

## 해외 발전플랜트 EPC 사업의 리스크 분석 및 관리방안

박 의 승, 유 호 선\*, 이 재 현\*\*†

삼성물산(주) 건설 부문, \*승실대학교 기계공학과, \*\*한양대학교 기계공학부

### Management in the EPC Business for Overseas Power Plant Projects

Euiseung Park, Hoseon Yoo\*, Jae-Heon Lee\*\*†

Samsung C&T Corporation, Seoul 137-071, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea

\*\*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**ABSTRACT :** In this work, risks in EPC project for overseas power plant projects are analyzed and risk management methods are suggested to reduce cost and to shorten time. 79% of risks occurred in the engineering phase for S project located in South-East Asia. The impact scales of risks on major project objectives which are cost, time, scope, and quality are analyzed as 3.5, 3.8, 2.7, and 3.7, respectively. The level of impact scales is very similar to each other except the impact scale of scope. The risk management methods suggested in this study have to be applied at the appropriate time to manage risks effectively. After that, risks are managed continuously by monitoring.

**Key words :** overseas power plant(해외 발전플랜트), EPC project(EPC 사업), risk(리스크), impact scale(영향도), management method(관리방안)

#### 1. 서 론

2000년대 이후부터 세계 플랜트 시장은 급속히 증가하고 있다. 발전플랜트 사업 분야도 규모가 대형화되고 있으며, 발주형태도 설계와 시공의 분할발주(piece meal) 형태에서 일괄발주(turnkey) 방식으로 변화되고 있다. 이러한 상황으로 인해 EPC 사업 수행능력의 중요성은 날로 높아져 가고 있다. EPC 사업이란 발주자가 제시한 용량 및 납기 등의 기본조건을 기준으로 주계약자인 EPC 사업자가 설계(engineering), 구매조달(procurement), 시공(construction) 및 시운전 등 건설 전 과정을 책임지고 일괄 수행하는 것이다.

사업을 진행함에 있어 대부분의 경우 시간과 정보가 한정되어 있는 상황에서 의사결정을 해야만 한다. 이로 인한 불확실성에 의해서 위험이 발생할 수

있기 때문에 사업 진행 시 내려야 하는 의사결정은 매우 어렵다. 여기서 말하는 불확실성 또는 위험이라는 용어가 바로 리스크를 의미한다고 볼 수 있다.

리스크 관리는 1960년대부터 보험이나 금융 산업을 중심으로 보험가입자의 리스크를 분석하여 보험요율을 산정하거나 금융대출 위험을 분석하는데 활용되어 왔다. 리스크 관리가 서구의 건설 산업에 본격적으로 도입된 것은 1980년대로 알려져 있다. 현재는 대부분의 해외 EPC 사업자는 EPC 사업에 내재된 공기, 비용 및 안전에 관한 리스크 분석에만 머물지 않고 사업 초기 단계부터 리스크를 감안한 사업성을 분석하거나, 입찰참가 의사결정 단계에서 합리적인 의사결정을 지원하는 경영수단으로 리스크 관리를 활용하고 있다. 효율적이고 효과적으로 해외 발전플랜트 EPC 사업의 리스크를 관리하기 위해서는 영업 및 수주 단계에서부터 사업 종료 시까지의 프로젝트 라이프 사이클(project life cycle) 동안에 발생하는 리스크 인자의 식별, 분석, 보고 및 관리에 대한 책임소재 및 관리절차를 명확히 해야 한다. 이를 위해 리스크 관리에 대한 연구가 필요하다.

† Corresponding author

Tel. +82-2-2220-4425; Fax. +82-2-2220-4424

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

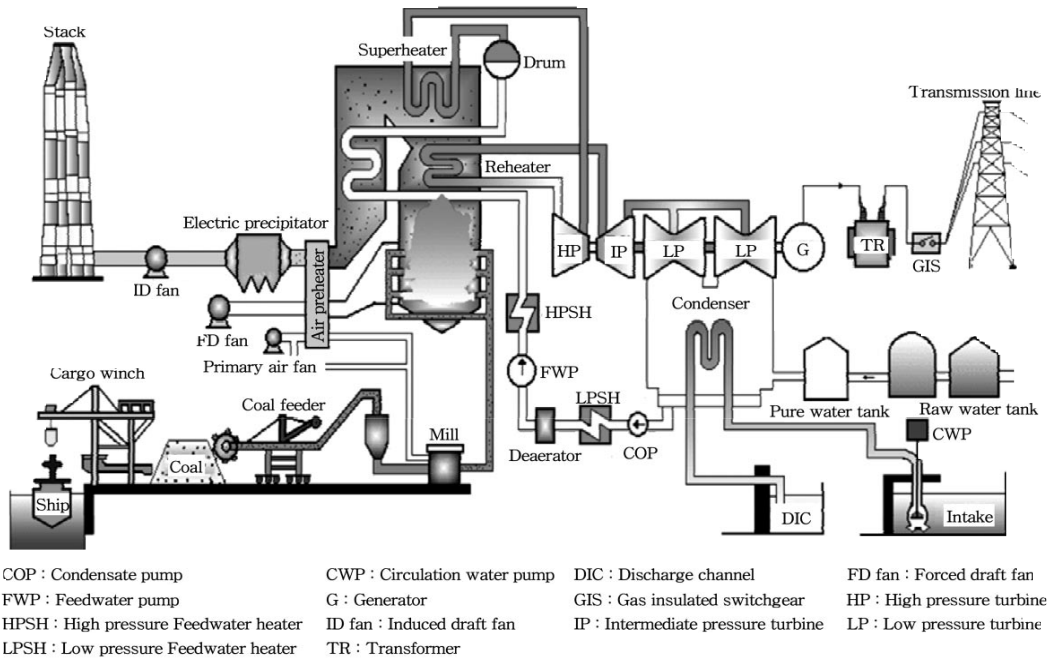


Fig. 1 Schematic diagram of a coal fired thermal power plant

본 연구에서는 해외 발전플랜트 EPC 사업의 사례 분석을 통해 수행 단계별 리스크 발생비율을 분석하고, 각 단계별 리스크 발생사례를 소개하였다. 해외 발전플랜트 EPC 사업 리스크의 관리방안을 체계적으로 제시하기 위해 사업 단계별 리스크 인자를 도출하였다. 그리고 각 리스크 인자가 사업의 주요 목표인 비용, 공기, 수행범위 및 품질 등 4가지 관리항목에 미치는 영향도를 분석하고, 각 리스크 인자에 대한 관리방안을 제시하였다.

## 2. 발전플랜트 EPC 사업

### 2.1 발전플랜트 개요

화력발전이란 열에너지를 변환해서 전기에너지를 얻는 방식의 총칭이다. 일반적으로는 연료를 연소시켜서 발생한 열에너지로 물을 끓여서 고온고압의 증기로 바꾸고 이 증기가 갖는 에너지로 증기터빈 발전을 회전시켜서 전기를 생산한다.<sup>[1]</sup> 화력발전소는 보일러, 터빈 및 발전기로 구성되는 주기와 냉각수계통, 연료공급계통, 전기설비, 환경설비, 제어설비등과 같은 보조설비 그리고 그 외에 부속건물과

연료 및 용수 저장시설 그리고 보안시설로 구성된다. 화력발전플랜트의 구성도를 Fig. 1에 나타내었다. 화력발전플랜트에서는 연료의 연소로 발생하는 열에너지를 기계에너지로 변환하여 이것으로 발전기를 회전시키고 있는데, 이 에너지의 변환에는 수증기가 매체로써 사용되고 있다. 보일러에서 가열되어 발생한 증기는 보일러 내의 과열기에서 과열되어 내부에너지가 증가되고 고온고압의 과열증기로 되어 터빈에 보내진다. 이 고온고압의 과열증기가 터빈에서 팽창함으로써 날개차를 돌려 기계적인 일을 하게 된다. 이 결과 저압저온으로 된 증기는 복수기에 보내져서 응축되어 물로 된다. 이 복수는 급수펌프로 다시 보일러에 압입되어 다시 위의 과정을 되풀이하게 된다.<sup>[1,2]</sup>

복합발전플랜트의 구성도를 Fig. 2에 나타내었다. 복합화력발전소는 화력발전과 달리 스팀터빈, 가스터빈 및 배열회수보일러(HRSG; heat recovery steam generator) 등으로 구성되어 있다. 복합발전플랜트에서는 가스터빈에서 연소 후 생성된 열에너지를 배열회수보일러에서 회수하고, 배열회수보일러에서 발생한 증기로 스팀터빈을 구동시킨다. 복합

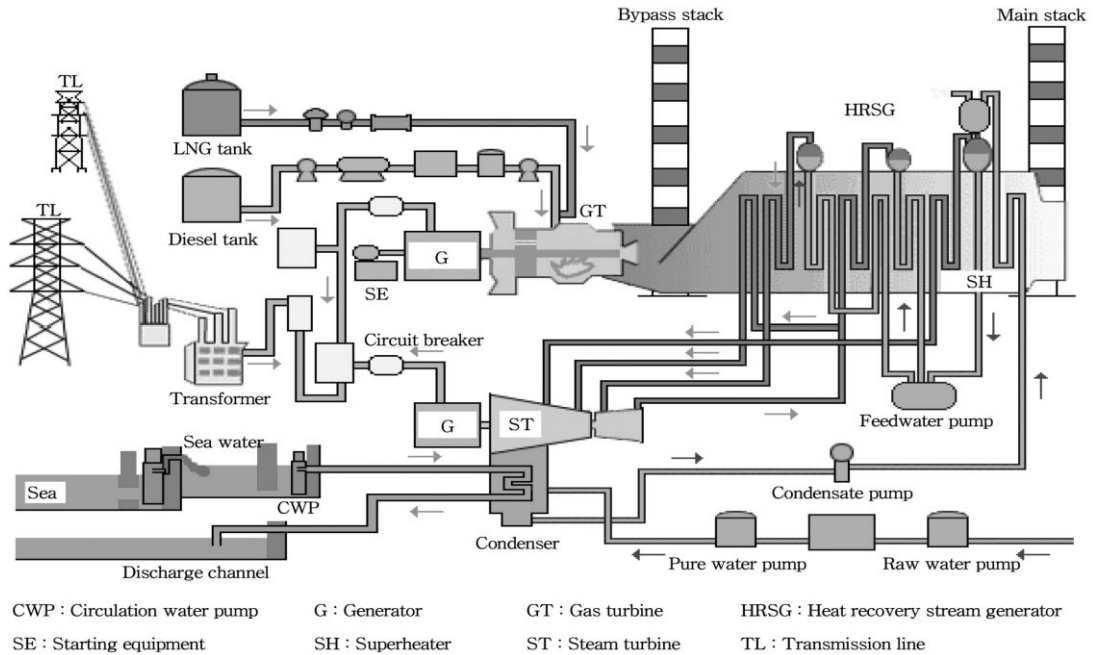


Fig. 2 Schematic diagram of an LNG fueled combined cycle power plant

발전플랜트는 화력발전플랜트에 비해 기동성이 좋고, 부하변동에 따른 속응성이 우수하다. 그리고 주요 구성품이 모듈화되어 있어 설치가 쉽고 건설기간이 짧다.

