고려한 중요한 요소들은 다음과 같다.

5.3.1 운전 요소의 고려

PFD를 기반으로 P&ID를 작성할 때 제일먼저 고려하는 것은 각 시스템의 목적 및 특징을 고려하여 이를 운전하는데 필요한 배관 및 계기들을 설치하는 것이다. 본 연구에서는 P&ID 작성 시 운전 요소 측면에서 필요한 배관 및 계기들을 파악한 후 설치하였다.

5.3.2 안전 요소의 고려

해양 플랜트가 설치되는 지역이 심해이므로 안전 문제가 발생할 경우 매우 치명적이다. 따라서 P&ID 작성 시 중요한 것 중 하나가 안전이다. 안전 관련 국제 법규 중에서 오일 및 가스 산업에 가장 널리 적용되는 것은 API(American Petroleum Institute) 코드로 이러한 법규들을 모두 만족하도록 모든 시스템들을 구성해야 한다. 본 연구에서는 API 코드를 근거로 안전 요소 측면에서 필요한 배관 및 계기들을 파악한 후 설치하였다.

5.3.3 유지 보수 요소의 고려

상기 기술된 운전, 안전 요소를 고려하여 설치된 배관 및 계기들, 그리고 이미 PFD 단계에서 설치된 장비들에 대하여 유지보수 차원에서 배관 및 계기들을 추가적으로 설치해야 한다. 해양 플랜트의 수명은 보통 20년에서 25년 사이이므로 이 기간 중 최소한의 비용과 인력 투입으로 유지

보수가 가능하도록 관련 배관 및 계기들을 설치하였다.

5.3.4 공급 업체로부터 받은 데이터의 통합

프로세스 구성 및 시뮬레이션의 결과인 열 및 물질 평형 정보를 기반으로 PFD를 작성하였고, 여기에 장비들에 대한 공급 업체의 정보, 운전, 안전, 유지 보수 요소를 반영하여 P&ID를 작성하였다. 이로부터 계기들과 배관에 대한 공급 업체의 정보를 얻을 수 있고 최종적으로 이러한 정보를 P&ID에 반영하였다. 또한 아래 기술된 상부의 전체 시스템들을 연결하는 배관 크기를 구하여 P&ID 상에 반영한 뒤 P&ID 작성 작업을 마무리하였다.

5.3.5 배관 크기 계산의 수행

Fig. 5의 ⑥은 상부 시스템에 설치되는 배관의 크기를 계산하는 프로그램의 예를 나타낸 것이다. 상부 시스템들은 각 시스템의 특성에 맞게 여러 가지 장비들로 구성되어 있다. 이런 장비들을 연결하는 배관들 또한 매우 중요하며 상부의 전체 구성 성분 중에서 양적으로도 많은 부분 중에 하나이고, FEED 결과물인 무게, 배치, 가격 차원에서 큰 부분을 차지한다. 운전, 안전, 유지 보수 요소들을 기반으로 작성된 P&ID 상의 배관들에 대해 PFD에 명시된 열 및 물질 평형 정보를 이용하여 배관 크기를 계산하였고, 계산된 배관 크기는 P&ID 상에 명시하였다.

5.3.6 계기 데이터시트의 작성

Fig. 5의 ⑦은 P&ID 상의 계기 중 하나인 압력 안전 밸브(PSV: Pressure Safety Valve)의 데이터 시트를 나타내고 있다. PFD 상에 명시되어 있는 각 흐름별 물성치 및 요구 사항들을 각 계기의 데이터시트에 기입하여 해당 계기 공급 업체에게 제출하였다. 이를 근거로 각 공급 업체들로부터 그들만의 고유 계기들에 대한 정보를 얻을 수 있었으며 이를 이용하여 각 계기의 크기, 무게, 가격 등을 산출하였다.

