

시스템엔지니어링을 이용한 턴키방식 플랜트 건설계약의 기술적 위험요인 효과적 분석 및 관리

홍대근*, 변희철, 서석환

포항공과대학교 엔지니어링대학원

An Effective Analysis and Management of Technical Risk to Turn-key based Plant Construction Contracts using Systems Engineering

Dae Geun Hong, Hee Chul Byun, Suk-Hwan Suh

POSTECH Graduate School of Engineering Mastership (GEM)

Abstract : In the bidding stage of turn-key based plant construction contracts, owners provide design and performance basis for contractors instead of giving design drawing. To win the bid for a plant construction, the contractors should be obliged to satisfy and ensure owners' requirements such as design and performance basis in a plant construction project. In other words, owners imposes technical risk of the design to the contractors by specifying responsibility for the analysis and verification of the plant construction. Thus, it is very important that contractors make accurate and realistic basic design plan in a short period of time.

To deal with such a situation, we propose a systems engineering approach for the analysis and management of the technical risk. Specifically, we first: 1) Analyzes technical risk related with the plant design information for the bidders, followed by 2) Developing stakeholder requirements for the basic engineering design, and 3) System requirements for dealing with technical risk. Also, in this paper, we proposed converting method from MOE(Measure of Effectiveness) to MOP(Measure of Performance) in the risk analysis. To show the effectiveness of the proposed method, we carried out a case study.

Key Words : EPC, Turn-key based contract, Technical risk analysis, Systems Engineering, Contract process,

* 교신저자 : dghong@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

2008년 이후 지속되는 세계적 경제위기에도 불구하고 중동지역의 지속적인 인프라 개발 및 남미와 아시아 개발도상국가의 인프라 구축에 힘입어 우리나라의 2014년도 3분기 해외건설 수주액이 483억 달러를 기록해 전년 동기보다 5.2% 증가하였다(MOLIT, 2014). 국내 기업들의 해외 플랜트 수주가 2010년 플랜트 분야 수주실적의 급성장을 시작으로 2013년까지 평균 수주액이 640억 달러에 이르고 있다. 그러나 플랜트분야의 이러한 양적인 성장에도 불구하고 2013년과 현재 국내 대형건설업체 중 일부는 막대한 손실을 경험하고 기업의 신용등급이 강등되는 상황에 처해있다. 이러한 국내 건설업체의 위기는 국내 업체들 간의 과당경쟁으로 해외 건설시장에서 저가수주로 인해서 기업 경영실적이 악화되었다(Yoo and Lee, 2009). 게다가 국내 건설사의 시공위주의 도급사업 수주에서 설계·시공 일괄도급사업 또는 턴키(Turnkey)공사 중심으로 수주환경이 전환됨에 따라 플랜트사업의 위험요인이 배가되었다.

턴키와 같은 설계·시공 일괄도급방식은 설계, 시공이 발주자와의 단일 계약자인 일괄도급주체의 집중 책임 하에 연속성을 가지고 진행되는 발주방식이다(FIDIC, 1999). 턴키 공사는 설계, 시공 그리고 설계와 시공의 조화를 기본으로 효과적인 프로젝트 관리와 최종 성과물의 성능을 보장하는 방식으로 수행된다. 특히, 플랜트 수주를 위한 턴키계약은 자재의 공급이라는 매매 계약의 측면, 공사를 계약조건에 따라 수행하는 도급 계약의 측면 그리고 핵심기술을 차용하는 라이선스 계약을 포함한다. 따라서 플랜트 수출을 위한 턴키 계약을 정확히 이해하자면 기술적, 관리적 측면과 법률적 측면을 모두 이해하고 위험요인을 분석할 수 있어야 한다. 발주자의 관점에서 플랜트 건설 계약의 핵심은 첫째 기술적인 설계업무 제공이며, 둘째 관리적인 설계와 시공의 조정책임의 할당방식이고, 마지막으로 법률적인 입찰가 결정방식과 대금의 지불에 관련된 사

항이라고 할 수 있다. 다시 말해서 턴키방식의 플랜트계약에 있어서 무엇보다 중요한 것은 발주자의 요구에 부합하는 설계서비스를 제공하는 것이다.

플랜트 건설계약 과정에서 기술적인 위험요인은 EPC(Engineering, Procurement, Construction)업체가 입찰참가를 위해서 제출하는 기본설계서의 설계내용을 변경하게 만드는 요인을 지칭한다. 입찰참가자는 입찰참가 시 제출하는 기본설계서의 내용을 본 계약 체결 후에는 변경할 수 없다. 설계변경으로 인해서 발생하는 모든 제반 비용 및 법률적 책임은 EPC업체가 부담해야 한다. 대한민국 EPC업체의 대부분이 플랜트건설 프로젝트 수주 후 잦은 설계변경으로 인한 추가적인 비용이 발생하여 금전적인 손실을 입고 있다. 따라서 EPC업체는 본 계약을 체결하기 전에 발주자의 설계/성능기준과 요구조건을 정확히 파악하여 기본설계서에 포함시킬 수 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 시스템엔지니어링관점에서 턴키방식 플랜트 계약에서 설계관련 기술적 위험요인을 식별하고 효과적으로 대응하기 위한 방안을 제공하고자 한다. 이를 위해서 플랜트 수주 프로세스 사례를 분석하여 계약단계에서 기술적 위험이 어디서 어떻게 발생하는지 분석한다. 그리고 사례연구를 기반으로 시스템엔지니어링관점에서 발주자의 기술적 요구사항을 효과적으로 설계도면에 반영하기 위한 방안을 제시한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 서론에 이은 2장에서는 플랜트수출, 플랜트 계약방식 그리고 턴키 계약의 위험요인에 대한 문헌연구를 수행한다. 3장에서는 플랜트 계약단계에서 발생할 수 있는 기술적 위험요인을 실무와 시스템엔지니어링관점에서 분석하는 과정을 설명한다. 4장에서는 3장에서 제안하는 연구체계를 A사의 환경플랜트 수주사례에 실제 적용하여 분석한다. 5장에서는 본 연구에서 제안된 시스템엔지니어링 적용방안에 대한 효과성을 확인하기 위해서 실제 사례와 부합성 분석을 실시한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 추후 연구에 대해서 서술한다.

