

해양플랜트 유지보수장치 엔지니어링을 위한 장비 배치 검증수행모델에 관한 연구

한성중*, 박 범**†

*선박해양플랜트연구소 해양플랜트산업지원센터, **아주대학교 시스템공학과

A Study on the Model of Equipment Layout Verification for Offshore Plant Maintenance Equipment Engineering

Seong Jong Han*, Peom Park**†

*Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering (KRISO)

** Department of Systems Engineering, Ajou University

(Received June 9, 2017; Revised June 16, 2017)

ABSTRACT : This paper is a study on validation model that can verify the arrangement of equipment constituting offshore plant using system engineering approach in offshore plant tender stage. In order to design offshore plant topside maintenance equipment, topside layout verification should be preceded. However, there are many errors in the bidding stage due to the FEED results that are not perfect, the verification can not be performed sufficiently due to the limitation of the bidding period and others reasons. Therefore, we propose a validation model that can effectively verify the equipment layout within a limited condition by simplifying the main process in the system engineering process, which is a multidisciplinary approach, and confirmed through the Functional Deployment Model . Also, we verified the validation model for topside equipment deployment through case studies

초 록 : 본 논문은 해양플랜트 입찰단계에서 시스템엔지니어링(Systems Engineering)기법을 이용하여 해양플랜트를 구성하고 있는 장비 배치를 검증(Verification)할 수 있는 검증수행모델에 대한 연구이다. 해양플랜트 상부구조물(Topside) 유지보수 장비들을 엔지니어링하기 위하여는 Topside 장비 Layout검증이 선행되어야 한다. 하지만 입찰단계에서 완성도가 높지않는 FEED(Front End Engineering Design)결과물로 인한 많은 오류가 존재함에도 불구하고 검토시간의 부족 등의 이유로 검증을 수행하지 못하는 경우가 존재한다. 따라서 본 논문에서는 다학제간 접근방식인 시스템엔지니어링 프로세스를 간략화하여 적용함으로써 제한된 시간내 효과적으로 장비배치를 검증할 수 있는 검증수행모델을 제안하였다. 모델의 구성은 기능전개모델(Functional Deployment Model)을 통하여 구축하였으며 사례연구를 통하여 본 Topside 장비 배치에 대한 검증 수행모델을 검증하였다.

Key words : Tender stage(입찰단계), Systems Engineering(시스템엔지니어링), Equipment Layout Verification(장비배치), Functional Deployment Model(기능전개모델), Case study(사례연구)

† Corresponding Author
ppark@ajou.ac.kr

1. 서론

해양플랜트를 엔지니어링 함에 있어서 최종적으로 모든 엔지니어링 활동을 통합하는 과정은 3D Modeling설계단계에서 이루어진다. 해양플랜트의 상세설계단계에서는 Fig. 1과 같이 엔지니어링의 진행상태에 따라 30%, 60%, 90%의 세가지 단계로 구분하여 프로젝트 진도를 확정하고 향후 진행되어야 할 엔지니어링활동을 결정한다. 이러한 원리는 해양프로젝트 입찰단계에도 동일하게 적용되며 3D Modeling은 입찰단계에서 제공받은 최초문서들의 완성도를 평가하는 중요한 지표가 될 수 있다.

또한 3D Modeling의 확인은 해양플랜트를 구성하고 있는 각종 시스템, 하부시스템 및 요소부품들을 유지보수 할 수 있도록 하는 유지보수장비엔지니어링과 동시에 진행되며 상호 보완의 성격을 가진다. 해양플랜트에서 유지보수 장비의 선정 및 운영시나리오를 결정하는 유지보수장비엔지니어링이 중요한 이유는 선체 (Hull)가 허용하는 상부구조물의 최대중량 (NTE : Not To Exceed Weight)과 모든 시스템이 선체 상면에 존재하여야 한다는 공간적인 제

약조건 때문이다.

따라서 이러한 유지보수활동 사항은 프로젝트 초기부터 검토 되어야하며 입찰활동에도 주요한 엔지니어링 검증 항목으로 검토되어야 한다.