### 2.2 발전플랜트 EPC 사업의 수행절차

발전플랜트 사업의 수행 흐름도를 Fig. 3에 나타내었다. 발전플랜트 사업은 성능을 결정하는 주기기 선정에서부터 시작하여 선정된 주기기 공급사 (vendor)의 설계 데이터를 바탕으로 보조설비와 토목 및 건축물의 기본설계 및 상세설계를 수행한다. 주기기는 제작 및 공급기간이 매우 길기 때문에 사업은 설계, 구매조달 및 시공을 동시에 수행하는 신속트랙 (fast track) 방식으로 진행된다. 신속트랙 방식을 채택하면 전체공기를 단축시킬 수 있으나 설계과정에서 일부 변경 사항이 발생할 수밖에 없고, 그에 따른 공중간 설계 불일치 및 누락사항 발생 등의 문제가 야기될 수 있다.<sup>[3]</sup>

주기기 설치와 병행하여 보조설비도 설치된다. 설치공사는 수압시험을 끝으로 마무리된다. 시운전 단계에서는 단위기기, 계통별기기 및 제어계통 성능을 확인한 후 최초점화, 스팀 블로잉 (steam blowing)

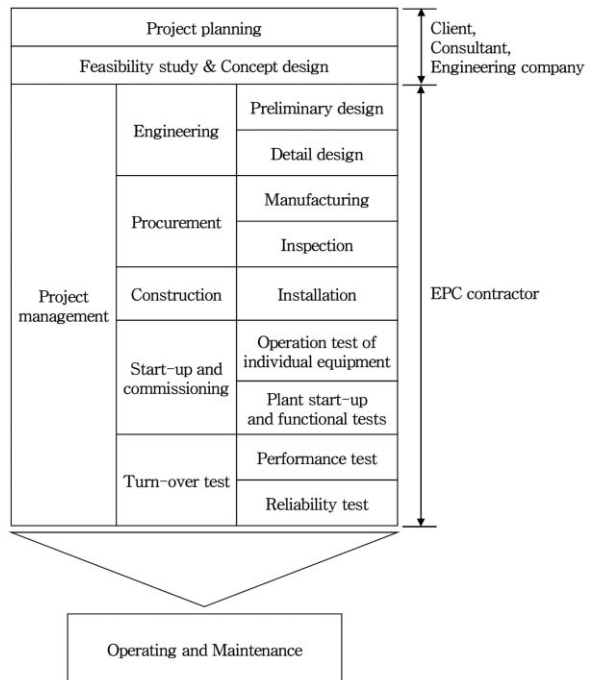


Fig. 3 Flow diagram of a power plant project process

과 터빈회전시험을 거쳐 전기를 생산하여 계통 병입을 시행하고 제어의 최적화과정을 거치는 종합시운전을 실시한다. 이후 성능검증작업으로 최대 정격출력으로 24시간 연속 운전하는 최초부하시험과 발주자의 요구에 따라 1주에서 1개월 동안의 신뢰도 시험을 통과하면 발전플랜트 EPC 사업은 완료되며 이후 상업운전을 개시한다.

### 2.3 발전플랜트 EPC 사업의 특징

발전플랜트 EPC 사업의 수행과정은 계약내용에 따라 일괄수행 방식과 분할수행 방식으로 구분된다. 과거에는 시공단을 별도로 분할발주하였으나 공종간 간섭(interference and interface), 책임소재의 불분명 및 공사 관리의 복잡성 등의 문제로 최근에는 일괄수행 방식으로 발주하는 추세이다. 발전플랜트 EPC 사업에서 설계, 기자재구매조달, 시공 및 시운전 등을 거쳐 완공된 시설은 국제규격에 적합하게 건설되어야 하며, 발전량 및 효율에 대한 성능이 보증되어야 한다.

발전플랜트는 Fig. 4와 같이 발전방식에 따라 화력, 지열, 태양열 및 원자력 등으로 구분되며 원자로, 보일러, 터빈 및 발전기 등의 주기는 공급사의 제작기술과 능력에 따라 효율과 성능이 좌우된다. 즉, 플랜트 전체의 성능 및 생산원가는 주기기 성능에 따라 크게 좌우되는 것이다. 주기기 공급사에서 직접 EPC 사업을 수행하는 경우를 제외하면 대부분의 EPC 사업자는 기본설계와 플랜트 성능에 대하여 주기기 공급사에 대한 의존도가 매우 높은 특징을 가지고 있다.

발전플랜트 EPC 사업의 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계별 소요비용의 비율과 각 단계에서의 업무수행이 공기와 품질에 미치는 영향을 Fig. 5에 나타내었다. 설계 단계에 소요되는 비용은 전체 사업

비의 15%전후 수준이나, 설계 단계에서의 업무수행이 공기에 미치는 영향은 20%, 발전플랜트의 품질에 미치는 영향은 60%로 사업 초기 단계가 전체 사업에 미치는 영향이 크다. 하자 및 재작업 비용을 줄이고, 원가와 공기를 절감하여 이익을 극대화시키기 위해서는 EPC 사업 초기 단계에서부터 사업관리를 체계적으로 수행하여야 한다.

### 3. 해외 발전플랜트 EPC 사업의 리스크 발생사례

본 연구에서는 발전플랜트 EPC 사업을 일괄수행 방식으로 수행하는 전체 과정을 검토대상으로 하고 리스크로 제기되는 항목들에 대해 공사 단계별로 검토하였다. 검토방법에는 공사 수행 요소별로 검토하는 방법과 공정에 따라 단계별로 검토하는 방법이 있다. 공사의 단계별이라 함은 수주 후 수행과정을 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 등으로 구분하는 것을 의미한다. 공사 수행 요소별이라 함은 공사 추진에 필요한 자원요소 즉, 도면 및 사양서, 기자재 및 건설용 자재, 건설장비, 건설인력, 공사자금 그리고 현지여건 등을 의미한다.

리스크는 '수익성이나 건설사업의 사업비 또는 공기 등에 영향을 주는 모든 불확실한 요소'를 뜻하며 이와 비슷한 개념으로는 손해, 위태 및 손실 등이 있다. EPC 사업의 특성상 지역에 따라 리스크 발생 종류 및 대응방안이 상이할 수 있다.<sup>[4]</sup>

본 연구에서는 동남아 S프로젝트 복합화력발전플랜트 사업을 사례로 발전플랜트 EPC 사업의 리스크 발생에 따른 문제점, 발생원인, 조치사항 및 고려사항에 대해 조사하였다. S프로젝트의 경험자료를 분석한 결과 총 111건의 리스크가 발생되었으며, 공종별 리스크 발생 비율을 Fig. 6에 나타내었다. 설계

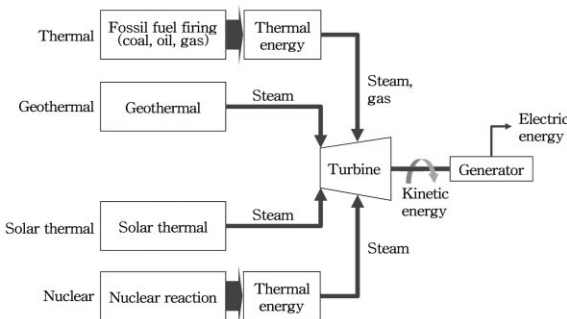


Fig. 4 Electricity generation process

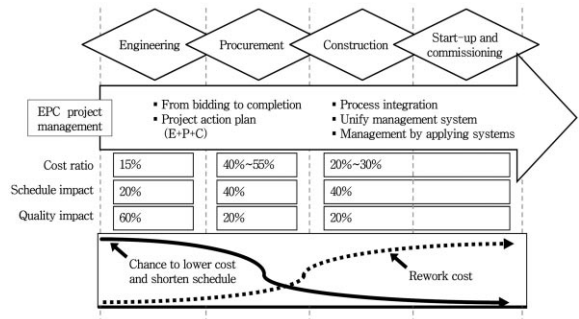


Fig. 5 Influence of each EPC project phase

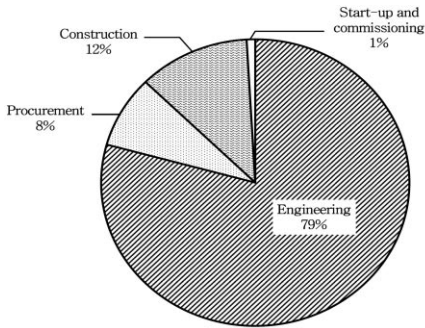


Fig. 6 Percentage of risks according to each project phase in S project

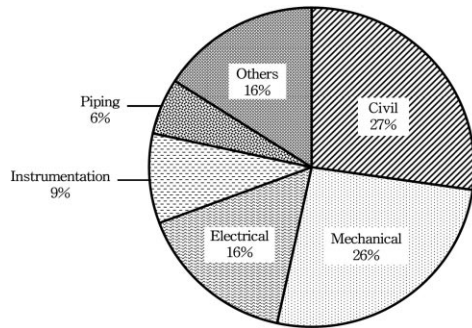


Fig. 7 Percentage of risks according to each branch of engineering in S project

단계에서는 전체 리스크 발생건수의 약 79%에 해당하는 88건의 리스크가 발생되었고, 구매조달 단계 9건(8%), 시공 단계 13건(12%), 그리고 시운전 단계에서는 1건(1%)의 리스크가 발생되었다. 위 결과에 의하면 리스크 관리에서 설계 단계가 차지하는 중요성은 매우 높다고 할 수 있다.

설계분야별로 리스크를 세분화하여 Fig. 7에 나타내었다. 설계분야별 리스크 발생건수는 토목설계분야 24건(27%), 기계설계분야 23건(26%), 전기설계분야 14건(16%), 계장설계분야 8건(9%), 배관설계분야 5건(6%) 그리고 기타설계분야 14건(16%)인 것으로 분석되었다. 설계 단계에서의 리스크는 토목설계와 기계설계에서 주로 발생하는 것으로 나타났다.

동남아 S프로젝트 복합 화력발전플랜트 사업에서 발생되었던 111건 리스크 중 일부사례를 공사 수행 단계별 및 설계분야별로 다음에 소개하였다.

