

# EPC 모듈러 프로젝트의 원가·공정 통합연계관리 지침서 개발

김동희<sup>1</sup> · 하민희<sup>2</sup> · 최재현<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 건축공학부 석사과정 · <sup>2</sup>한국기술교육대학교 건축공학부 석사과정 · <sup>3</sup>한국기술교육대학교 건축공학부 교수

## Development of Integrated Cost-Schedule Management Guidelines for EPC Modular Projects

Kim, Donghee<sup>1</sup>, Ha, Minhui<sup>2</sup>, Choi, Jaehyun<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate Student, School of Architectural Engineering, Korea University of Technology & Education (Koreatech)

<sup>2</sup>Graduate Student, School of Architectural Engineering, Korea University of Technology & Education (Koreatech)

<sup>3</sup>Professor, School of Architectural Engineering, Korea University of Technology & Education (Koreatech)

**Abstract :** The rate of application of the modular plant in the plant industry is increasing, and for the success of the modularization projects, it is essential to develop and implement a systemized methodology across all phases of the project. However, Korean EPC firms lack project management capability when it comes to apply standardized methodology. Therefore, it is important to establish and systematize the cost/schedule integrated management method which are the two core elements of project management technology. This study was conducted to develop a methodology and guidelines for integrated management process for modular plant projects. The researchers developed a methodology for planning and managing cost and schedule, and integrated by module unit. Integrated cost and schedule methodology and guidelines developed can be used for various EPC modular plant projects to enhance the efficiency of project management.

**Keywords :** EPC Projects, Modular Plants, Integrated Cost/Schedule Management Process, Guidelines

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

플랜트 산업의 대형화, 복잡화 추세에 따라 플랜트 건설 프로젝트의 수익성과 효율성을 향상하기 위해 모듈러 플랜트의 적용비율이 높아지고 있다. 세계 플랜트 모듈화건설(Modular Construction) 비율 추정에 기초한 모듈화 건설시장의 규모는 2020년 3,953달러로의 수준으로 평가되며, 2015년의 2,775억 달러에 비해 42% 증가한 수치이다(Lee, 2015). Construction Industry Institute (CII), National Research Council (NRC), Mckinsey Global Institute, World Economic Forum, Autodesk 등 다양한 해외 전문기관은 모듈화 공법을 건설산업을 혁신시킬 수 있는 핵심 기법으로

제시하였다(CII, 2012; Choi, 2019).

모듈러 플랜트는 플랜트의 전체 또는 일부를 모듈 단위로 분할하여 설계하고, 제어된 환경에서 제작 후 운송을 거쳐 현장 시공하는 방식으로 건설된다. 전통적인 플랜트 건설방식(Stick-built)에 비해 현장 작업을 최소화하여 현장의 기후, 강수 등의 자연환경적인 특성에 크게 영향을 받지 않고 시공성과 공기, 품질 및 안전성 확보에 유리하다.

모듈러 프로젝트의 성공적인 수행을 위해서 플랜트의 기획, 설계(Engineering), 구매 및 조달(Procurement), 시공(Construction), 시운전 및 인도(Commissioning)의 전 단계에 모듈러에 특화된 사업수행 전략이 필수적이다. 특히 모듈 단위 원가 및 공정에 대한 관리기술의 고도화가 필수적 요소라 할 수 있다. 모듈러 플랜트는 사업수행 단계에서 모듈 간, 공종간, 공정단계 간 참여하는 주체가 다양하고 복잡한 인터페이스가 발생하기 때문에 프로젝트 수행 초기 및 실행 과정에서 체계적인 비용 및 공정관리 절차의 수립 및 이행이 성공의 핵심요소이다(Park et al., 2008).