해양플랜트 MMO(Maintenance, Modification, and Operation) 활동이란 해양플랜트를 구성하는 모든 종류의 시스템 및 구성요소들을 운영, 개조, 유지보수를 하는 활동들을 의미하며 이를 위하여 각종 유지보수장치들의 운영시나리오를 결정하는 유지보수장치 엔지니어링 활동이 필수적인 설계활동이다.

하지만 입찰단계에서는 이러한 상황을 충분히 검토하지 못한 상태로 담당자의 경험에 의존하여 진행되는 경우가 많으며 이는 시간의 부족 및 다수의 이해관계자와의 관계가 복잡하게 상호작용을 하고 있기 때문이다. 즉, 엔지니어의 경험에 의존하여 진행되는 경우가 많으며 이를 수행하는 엔지니어에 따라 서로 다른 결과가 도출되는 현상이 발생하며 이를 위한 체계적인 검증절차를 가지지 못한 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 이러한 유지보수와 관련된 장비를

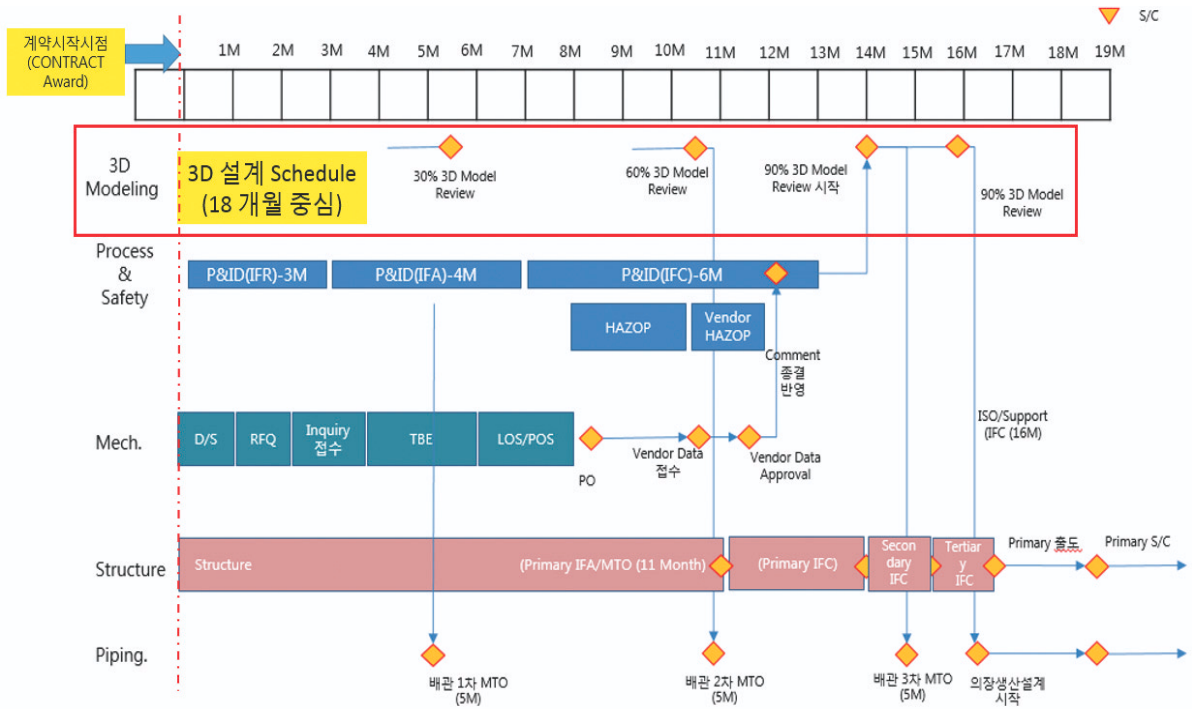


Figure 1: Concept of operation of offshore EPC Bidding

해양플랜트 유지보수장치 엔지니어링을 위한 장비 배치 검증수행모델에 관한 연구

엔지니어링 하기 위하여 반드시 사전에 검토가 진행되어야 할 해양플랜트 장비배치에 대한 검증수행모델을 제시함으로써 입찰단계에서 미리 이를 통하여 FEED 결과의 완성도를 파악하고 추후 계약(CONTRACT)을 위한 핵심 이슈사항에 대한 기술적 조건(Technical Contract Conditions)에 대한 문서를 작성하는 데 있다.