### 3.1 설계분야별 리스크 발생사례

#### 3.1.1 토목설계 리스크 발생사례

입찰 시 반영하였던 취배수 계통 관로의 변경이 발생되었다. 이는 부지가 협소하고 계획 관로에 기존의 고압증기 배관 등의 지장물로 인한 터파기 공사의 어려움으로 공사비 증가가 예상되었기 때문이다. 문제해결을 위해 일부 시공순서를 조정하였으며, 이로 인해 예상치 못하였던 변압기 설치 등을 위한 작업이 주공정(critical path)으로 작용하였다. 간섭사항은 시뮬레이션 후 시공 계획에 반영하였다. 이와 같은 문제의 재발을 방지하기 위해서는 취배수 계통의 설계를 조기에 착수하여 예상 문제점을 도출하고, 단계별 시공계획 시 관련 분야의 전문의견을 정확히 반영해야 한다.

#### 3.1.2 기계설계 리스크 발생사례

기계설비 지역에 설치한 천정형 환기설비로부터 소음기준을 크게 상회하는 소음이 발생하였다. 계약 조건에 환기만을 하는 실은 일률적으로 소음기준 45dBA를 적용하는 것으로 되어 있으나, 이는 조용한 사무실 등에 적용하는 소음기준이어서 작업장에 적용하는 것은 무리가 있었다. 그러나 적정 소음기준에 대해 사전 확인을 하지 못하였고, 소음문제가 고려되지 못한 채 많은 소음이 발생하는 천정형 환기설비가 선정되었다. 이 문제는 소음기준치를 적정 수준으로 조정하고, 각 천정형 환기설비에 소음기를 설치하여 해결하였다. 이와 같은 문제의 재발을 방지하기 위해서는 적합한 소음기준을 적용하도록 계약 시 또는 설계승인 단계에서 발주자와 확인을 하고, 협력업체(subcontractor)에게 장비 선정 시 요구되는 소음기준을 명확히 제시하여야 한다.

#### 3.1.3 전기설계 리스크 발생사례

주기기 공급사의 설계에 따라 개방구역인 가스스키드(gas skid) 상부에 가스 검출기를 설치하는 것으로 설계하였다. 현장 시공 시 검출기 설치가 불가능하였으며, 설치를 하여도 바람 등의 영향으로 감지가 불가능할 것으로 예측되었다. 이는 현장 상황을 충분히 고려하지 않고 주기기 공급사의 설계만을 고려하여 설계하였기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해 가스 누출의 우려가 있으면서 폐쇄구역인 운전실 및 보일러실로 설치위치를 변경하는 것으로 발주자와 협의하여 설치하였다. 이와 같은 문제의 재발을 방지하기 위해서는 사전 설계 시 계약사항을 바탕으로 사전 현지조사를 실시하여 현장 상황을 충분히 고려하고 이를 설계담당자와 협의하여 설계에 반영시켜야 한다.

### 3.1.4 계장설계 리스크 발생사례

냉각수펌프의 발산열로 인하여 제어기 오동작 및 고장이 발생하였다. 이는 환기팬이 설치건물 상부에만 설치되어 있기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해 추가 환기팬을 설치하여 설치건물 내 온도를 설계 제어온도 이하로 낮추었다. 향후 유사 사업 수행 시에는 경험자료를 활용하여 문제 발생을 사전에 방지해야 한다.

### 3.1.5 배관설계 리스크 발생사례

주증기 배관의 수압시험을 위하여 공기배출용 밸브를 임시용 탄소강밸브로 설치하여 수압시험 수행 후 절단하고 밀봉 처리하였다. 수압시험 후 실시한 증기세척 시 밸브를 절단하고 밀봉 용접 시 용접 불순물이 배관 내부에 잔재하여 일부 주밸브의 불순물이 100% 제거되지 않았다. 수압시험 후 밸브를 절단하여 재용접을 하였으므로 발주자는 다시 수압시험을 해야 한다고 지적하였다. 이 문제를 해결하기 위해 밸브절단 및 내부 세척 처리 후 재설치 하였으며, 비파괴 시험을 적용하여 일부 추가 용접으로 인한 별도 수압시험을 수행할 필요가 없다고 발주자를 설득하였다. 이와 같은 문제로 인해 비용증가가 발생하므로 차후에는 주요라인 관련 밸브는 임시용 밸브가 아닌 운전용 밸브를 설치하여야 한다.

### 3.2 구매 단계 리스크 발생사례

증기터빈과 응축기를 연결하는 컴펜세이터(compensator) 볼트 구멍 불일치가 발생하였다. 이는 주기기 공급사에서 컴펜세이터 공급사에 증기터빈과 응축기 상세도면 제공 시 현장 설치 기준을 제공해야 했으나, 다른 기준의 증기터빈과 응축기 도면을 제공하였기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해 주기기 공급사에서 이미 설치된 컴펜세이터를 신규 발주하였고, EPC 사업자는 시공 지연일수로 클레임(claim)을 신청하였다. 향후 EPC 공사 수행 시 상기 품목을 발주할 때, 주기기 공급사는 증기터빈과 응축기 도면을 정확하게 제공해야 하며 EPC 사업자는 제공받은 도면의 검토 및 관리를 강화하여 리스크가 발생되지 않도록 하여야 한다.

### 3.3 시공 단계 리스크 발생사례

배관 트렌치(trench) 내부의 수위(level)와 주변에 있는 기존 우수배출 트렌치(storm water drain trench) 수위 간 차이가 없어 배수가 원활하게 되지 않고, 기존 우수배출 트렌치 내부에 흙이 쌓이거나,

배관 트렌치의 배수구가 모래 또는 흙 등으로 막히는 경우가 있어 배관 트렌치 내부의 배관이 물속에 잠기게 되는 문제점이 발생하였다. 이는 기존 우수배출 트렌치 수위와 신설 배관 트렌치 수위를 정확히 고려하지 못하였기 때문이다. 특히, 배관 트렌치 내부에 설치된 배관에 배출구 등이 설치되어 있는 경우에는 유지보수 공간 등을 고려하여 트렌치 수위를 선정했어야 했으나 이를 충분히 고려하지 못하였다. 이 문제를 해결하기 위해 트렌치 덮개를 지지하고 있는 트래픽빔(traffic beam)의 크기를 일부 조정하여 배관 트렌치 내부의 배관을 최대한 위로 들어 올렸으며, 일부 배관 트렌치와 우수배출 트렌치 사이 벽체를 제거하여 배수가 원활히 되도록 하였다. 이와 같은 문제의 재발을 방지하기 위해서는 기존 공장 내부 또는 인근에 배관 트렌치를 설치할 경우 배관 트렌치 보다는 배관랙(pipe rack)을 이용하도록 관통을 고려하는 것이 적합하다.

## 4. 해외 발전플랜트 EPC 사업의 리스크 인자 및 관리방안

리스크 관리는 EPC 사업자나 발전플랜트 사업의 불확실한 요인을 과학적으로 분석하고 사업에 미칠 영향을 예측하여 사전에 대비함으로써 기업이윤을 최대화시키는 것을 목적으로 한다.<sup>[4,5,6]</sup> 발전플랜트 EPC 사업에서 원가를 절감하고 공기를 단축시키기 위해 공사비나 공사기간에 내재되어 있는 여러 리스크 요인을 사전에 찾아내고 그 영향 정도를 예측하여 그 원인에 따라 이를 서로 분담시키는 새로운 관리가 필요하다. 이러한 프로젝트 관리의 새로운 체계를 뒷받침하기 위한 중요한 수단 중의 하나가 바로 '리스크 관리'라고 할 수 있다.

리스크가 사업에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해, 각 리스크 인자를 사업의 주요 목표인 비용(cost), 공기(time), 수행범위(scope) 및 품질(quality) 등 4가지 관리항목에 미치는 영향도에 따라 살펴보고자 한다.<sup>[7]</sup> 리스크 인자에 따른 영향도를 5등급으로 구분하여 Table 1에 나타내었다. 리스크가 각 관리항목에 미치는 영향도가 1등급인 경우 해당 관리항목에 미치는 영향이 미미한 것이고, 5등급인 경우 해당 관리항목에 미치는 영향이 매우 높은 것이다.

### 4.1 설계 단계

발전플랜트는 일반적으로 주기기 공급사에서 주기

Table 1 Impact scales of risk factors for four project objectives

Project objectives	Impact scale				
	Level 1 (very low)	Level 2 (low)	Level 3 (moderate)	Level 4 (high)	Level 5 (very high)
Cost	1	2	3	4	5
Time	1	2	3	4	5
Scope	1	2	3	4	5
Quality	1	2	3	4	5

기에 대한 기본설계를 수행하고 EPC사는 발전소 전체에 대한 기본설계 및 상세설계를 수행한다. 설계 분야의 문제는 후속공정에 큰 영향을 미친다. 설계 단계의 리스크 인자는 Table 2에 나타낸 것과 같이 설계 기준에 대한 자의적인 해석, 현지사정을 고려하지 않은 설계, 주기기 자료확보 지연, 검증되지 않은 시스템 설계 적용 그리고 현장 설계자의 부재 등이 있으며, 각각의 리스크 인자에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

4.1.1 설계 기준에 대한 자의적인 해석

계약서의 규격 및 표준(code and standard) 관련 조항에는 계약 이행과정에서 기준으로 하여야 할 목록이 명기되어 있고, 해당 제품마다 관련협회의 적용기준이 있다. 공인된 자료들은 수많은 보완과정을 거쳤으므로 설계 적용 시 리스크가 적을 뿐만 아니라, 적용 후 발주자와의 협의과정에서 설득력을 가질 수 있다.

설계 엔지니어가 계약관련 서류에 불명확한 규격과 표준 적용에 대해 개인적인 경험을 토대로 하여 자의적으로 해석하는 경우, 이로 인해 기기 오제작 및 기준위반 등으로 인한 시공 중지 등의 심각한 상황이 발생될 수 있다. 특히 이러한 리스크는 공급사 품목에서 많이 발생하게 되는데, 미승인 규격으로 제작되는 경우 재구매 및 수정작업으로 비용증가 및 공정지연이 발생하게 된다. 법적 허가사항과 관련된 건축물, 소방 및 환경설비의 경우 계약서 조건보다 해당 국가 및 기관의 법령이 우선시 된다. 이로 인해 해당국가 및 기관의 법령 위반 시 사용승인 및 준공이 불허되는 리스크가 발생될 수 있다. 이와 같은 리스크를 관리하기 위해서는 계약서 작성 시 적법한 규격 및 표준을 적용하도록 협의하고, 계약이행 단계에서는 설계 엔지니어가 관련국가의 규격 및 표준을 숙지하여 설계에 반영해야 한다.