2. 문헌연구

2.1 플랜트 건설과 건설계약의 특징

일반적으로 플랜트(Plant)라 함은 발전소나 정유 공장과 같이 기계와 장치를 기술적으로 설치하여 생산자가 목적으로 하는 원료 또는 중간재, 최종 제품을 제조할 수 있는 생산시설을 지칭한다(Yoo and Lee, 2009). 이러한 플랜트를 건설하는 것은 대규모이고 복잡하여 다양한 응용기술과 구성기계/자재 등을 통합하고, 체계화하여 플랜트 설계로부터 기자재 조달, 제작 및 건설을 조직적이고 체계적으로 수행하는 업무이다. 플랜트 건설의 주요 업무는 건설하고자 하는 대상 플랜트의 종류 및 특징과 프로젝트를 추진하는 장소적 요건(나라마다 다른 건설관련 법적 요건 등), 플랜트 건설위치의 자연적 환경 및 이를 추진하는 기업에 따라 항상 새로운 환경이 조성되고, 이를 추진하는 과정에서 발생하는 문제를 해결하는 것이다(Kim et al., 2014).

플랜트 건설은 물품생산을 위한 기계, 설비 또는 장치 등의 하드웨어와 그 설치에 필요한 엔지니어링, 노하우, 건설시공 등의 소프트웨어가 결합된 생산단위체로서의 종합서비스를 의미한다. 따라서 플랜트산업은 제조업과 서비스 분야가 융합된 고부가가치 산업이라 할 수 있다(Kim and Kim, 2012). 이와 같은 플랜트 건설은 발주형식, 시공자의 수주 형태, 시공자의 업무범위, 발주자의 공사금액 결정 방법, 대금지급 조건, 계약체결 방법 등에 따라 여러 가지 형태로 구분되어지고, 플랜트 수출에는 통상적으로 플랜트의 설치, 시운전, 운전교육, 하자보수 등이 포함되어 있다(Oh and Kim, 2012). 국내 기술 산업의 고도화와 함께 해외 플랜트 건설시장에서 높은 부가가치 창출을 이루는 동시에 플랜트 건설에 소요되는 설비 및 기자재는 물론 이를 관리 및 시공하는 기술 인력수출이 가능한 새로운 수출주력 산업이라고 할 수 있다.

이러한 플랜트 건설은 다음과 같은 특성을 갖는다. 첫째, 플랜트 건설 계약금액이 매우 크다(Helmus, 2008). 플랜트 건설은 일반적인 제품과

는 달리 사업 및 공사 규모가 대규모이어서 거액의 자금이 소요된다. 둘째, 플랜트 공급계약 체결일로부터 최종 공사대금 회수까지 장기간 소요된다(Noble, 2009). 대금 회수나 대금 지급 방법 등이 계약에서 중요한 쟁점이 되며, 이는 장기간의 계약 기간 동안 발생할 수 있는 경제적, 정치적 변화에도 상당부분 영향을 받을 수 있다. 셋째, 플랜트 건설 수출은 국가 간의 효과적인 경제협력 수단이다(Kim, 2011). 수출국입장에서는 부가가치율 및 외화 가득률이 높은 지식 집약적 산업으로써 자원소비효율을 높일 수 있으며, 수입국입장에서는 고용증대와 국제수지개선이라는 경제적 효과를 기대할 수 있다.

2.2 플랜트 건설 계약형태와 턴키방식

플랜트건설은 국가의 기간산업으로서 정유, 석유화학, 발전, 제철, 해양 및 분야에서 종합적인 장치와 시설물 건설을 의미한다(Yoo and Lee, 2009). 좀 더 넓은 의미에서 플랜트 건설은 설계부터 공사까지 일련의 과정 즉, 엔지니어링 요소를 포함하고 있다. 근래에는 운전요소까지 포함하고 있다. 이렇게 끊임없이 진화하는 시장의 요구사항에 대응하기 위해 건설사들은 국내·외 플랜트 수주 선점을 위한 엔지니어링 역량을 향상시키기 위해서 노력하고 있다. 일반적으로 플랜트 건설은 EPC(Engineering, Procurement, Construction)로 발주되지만, 계약형태에 따라서 시운전뿐만 아니라 운영의 일부분까지 계약에 포함시켜 플랜트에 대한 운전요령까지 요구하는 경우도 있다. 다시 말해서 플랜트 건설은 고객의 요구사항에 부합하는 종합서비스를 제공하는 것으로 이해해야 한다.

일반적으로 플랜트 건설공사의 계약구조(발주 방식)는 크게 설계·시공 분리방식과 일괄도급방식 두 가지 형태로 나누어 볼 수 있다. 첫째 전통적인 설계·시공 분리발주 형식(Design-Bid-Build, DBB)은 설계와 시공이 분리 발주 되며, 설계완료 후 시공자를 선정하게 된다(Kim and Kim, 2012). 설계와 시공에 대하여 각각 별도의 계약이 이루어

지고, 계약 구조상 발주자가 설계와 시공의 조정자 역할을 수행하게 된다. 따라서 발주자는 설계자와 시공자 사이에서 중간자적 위치에 놓이게 되는 계약 리스크에 노출될 수 있다(Kim, 2010).