2. 문헌연구

플랜트 산업에서 있어서 통상적으로 엔지니어링을 수행하는 설계방법으로 FEED(Front End Engineering Design) 방법론이 적용되어 왔다. 전통적인 육상 Oil & Gas 플랜트 영역뿐만 아니라 화공플랜트 및 발전플랜트에 이르기까지 그 적용분야 및 적용영역은 매우 방대하다. 하지만 최근에는 이러한 FEED 설계방법론을 기반으로 각각의 전문 도메인영역에서 새로운 방법론들이 국부적으로 적용되기 시작하였으며, 그 대표적인 방법론 중에 하나가 시스템엔지니어링(System Engineering)이다.

시스템엔지니어링은 과거 국방, 항공우주산업[1] 및 철도 산업등의 대형프로젝트 중심으로 연구가 진행되어왔다. 최근에는 이러한 경향에서 벗어나 민수산업영역으로 그 대상을 확대해 나가고 있다.

최근 2017년 5월 API(American Petroleum Institute)에서는 API RP 17 Series(RP 17A~W) 표준에 대하여 20개의 해양 Subsea 관련 API 표준을 통합하는 엔지니어링 프로세스로 시스템엔지니어링을 채택하였으며 이를 API RP 17A에 반영하였다[2].

이와 같이 복잡도와 불확실성이 높은 산업에서의 시스템 엔지니어링 접근방법이 효과적인 방법론으로 판단될 수 있으며 이번 API RP17A의 개정은 Oil & Gas 해양플랜트를 설계하는데 있어 주요 표준으로 정착되었다는 데 큰 의미가 있다.

하지만 현재까지 국내외에서 진행된 해양플랜트 관련 시스템엔지니어링 관련 연구는 활발하게 이루어지지 않았다. 일부 대형 플랜트 중심으로 개념설계단계에 국한되어서 시스템엔지니어링을 적용한 사례연구가 진행되어 온 상황이다[2~6]. 이는 해외에서도 유사한 사례로 최근 북핵유전 중심의 노르웨이와 같은 선진국에서는 시스템엔지니어링에 관련된 연구를 해저시스템 및 대형 해상 풍력산업단지 등의 개발영역으로 확대하여 진행하고 있으며 향후 시스

템엔지니어링 접근을 통하여 신개념의 해양플랜트 설비 또는 기존의 해양플랜트 FEED 설계를 보완하는 형태로 시스템 엔지니어링이 적용될 것으로 조사되었다[7, 8].

3. 장비배치 검증 모델 및 사례연구

본 논문에서는 해양플랜트의 유지보수를 위한 3D Modeling 검토에 필요한 사전검토사항 및 검증프로세스를 시스템엔지니어링표준인 ISO 15288 표준을 통하여 접근하고 해양플랜트 상부구조물 (Topside) 모듈엔지니어링 산업에 진출하고자 하는 국내 엔지니어링 업체의 기획프로젝트를 대상으로 사례연구를 실시하였다[9].

구체적인 방법론으로는 요구사항분석프로세스 (Requirement Analysis)을 통하여 입찰단계에서의 이해관계자를 식별하고 추출, 분석 및 합의된 요구사항을 바탕으로 시스템수준의 기능/성능분석프로세스 (Functional Analysis)을 실시하였으며 추후 시스템 아키텍처설계프로세스 (System Architecture Design)를 통하여 각 기능을 수행할 아키텍처(조직 또는 담당자)를 확정하는 과정을 순차적으로 진행하였다. 또한 사례연구를 위한 대상은 2,000ton이하 해양플랜트 유틸리티 모듈 개발기획사업을 기반으로 한 모듈엔지니어링 산업으로의 진출을 도모하고 있는 진출업체와 그 컨소시엄을 기반으로 조사하였다.