Table 2 Risk factors and management methods in engineering process

Risk factors	Impact scale*		Management methods
Arbitrary Interpretation of Design Criteria	C	5	- Discuss and decide the appropriate codes and standards during project initiation with a client - Full understanding of codes and standards of the relevant country and reflection of the appropriate codes and standards
	T	5	
	S	3	
	Q	5	
Design without consideration of site conditions	C	5	- Obtaining of the precise site condition data such as weather, available water, topography, electric power and fuel. - Investigation of available manpower and equipment in the field
	T	5	
	S	5	
	Q	5	
Delay of obtaining main equipment data	C	4	- Specify the submission date of engineering documents in the contract - Specify indemnification in the main equipment supply contract for rework cost due to document revisions
	T	5	
	S	2	
	Q	3	
Apply unverified systems for engineering	C	5	- Use of the verified engineering of existing similar or same plant after modification according to the site condition
	T	2	
	S	2	
	Q	5	
Absence of field engineer	C	2	- Dispatch the appropriate engineers to the field according to the master schedule.
	T	5	
	S	2	
	Q	5	

4.1.2 현지 사정을 고려하지 않은 설계

설계가 유사한 발전플랜트라도 설치될 지역 및 장소에 따라 설계에 적용되는 기준이 다르므로, 설치되는 지역의 현지 사정을 고려하여 발전플랜트를 설계하여야 한다. 기존 수행사업과 유사한 발전플랜트도 현지 사정에 따라 설계 변경이 불가피하며 정확한 현지 자료를 확보하는 것이 설계 진행에 있어 아주 중요하다. 현지 자료가 확보되지 못하면 설계가 진행되는 도중 자료 확인을 위한 설계 지연 리스크가 발생될 수 있다.

현지 사정을 유추하여 적용할 경우 재설계 리스크가 발생된다. 현지 사정이라 함은 기상기초, 용수공급, 해당지형, 전력공급 및 연료공급 관련자료 등 프로세스 설계의 기초자료를 의미한다. 또한 해외 사업에서 현지 인력의 낮은 시공능력이나 장비조달 등도 설계 시 고려되어야 한다. 우기에 강수량이 많

고 배수가 용이하지 못한 기후와 부지여건을 고려치 않고 지하시설을 많이 구축할 경우도 침수로 인한 피해를 입을 수 있으며, 현지 인력의 숙련도나 장비조달 여부를 고려하지 않고 난이도가 높은 공사를 수행하는 것은 하자과 공기지연의 원인이 될 수 있다.

#### 4.1.3 주기기 자료 확보 지연

발전플랜트 설계는 한마디로 주기기의 최고 성능을 발휘하기 위한 최적 설비를 구성하는 것이다. 주기기의 자료를 적기에 확보하지 못하면 설계가 지연되고, 이로 인해 공기가 지연되는 리스크가 발생된다.

발전플랜트 EPC 사업자는 주기기 공급사의 설계 일정을 특별히 관리하여야 한다. 주기기를 구매할 때는 반드시 설계 자료 제출일정을 명시하고, 자료 제출을 금액 지불조건에 연계시켜야 한다. 그리고 주기기 자료 변경 시에 파생되는 연계 시스템의 설계변경 및 보조기기 수정비용에 대한 보상도 공급조건에 명시하여야 한다. 만약 주기기를 발주자가 직접 구매하여 공급할 경우에는 주기기 자료제공 시점을 계약서에 명시하여 적기에 원활한 설계가 진행될 수 있도록 해야 한다.

#### 4.1.4 검증되지 않은 시스템설계 적용

주기기의 성능조건이 확정되면 이 조건을 맞추어 줄 수 있는 시스템설계(system engineering)를 진행하여야 한다. 검증되지 않은 시스템설계를 적용하면 성능부족의 리스크가 발생할 수 있다.

시스템설계 시 주요 보조기기의 종류, 용량 및 수량 등이 정해지면 계통별 평형도(heat and material balance)와 계통 흐름도를 작성한다. 이 흐름도의 기본은 모든 계통내의 정해진 지점에서 물질의 유입량과 유출량이 같아야 한다는 것이다. 계통별 평형도에는 모든 기계장치의 입출구와 배관망 분기점에서의 상태를 표기하여야 하고 일반적으로 엔탈피, 유량, 압력 및 온도가 표기 내용에 포함된다. 이 흐름도가 완성되면 기계장치의 종류, 용량, 수량 및 배관망의 직경 및 재질 등이 결정된다.

플랜트 전체를 관장하는 프로세스 계통의 용량을 정할 때에는 주기기의 요구 조건만을 기준으로 하지 말고 보조기기 계통의 수요량도 감안하여야 한다. 설계 준비 단계에서 확보한 유사 또는 동일 플랜트 자료를 기준으로 해당 시스템의 주기기 소요량에 대비한 보조기기계통의 소요량의 비율을 알 수 있다.

시스템설계는 기기장치의 종류, 용량, 수량 및 배관망의 크기 등을 결정하므로 공사비의 증감에 아주 결정적인 기능을 한다.

플랜트의 설계는 연구개발이 아니라 이미 개발된 설계를 활용하는 것이다. 활용한다는 것은 이미 검증된 설계를 현장 여건 등에 의해 일부분만 수정하여 사용한다는 의미이다. 플랜트가 건설되면 상호 연계되어 운전되기 때문에 여러 가지 조건하에서 요구되는 성능이 나와야 한다. 기존 유사 또는 동일한 플랜트의 설계는 이러한 조건들에서 성능이 검증된 자료이므로 설계로 인한 리스크를 최소화할 수 있다.

#### 4.1.5 현장 설계자의 부재

아무리 완벽한 설계도 현장에서는 설계와 시공의 불일치 또는 변경이 요구되는데, 관련된 충분한 지식을 갖춘 현장 설계자(field engineer)의 신속한 조치가 매우 중요하다. 특히 시운전 단계에서는 문제점 파악과 대책수립을 위해 더욱 중요하다. 현장 설계자는 설계 조직과 현장 간의 조정역할이 아니라 실제적인 의사결정을 수행하는 역할을 할 수 있어야 지연요소를 최소화할 수 있으므로 공정분야에 따라 적절한 인원을 파견하는 것이 바람직하다.

### 4.2 구매조달 단계

구매조달 단계는 발전플랜트 EPC 사업 중 비용면에서 비중이 가장 크며 수익의 근원이 되기에 기술적 측면과 가격적인 측면을 모두 고려하여 최적의 구매품을 선정하여야 한다. 구매조달 단계에서의 리스크 인자는 Table 3에 나타난 것과 같이 주기기 공급사의 계약주도, 품질기준 미달, 납품지연, 기자재 검사 미숙, 선적확인 누락, 하자보수 지연, 기기공급사의 부실한 재무구조 그리고 준공관련서류 미비 등이 있으며, 각각의 리스크 인자에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

#### 4.2.1 기기 공급사의 계약주도

발전사업의 특성상 일반적으로 입찰 시부터 주기기 공급사가 선정되며, 주기기 공급사의 실적이 입찰참가 자격이 되는 경우도 있다. 기술력과 성능이 우수한 발전설비 공급사는 전 세계적으로 한정적이어서 계약조건의 주도권을 주기기 공급사가 갖는 경우가 많아 백투백(back to back)을 적용하는 것이 매우 어렵다. 그러나 주기기 공급사에서는 기수행사업들의 사례를 검토하여 성능시험기준을 포함한 성



능보증과 하자기준을 제시하고, EPC 계약조건과 동일하게 유지하여야 한다. 공사 수행과정에서 계약에 명시된 업체를 잘 다루지 못하면 공사비가 증가하는 리스크가 발생된다. 입찰과정에서 업체의 이름을 명시하여야 할 경우에는 해당 업체와 입찰 전에 최종적인 금액협상을 하여 상호합의서(MOU; memorandum of understanding 또는 FRR; first right of refusal)를 작성하여야 하고 추후 후에는 해당 업체를 우선구매대상 업체로 선정하여야 한다.

입찰설계(proposal engineering)는 자료도 부족하고 시간도 촉박한 상태에서 진행하였으므로 계약 후 실시설계에서 다소의 변화가 생길 수밖에 없다. 이 변화된 사양을 우선구매대상 업체에서 수용하면 리스크가 발생되지 않는다. 그러나 공급사들, 특히 외국계 공급사들은 부당한 금액을 요구하는 경우가 있다. 이미 그들은 자기들의 제품사양이 입찰서에 포함되어 있으므로 다른 업체에 발주하기 어렵다는 것을 알고 있고 이를 이용하여 입찰과정에서 타 업체와의 경쟁 때문에 반열치 못한 이윤을 최대한 반영하려 하는 것이다. 따라서 공급사 목록을 제출하는 경우에는 EPC 사업자의 승인된 공급사 목록(AVL; approved vendor list)상에 포함된 최소 3

~4개 정도의 목록을 제출하거나, 'OO사 또는 동등업체'로 기입하여 제출하는 것이 바람직하다. 물론 최종 경쟁결과 입찰서에 명시되지 않은 다른 업체가 경쟁력이 있을 경우에는 발주자 승인 조건부 구매대상 업체로 선정하고, 발주자 측에 업체변경 승인을 받아야 한다.

#### 4.2.2 보조기기의 품질기준 미달

발전플랜트의 핵심보조설비는 주기기 만큼이나 중요하다. 기술력이 검증된 업체에서 구매하여야 한다. 발전플랜트는 주기기 이외에도 송풍계통, 연료계통 및 냉각수계통 등에 사용되는 보조기기가 있는데 이 모두 고가의 장비로 통상 대체장비(stand-by)가 없어 고장 시 발전정지 및 발전량 감소운전으로 이어진다. 발전정지 및 발전량 감소운전 상황에서는 전력생산에 직접적인 차질이 발생되며, 계약조건에 따라서는 하자보증기간 내에서의 발전정지는 막대한 배상금을 지불해야 할 수도 있다.

구매품의 입찰서가 접수되면 협상에 들어가기 전에 기술평가를 실시한다. 기술평가는 해당 업체가 요구되는 성능의 기계, 전기장치를 공급할 능력이 있는지와 입찰 시 제시한 사양이 프로젝트 요구사항을 만족시키는지 평가하는 것이다. 구매품 기술평가 시에 납품실적이 없는 업체를 충분한 사전조사 없이 적격 판정하면 품질저하 및 납기지연의 리스크가 발생된다.