둘째 설계·시공 일괄도급방식은 설계와 시공, 조정 및 성능에 대한 보장이 발주자와 계약자간의 단일 계약에 의하여 완성된다(Kim and Kim, 2012). 일괄도급방식은 다시 디자인 빌드(Design-Build)와 턴키(Turn-key)방식으로 구분할 수 있다(Kim, 2010). 디자인빌드는 설계와 시공을 통합하여 발주자가 계약자(단일 주체)와 서비스 계약을 체결하는 방식이고, 턴키에서는 프로젝트의 성능 기준을 포함하여 설계, 조달, 시공, 운영을 위한 모든 서비스 과정을 제공한다. 발주자와의 단일 계약이라는 측면에서 디자인빌드와 유사하지만, 총액입찰방식이고 대부분의 계약 위험이 턴키 계약자에게 할당된다는 점에서 가장 극단적인 형태의 발주방식이라고 할 수 있다.

2.3 턴키방식의 플랜트 건설의 특성과 계약단계에서 위험요인

턴키방식의 플랜트 건설은 설계·시공 분리 방식에 비해 크게 비용절감, 공기단축 그리고 설계시공의 책임일원화 세 가지 측면에서 장점을 갖는다(Kim and Kim, 2012). 하나의 업체에서 대량의 기자재를 구입하여 단가를 낮추고, 종합적인 공사와 정관리와 시행이 가능하게 되어 공기를 단축할 수 있다. 또한, 설계와 시공이 한꺼번에 계약되어 책임의 한계가 명확하여 사업을 효과적으로 관리할 수 있다. 하지만 턴키방식의 플랜트 계약은 구매자와 공급자 관점에서 다음과 같은 한계점을 갖는다. 구매자 관점에서는 한 공급자와만 거래함에 따라 품질 확보의 한계나 사업관리의 한계가 발생할 수 있고, 공급자 관점에서는 장기 거액의 계약에 따른 대금 확보의 불확실과 정치적 경제적 환경 변화에 따른 계약 내용의 변화 등의 어려움이 있을 수 있다.

턴키방식의 플랜트 건설에서는 전통적인 방식과는 다르게 발주자가 설계안을 제공하지 않는 대신

에 프로젝트의 기준이나 요구조건을 계약서에 명시하여 프로젝트의 최종 목적과 성과를 규정하게 된다. 플랜트 건설을 위한 턴키계약에서는 발주자가 제공한 프로젝트 요구조건에 대한 완성도를 높이고 그에 따른 설계상의 의무를 공급자에게 강제하고 있다(FIDIC, 1999). 이와 함께 플랜트 건설 후보지 관련 정보의 검증 및 해석을 공급자의 책임으로 규정하여, 대부분의 설계 서비스 관련 위험을 공급자에게 부과하고 있다. 이러한 이유로 인해서 플랜트 건설 사업에서 효과적인 엔지니어링 업무를 수행하기 위해서는 발주자의 요구사항을 보다 정확히 파악하는 것이 중요하다.

턴키방식의 플랜트 계약과 관련된 연구는 대부분 표준 계약서의 약관을 중심으로 법률적인 관점에서 수행되었다. Kim and Kim(2012)은 ICC(International Chamber of Commerce) Model을 기반으로 턴키 계약의 쟁점사항에 대하여 계약자 입장과 발주자 입장에서 정리하였으며, Oh and Lee(2012)은 ICC 표준 계약서의 법리적 쟁점을 중심으로 턴키방식 플랜트 계약의 유의점을 실무적인 관점에서 논의하였다. Choi and Son(2002)은 턴키방식 플랜트 계약의 표준약관인 FIDIC(International Federation of Consulting Engineers) silver book의 주요특징과 내포하고 있는 위험요인에 대해서 논의하였다. 하지만 턴키방식의 해외 플랜트건설 사업을 효과적으로 수주하기 위해서는 법률적 측면 뿐만 아니라 기술적, 상업적 측면을 이해하고 고려하는 것이 필요하다. 특히, 발주자의 프로젝트 요구조건을 충족시키고 성능을 보장하기 위해서는 설계 관점에서 기술적 위험을 인식하고 분석하는 것이 필수적이다.

3. 연구체계

본 연구에서 제안하는 연구체계는 그림 1과 같이 턴키방식 플랜트 수주프로세스 분석, 각 단계별 주요 활동 및 산출물 분석, 사례기반 설계관련 기술적 위험요인 분석, 시스템엔지니어링기반 설계관련 기

술적 위험요인 분석 그리고 SE 효과성 분석 다섯 단계로 구성한다.

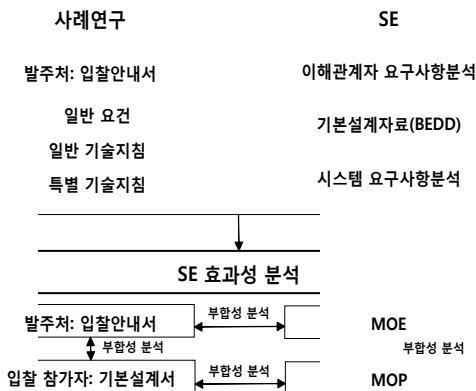
3.1 턴키방식 플랜트 수주프로세스 분석

본 절에서는 플랜트 건설 입찰 및 계약관련 문헌 연구를 바탕으로 턴키방식 플랜트 수주프로세스를 파악하고자 한다. 우선, 민간 및 공공기관에서 발주하는 사업, 국내 및 국외에서 발주하는 사업 그리고 설계·시공 분리방식과 일괄도급방식에 대해서 문헌연구를 수행한다. 이를 기반으로 사례연구를 수행하여 턴키방식의 플랜트 수주에서 일반적인 형태의 경쟁입찰방식 프로세스를 도식화한다.