본 연구는 모듈러 플랜트 프로젝트의 원가와 공정을 통합 관리하기 위한 방법론 및 지침서 개발을 목적으로 수행되었

\* **Corresponding author:** Choi, Jaehyun, School of Architectural Engineering, Korea University of Technology and Education (Koreatech), Cheonan 31253, Korea  
**E-mail:** jay.choi@koreatech.ac.kr  
**Received** April 8, 2020; **revised** May 12, 2020  
**accepted** May 25, 2020

다. 모듈화 적용방식 여부는 사업의 초기단계에 결정되기 때문에 기존 EPC (Engineering, Procurement, Construction) 시장에서 초기단계 프로젝트의 수행실적이 높지 않은 국내 플랜트 건설기업들에게 모듈러 공법의 체계적인 수행은 어려운 과제로 남아있다(Park et al., 2016). 우선적으로 국내 기업은 모듈화 프로젝트 전 단계에 걸친 관리계획의 수립과 수행에 대한 체계화가 필요하고, 핵심요소로서 원가와 공정의 통합관리 방식을 시스템화 하는 것이 중요하다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 EPC 계약으로 수행되는 모듈러 플랜트 프로젝트의 원가·공정 통합관리를 위해 통합 분류 체계를 개발하고 활용하는 방법론 및 지침서 개발을 포함한다. 모듈러 플랜트의 특성에 따라 원가산정 이후 프로젝트 수행과정에서 활용되는 원가관리 체계에 공정관리 요소를 통합하여 관리하는 모듈러 프로젝트를 통합관리 방법론을 개발하고 관련 지침서를 개발하였다.

연구 방법은 첫 번째, 모듈러 공법의 일반적인 사항을 이론적으로 고찰하였다. 두 번째, PMI (Project Management Institute), AIA (American Institute of Architects), GAO (Government Accountability Office와 같은 기관에서 제공하는 글로벌 스탠다드 기반의 원가관리 업무절차를 분석하고, 공정관리의 업무절차에 대한 이론적 고찰을 수행하였다. 세 번째, 이를 바탕으로 모듈러 프로젝트의 원가관리, 공정관리 방법론을 각각 개발하였다. 네 번째, 원가·공정을 모듈

러 단위로 통합관리 할 수 있는 방법론을 개발하였다. 다섯 번째, 원가·공정 통합관리 방법론을 바탕으로 샘플시나리오에 적용하여 방법론을 검증하고 EPC 모듈러 프로젝트의 통합연계관리 지침서를 개발하였다(Fig. 1).

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 모듈러 공법 일반사항

#### 2.1.1 모듈러 공법 정의

모듈러 공법은 일반적으로 공장에서 장착되고 설비의 주요 구조적인 요소로서 현장에 전달되는 입체 또는 부피를 가지는 단위로 시공되는 방식을 말하며, 모듈을 공장에서 제작 조립하므로 현장에 비해 높은 생산성을 이룰 수 있다(Gibb & Pendlebury, 2005; Park, 2012). 이에 따라 설계, 구매, 시공 3단계로 구분되던 기존의 현장 시공방식의 수행단계가 설계, 구매, 시공 및 제작(Fabrication), 운송(Transportation) 그리고 설치(Installation)의 5단계로 바뀌게 된다. 이때, 현장 외부 공간에서의 모듈 사전 제작, 현장으로의 운송 및 설치와 같은 과정들이 모듈러 공법을 기존의 현장 시공 방식과 구분하는 요소이다(Li et al., 2013).

전통적인 방식(Stick-build)의 건설 프로젝트는 기획 설계, 엔지니어링, 승인 및 확정, 현장 준비를 순차적으로 거쳐 시공 과정이 진행된다. 반면, 모듈러 건설 프로젝트의 경우 승인 및 확정 단계까지는 전통적인 건설 방식과 동일하게 진행되지만, 현장 준비와 플랜트·팩토리의 모듈 제작이 동시에 이루어진다는 특징이 있다. 이러한 사전 모듈 제작을 통해 현장 시공의 작업 절차를 획기적으로 간소화 할 수 있어 공기와 비용 측면의 큰 이점을 누릴 수 있다(Fig. 2).