공급능력은 해당 업체의 제조설비, 기술인력, 자금능력, 기술자료 보유상태 및 국제공인자격 보유 등을 확인하여야 하며, 가장 중요한 것은 유사 또는 동일사양의 품목을 납품한 실적이다. 납품실적이 많을수록 수많은 검증절차를 통하여 보화된 제품이므로 믿을 수 있다. 특별한 사유가 없는 한 납품실적이 없는 업체는 납기가 지연되고 추가 비용이 발생할 수 있으므로 기술평가에서 제외하는 것이 플랜트 공사에서의 리스크를 줄이는 방법이다.

원가절감을 고려하여 발주자가 승인하지 않는 업체에서 구매를 하거나 패키지제품의 일부 주요부품에 미승인업체에서 공급한 물품이 포함되면, 제작도서(vendor print) 승인과정 또는 입고 시 문제가 발생하는 경우가 있으므로 최종구매결정 전에 이에 대한 확인이 반드시 필요하다.

#### 4.2.3 납품 지연

구매패키지 또는 품목을 발주한 후 납품 시점까지 기다리기만 하는 경우 납품지연 리스크가 발생할 수

Table 3 Risk factors and management methods in procurement process

Risk factors	Impact scale*		Management methods
Missing shipment validation	C	4	- Assigning packing box numbers - Shipping order to specific vessels - Preparing packing list at the vendor's warehouse
	T	5	
	S	2	
	Q	2	
Delays in maintenance and repair	C	5	- Making sure there is a local after sales network - Checking vendor's after sales organization
	T	5	
	S	2	
	Q	2	
Weak financial structure of vendor	C	3	- Inspecting vendor's financial status for each quarter after procurement contract. - Taking appropriate measures such as early delivery, cancellation, etc., if there are certain concerns
	T	5	
	S	3	
	Q	5	
Insufficient documents for completion	C	2	- Receiving relevant documents, instruction manuals and CAD drawing files from vendor.
	T	2	
	S	2	
	Q	5	

있다. 정해진 납기를 맞추기 위해서는 발주 후 설계 및 제작과정을 철저히 감독해야 한다. 구매담당 엔지니어는 구매발주서가 발급되면 가장 빠른 시일 내에 해당 업체를 방문하여 제작 착수회의를 주관하여야 한다.

해당 업체가 어떤 구조로 제품을 설계, 제작 그리고 납품하는지를 모르고서는 제대로 관리하지 못한다. 구매 단계별 점검 담당자 및 조직을 선정하여 주기적인 점검을 통해 적기에 필요한 품질의 제품을 공급하는데 필요한 항목들을 협의하고 이와 관련된 업체의 실태를 인지함으로써 공급사를 효과적으로 관리할 수 있다.

#### 4.2.4 기자재 검사 미숙

기자재의 제작이 완료되면 각종 부품을 조립하여 공장검수를 하게 된다. 공장검수에서는 치수, 형상 및 수량 등 외형적인 검사와 기계장치의 성능시험을 실시한다. 성능시험에서 가장 중요한 것은 기계가 전체 플랜트와 연계된 현장 조건 하에서 제대로 성능이 나오는지 확인하는 것이다. 그러나 현실적으로 현장의 운전조건에 맞게 설비를 갖추고 성능시험을 할 수는 없다.

성능 만족도는 공장검수에서 측정한 성능데이터를 공장의 시험조건에서 현장의 운전조건으로 변환(correction)시켜 예측한다. 이러한 변환 작업은 특수한 테이블과 도표(conversion table and correction table)를 이용하여 관련 전문가만이 할 수 있으므로 구매담당 엔지니어가 수행하기는 어렵다. 구매담당 엔지니어는 최종 공장검수 입회 시 시험설비의 사양 및 시험설비 출입구에서의 유틸리티 데이터(냉각수, 윤활유, 압축공기, 증기 및 연료 등의 온도, 압력 및 유량 등)를 반드시 확인하여 기록하여야 한다. 시험을 실시할 때의 기상학적 데이터(온도, 습도 및 대기압 등)도 기록하여야 한다. 성능시험 입회 시에 정확한 시험조건을 기록으로 남겨놓지 않으면 완공 후 성능문제가 생길 때에 책임을 분담해야 하는 리스크가 발생할 수 있다.

#### 4.2.5 선적확인 누락

선적 시에 패킹 리스트(packing list)와 실제 포장되는 기기를 확인하지 않으면 현장 도착에 누락자재가 발생되어 공기 지연 및 공사비가 증가되는 리스크가 발생할 수 있다. 공급사 패키지 중에 냉난방설비나 소방설비 등과 같이 여러 가지 기계, 전기 및 계측 제어 장비들로 구성되는 패키지들은 공급사가 여러 개의 하도급공급사(subvendor)를 거느리고 있고,

경우에 따라서는 외국의 하도급공급사를 가지고 있는 경우도 있다. 품목에 따라서는 선적 시에 공급사가 납품받아 검사 후 일괄 선적하는 것이 아니고 해당 하도급공급사의 공장에서 직접 선적하기도 한다.

일반적으로 공급사에서 패킹 리스트를 작성할 때 직접 포장한 사람이 작성하는 것이 아니고 박스별 선적될 내용물 목록을 포장 담당자에게 주고 패킹 리스트는 설계부서 엔지니어가 작성한다. 실제 포장을 하다보면 일부 박스는 공간이 부족하고, 또 일부 박스는 공간이 너무 많이 남게 된다. 포장 담당자는 무의식적으로 공간이 남는 박스에 물건을 옮겨 싣게 된다. 이러한 경우, 자재가 현장에 도착하였을 때 약간의 혼란은 있을 수 있으나 큰 문제는 안 된다. 그러나 선적되어야 할 품목들 중 박스 공간이 좁아 잠시 남겨 놓아두었다가 다른 박스에 넣지 않고 누군가에 의해 다른 장소로 치워져 선적 누락이 되는 경우에는 문제가 심각하게 된다. 패킹 리스트 서류상에는 해당 품목이 선적된 목록에 포함되어 있으나, 실제로는 선적되지 않게 되므로 문제를 해결하기가 어려워지는 것이다.

공급사에 따라서는 해당 품목을 다량 생산하여 하루에도 유사한 품목을 여러 구매자에게 발송하는 경우도 있다. 해당 품목들을 풀어 포장하다 보면 외형이 비슷한 품목을 바꾸어 선적하는 경우도 있다. 해외 공사에서는 이런 문제가 발생되면 쉽게 해결하지 못하는 경우가 많다.

다른 장소에서 생산된 품목은 공급사에서 하도급 공급사에 패킹 박스의 번호를 지정하고 특정 선박에 선적토록 지시하나, 패킹 리스트는 공급사의 사무실에서 작성된다. 드물게 하도급공급사에서 여러 가지 사정으로 공급사에서 지정한 선박에 선적하지 못하거나 다음 항차의 선박수배가 지연되는 경우도 있다. 그러나 공급사에서는 패킹 리스트 등 선적서류가 신용장의 지급조건을 충족하므로 계약금액을 수취하고 하도급공급사의 선적누락을 간과하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 자재가 현장에 도착하는 즉시 포장을 해체하여 누락 및 손상자재를 확인하지 않으면 후에 공기 지연 및 비용추가 리스크가 발생할 수 있다.

#### 4.2.6 하자보수 지연

자재는 운반, 설치, 시운전 시에 손상 및 하자가 발생될 수 있어, 신속한 조치를 위해서는 현지 또는 인근에 A/S망이 구축되어 있거나, 업체에 하자보수를 신속하게 조치하는 조직이 있는지 확인하여야 한다.

특히, 시운전 시 하자조치 지연은 상업운전지연과 같은 중대 계약 위반으로 이어질 수 있다.

#### 4.2.7 기기 공급사의 부실한 재무구조

발전플랜트뿐만 아니라 모든 사업에 있어 구매 계약 약된 업체의 파산 및 인수 합병 등은 정상적인 계약 이행에 지장을 주는 등 사업전반의 불안요소가 된다. 사내에 일정 기준을 마련하여 구매 시 적용하고 구매계약 이후에는 분기별로 업체의 경영 상태를 점검하고 사전관리 하여 문제발생이 우려될 시 조기납품 및 타절 등의 조치를 취하여야 한다.

#### 4.2.8 준공관련 서류 미비

자재가 납품되고 설치 및 성능검증이 통과되었다고 해서 업무가 종료되고 계약이 완료되었다고 할 수 없다. 반드시 준공관련 서류가 제출되어야 종료되는 것이다. 통상 EPC 계약에는 적지 않은 유보금이 있고 준공관련 서류가 제출되어야 수금이 가능하게 되어 있어 반드시 업체로부터 관련도면 및 서류를 접수하고 특히 캐드 도면파일을 접수하도록 한다. EPC사가 공급사의 자료를 취합하여 운영 및 유지보수 매뉴얼 제작 시 관련 캐드 파일도 유용하기 때문이다. 사소한 서류 몇 건이 유보금 수금지연의 원인이 된다.

따라서 준공 시 필요한 서류의 목록을 사전에 작성하고, 발주 시에 필요 서류를 명시하여야 한다. 나이지리아 A프로젝트의 경우에는 사후에 누락된 서류 확보에 어려움을 겪은 사례도 있다.

### 4.3 시공 단계

현장 시공에서 플랜트 EPC 업체는 도면 및 기술 시방서 입수, 기자재 현장 조달, 인력동원, 장비동원, 필요한 자금 확보 및 발주자와의 협의 하에 공사 진행여건 조성 등의 일을 한다. 이러한 제반 여건들이 조성되면 실제의 일은 협력업체가 수행하고 EPC 업체는 이를 관리 감독하는 일을 한다. 시공 단계의 리스크 인자는 Table 4에 나타난 것과 같이 현장 기술자의 도면 및 기술 시방서 이해 부족과 경험부재, 자재 관리 미숙, 현장 기술자 부족, 현지 작업자 채용 지연, 공사비 산정 오류 그리고 현지여건 파악 미비 등이 있으며, 각각의 리스크 인자에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

#### 4.3.1 현장 기술자의 도면 및 기술시방서 이해 부족

플랜트 시공현장 기술자들이 가장 먼저 해야 할 일

은 각자의 담당 공종에 대한 도면과 기술 시방서를 확보 및 이해하는 일이다. 현장에 부임하기 전에 엔지니어링 부서에서 진행 중인 실시설계의 내용을 파악하지 못하면 능률적으로 공사의 인력 및 장비를 동원할 수 없어 공사비가 증가되는 리스크가 발생될 수 있다. 현장 발령 이전에 설계가 완성되지 않았을 경우에는 현재 진행된 내용과 앞으로의 진행일정을 미리 파악하는 것이 좋다.