턴키방식 플랜트 수주프로세스 분석

각 단계별 주요 활동 및 산출물 분석

설계관련 기술적 위험요인 분석



[Figure 1] A research framework for analysis and management of technical risk related to plant design

3.2 각 단계별 주요 활동 및 산출물 분석

본 절에서는 플랜트분야 전문가 인터뷰를 통해서 턴키방식 플랜트 수주프로세스를 기반으로 각 단계에서 수행하는 주요 활동 및 산출물을 식별하고자 한다. 이를 위해서 식별된 산출물 각각에 대해서 문서의 구성과 내용에 대해서 분석하고, 각각의 산출물이 누구에 의해서 작성되며 발주자와 계약자(또는 공급자)에게 어떤 의미와 영향을 미치는지에 대

해서 고찰한다.

3.3 사례기반 설계관련 기술적 위험요인 분석

본 절에서는 사례연구를 기반으로 설계관점에서 입찰참가자가 입찰참가를 위해 제출해야하는 기본 설계도서에 반영해야 할 설계기준, 성능기준, 기술적 요구사항 그리고 제약사항을 파악하고자 한다. 이를 위해서 플랜트 수주프로세스에서 계약 체결 전(前)과정에서 발주자가 발행하는 입찰안내서를 분석한다. 이 문서의 일반조건, 일반기술지침, 특별 기술지침에 명시적 또는 암묵적으로 언급된 설계관련 기준 또는 요구사항을 탐색하고 분석한다.

3.4 SE기반 설계관련 기술적 위험요인 분석

본 절에서는 시스템엔지니어링을 이용하여 플랜트 건설 계약 전(前)단계에서 발주자의 설계관련 요구사항을 효과적으로 파악하고 설계도면에 반영하기 위한 방안에 대해서 제안한다. 이를 위해서 발주자가 발행하는 입찰안내서에 내포된 설계관련 기술적 위험요인을 이해관계자 요구사항, BEDD작성 그리고 시스템 요구사항으로 변환하여 대상 시스템을 개발하기 설계 기초를 수립한다. 또한, 설계를 수행함에 있어서 고려해야 할 물리적, 기술적 요구사항 및 제약사항을 시스템엔지니어링관점에서 분류 및 문서화 한다.

3.5 SE 효과성 분석

본 절에서는 사례연구를 통해서 분석된 턴키방식 플랜트 계약의 기술적 위험요인을 시스템엔지니어링의 이해관계자 및 시스템 요구사항을 이용하여 효과적으로 식별 및 관리할 수 있는지에 대해서 검증하고자 한다. 이를 위해서 시스템엔지니어링 이해관계자 관점의 효과성지표와 시스템 관점의 핵심성능지표를 개발한다. 효과성지표와 핵심성능지표를 발주자가 발행하는 입찰안내서과 입찰참가자가 제안하는 기본설계도서의 핵심사항과 부합성 분석을 실시한다.

4. 사례연구

A사에서 수행한 사례는 국내 광역자치단체에서 발주한 환경플랜트로서 경쟁입찰을 통해서 설계 및 시공을 일괄 수주하였으며, 공사기간은 시운전 6개월을 포함하여 착공일로부터 36개월이 소요되었으며 총 공사비용은 약 3천 억 원이었다.

4.1 턴키방식 플랜트 수주프로세스 분석

A사에서 수행한 턴키방식 환경플랜트 수주를 위한 경쟁입찰방식은 입찰공고, 사전자격심사, 현장설명회, 기본설계 심의 그리고 협의 및 건설시공계약 체결의 절차로 진행되었다. 입찰공고는 전문잡지, 인터넷 등을 통해 이루어지고, 공공 발주처 및 대부분의 민간발주처는 건설업체의 입찰자격을 사전에 평가하여 자격에 미달하는 입찰후보자가 입찰에 참여하지 못하도록 사전자격심사제(Pre-qualification)를 운영하고 있다. 발주자는 수개로 압축된 입찰참가자 앞으로 입찰제안 요청서(Request for Proposals) 또는 입찰초청장(Invitation to Bidding)을 보내고, 입찰참가자는 입찰보증서(bid Bond)와 함께 입찰참가서를 제출한다. 사전자격심사를 통과한 수개의 업체를 대상으로 입찰 평가(bid-evaluation)를 실시하고 계약조건을 협의한 후 유리한 조건을 제시한 업체를 낙찰자로 선정하고 낙찰통보서(letter of award)를 보낸다. 낙찰자를 선정 후 건설시공계약을 작성하는 과정에서 플랜트의 설치 및 시운전, 부대시설의 건설공사 등과 같은 다양한 내용을 협의한다.

4.2 각 단계별 주요 활동 및 산출물 분석

턴키방식 플랜트 계약프로세스에서는 사전자격심사, 현장설명회 그리고 기본설계 심의 세 가지 단계에서 주요 문서가 작성되고 발주처와 입찰자 사이에 공유되었다. 첫째, 사전자격심사는 입찰실시 전에 시공능력에 대한 최소한의 능력을 심사하는 절차로서 입찰자는 자신의 조직, 경험, 능력, 신용도 등을 기재한 자격심사서류를 제출하며, 최소한의 기준을 충족하지 못한 업체는 입찰에서 배제되었다.

발주처는 사전자격심사를 통해 입찰참가자를 몇 개의 업체로 축소한 명단(short list)을 작성하였다.

둘째, 현장설명회는 발주처에서 발주한 사업에 대해서 축소한 입찰참가자에게 구체적으로 설명을 해주는 절차로서 입찰안내서를 입찰참가자에게 배부하였다. 입찰안내서는 사업의 법률적 배경, 시장·교통 등에 대한 정보, 기술정보, 디자인 및 엔지니어링, 가격산정공식, 프로젝트 계약서 초안, 입찰평가의 기초, 입찰참가양식, 입찰참가 시한 등의 내용이 포함되었다. 특히, 광역자치단체와 계약을 한 D전문설계업체에서 환경플랜트 입찰안내서를 작성하였으며, 추후에 환경플랜트 건설사업에서 감리를 맡아서 본 공사를 관리 및 감독하였다.