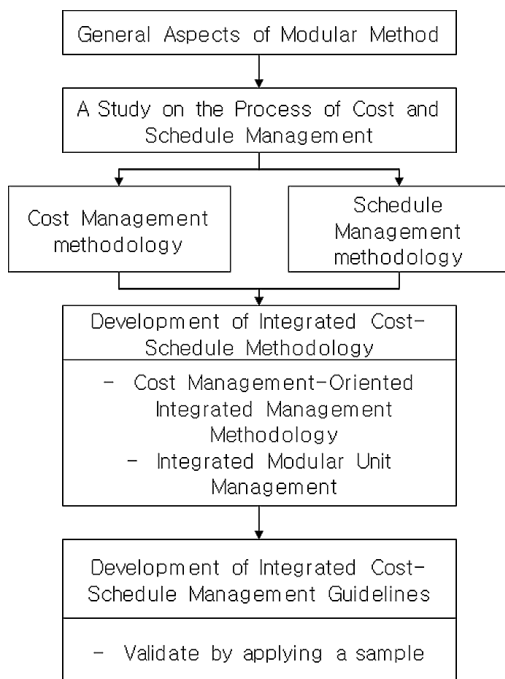


Fig. 1. Overall research procedure

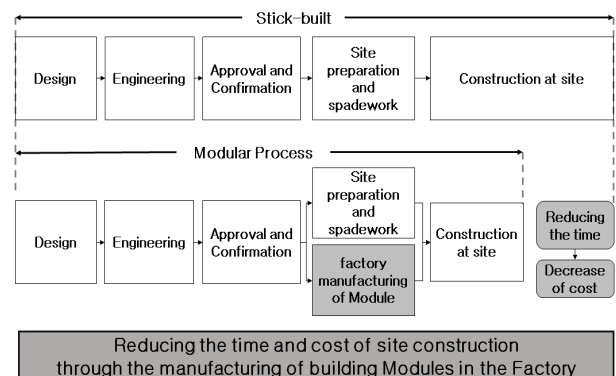


Fig. 2. Comparison of stick-built processes with modular construction processes (Samjong KPMG ERI inc., 2019)

#### 2.1.2 모듈러 공법 장·단점

모듈러 공법을 적용할 때의 장점은 공사 기간 단축, 공사비 절감, 품질향상, 현장 노동 및 기술 요구 사항 감소, 건축

폐기물 감소, 기후 및 현장 환경에 의한 영향 감소가 있다 (Gotlieb et al., 2001). 건설 기업의 경쟁력 확보와 수익 향상이라는 양 측면에서 생산성을 향상 시켜 프로젝트 기간을 단축하는 획기적인 방식으로 대두되어 왔으며, 건설 프로젝트에서 모듈러 공법의 적용을 확대하고자 하는 많은 노력이 진행되어 왔다. 모듈러 공법은 시공성 향상을 통해 공기를 단축시키는 방법이며, 설계와 시공 과정에서 기존 방식 대비 절감되는 비용은 15% 정도에 이르는 등 공기 단축 뿐 아니라 비용 절감 측면에서 매우 효과적인 공법이다(Tatum et al., 1987; Rogan et al., 2000; Lapp & Golay, 1997; Hwang et al., 2014; Kim et al., 2014). 공사단축 측면에서는 오류를 최소화해 설치 시간을 단축할 수 있고 현장 시공업무를 최소화시킬 수 있다. 품질향상 측면에서는 통제 가능한 환경에서 작업이 이루어지므로 품질 관리가 용이하다. 이외에도 현지의 육, 해상 운송이 용이할 경우 현장 접근이 용이하며, 자연환경적인 특성 및 현장 환경의 영향이 적다는 점이 있다. 또한, 모듈 해체 시 구성품이 재활용이 가능하여 친환경적인 공법으로 주목받고 있다.

반면, 모듈러 공법의 단점은 모듈의 운반 및 설치를 위한 해상 바지 및 SPMT (Self Propelled Modular Transporter) 등의 특수 장비가 필요하며, 운반을 위한 보강 등의 추가 비용이 발생한다. 해상 운반일 경우 하역장을 별도로 설치해야 하기 때문에, 공사비 계획에 대한 면밀한 검토가 필요하다(Park, 2012). 모듈러 공법의 장·단점은 공사비, 일정, 품질 운송, 현장시공, 리스크 총 6가지 측면으로 구분하여 요약된다(Park et al., 2016) <Table 1>.