도면과 기술시방서를 파악하게 되면 현장 시공을 진행하는 과정에서 필요한 주요 자재들은 어떤 것들이며, 어떤 작업들이 있고, 또한 그 작업을 수행하려면 어느 정도의 인력과 장비를 필요로 하는지 알 수 있다. 공종별로 도면 및 시방서를 연구하고, 모든 현장 직원들이 같이 참여하는 발표회를 개최하면 공종간의 작업 우선순위 및 간섭사항에 대한 이해력을 높이게 되어 실제 시공시의 각 분야 협력증진을 도모할 수 있다.

플랜트 시공현장에는 반드시 경험 있는 기술자를 투입하여야 한다. 아무리 능력이 있고 젊은 용기와 패기를 가지고 있다고 해도 해당 플랜트에 대하여 수행경험이 부족하면 문제의 해결자가 되기보다는 문제를 일으키는 사람이 되기 쉽다. 플랜트 공사는 해당 플랜트마다 생산제품과 기술기준이 다르고 기계장치도 현저히 다르므로 해당 플랜트의 경험이 없는 사람이 수행하기에는 리스크가 크다. 현장 기술자의 경험이 부족한 경우에는 온라인 및 오프라인 교육을 실시하여 기술력을 배양해야 한다.

#### 4.3.2 자재 관리 미숙

발전플랜트에는 많은 종류의 자재가 투입되며, 종류만큼이나 양도 많다. 자재는 보관등급도 다양하고 보관등급별 현장 도착시기와 보관 양을 고려하여 자재반입 및 보관 장소를 마련하여야 한다. 자재반입 및 보관 부지가 부족하면 자재적치가 용이하지 않으므로 자재별 분류적재가 되지 않아 자재 소요시점에서 체계적인 불출(拂出)이 어렵게 된다. 그리고 적재 시 충분한 이격거리와 운송로를 확보하지 못하여 불출 시 자재의 손상도 발생될 수 있다.

현장 시공담당 기술자는 본인이 담당하는 공사에 소요되는 자재의 현장 도착시기와 현장에서 설치 전 보관기간이 어느 정도인지를 예상하여야 한다. 냉난방 된 장소, 옥내보관 또는 옥외보관 등의 보관관리 조건에 따라 개략적으로 필요한 공간을 알아야 하며 기자재가 현장에 도착하기 전에 보관 장소가 준비되어야 한다. 기자재의 현장 보관을 소홀히 하여 품질

## 해외 발전플랜트 EPC 사업의 리스크 분석 및 관리방안

Table 4 Risk factors and management methods in construction process

Risk factors	Impact scale*		Management methods
Lack of understanding of drawings and technical specifications of field technicians and lack of experience	C	5	- Hold presentation meeting after understanding of drawings and technical specification in advance - Offer training on/offline to field technicians and develop technical capability
	T	5	
	S	2	
	Q	5	
Lack of material control skill	C	4	- Secure enough material storage period, method and space - Manage material delivery by experienced material controller
	T	3	
	S	2	
	Q	5	
Lack of field technicians	C	1	- Configure a team of the best qualified field technicians - Operate field construction systematically
	T	5	
	S	3	
	Q	4	
Delay in hiring local workers	C	1	- Prepare infrastructure to manage manpower from TCN** - Prior review of recruitment procedures and periods by nationality
	T	5	
	S	2	
	Q	4	
Error in estimation of construction cost	C	5	- Accumulate data from the past experience of main contractor - Get advice from the sub-contractors who understand the RFQ*** of main contractor - Prepare schedule to avoid idle time
	T	2	
	S	3	
	Q	2	

\* C, T, S, and Q mean cost, time, scope, and quality, respectively.  
\*\* TCN means "third county national"  
\*\*\* RFQ means "request for quotation"

문제가 발생되면 기자재를 재발주하는 리스크가 발생된다.

옥내보관 장소는 플랜트 전체 기자재의 도착시기 및 현장 보관기간에 의해 초기 가설건물 계획 수립 시에 반영되어야 한다. 현장에서는 정확한 자료를 통해 가설창고를 짓는 것이 어려우므로 과거의 유사 플랜트 공사경험에 의해 적절한 크기의 가설창고를 짓게 된다.

기자재가 선적되면 전체 부피 및 패킹 개수와 현장 도착 예정시기를 알 수 있다. 시공담당 기술자는 자재창고 담당자와 가설창고 현황을 검토하여 적절한 보관 공간을 확보하여야 한다. 만약, 반입시점에 냉난방이 가능한 창고에 여유 공간이 없다면 기자재를 패킹된 채로 옥외에 방치하지 말고 보관중인 자재들

Table 4 Risk factors and management methods in construction process (continued)

Risk factors	Impact scale*		Management methods
Error in estimation of construction cost	C	5	-Accumulate data from the past experience of main contractor -Get advice from the sub-contractors who understand the RFQ*** of main contractor -Prepare schedule to avoid idle time
	T	2	
	S	3	
	Q	2	
Lack of understanding in local conditions	C	5	-Acquire lessons from the similar projects and prepare measures -Operate local office and understand the condition
	T	5	
	S	2	
	Q	4	
Delay in confirming the site test and inspection plan	C	2	-Offer training of test and inspection plan and utilize checklists -Establish operation system for the test and inspection in early setup stage
	T	4	
	S	3	
	Q	5	
No prior audit of HSE**** in selecting sub-contract	C	1	- Prepare prior audit system for the HSE**** in selecting sub-contractor - Use evaluation system for sub-contractors
	T	4	
	S	3	
	Q	2	
Language barrier and the cultural gap between the TCN**	C	1	- Setup a multi-nationality HR***** system - Assign coordinator for each country in order to manage site communications
	T	4	
	S	3	
	Q	3	

\*\*\*\* HSE means "health, safety and environment"  
\*\*\*\*\* HR means "human resources"

의 사용시점이 언제인지 확인하고, 가장 빨리 불출되는 자재가 차지하는 공간이 얼마인지와 그 장소에 해당 자재를 보관할 수 있는지를 확인하여 조치하여야 한다.

옥외보관이 가능한 자재라도 신경을 써야한다. 보관 장소가 평탄하게 정비되어 있으며 필요한 만큼의 다짐작업은 되어 있는지, 도난이나 분실에 대한 대책이 있는지를 확인하여야 한다. 기상악화에 대비하여 커버(cover)나 받침목을 준비하였는지 등도 확인하여야 한다.

### 4.3.3 현장 기술자 부족

해외 플랜트 공사에 과거와 같이 많은 한국인 직원을 투입하여 공사를 수행하기에는 직원의 인건비가

너무 높으며, 소수 정예화하기에는 한국인 직원의 수행능력이 발주자의 요구에 미치지 못한다. 경쟁 입찰 방식에 의해 수주하려면 인건비나 현장 관리비도 경쟁력 있게 적용하여야 하고, 이런 경쟁상황하에서 수주한 공사를 계획된 비용 안에서 수행하려면 소수의 직원만 현장에 투입하여야 한다.

발주자는 해당 플랜트에서 평생을 보낸 노련하고 유능한 엔지니어들을 감독으로 고용한다. 그리고 이들에게 계약서에 명시된 것은 물론 계약상에 애매한 부분이라도 최상의 플랜트가 건설되도록 감독할 것을 요구한다. EPC 사업자가 투입한 기술자의 해당 플랜트에 대한 지식과 경험이 발주자가 투입한 감독보다 부족한 경우, 발주자의 감독이 의도하는 대로 최상의 품질을 추구하게 되므로 공사비가 증가하는 리스크가 발생할 수 있다. 발주자 측의 감독은 수시로 여러 가지 지시를 하게 되고 EPC 사업자의 기술자는 지시내용을 적기에 이행하기 어렵게 된다. 그렇게 되는 이유는 감독의 지시가 비용을 증가시키는 경우가 많아 이를 이행하는데 내부조율이 필요하고 실제로 지시하는 사람은 여러 가지를 지시하는데 시간이 적게 들지만 이를 이행하는 사람은 하나의 일을 하는데도 시간이 오래 걸리기 때문이다. 결국은 소수의 현장 직원으로는 감독의 요구를 전부 수용하기 어려우며 이때부터 감독은 증원을 요청하거나 투입직원의 교체를 요청하기 시작하고 현장 직원수는 발주자의 요구에 의해 증가되기 시작한다. 초기에 적정 인력을 투입하지 않으면 나중에는 실제 적정 인력보다 추가 투입되는 리스크가 발생된다.

현장 시공관리 요원이 현저히 모자라면 공사가 협력업체의 주도하에 진행되어 재시공 등 공사비 추가 투입 리스크가 발생한다. 본사 지원부서나 경영진이 이러한 인력 부족 시에 발생하는 현상을 조기에 파악하고 조치하지 않으면 플랜트 공사 현장은 곧 통제 불능의 상태가 될 수 있다. 현장의 문제를 직접 파악하고 해결하기 위해서는 현장의 보고서만을 의존하지 말고 수시로 현장에 체류하면서 직접 확인하고 조치되도록 하여야 한다. 현장 시공요원이 공사를 효율적으로 관리하지 못하면 동원된 장비나 인력의 활용성이 저하되어 공기지연 및 추가 비용이 발생된다. 이러한 경우 협력업체에게 클레임(claim)을 당하게 되고 공사가 중단되는 등 EPC 사업자는 큰 위험에 직면하게 된다. 따라서 현장 시공담당 기술자는 선발된 인력의 수행능력에 따라 적절히 증감하여야 한다.

#### 4.3.4 현지 작업자 채용 지연

해외 공사를 할 때 현장 기술자를 포함한 직원들은 비교적 제한 없이 EPC 사업자의 의도대로 투입할 수 있으나 작업자 동원은 대부분 특별한 절차가 필요하다. 현지에 국내 작업자를 투입하거나 제3국의 작업자를 투입할 경우에는 각국이 자국의 노동자를 보호하기 위하여 특별한 절차들을 가지고 있으며 이러한 절차가 예상보다는 복잡하고 오래 걸려서 공사의 진행을 방해하는 리스크가 발생되기 쉽다. 따라서 제3국 작업자를 채용하기 위한 인프라(infra)를 구축하고, 공중별, 직종별 및 국적별 인력투입 계획을 세워서 채용절차에 대한 각 단계별 소요기간을 사전에 충분히 시뮬레이션하여 이를 수행계획에 반영하여야 한다.