마지막으로 기본설계 심의에서는 입찰참가자가 사업을 어떻게 수행하겠다는 마스터플랜(Master Plan)을 발주처에 제공하는 절차로서 입찰보증서(Bid Bond)와 함께 입찰참가서를 제출하였다. 입찰참가서에는 기술, 디자인 및 엔지니어링, 시공 프로그램, 제공되는 작업 또는 서비스의 상세내역, 입찰가격, 금융조달 전략 및 구조 등의 내용이 기재되었다.

4.3 사례기반 설계관련 기술적 위험요인 분석

발주처에서 엔지니어링 전문업체에 위탁하여 발행하는 입찰안내서는 일반적인 설계 가이드라인 자료를 포함하고 있다. A사에서 수행한 환경플랜트 건설을 위한 입찰안내서는 D종합기술공사와 D엔지니어링사에서 공동으로 작성하였으며, 공사설명서, 입찰유의서, 입찰양식, 계약일반조건, 계약특수조건, 설계시공지침, 관리지침 그리고 입찰평가기준에 대해서 서술하였다.

입찰안내서에서 설계관련 주요 내용은 설계시공지침에 수록되어 있으며, 일반요건, 일반기술지침, 그리고 특별기술지침 있다. 첫째, 일반요건에는 환경플랜트를 위하여 필요한 기본 및 실시설계, 기자재공급, 시공, 시운전 및 기술훈련 등에 필요한 기본사항이 기술되어 있다. 입찰참가자는 최적의 설계 및 시공, 운전조건의 만족 등 본 사업을 위한 제반 업무에 모든 책임을 진다. 또한 일반요건에 기술

3	StR.03	시설기준 준수	환경플랜트는 하수도 시설기준(1998.2)을 준수하여야 한다
이해관계자 요구사항 (Rev.1)			
No.	관리번호	요구사항 명칭	이해관계자 요구사항 내용
1	4	StR.03.01 (미)세목스크린	일반적으로 침사지 앞에는 세목스크린, 침사지 뒤에는 미세망에 따라 설치 위치를 변경할 수 있다
	5	StR.03.02 조목스크린	대형하수처리장 또는 합류식인 경우와 같이 대형합침들이 추가로 설치한다
	6	StR.03.03 침사지 형상	침사지의 형상은 직사각형이나 원형 등으로 하고, 지수는 한다
	7	StR.03.04 원형침사지 구조	원형 침사지의 경우 유입부는 와류가 자연적으로 형성될
	8	StR.03.05 침사지정장치	침사지에는 침사지정장치의 설치를 고려하여야 한다

[Figure 2] Stakeholder requirements for environment plant construction

Basic Engineering Design Data List			
No.	구분	BEDD	비고
1	입찰서류	입찰안내서	
2		기본계획도[보고서 및 조사자료(지질조사, 현황측량 자료)]	
3	법규	환경정책기본법, 동 시행령, 시행규칙	
4		대기환경보전법, 동 시행령, 시행규칙	
5		소음·진동규제법, 동 시행령, 시행규칙	
19	기준	한국산업규격(KS)	
20		철근콘크리트 설계기준(건설교통부)	
21		구조물기초설계기준(건설교통부)	
22		강구조 계산기준 및 동 해설(대한건축학회)	
35	코드/표준	American Iron and Steel Institute(AISI)	
36		American National Standard Institute(ANSI)	
72	기초조사	지역, 기상 및 부지현황 조사 보고서	
73		방류 수역 현황 조사 보고서	

[Figure 3] Basic Engineering Design Data(BEDD) for environment plant construction

시스템 요구사항 (Rev.1)					
No.	관리번호	요구사항 명칭	시스템 요구사항 내용	기능/비기능 구분	대상계층
1	SyR.0100.00	부지경계 준수	환경플랜트는 처리장 부지경계선내에 위치하여야 한다	비기능	System (토목설비)
2	SyR.0201.01	세륜-세차시설	환경플랜트 공사장의 작업차량으로 인해 토사 등이 공사장 외부로 유출되는 것을 방지하기 위한 세륜-세차설비를 설치하여야 한다	비기능	Sub System (공사설비)
3	SyR.0201.02	가설방진망	환경플랜트 공사장의 작업차량으로 인해 미세먼지가 공사장 외부로 유출되는 것을 방지하기 위한 가설방진망 설비를 설치하여야 한다	비기능	Sub System (공사설비)
4	SyR.0201.03	오탁수처리시설	환경플랜트 공사장 내에서 발생하는 오탁수는 오탁수처리시설을 설치하여 침사 후 배제하여야 한다	비기능	Sub System (공사설비)
5	SyR.0201.04	오수처리시설	환경플랜트 내 현장사무소에서 발생하는 오수는 오수처리시설을 설치하여 오수처리 후 방류하여야 한다	비기능	Sub System (공사설비)
6	SyR.0201.05	항타공법	환경플랜트의 공사 중 발생하는 소음-진동 방지를 위해 소음영향이 적은 진동해머 항타공법으로 공사를 수행한다	비기능	Sub System (공사설비)
7	SyR.0202.01	운영 중 소음 방지	환경플랜트의 운영 중 소음 저감을 위해 펌프, 송풍기, 원심탈수기 등 고속 회전설비는 기계로부터 1m 지점에서 85dB(A) 이상일 경우 방음설비를 설치하여야 한다	기능	Component (공통)
8	SyR.0202.02	운영 중 진동 방지	환경플랜트의 운영 중 진동 저감을 위해 펌프, 송풍기 원심탈수기 등 고속 회전설비는 진동치가 2.8mm/s~4.5mm/s 이하가 되도록 방진기대를 설치하여야 한다	기능	Component (공통)
9	SyR.0301.00	(미)세목스크린 위치	환경플랜트 침사지 후단에 미세목스크린을 설치한다	비기능	Assembly (침사지)

[Figure 4] System requirements for environment plant construction

된 설계 및 시공관련 지침은 최소요구 기준으로서 입찰참가자는 최고성능의 설비를 갖추고 최상의 유지관리가 되도록 계획, 설계 및 시공에 임하여야 한다.