Table 1. Pros and cons of modular method

	Pros	Cons
Cost	Decrease of Construction cost Decrease of Quality and supervision	Increase of preliminary design and cost schedule Increase of special Material cost Increase of transportation and installation cost
Schedule	Decrease of installation time Miss-outs minimize	Decrease of Space efficiency benefit Complicated schedule Increase of interdependence
Quality	Controllable environment Availability of expertise increment	-
Logistics	Decrease of delivery material Controllable site	Complicated delivery Increase of dependence of transportation
Onsite Work	Minimization of required space Decrease of labor problem	Required installation workers
Risk	Decrease of site risk Predictable work	Increase of transportation & installation risk

## 2.2 원가 및 공정관리 업무절차 일반

원가 및 공정 중 원가관리 중심으로 모듈러 프로젝트의 통합관리를 위한 일반적인 사항과 Global Practice를 기반으로 이론적 고찰을 하였다.

### 2.2.1 원가관리 업무절차

원가관리 업무는 프로젝트 견적을 토대로 수행되는 것이 일반적이다. 프로젝트 견적은 설계단계 또는 공사입찰이나 시공계획단계에서 수행된다. 그 중 시공단계 원가관리는 최종견적(Final estimate), 명시견적(Definitive estimate), 입찰 견적(Bid estimate) 등으로 개념화 된 상세견적을 토대로 기획설계 이후 프로젝트의 통제, 입찰가격의 결정, 조달구매 가격의 결정하기 위하여 수행된다. 원가관리의 토대가 되는 상세견적의 필수 기능을 도출하기 위하여 미국 프로젝트관리 협회 PMI (Project Management Institute)에서 개발한 PMBOK (Project Management Body of Knowledge)와 미국건축가협회 AIA (American Institute of Architects)에서 제공하는 통합공사원가계산 방법론, 그리고 미국회계감사원 GAO (Government Accountability Office)에서 제공하는 공사원가예측 프로그램으로 선정하여 세부업무를 분석하였다.

PMBOK의 프로젝트 원가관리는 크게 4가지 영역인 원가 관리 계획수립, 원가산정, 예산결정, 원가통제로 구성되어 있다. 원가관리 계획수립은 프로젝트 원가를 기획, 관리, 지출 및 통제하는데 필요한 정책과 절차를 수립하고 문서화하는 프로세스이며, 원가산정은 자원의 원가를 추정하여 근사치를 추정하는 프로세스이다. 원가산정에서 개별적인 활동에 대한 원가가 산정되며, 프로젝트 전체기간 동안 필요한 예산이 결정된다. 이후 계획 대비 사용실적을 판단하여 통제 절차에 따라서 원가 기준선에 대한 변경을 관리하고, 필요시 프로젝트 예산의 갱신하는 원가통제 프로세스를 따른다.

AIA에서 제공하는 통합공사원가계산 방법론은 프로젝트의 발주자 또는 설계자가 시공자나 전문가가 제공하는 프로젝트 예산을 검토하기 위하여 스스로 예산을 책정할 수 있도록 지원함을 목적으로 한다. AIA의 통합원가계산 절차는 크게 ‘Defining the Scope of Services’, ‘Preparing the Estimate, Validating’, ‘Cross-checking, and Reconciling Estimates’ 총 세 단계로 나누어진다.

GAO’s Cost Estimating and Assessment Guide에 따르면 원가 예측은 총 12단계로 원가산정의 목적 정의, 원가산정 계획수립, 프로그램의 특징 정의, 원가 산정 구조 결정 기본 원칙 및 가정식별, 자료수집, 주요 견적 개발 및 독립적인 견적 결과와의 비교, 민감도 분석 수행, 리스크 및 불확실성 분석 수행, 원가산정 문서화, 원가산정 결과 승인 요청, 실제 원가 및 변경 반영으로 이루어진다.