3.1 요구사항 분석 프로세스

시스템개발에 있어 정확한 요구사항을 식별하여 요구사항들을 수집하는 것은 개발초기단계에서 중요한사항이다. 본 논문에서의 시스템수명주기 단계별 이해당사자는 EPC 발주처, 장비공급자(Vendor) 및 내부 조직인원으로 선정되었다. 관련된 이해관계자는 관리(Management & Sales), PM(Project Manager), EM(Engineering Manager), Process, Mechanical, Piping, Structure, Safety & Environment, Electric & Instrument, HVAC & Architecture와 Basic(Ship design)담당자로 세분화하였다. 그중 Layout을 담당하는 배관 및 기장담당자가 핵심 이해관계자로 조사되었으며 입찰단계에서의 유지보수 장비를 엔지니어링을 위한 장비배치사항은 Mechanical담당자가 가장 높은 이해관계자로 확인되었다. 이해관계자로부터 추출한 요구사항은 크게 기능요구사항, 성능요구사항, 기능과 성능을 검증하는 검증요구사항 및 기능이 아

닌 비기능적 요구사항으로 구성될 수 있다. 추출된 요구사항을 바탕으로 요구사항의 적절성 확인을 INCOSE SE Handbook에서 제시한 평가기준과 전문가 자문방식을 통하여 합의하고 RTM을 통하여 요구사항 추적성을 확인하였다[10].

3.2 기능 및 성능분석

정리된 요구사항을 기반으로 기능분석을 실시하였다. 본문에서 개발한 시스템은 견적단계에서의 유지보수장비 선정을 위한 Layout 검증수행모델임으로서 각 기능은 이해관계자들이 수행하여야 하는 개별 엔지니어링 활동이며 각 기능간의 주고받는 데이터는 각각의 이해관계자들이 산출해내는 결과물과 의사결정사항이다.

시스템엔지니어링에서는 이해관계자 요구사항으로부터 기능적/비기능적 요구사항을 분리하고 기능적 요구사항들의 경우, MOE (Measurement of Effective)와 MOP (Measurement of Performance)을 정의하여야 하며 본문에서는 MOE는 각 기능에서 산출하는 결과물과 의사결정사항의 존재유무로 선정하고 MOP를 그 완성도(성숙도)로 선정하였다.

본 절에서는 가장 핵심 기능을 수행하는 Mechanical기능을 중심으로 구축된 최상위시스템 기능전개모델을 기술한다. 첫번째는 발주처로부터 제공받은 문서의 완전성을 확인하는 단계(Fig.2, Function 4.3 Confirm Configuration)이다.

입찰단계에서는 FEED 설계의 문서의 성숙도가 낮아 이를 검토하는 활동이며 개별 기능별로 Data Check & Review활동을 진행하며 FEED Result Maturity Report를 산출한다. 부족한 문서 및 없는 문서들을 Issue사항으로 분류하고 Risk 형태로 관리하였다. 두번째는 본격적으로 유지보수장비 선정을 위한 Layout 검증기능을 수행하는 단계(Fig.2, Function 4.4 Check Layout)이다.

세부적으로 설명하면 Mechanical기능에서는 유지보수를 위한 레이아웃을 확인하기 위하여 최소 중량 (Weight)을 결정하고 설계의 기본이 되는 유지보수 관련철학 (Maintenance Philosophy)을 바탕으로 검토하여 각 기능에서 가선택한 유지보수 대상항목들과 Mechanical/Electric Equipment List을 검토하였다. 이때 장비의 구성(Configuration) 확인을 위하여 프로세스담당자와의 상호관계가 강조되며 이 단계를 통하여 Mechanical기능에

서는 Process기능에게 Process 구성의 확정을 요구한다.

Process기능은 프로세스 시뮬레이션을 수행하여 Heat & Material Balance를 검증하고 그 결과를 바탕으로 BFD, PFD 와 P&ID의 초안을 완성하여 Mechanical기능에게 전달한다. 또한 Piping기능으로부터 6인치 이상의 파이프 배치정보 및 대형 파이프Spool, 대형 Valve의 위치정보 등의 정보를 교환하며, Electric & Instrument기능으로부터 Electric 장비(VFD, Transformer) 구성등의 정보를 교환한다.

이러한 활동은 Fig. 2의 기능정보부터 정의된 모든 전문 기능에 동일한 방식으로 적용된다. 그 이후 취합된 정보를 바탕으로 Vendor기능(장비공급업체 기능)에게 RFQ(Request For Quotation) 발송을 통하여 기술정보들을 제공받으며 기술적적합성(장비의 크기 등)을 확인하였다.