#### 4.3.5 공사비 산정 오류

플랜트 공사는 일반적으로 특정한 경쟁을 통해 수주한다. 경쟁이 심하면 심할수록 수주 후 수행과정에서 리스크가 크게 된다. 입찰 시 적정 공사비를 산정하기 위해서는 공사 물량 및 수행기간 등을 전반적으로 검토한 후, 공사 규모에 따른 적정 규모의 협력업체의 투입방안을 수립하고, 해당 공사 지역 및 유사공사 경험을 보유한 협력업체들로부터 다수의 견적을 받는다. 그리고 협력업체들로부터 받은 견적 단가의 타당성을 검토하여 최적의 공사비를 산출한다. EPC 입찰기간이 충분하지 않고 견적을 제출한 업체들이 견적가를 산출한 상세자료를 제출치 않을 경우에는, EPC 주계약사가 보유한 사내데이터(in-house data)를 이용한 생산성 및 단가검증을 실시하여 입찰가의 최적화를 실시한다. 그러나 최근의 치열한 경쟁시장에서는 건설현장의 특성상 예기치 못한 수행 단계의 제반 리스크를 전부 고려하여 입찰가를 산출하기가 현실적으로 어려운 실정이다.

적정 공사비를 산정하기 위해서는 경험사례(lessons learned) 및 개선사례(best practice)를 반영한 사내데이터를 축적 및 관리하고, 주계약사의 정형화된 RFQ(request for quotation)의 이해가 가능한 협력사를 활용하여 견적을 받아야 한다. 수주 후 실행예산을 편성할 때 실제수행에 필요한 업체의 공사비 견적을 다시 받아서 금액을 반영하기 보다는 공사 수행 초기의 여러 가지 긴급히 수행해야 하는 업무로 인하여 입찰 시 견적을 받아서 공사비를 실행예산에 반영하는 경우가 많다. EPC 사업의 특성상 선행공정의 지연, 자재입고 및 도면출도 지연 등으로 인한 공사 업체의 업무휴지(idle time) 발생 시

적정 공사비를 초과하여 투입하여야 하는 리스크가 발생할 수 있으므로, EPC 사업에 투입된 구성원 모두의 제 역할이 공사비 산정요류를 최소화하는데 필수적이라 할 수 있다.

#### 4.3.6 현지여건 파악 미비

해외에서 공사를 진행하려면 현지 관공서에 인허가를 받아야 한다. 인허가 취득업무가 EPC 사업자의 책임이라면 EPC 사업자는 어떤 인허가를 받아야 하며 인허가 신청에 첨부하여야 하는 자료는 무엇이고, 소요기간은 얼마인지, 또한 그 비용은 얼마인지 등을 확인해야 한다. 이를 실행예산에 반영하지 않으면 공사가 지연되고 공사비도 증가하는 리스크가 발생할 수 있다. 정부기관이나 공무원의 업무 처리 속도는 가변적이고 단계적으로 검토를 받게 되므로 많은 시간이 소요된다.

중동지역이나 아프리카지역의 공사는 정부를 대리한 발주자가 승인하면 공사가 일사천리로 진행되므로 현지법규는 공사 진행에 상대적으로 직접적인 영향이 적다. 그러나 미국 등 선진국으로 갈수록 정부의 업무를 이해관계가 있는 민간단체에 위임하고 법적으로는 건설시장을 열어 놓은 것처럼 보이나 외국의 EPC 사업자가 진출하여 성공하기 어려운 관례나 법규를 만들어 운용하고 있으므로 사전에 확인하지 않으면 공사가 지연되고 공사비도 증가된다.

국가마다 차이는 있지만 미국을 비롯한 상당수의 국가에서 외국업체가 공사를 입찰하려면 현지법인 명의로 공사를 수주하여야 한다. 현지법인을 등록하기 위해서는 사무실을 개설하여야 하고 책임기술자를 선임하고 건설업 인허가를 받아야 한다.

#### 4.3.7 현장 검사계획서 확정 지연

현장에서 검사계획서(ITP; inspection and test plan)는 발주자, 시공사 그리고 협력업체 간에 소통을 위하여 시공 시 사용되어야 하는 필수문서이다. 검사계획서가 승인되지 않은 상태의 시공은 제작 및 설치기준이 계속 변경되어 끊임없는 재작업, 기설치 아이템의 폐기 및 재제작으로 이어질 수 있다. 이로 인해 막대한 공기지연, 물량증가 및 공사 금액 증가가 야기된다. 국내 현장의 경우는 이미 건설기술법과 원자력법 등에 의해 품질사항이 법제화되어 있으나, 해외 공사의 경우는 타국 지역별 규정 및 제3국의 여러가지 규격 및 표준(ASME, AWS, BS 및 ISO 등)이 있고 기준도 각양각색이다. 다국적 엔지니어, 관리자, 작업자들이 한 곳에서 일하는 해외 현

장의 경우, 승인된 검사계획서가 없이는 사실상 작업진행이 불가능하며, 이미 검사를 완료하였어도 시운전 및 자료이관(document turn-over) 단계까지 계속 문제가 야기된다. 검사계획서는 단순히 검사의 입회점(witness)과 필수확인점(hold point)의 지정이 아니다. 검사계획서 내에는 자재인수부터 최종설치까지의 단계별 공정, 적용기준이 되는 규격과 표준, 검사 시 사용할 체크리스트(check list) 그리고 공정별 검사항목에 대한 검사포인트 지정이 포함되어 있어야 한다. 품질 각 공종별 전문가에 의해서 작성된 검사계획서는 반드시 공문을 이용하여 발주자의 승인을 먼저 득하고, 해당 공정 담당자 및 협력업체 실무자까지 배부 및 교육을 실시하여 차후 예상되는 리스크를 최소한으로 줄이는데 사용되어야 한다. 사우디 아람코(Saudi Aramco)와 같이 발주자가 표준 검사계획서의 개발, 지속적인 개정 및 현장 적용을 수행하고 있는 경우에는, 일반 공사에 비해 현장 검사 시의 검사비용이 증가되는 리스크를 입찰 전부터 고려하여야 한다.

#### 4.3.8 협력업체 선정 시 사전심사 부재

해외 사업 수행 시 실질적인 공사 수행주체인 협력업체의 역할이 매우 중요함에도 불구하고 사전심사를 통한 적절한 업체선정이 아닌, 가격위주로 업체가 선정되어 직간접적인 문제가 야기되는 경우가 많다. 적절한 업체선정은 시공실적, 재정능력, 보유 기술 및 입찰가격 등 종합적인 평가항목에 따라 진행되어야 한다. 특히, 해외 공사의 경우 현지국가 및 발주자가 최우선순위(key priority)로 다루는 부분은 사전심사에서 반드시 고려되어야 한다. 이러한 사전심사를 통해 선정된 협력업체에 대해서는 이행 단계에서 실제 이행여부를 지속적으로 모니터링하고 평가시스템을 통한 객관적이고 공정한 평가로 상생(win-win)할 수 있는 협력관계를 구축하여야 한다.

#### 4.3.9 제3국인 인력의 언어와 문화 차이

해외 사업을 수행하는 과정에서 부득이 현지 인력이나 제3국 인력을 고용하여 공사를 수행하게 된다. 다국적 인력을 활용하는 과정에서 해당국가의 문화적 특성, 민족성 및 언어적 문제 등을 충분히 파악하지 못한 상태에서 소통문제와 문화적 이질감 발생으로 분쟁이나 테러 등이 발생하는 경우가 있다. 이러한 분쟁이나 테러 발생 시 공기지연과 공사비 상승 등 사업에 직간접적인 영향을 주게 되므로 다국적 인력에 대한 효과적인 관리가 필요하다. 이를 위해,

각 국가별 담당자(coordinator)를 선임하여 소통문제를 해결하고 문화적 이질감을 해소하는 등의 다양한 노력과 효과적인 다국적 인력관리 시스템 확립이 절실히 요구된다. 특히, 초기인원 동원 시 다양한 국가별 인력동원을 무리하게 추진하기 보다는 기존경험이 있는 인력 풀(pool)의 활용 등을 통해 리스크를 최소화하여야 한다.

4.4 시운전 단계

발전플랜트 EPC의 완료 단계는 복잡하다. 공사가 끝나가게 되면 플랜트 시운전을 병행하게 된다. 시운전은 설치가 정상적으로 되어 있는지를 점검하는 예비점검, 단위기계 및 장치의 운전시험, 즉 단위기기 시운전을 거쳐 모든 시스템을 동시에 가동하면서 발전소의 신뢰도와 성능이 높고 자동적으로 운전될 수 있도록 최적화하는 종합시운전을 실시한다. 종합시운전이 요구하는 각종 시험이 완료되면 최종 단계인 성능시험과 신뢰도 시험을 실시하게 된다. 시운전은 하나의 공사처럼 추진하여야 하며 해당 플랜트를 시운전한 경험이 있는 전문가를 동원하지 않으면 의외의 사고를 유발시키는 리스크가 발생된다. 시운전 단계의 리스크 인자는 Table 5에 나타난 것과 같이 시운전 준비 지연, 시운전 체크리스트 부재, 예비점검 측정기록 부재, 개별기기 운전시험팀 구성 미흡 그리고 플랜트 성능시험의 주체 선정 등이 있으며, 각각의 리스크 인자에 대하여 다음과 같이 분석하였다.

4.4.1 시운전 준비 지연

시운전을 진행하려면 시운전에 소요되는 자원을 사전에 준비하여야 한다. 주기기 계통 및 보조기 계통의 계통도(system diagram)를 보고 필요한 자원을 확보하며 적어도 시운전 착수 1~2년 전부터 준비하여야 한다.

플랜트의 전체 계통을 검토하고 시운전에 필요한 각 기능 및 필요한 인원수를 확정하여야 한다. 적절한 인원수는 유사플랜트의 사례 및 해당 플랜트의 특성을 고려하여 결정한다. 시운전 과정에서 발주자 측의 운전원(operator)도 참여하므로 발주자 측의 의견도 수렴하여야 한다.

필요한 기능과 인원수가 정해지면 해당 인원을 어떻게 동원할지를 확정하여야 한다. 인력자원은 플랜트가 준공되면 인수하여 운전하여야 할 발주자 측 직원들과 플랜트의 주기기 및 보조기들을 공급한 업체의 전문가 및 EPC 사업자가 동원한 시운전 요

Table 5 Risk factors and management methods in start-up and commissioning process

Risk factors	Impact scale*		Management methods
Delayed preparation for commissioning	C	3	- Prepare 1-2 years ahead of commissioning
	T	5	
	S	2	
	Q	3	
Insufficient procedure and checklist	C	3	- Prepare the work procedure for each commissioning process - Produce checklist for each equipment and item - Technical support from the supplier of each equipment
	T	4	
	S	4	
	Q	3	
No record of pre-inspection	C	2	- Archive all the data received through the pre-inspection and all the related personnel in charge should record in collaboration
	T	2	
	S	3	
	Q	4	
Insufficient commissioning team for each equipment	C	2	- Organize a commissioning team from the client, supplier, and EPC contractor
	T	3	
	S	2	
	Q	4	
Selecting the leading party for plant performance test	C	5	- Main equipment supplier should lead performance test - EPC contractor be in a supportive position
	T	2	
	S	2	
	Q	2	
No management system of PTW** and Isolation	C	3	- PTW** management system should be setup via review and confirm of commissioning process engineer - Consider Isolation of the operation area
	T	5	
	S	2	
	Q	2	

\* C, T, S, and Q mean cost, time, scope, and quality, respectively.  
\*\* PTW means "permit to work"

원들이다. 시운전 요원은 선발 후 운전절차 및 방식에 대하여 사전교육을 하여야 하므로 1~2년 전에는 계획이 확정되고 준비를 착수하지 않으면 시운전이 지연되는 리스크가 발생된다.