### 2.2.2 공정관리 업무절차

공정관리는 주어진 시간 내에 품질, 안전, 환경을 확보하여 최소의 비용으로 사업과 관련한 모든 활동을 논리적, 체계적으로 관리하는 시스템을 말한다(Choi & Yoon, 2005). 공정계획은 공사계획(Planning)과 일정계획(Scheduling)으

로 구성된다. 공사계획 단계는 공사의 전체 내용을 파악하여 전반적인 공사의 수행 계획을 수립하며, 일정계획 단계는 공사계획 단계에서 수립된 시공 계획, 인원, 장비 투입계획 및 자재 조달, 계획을 검토하여 보다 세분화되고 현실적인 일정 계획을 수립한다. 공정운영(Monitoring & Control)이 이루어지며 작업진도과약(Monitoring)과 측정 및 조정(Control)으로 구성된다. 작업진도과약 단계에서는 공정계획 수립 과정에서 작성된 시공 계획, 인원, 장비 투입계획 및 자재 조달 계획과 관리 기준공정표에 의거하여 공사가 예정대로 진행되고 있는지에 대한 진도 분석이 이루어지며, 조정 단계에서 지연된 공정에 대한 원인 분석과 만회대책이 수립된다. 이때 관리기준공정표의 잔여 공정에 대한 수정 및 개정 작업이 이루어진다(Choi et al., 2019).

### 3. 모듈러 플랜트의 원가·공정 통합관리

1.1에서 언급한 국내 플랜트 건설기업의 모듈러 공법 사용의 문제점을 해결하기 위해서 전 단계에 걸친 관리계획의 수립 및 수행에 대한 체계화가 필요하다. 따라서 2.2에서 고찰한 원가·공정 업무절차를 바탕으로 프로젝트 수행단계에 따른 프로젝트 관리단계를 수립 및 체계화 하였다. 먼저 원가·공정관리 업무절차 및 방법론을 각각 체계화하고, 모듈의 특성을 반영한 원가·공정을 통합관리하기 위한 방법론을 개발하였다.

### 3.1 원가관리 업무절차 및 방법론

모듈러 플랜트 프로젝트의 통합연계관리를 위해 프로젝트 관리단계에 따른 통합 연계관리 방법론을 초기계획 단계(Initial Planning), 개산견적(Conceptual Estimating), 상세견적(Detailed Estimating), 진도관리 단계(Progress Integration)로 구분하여 개별 세부 방법론을 개발하였고, 그 방법론을 바탕으로 지침서를 개발하였다. <Fig. 3>은 프로젝트 수행 단계별 세부 방법론을 개별 챕터로 구성한 지침서로 <Fig. 4>에 [Chapter 3] 상세견적 지침의 일부분을 예시하였다. 지침서의 구성은 ‘목적’, ‘적용범위’, ‘세부내용’ 순으로 이루어진다. ‘목적’은 상세견적 지침서의 목적을, ‘적용범위’는 프로젝트 수행단계에서 적용될 수 있는 범위를, ‘세부내용’은 상세견적 지침서의 절차와 세부내용을 포함한다.

초기 계획단계는 IAP (Interactive Planning) 방법론으로 명명하여 프로젝트의 기본정보 검토, CBS 및 Cost data 추출, 중점관리사항 도출, 프로젝트 주요요구사항 도출, 작업 패키지(Work Package)정의와 각 패키지와 작업 간의 관계 설정, 전체 원가계획 확정 of 세부 단계로 나눈 업무절차를 개발하였다. 개산견적 단계에서는 정보수집, 개산 원가산정 방법 선정, 개산 원가산정 실행, 유효성 평가, 제출 및 협의의 세부 단계로 나뉜다. 상세견적 단계에서는 프로젝트 Scope of Work 규정, 원가분류체계(CBS) 개발, 상세 원가산정 입력 정보 구축, 상세 원가산정 수행, 유효성 평가, 문서화 및 Database화의 세부 단계로 나뉜다. 진도관리 단계는