5. 결론

해양 플랜트의 프로세스 FEED를 수행하는 목적은 개발 시 소요되는 가격, 무게 및 각 시스템 별 전체 배치를 추정하여 해당 광구에 대한 최종 개발 여부를 결정짓는 것이다. 이들의 추정을 위해서는 상부를 구성하고 있는 전체 시스템들과 이를 구성하는 각 장비, 배관, 계기들의 사양을 정해야 하며 이들이 프로세스 FEED의 최종 결과물이다. 본 연구에서는 프로세스 FEED의 최종 결과물을 효과적으로 얻을 수 있는 프로세스 FEED 방법을 제안하였다. 이의 효용성 검증을 위해 제안된 해양 프로세스 FEED 방법론을 기반으로 한 통합 프로세스 엔지니어링 환경을 제시하였고, 최종적으로는 이를 미래 수요가 급격히 증가 될 것으로 예상되는 LNG FPSO의 FEED 단계에 적용한 후 결과를 살펴보았다. 그 결과, 본 연구에서 제시한 방법을 적용할 경우, 신속하고 체계적인 프로세스 FEED를 수행할 수 있음을 확인하였다. 향후에는 본 방법을 신개념 해양 프로젝트인 LNG FPSO, GTL(Gas To Liquid) FPSO 등에도 적용하여 그 효용성을 증가시킬 예정이다.

후 기

본 연구는 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2008-314-D00494)을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Aspentech, 2009, <http://www.aspentech.com>.
- Doris Engineering, 2009, <http://www.doris-engineering.com>.
- Hwang, J.H., Min, J.H., Ahn, Y.J., Kim, H.C., Roh, M.I. and Lee, K.Y., 2008, "Optimized Methodology to Build an Integrated Solution to Offshore Topside Process Engineering," Proceedings of ISOPE(International Society of Offshore and Polar Engineers) 2008, Vol. 1, pp. 233-240.
- Jung, H.C., Lim, S.W. and Kim, Y.H., 2006, "An Demand Outlook of Offshore Oil Production

- Structures,” The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 1, pp. 49–57.
- Kim, H.S., Jun, S.H., Shim, C.S., Lee, G.Y., Nam, H.S., Kang, J.K., Shin, Y.G. and Heo, J.H., 2004, “The Study on Local Strength Analysis for Floater type Offshore Structure,” Proceedings of the Annual Autumn Meeting, The Society of Naval Architects of Korea, pp. 668–673.
 - Kim, J.H., Cho, S.K., Hong, S.Y. and Kim, Y.S., 2006, “Experimental Study on a Dolphin-Fender Mooring System for Pontoon-Type Structure,” Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 1, pp. 43–49.
 - Lake, M., He, H., Troesch, A.W., Perlin, M. and Thiagarajan, K.P., 2000, “Hydrodynamic Coefficients Estimation for TLP and Spar Structures,” Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 122, No. 2, pp. 118–124.
 - Lee, H.Y., Shin, H.K., Lim, C.G., Kim, O.H., Kang, J.M. and Yoon, M.C., 2000, “Hydroelastic Responses for a Very Large Floating Structure with a Breakwater,” Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No. 2, pp. 26–32.
 - Lee, J.O., Lee, H.Y., Suh, Y.S. and Yoon, J.H., 1998, “Reliability of Fatigue Life Predictions for Fixed Offshore Structures,” Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 35, No. 2, pp. 74–82.
 - Matsuura, J.P. and Bernitsas, M.M., 2006, “Routes to Large Amplitude Motions of Mooring Systems due to Slowly Varying Drift,” Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 128, No. 4, pp. 280–285.
 - Mustang Engineering, 2009, <http://www.mustangeng.com>.
 - Na, J.H., Shim, W.S., Lee, I.H., Moon, J.S., Kim, J.W. and Shin, H.S., 2004, “FPSO Quay Mooring Analysis in Typhoon Condition,” Proceedings of the Annual Autumn Meeting, The Society of Naval Architects of Korea, pp. 646–651.
 - Newman, J.N. and Lee, C.H., 2002, “Boundary-Element Methods in Offshore Structure Analysis,” Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 124, No. 2, pp. 81–89.
 - Shin, H.K., Lee, H.Y., Lim, C.G., Shin, H.S. and Park, I.G., 2000, “Motion of a Very Large Floating Structure in Irregular Waves,” Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 4, pp. 75–81.
 - Technip, 2009, <http://www.technip.com>.



< 황 지 현 >



< 노 명 일 >



< 차 주 환 >



< 이 규 열 >