위의 활동이 종료된 이후 Mechanical기능은 Process기능으로부터 제공받은 장비 구성과 각 기능에서 제공받은 검토결과를 바탕으로 2D 도면검토 및 장비 설치위치에 대상 유체(Oil, Gas, Produced Water)들의 흐름상의 문제가 없는지 확인하기 위하여 Rotating Equipment의 NPSHr값 및 수두(Height)들을 확인한다. 이에 검증과정에서 발생하는 오류들은 Issue사항으로 분류하고 Risk 형태로 관리하였다. 이를 통하여 해양플랜트를 구성하는 모든 구성요소들을 검토하고 부족한 시스템, 서브시스템 및 부품을 추적가능함으로서 해양플랜트의 유지보수장치엔지니어링을 위한 장비배치결과를 검증할 수 있었다.

3.3 물리적 아키텍처 설계프로세스

전 항에서 시스템수준으로 확정된 기능을 중심으로 각 기능을 수행하는 물리적아키텍처를 설계한다. 시스템수준으로 정의된 기능들은 본 과정을 통하여 하위계층구조로 분할되며 하위계층구조로 분할된 각각의 기능은 개별 기능을 수행하는 물리적아키텍처로 할당된다. Fig 2를 기준으로 하위계층으로 분리되고 할당된 기능전개모델은 Fig. 3과 같다.

이 과정을 통하여 요구사항으로부터 그 요구사항을 만족시키기 위한 기능 및 그 기능을 수행하는 물리적아키텍처들이 정의된다. 사례연구를 통하여 표현된 물리적 아키텍처는 각 기능을 수행하는 수행조직 또는 담당자로 배정되었다.