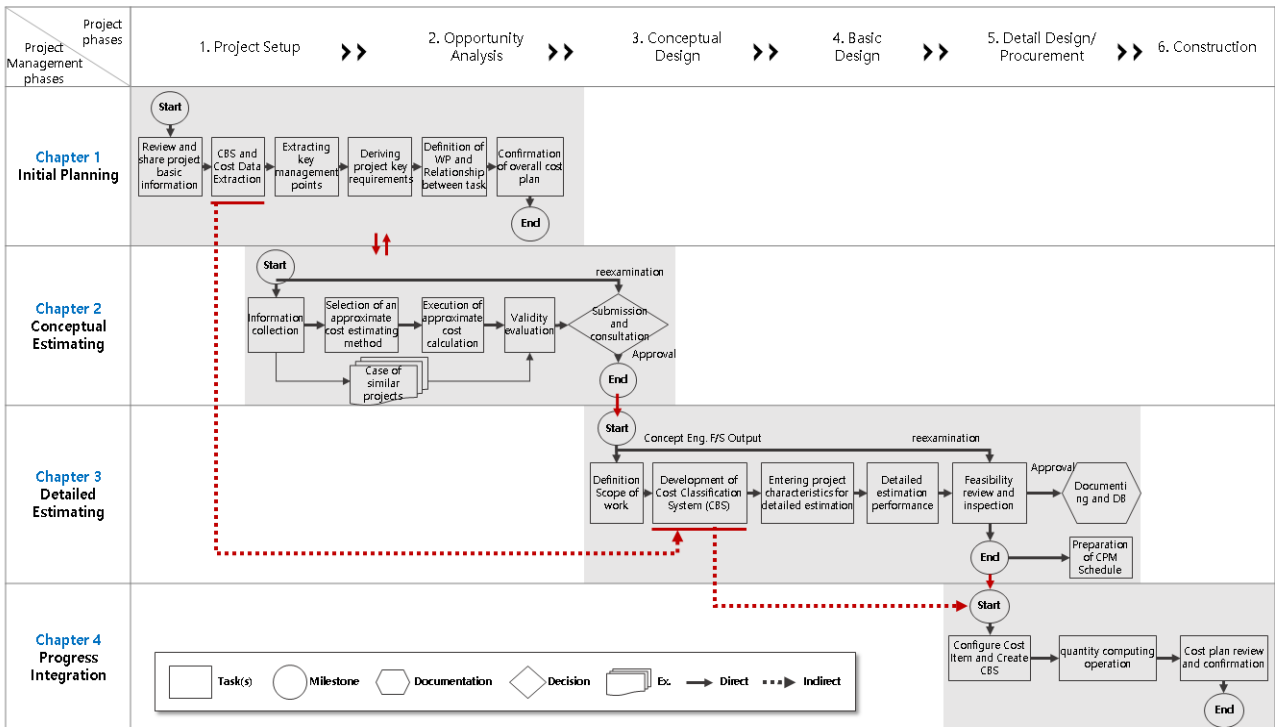


Fig. 3. Process of cost management methodology (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019)

(Progress Integration Unit; PIU)을 활용하여 Cost Item 구성 및 CBS 생성, 물량 산출 작업, 원가계획 검토 및 확정 의 세부 업무로 개발하였다.

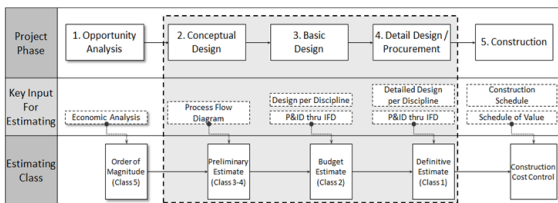
플랜트 원가-일정 연계 통합 적용 지침서		개정번호 : 00
<b>[Chapter 3]</b> 상세견적 지침		지침서번호 C-03

**1. 목 적**

본 지침은 상세견적 (상세 원가산정) 수행 방법을 목적으로 한다. 상세견적은 보통 설계의 최종단계 또는 공사입찰이나 시공계획단계에서 수행되기 때문에 최종견적(Final estimate), 명시견적(Definitive estimate), 입찰견적(Bid estimate) 등을 의미하며 기획 설계 이후 프로젝트의 통제, 입찰가격의 결정, 조달구매가격의 결정하기 위하여 수행된다.