4.4.2 시운전 체크리스트 부재

시운전을 진행하기 위해서는 우선 설치된 기계, 전기 및 계측제어 장비들이 제대로 설치되어 있는지 혹은 시운전을 시행할 준비가 되어 있는지를 확인할 수 있는 체크리스트가 필요하다.

체크리스트는 플랜트에 설치된 모든 기기 및 단위

품목에 대하여 준비되어야 하고, 해당 품목을 공급한 업체에서 제출받아야 한다. 체크리스트에는 설치작업이 제대로 되어 있는지를 확인하는 항목들 및 서식 등으로 구성되어 있으며, 설치작업 확인 후 기기 기동을 위한 점검항목들이 나열되어 있다. 시운전 체크리스트를 기자재 공급사들로부터 사전에 확보하지 않으면 시운전 진행이 곤란하게 되는 리스크가 발생된다.

#### 4.4.3 예비점검 측정기록 부재

기계 및 전기장치를 기동하기 전에 설치작업은 완전하며 기동을 해도 좋은지를 검사하는 예비점검 (preliminary check)을 실시한다. 예비점검은 체크리스트를 기준으로 진행하여야 한다.

예비점검 기간에 취득한 모든 자료는 기록으로 남겨야 하고 측정기록은 관련자가 합동으로 작성, 날인하여 보관하지 않으면 시운전 결과보고서를 작성할 수 없는 리스크가 발생한다.

#### 4.4.4 개별기기 운전시험팀 구성 미흡

개별기기 운전시험은 해당 공급업체가 제시한 절차서 (commissioning procedure or start-up procedure)를 따라 수행한다. 개별기기 운전시험은 주로 무부하 운전시험 혹은 분리된 개별기기 운전시험이라고 하며 장치 외부와 연결하지 않은 단독운전 시험이다.

개별기기 운전시험팀은 발주자 측 운전원, 공급사 측 전문가 및 EPC 사업자의 시운전 요원으로 구성해야 한다. 그렇지 않으면 문제가 발생될 때에 해결이 지연되는 리스크가 있다. 개별기기 시운전을 계획할 때 우선 기자재 공급계약서를 검토하여 시운전 요원을 어떤 조건으로 제공하게 되어 있는지 확인한다. 기자재금액에 포함되어 있는 경우, 시운전 요원의 파견을 요청토록 한다. 그러나 실적 정산으로 되어 있고 해당 장치가 일반적인 장비이며 공급사 측 전문가를 부를 경우, 비용투입이 발생되면 반드시 참여시킬 필요는 없다. 개별기기 운전 시험과정에서 취득한 모든 자료는 기록으로 보존한다.

#### 4.4.5 플랜트 성능시험의 주체 선정

플랜트의 시운전 및 조정 작업이 완료되면 성능을 확인하기 위한 각종 시험을 하게 된다. 우선 각종 부하시험을 하여 각 부하마다 운전 데이터를 기록한다. 부분 부하시험이 완료되면 정격용량으로 정해진 기간을 계속적으로 운전, 시험하는 신뢰도 운전시험

을 실시한다. 신뢰도 운전이 완료되면 플랜트의 성능시험을 실시한다. 성능시험을 실시하기 전에 성능시험 절차서를 작성하여 발주자와 성능시험에서 측정할 데이터, 측정방법 그리고 측정치의 환산방법 등을 사전에 협의 및 확정하고 필요한 준비를 사전에 진행하여야 한다.

플랜트 성능시험은 주기기 공급사에서 주도하여 계획을 수립하고 진행하도록 하고 플랜트 EPC 업체는 지원하는 위치에 있어야 한다. 그렇지 않을 경우 성능에 대한 문제가 발생되면 해결하기 어렵게 된다. 궁극적으로는 경험을 축적하고, 시운전을 할 수 있는 인력을 보강하고, 전문조직을 갖추고 시운전을 주도할 수 있어야만 EPC 사업의 기술적 리더십 (technical leadership)을 가지고 경쟁력을 갖추게 된다.

#### 4.4.6 작업허가와 계통분리 관리체계 부재

일반적으로 EPC 사업 수행 시 시운전 단계에서 운전지역 (operation area)에 대한 작업절차 및 계통분리를 수립하고 이행하여야 함에도 불구하고 이러한 부분을 간과하여 인명사고나 화재, 폭발 등의 대형사고로 직결되는 경우가 있다. 설비시공완료 (mechanical completion) 이후 시운전 단계에서 기존 배관이나 기기로부터 가스 및 증기 등의 유해 위험물질에 노출되는 작업환경으로 인해 엄격한 작업허가 (PTW; permit to work) 시스템이 적용될 필요가 있다. 작업허가 절차 및 계통분리가 준수되지 않을 경우 유해위험물질이나 작업환경으로부터 중대한 리스크가 발생하여 공정지연, 비용상승 및 발주자 신뢰도저하 등의 직간접적인 손실을 초래하게 된다.

시운전 단계에서는 사전에 작업허가 관리자를 선임하고 시운전 상황을 잘 파악하고 있는 프로세스 엔지니어에 의해 작업허가 검토 및 승인이 반드시 이루어져야 한다. 작업허가 절차는 해당 근로자를 포함한 현장구성원 전원에게 교육을 통하여 숙지될 수 있도록 해야 한다. 특히, 작업허가 관리자는 운전지역에 대해 실시간으로 현장상황을 확인함으로써 절차의 이행여부 및 계통분리 관계를 감독하여 리스크를 최소화한다.

### 4.5 리스크 영향도 종합분석

발전플랜트 EPC 사업의 설계, 구매조달, 시공 및 시운전 단계별 비용, 공기, 수행범위 및 품질 관리항목에 미치는 영향도의 최솟값을 1, 최댓값을 5로 나타내어 분석한 결과를 Table 6과 Fig. 8에 나타내었



다. 리스크 인자들이 수행 단계별 관리항목에 미치는 영향도의 최댓값은 4.6으로 설계 단계의 리스크가 품질에 미치는 영향도이고, 최솟값은 2.5로 시운전의 리스크가 수행범위에 미치는 영향도이다. 비용, 공기, 수행범위 및 품질에 대한 리스크 영향도 평균값은 각각 3.5, 3.8, 2.7 및 3.7로 나타났다. 도출된 리스크 인자들은 수행범위를 제외한 비용, 공기 및 품질에 동일한 수준으로 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

### 5. 결론

본 연구에서는 발전플랜트 EPC 사업에서 발생될 수 있는 리스크를 분석하고 이에 대한 관리방안을 제시하였으며, 기수행사업의 리스크 발생사례 분석 및 리스크 인자들의 영향도 분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 동남아 S프로젝트의 경험사례를 분석한 결과 전체 리스크의 79%가 설계 단계, 구매조달 단계, 시공 단계 및 시운전 단계 중 설계 단계에서 발생된 것으로 나타났다.
- (2) 리스크가 비용, 공기, 수행범위 및 품질 등 4가지 항목에 미치는 영향도의 최솟값을 1, 최댓값을 5로 나타내어 분석한 결과 비용, 공기, 수행범위 및 품질에 대한 영향도는 각각 3.5, 3.8, 2.7 및 3.7로 나타났다. 따라서 도출된 리스크 인자들은 수행범위를 제외한 비용, 공기 및 품질에 동일한 수준으로 영향을 미치는 것으로 판단되었다.
- (3) 해외 발전플랜트 EPC 사업의 리스크는 지역

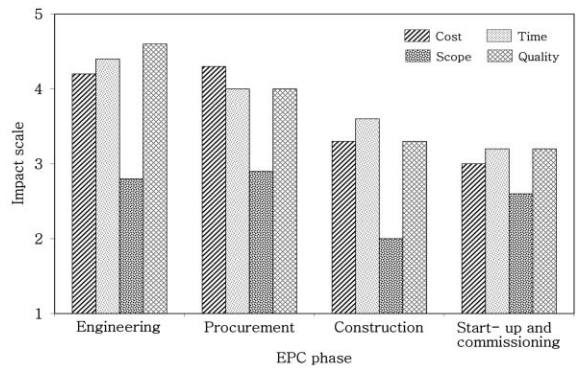


Fig. 8 Impact scales of each EPC phase

에 따라 발생 종류 및 대응방안이 상이할 수 있으며, 기기 및 시공기술의 발전 등에 따라 새로운 리스크가 발생할 수도 있다. 이와 같은 리스크에 대한 관리를 위해서는 EPC 사업 수행 이전에 기수행사업의 경험자료 분석과 전문가 집단의 회의 등에 의한 충분한 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서 미처 제시하지 못한 리스크 인자 및 이에 대한 관리방안을 추가로 도출해야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 송길영, 2002, 신편 발변전공학, 동일출판사.
2. 이재구 외, 2007, 발전용어해설집, 한국중부발전(주).
3. 한국플랜트학회 EPC 기술위원회, 2010, 해외 플랜트 프로젝트의 수행특성, 사단법인 한국플랜트학회, 플랜트저널, Vol.6, No.2, pp.12-17.
4. 김인호, 2001, 건설사업의 리스크 관리, 기문당.
5. 유홍석, 이재현, 2006, 플랜트 엔지니어링과 프로젝트 매니지먼트, 사단법인 한국플랜트학회.
6. 나성엽, 2009, 플랜트 프로젝트의 구매 조달 단계별 리스크 분석에 관한 연구, 한양대학교 석사학위논문.
7. Project management institute, 2008, A guide to the project management body of knowledge 4th edition (PMBOK), project management institute, inc.

Table 6 Impact scales of each EPC phase

EPC phases	Impact scales			
	Cost	Time	Scope	Quality
Engineering	4.2	4.4	2.8	4.6
Procurement	3.9	3.3	2.8	3.3
Construction	2.8	4.1	2.6	3.8
Start-up and commissioning	3.0	3.5	2.5	3.0
Average	3.5	3.8	2.7	3.7