둘째, 일반기술지침은 환경플랜트 공사에 대한 법규, 규칙, 코드 및 표준, 설계조건 그리고 핵심공종별 일반적인 기술요건을 정의한다. 일반기술시방은 특별히 달리 표시된 사항이 없는 한 환경플랜트 공사의 핵심 공종에 대한 설계·구매·제작·운반·설치 공사, 검사 및 시운전 등 공종분야 전반에 적용된다. 본 사업은 설계·시공 일괄입찰방식으로 추진되므로 일반기술시방은 이에 따라 최소한의 필요사항을 요구하는 것이다. 따라서 입찰참가자는 시방서에 명기되어있지 않더라도 본 공사의 수행에 필요한 사항과 성능보증을 위한 사항은 책임 하에 수행하여야 한다.

셋째, 특별기술지침은 일반기술지침과 함께 환경플랜트에 대한 토목, 건축, 기계, 전기, 계장, 조정 관련 세부 공종별 설계 및 시공의 특별한 요구사항을 규정한다. 특별기술지침에서 언급되지 않은 사항에 대한 설계 및 일반적인 요구사항은 일반기술지침에 준한다. 입찰참가자는 이 특별기술지침 및 일반기술지침서의 내용이 충분히 반영된 완벽하고 경제적인 최적설계를 포함시켜 입찰시 제출하여야 한다. 또한 특별기술지침서에 언급되지 않은 사항이라도 환경플랜트 기능상 꼭 필요한 사항, 사용승인, 각종 인허가 시 발생하는 모든 문제점 및 설계 심의 시 지적사항을 모두 반영하여 설계 및 시공하여야 한다.

이와 같이 턴키방식의 환경플랜트 수주프로세스에서 발주처는 플랜트 개발기본계획과 입찰안내서를 입찰참가자들에게 제공한다. 하지만 입찰안내서에 수록된 내용은 참고자료일 뿐 실제와의 상이한 점이 있다고 해도 이에 대해서 발주처는 책임을 지지 않는다. 또한, 입찰안내서에 언급되지 않은 사항이라도 환경플랜트 설계, 시공, 운영에 필요한 사항은 입찰참가자가 스스로 찾아서 작성해야 한다.

4.4 SE기반 설계관련 기술적 위험요인 분석

발주처에서 발행하는 입찰안내서는 플랜트 건설을 위한 설계기준 및 요구사항의 집합체로서, 입찰안내서 설계시공지침에서 일반요건은 시스템수준의 이해관계자 요구사항을 내포하고 있으며, 일반기술지침과 특별기술지침은 서브시스템 또는 컴포넌트 수준의 시스템 요구사항을 포함하고 있다. 우선 전문가 인터뷰를 통해서 설계시공지침의 일반요건을 기반으로 환경플랜트 건설의 공정설계관련 이해관계자 요구사항을 31개 도출하였다. 그림 2와 같이 시설기준 준수 이해관계자 요구사항은 26개의 이해관계자 요구사항으로 분할되었다.

이와 함께 설계시공지침의 일반요건과 일반기술지침을 이용하여 발주처가 제시한 설계조건, 기초자료조사 및 관련계획을 검토하여 설계반영 사항을 기본설계자료(Basic Engineering Design Data, BEDD)을 작성하였다. 이것은 입찰참가자가 기본설계를 수행함에 있어서 고려해야 할 물리적, 기술적 제약사항 등을 수집하는 것으로 입찰서류, 법규, 기준, 코드/표준, 기초조사, 관련계획, 설계기준 등의 내용을 그림 3과 같이 포함하고 있다.

기본설계자료(BEDD)를 참고하여 환경플랜트 이해관계자 요구사항을 서비스를 제공할 시스템에 대한 기술적 요구사항으로 변환하였다. 그림 4와 같이 변환된 시스템요구사항을 평가 및 수정작업을 거쳐서 최종적으로 152개의 시스템 요구사항을 개발하였고, 기능과 비기능 요구사항으로 구분하였다. 환경플랜트 설계에서는 기능적인 요구사항을 대상으로 입찰참가를 위한 기본설계를 수행하며, 비기능적인 요구사항은 추후 상세 또는 실시설계에서 반영을 한다. 또한, 설계시공지침의 일반기술지침과 특별기술지침 내용을 기반으로 시스템 요구사항을 추가하였다. 특히 특별기술지침에 수록된 공종별 내용 중에는 서브시스템 또는 컴포넌트 수준의 요구사항이 있어서 이를 대상계층 및 공종별로 구분하여 표시하였다.

5. 검증

본 연구에서는 시스템엔지니어링의 효과성을 검

증하기 위해서 환경플랜트의 공정설계 분야를 대상으로 부합성 분석을 실시하였다. 현재 환경플랜트 건설 입찰에서는 발주처는 입찰안내서의 성능 및 요구조건과 입찰참가자가 제출하는 기본설계도서의 설계내용간의 부합성 분석이 주요 평가 대상이다. 이러한 관점에서 시스템엔지니어링을 이용하여 발주처 관점의 효과성 지표와 입찰참가자 관점의 핵심성능지표간의 부합성 분석이 기존 방식보다 객관적이고 효과적임을 제시하고자 한다.