해양플랜트 유지보수장치 엔지니어링을 위한 장비 배치 검증수행모델에 관한 연구

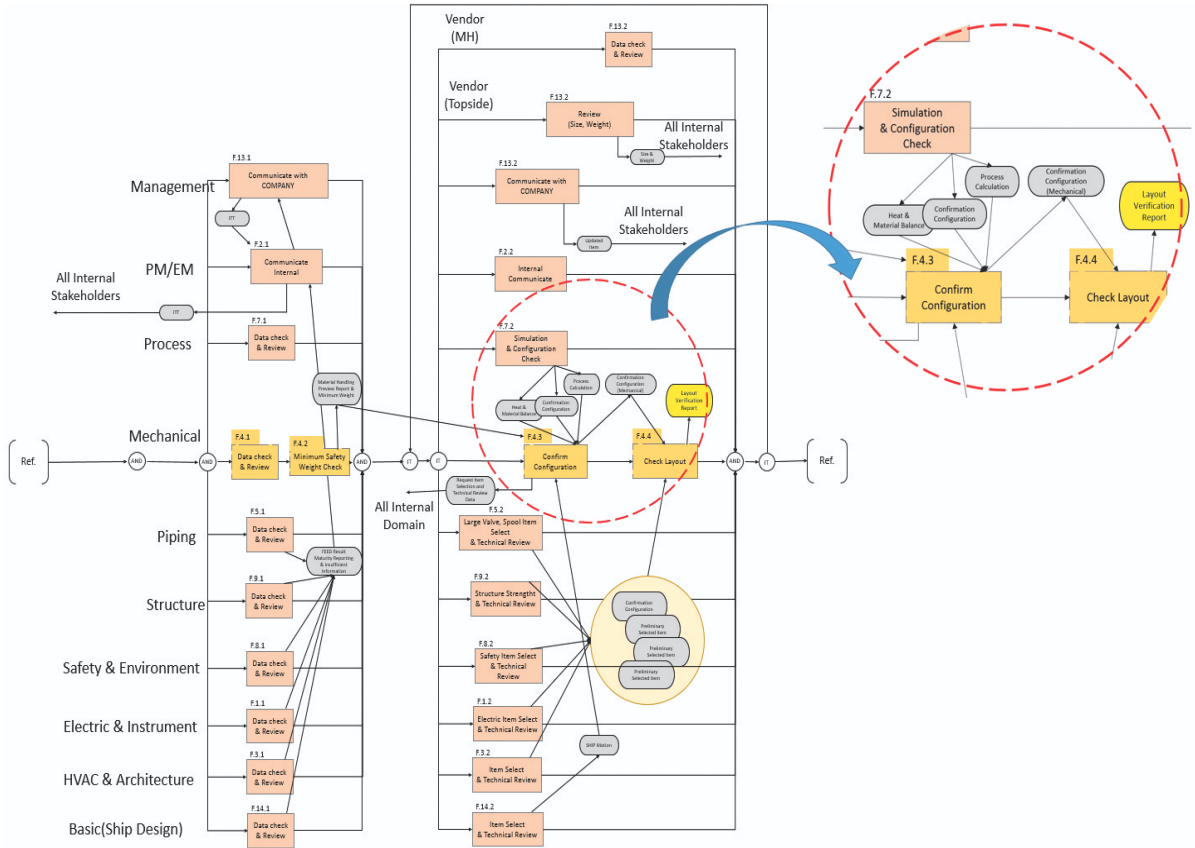


Fig. 2 EFFBD (System Level, Logical Solutions)

본 과정을 통하여 본 논문에서 제안하는 해양플랜트 유지보수장치엔지니어링을 위한 사전 장비배치 검증수행모델을 완성하였다.

4. 결론

본 논문에서는 해양플랜트의 유지보수를 위한 3D Modeling 검토에 필요한 검증프로세스를 시스템엔지니어링 프로세스를 통하여 접근하고 해양플랜트 상부구조물 모듈엔지니어링 산업에 진출하고자 하는 국내 엔지니어링 업체의 기획프로젝트를 대상으로 사례연구를 실시하였다.

구체적인 방법론으로는 이해관계자요구사항 분석프로세스를 통하여 입찰단계에서의 이해관계자를 식별하고, 추출 및 분석합의된 요구사항을 바탕으로 시스템수준의 기능분석 및 성능분석을 실시하였으며 추후 시스템 아키텍

처 설계과정을 통하여 도출된 기능을 물리적아키텍처로 할당함으로써 3D Modeling을 검증하기 위한 수행모델을 구축하였다. 구축된 수행모델은 Mechanical기능의 중심으로 구현된 수행모델을 설명하였다.

또한 사례연구를 통하여 입찰프로젝트 및 FEED Verification 활동을 진행함에 있어서 개발된 본 방법론을 적용한다면 빠른 시간내에 효율적으로 검증작업을 수행할 수 있으며 기존의 담당자 경험에 의존한 엔지니어링방법론 보다 체계적인 절차에 의한 엔지니어링 결과물 제출의 토대를 구축하였다.

마지막으로 향후 입찰프로젝트에서 유지보수장비를 위한 3D Modeling 검토 수행시에 시스템엔지니어링 기법이 효과가 있으며 대형 시스템의 개념설계에 채택되어 활용되는 시스템엔지니어링이 일부 전문 공학영역까지 확대 적용 가능성이 있음을 확인할 수 있었다.