그림 5에서는 환경플랜트 기본설계도서에 기재된 입찰안내서와 기본설계도서의 핵심사항 부합성을 나타내었다. 공정설계 분야에서는 사전조사, 공정 및 시설물 그리고 환경오염 세 가지 관점에서 기술되었다. 예를 들면, ‘환경오염’에서는 환경영향평가 기준을 충족해야 하는 요구사항을 제시하였고, 이를 위해서 기본설계도서에서는 환기 및 탈취시설 계획 작성하였다고 기재하였다.

구분	입찰안내서	설계 반영사항
사전 조사	기초자료조사 시행 → 설계유입수질 및 저농도, 고농도 조건 제시	·처리구역 내의 유량 및 수질 분석 (중장래수성상 분석→내분해성 물질유입 우려 해소)
공정 및 시설물	·슬러지 통합 최종처분계획 제언	·장래 슬러지 최종처분시설을 소극적으로 계획
환경오염	·환경영향평가 기준충족	·환기 및 탈취시설 계획

[Figure 5] A comparison of the process design in the Invitation for Bidding and the Basic Design

그림 6에서는 시스템엔지니어링관점에서 환경플랜트의 공정설계 효과성지표와 핵심성능지표들간의 부합성을 기술하였다. 효과성 지표로는 소음, 진동, 악취, 방류수 네 가지로 선정하고, 각각에 대해서 핵심성능지표가 대응되었다. 예를 들면, 효과성 척도 ‘악취’는 악취방지법의 배출허용기준을 만족해야 한다는 것을 나타내고, 이를 위해서 핵심성능지표 ‘탈취설비’는 암모니아 제거효율 80% 이상, 황화수소 제거효율 90% 이상의 성능을 보유해야 하는 것으로 설정되었다.

이와 같이 환경플랜트 입찰안내서에서 환경영향평가 기준 충족이라는 기술적 함의의 표현이 시스템엔지니어링 효과성지표에서는 소음, 진동, 악취, 방류수 네 가지로 구체적으로 분할되었다. 또한, 환

경플랜트 기본설계도서의 탈취시설 계획 작성은 시스템엔지니어링 핵심성능지표에서 탈취설비의 성능 기준으로 구체화되었다. 따라서 환경플랜트 설계업무와 시스템엔지니어링에서 사용하는 표현의 차이는 있지만 그 내용은 부합한다는 것을 알 수 있었다. 다시 말해서, 턴키방식 플랜트계약의 기술적 위험요인을 식별, 분석 그리고 관리함에 있어서 시스템엔지니어링이 효과적이라는 것을 확인하였다.

보다 정확한 효과성 분석을 위해서는 본 사례에서 도출된 모든 이해관계자 요구사항과 시스템 요구사항을 대상으로 부합성 분석을 실시해야 한다. 하지만 이는 물리적으로 시간적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 실무에서 적용하기 위한 대안으로 효과성지표와 핵심성능지표간 부합성 분석을 수행하였다.

MOE				MOP			
ID	Name	Description	Req. ID	ID	Name	Description	ReqID
MOE.1	소음	부지 경계에서의 소음치는 다음을 만족하여야 한다. 주간 06:00~18:00 최대 70dB(A) 주간 18:00~24:00 최대 65dB(A) 야간 24:00~06:00 최대 60dB(A)	SR.02.02	MOP.1	기개별 소음	각 Component의 음향은 소음원 기계로부터 3m 지점에서 65dB(A) 이하 이어야 한다	SR.0202.01
MOE.2	진동	장비의 운전 중 장치 환경에서의 진동은 다음을 만족하여야 한다. 주간 06:00~22:00 최대 60dB(V) 야간 22:00~06:00 최대 55dB(V)	SR.02.02	MOP.2	기개별 진동	각 Component의 음향은 운전 중 장치의 평균 30mm/s 이하, 평균 지치의 경우 45mm/s 이하 이어야 한다	SR.0202.02
MOE.3	악취	악취방지법의 배출허용기준을 만족하여야 한다	SR.21.05	MOP.3	탈취설비	암모니아 제거효율 80% 이상 황화수소 제거효율 90% 이상	SR.2105.01
MOE.4	방류수	처리장 방류수 부종치는 다음과 같다. BOD ₅ COD _{Cr} SS 총 용존고체 총 인산염-N 1.6mg/l 이하 대장균군수 3,000개/ml 이하	SR.12.01 SR.12.06	MOP.4	내방수	100~200	SR.0312.02
				MOP.5	슬러지방출	50~80%	SR.0311.01
				MOP.6	생활반류로 처리시간	8시간 이상	SR.0311.01
				MOP.7	산기장치	산소전달효율 20% 이상	SR.0309.01
				MOP.8	질산화	표면부하율 15 ~ 25m ³ /m ² .d	SR.0311.01
MOP.9	농축설비	황수율 90% 이상, 침수율 80% 이상	SR.0325.01				
MOP.10	소독설비	최소한 투과율 70% 이상	SR.0320.01				

[Figure 6] A comparison between MOE and MOP in the process design

6. 결론

턴키방식의 플랜트 건설에서는 발주자가 설계안을 제공하지 않는 대신 프로젝트의 설계 또는 성능 기준이나 요구조건을 계약서에 명시하고, 발주처가 제공한 프로젝트 요구조건에 대한 설계의무와 성능 보장을 계약당사자에게 강제한다. 이와 함께 플랜트 건설에 대한 관련정보의 검증 및 해석을 공급자의 책임으로 규정하여, 대부분의 설계 서비스 관련 위험을 공급자에게 부과하고 있다. 이러한 이유로 플랜트 건설사업에서 입찰참가자는 기술관련 위험요인을 최소화하기 위해서 기본설계서의 내용을 입찰안내서와 최대한 부합하도록 작성해야 한다.

따라서 본 연구에서는 턴키방식 플랜트 계약의

기술적 위험요인을 효과적으로 분석하고 관리하기 위한 시스템엔지니어링 접근방안을 제안하였다. 제안된 연구모형의 실제 적용가능성을 타진해보기 위해서 국내 광역자치단체에서 발주하고 A사에서 수행한 환경플랜트 건설사례를 분석하였다. 입찰공고에서 계약에 이르기까지 플랜트 수주프로세스를 기반으로 발주처가 발행하는 입찰안내서와 입찰참가자가 제출해야하는 기본설계도서간의 설계관점에서 관계성을 파악하였다. 그리고 입찰안내서에 내포되어 있는 성능 및 설계기준과 같은 기술적 위험요인을 시스템엔지니어링의 이해관계자 및 시스템요구사항으로 변환하였다. 마지막으로 시스템엔지니어링 접근방법의 효과성을 검증하기 위하여 입찰안내서-기본설계도서와 효과성척도-핵심성능지표간의 부합성을 확인하였다.

본 연구에서는 환경플랜트 건설계약단계에서 시스템엔지니어링의 요구사항 개발 및 관리측면에 국한하여 설명하였다. 발주처관점에서 시스템엔지니어링접근은 개발된 이해관계자 요구사항과 시스템요구사항과의 추적성과 부합성을 제공함으로써, 입찰평가에서 발주처의 요구사항이 기본설계도서에 어떻게 반영되었는지 보다 쉽고 편리하게 파악할 수 있다. 이를 통해서 발주처는 입찰참가자의 설계내용 평가를 공정하고 객관적으로 수행할 수 있다. 반면에 입찰참가자 관점에서는 시스템엔지니어링을 이용하여 턴키방식의 플랜트 계약의 기술적 위험, 발주처의 요구사항을 보다 명확히 식별하고 효과적으로 관리할 수 있다. 이를 통해서 입찰참가 및 계약과정에서 발생하는 설계변경으로 인한 추가적인 건설비용 증대 및 건설기간 연장을 사전에 예방할 수 있다.

본 연구의 내용을 좀 더 일반화시키고 효과성을 구체화시키기 위해서는 시스템엔지니어링의 논리적 대안과 물리적 대안을 개발하여 시스템요구사항과 관계성을 확인하는 연구가 필요하다. 이와 함께 환경플랜트 설계업무 관점에서 입찰안내서와 기본설계서간의 관계를 공정설계뿐만 아니라 기계, 배관, 전기, 계장, 토목/건축설계 분야로 확대하는 연구가

추가되어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부 엔지니어링전문대학원 지원사업(No.H2001-13-1001)의 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Choi, M.K. and Son, S.S., A Comparative Study on the Orgalime's General Conditions for Turnkey Contracts and FIDIC's Silver Book, Journal of Korean Research Institute of International Commerce and Law, Vol.23. pp.129-153, 2002.
2. FIDIC(The International Federation of Consulting Engineers), Conditions of Contract for EPC Turnkey Projects(Silver Book), International Federation of Consulting Engineering. 1999.
3. Helmus, F.P., Process Plant Design - Project Management from Inquiry to Acceptance. KGaA, Weinheim, Wiley VCH, pp.13-36, 2008.
4. ICAK(International Contractors Association of Korea), Information Service, Advice & Support, http://www.icak.or.kr/sta/sta_0101.php, access time: 2014.10.13. am 10:00.
5. Ki, W.W., Kim, J.P., Hong, D.G. and Suh, S.H., A study on Application of Systems Engineering Technical Process to FEED in Plant construction Industry - focused on a case of Environmental plant, Journal of the Korea Society of Systems Engineering, Vol.9, No.2, pp.37-54, 2013.
6. Kim, H.J., An Analytical Study on Contractual Issues and Risk Allocation in Design-Build and Turnkey, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.26, No.8, pp.79-86, 2010.
7. Kim, K.O. and Kim, D.H., A Study on Some Issues of Business and Law in relation to ICC Model Turnkey Contract - Focusing on ICC Model Contract for Turnkey Supply of Industrial Plant, Journal of Korean Research Institute of

- International Commerce and Law, Vol.54, pp.191-211, 2012.
8. Kim, S.M., A Study on Risk Analysis and Relevant Measures for the Successful Performance in Overseas Construction Projects – Including Case Analysis on A Overseas Construction Project, Journal of Korean Research Institute of International Commerce and Law, Vol.50, pp.215-250, 2011.
 9. Kim, S.Y., Cha, J.M., Kim, J.P., Suh, S.H., Sur, H.W., 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.1-16, 2014.
 10. Koh, H.S., Risk Analysis of Contractual Provisions for EPC/Turnkey Projects : Contractor's Liability Position, Master thesis, Pohang University of Science and Technology, 2014.
 11. MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), Current state of amount of order for overseas construction project, <http://http://korealand.tistory.com/4089> access time: 2014.10.13. am 10:00.
 12. Noble, P.J., Process Plant Construction – A Handbook for Quality Management, West Sussex, UK, Wiley & Blackwell pp.1-10, 2009.
 13. Oh, W.S. and Kim, Y.I., A Case Study on the Limitations of the Choice of Law caused by Internationally Mandatory Rules in Entering into the Turn-Key Contracts, Journal of Korean Research Institute of International Commerce and Law, Vol.54, pp.145-166, 2012.
 14. Oh, W.S. and Lee, K.O., A Study on the Practical Suggestions in the Contract for the Turnkey Supply of an Industrial Plant – Focused on the Commentary of ICC Model Contract, Journal of Korean Research Institute of International Commerce and Law, Vol.53, pp.3-29, 2012.
 15. Yoo, H.S. and Lee, J.H., Plant Engineering and Project Management, Koera Institute of Plant Engineering and Construction, Seoul, Korea, 2009.