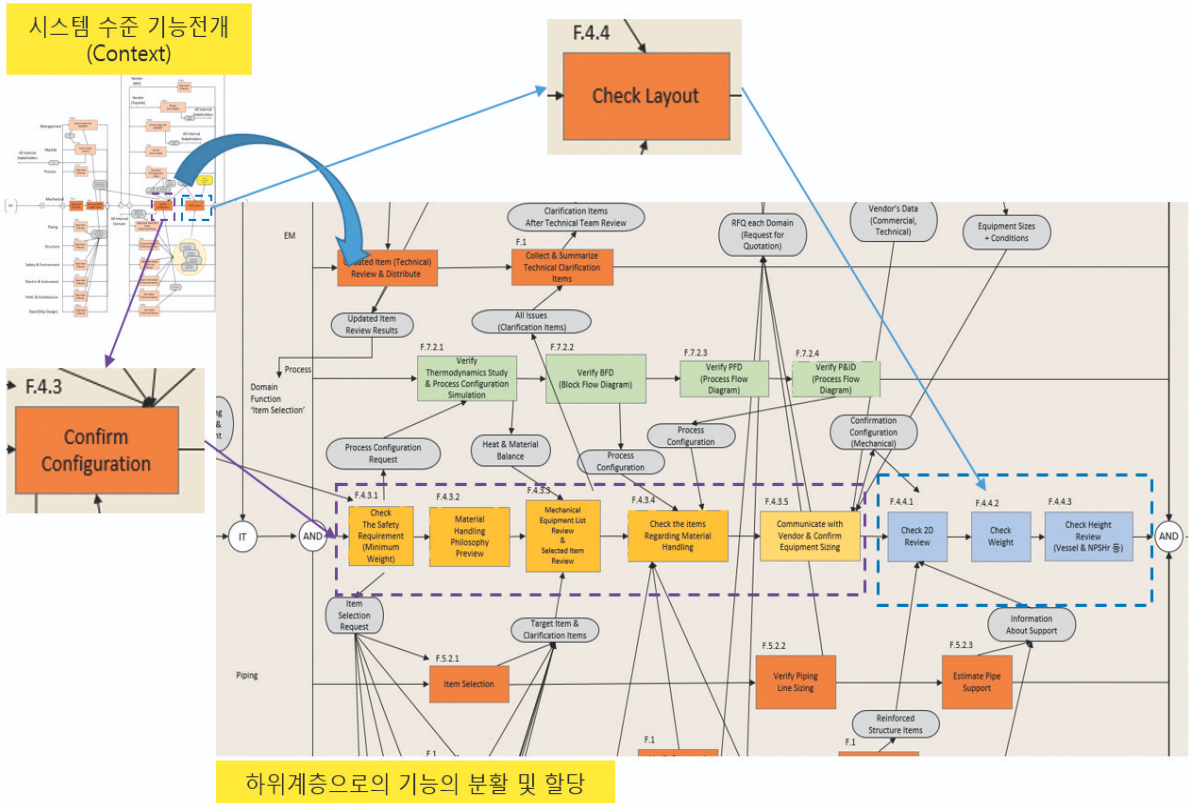


Fig. 3 EFFBD(Logical Architecture System Level)

후 기

본 논문은 선박해양플랜트연구소의 주요사업인 “해양플랜트산업지원센터 구축 및 운영”에 의해 수행되었습니다. (PMS3520)

참고문헌

(1) NASA. 2007. Systems Engineering Handbook, Revision 1. Washington, DC, USA: National Aeronautics and Space Administration (NASA). NASA/SP-2007-6105.
 (2) API(America Petroleum Institute), 2017, API RP 17A: Design and Operation of Subsea

Production Systems-General Requirements and Recommendation.

(3) Kee-young Shin et al. 2014. “A Study on Application of Systems Engineering Approach to Designing Continuous Casting System”. Journal of the Korea Society of Systems Engineering, 10(2): 15~20.
 (4) Sun Young Kim, Jae-Min Cha, Junpil Kim, Suk-Hwan Suh1, and Hwal Won Sur1, 2041, “A Systems Engineering Approach to FEED Work Process Development for Refinery Plant,” Journal of the Korea Society of Systems Engineering, Vol 10, No, 1, pp 1-15
 (5) D.G., Hong, H.C., Byun, S.H., Suh, 2014, “Developing empirical connections based on

- interrelation analysis between technical activities of systems engineering and FEED process in plant construction industry,” 24th Annual INCOSE International Symposium, Las Vegas, NV, June 30–July 3
- (6) Dae Geun Hong, Hee Chul Byun, Suk-Hwan Suh, 2014, “A Effective Analysis and Management of Technical Risk to Turn-key based Plant Construction Contracts using Systems Engineering,” Journal of the Korea Society of Systems Engineering, Vol.10 No.2, p.59–69
- (7) Sirous Yasserli, 2014, “Application of Systems engineering to subsea development, Underwater Technology,” Vol. 32, no. 2, pp. 93~109
- (8) K.Dykes and R.Meadows, 2011, Applications of Systems Engineering to the Research, Design, and Development of Wind Energy Systems Technical Report NREL/TP-5000-52616
- (9) INCOSE. 2012. Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, version 3.2.2. San Diego, CA, USA: International Council on Systems Engineering (INCOSE), INCOSE-TP-2003-002-03.2.2.
- (10) ISO/IEC 15288, Systems and Software Engineering-System Life Cycle process, 2008, International Organization for Standardization (ISO).