**2. 적용범위**

상세 원가산정을 위한 설계도서는 설계도면과 시방서 등이며 설계도면과 시방서에 근거하여 시설물의 시공에 소요되는 재료, 노무, 장비 등에 대한 수량과 비용을 결정하는 과정을 상세 원가산정 과정이라 한다. 본 지침서의 상세 원가산정 단계는 2. Conceptual Design에서 4. Detailed Design/ Procurement까지의 단계에서 이루어지는 Class 1-4에 해당하는 것으로 정의한다.



<그림 3-1> 프로젝트 단계에 따른 원가산정단계

Fig. 4. Sample guidelines for detail estimate (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019)

**3.2 공정관리 업무절차 및 방법론**

공정관리 방법론은 앞서 정의한 공정관리 업무절차에 따라 개발되었다. 공정관리 방법론은 크게 공정관리업무 수행과 현장공정관리 업무로 나뉜다. 지침서의 구성은 원가관리 업무절차 및 방법론과 마찬가지로 ‘목적’, ‘적용범위’, ‘세부내용’ 순으로 이루어진다. <Fig. 5>는 지침서의 일부이며 ‘목적’은 공정관리업무 수행 지침서의 목적을, ‘적용범위’는 프로젝트 수행단계에서 적용될 수 있는 범위를, ‘세부내용’은 공정관리업무 수행 지침서의 일반사항과 세부내용을 포함한다.

공정관리업무 수행 단계에서는 프로젝트 공정관리 제반 업무에 대하여 수행하는 것이며, 계약서 검토, Schedule Setup으로 나뉜다. 계약서 검토를 위해 계약서에 명기된 발주처 요구사항, 현장조건 등 전반적인 내용을 추출한다. Schedule Setup 단계에서는 WBS (Work Breakdown Structure)를 작성한다. 계약서, 프로젝트 관리자(PM)의 전략, 수행조직 등 프로젝트의 관리단위에 해당하는 Phase, Unit/Area, Discipline, Milestone, Organization, Scope of Work, Module을 고려하여 WBS를 정의한다. 발주처의 WBS

에 대한 특별한 요구사항이 없을 경우에는 유사 프로젝트를 참조하여 WBS를 작성하고, PM의 승인을 받아 모든 사업 관련자에게 해당 내용을 배포 및 공지한다. 작성된 WBS를 토대로 Project Master Schedule 작성하며, 프로젝트 초기에 PM의 프로젝트 실행계획(Execution Policy)을 기반으로 주요단계별 수행일정, 전략, 예상 Risk 등이 반영된다. 다음으로 Procedure 작성, Detail Schedule 작성, Schedule Resource 관리, Schedule Basis 작성, Project Schedule Control의 공정관리 업무가 수행된다.

플랜트 원가-일정 연계 통합 적용 지침서		개정번호 : 00
<b>공정관리업무 수행 지침</b>		지침서번호 T-03

**1. 목 적**

이 지침은 사업계약에서 계약종료 시까지 프로젝트 공정관리업무 수행 전반에 대하여 실무지침을 제공하는 것을 목적으로 한다.

**2. 적용범위**

이 지침은 프로젝트 공정관리업무 수행 제반 업무에 대하여 적용한다.

**3. 세부내용**

**3.1. 일반사항**

1. 설계, 구매 및 시공(EPC)을 수행하는 프로젝트 기준이다.
2. 공정관리 업무 수행 시 System(Tool)의 적용은 “공정관리 Tool 운영지침”을 따른다.
3. 공정관리자 수행업무
  - 1) Schedule Planning: 초기공정표 작성 업무 (프로젝트 계약시점에서 공정표 발주처 승인시점까지의 업무)
  - 2) Schedule Control: 공정관리(운영) 수행업무(공정표 발주처 승인 이후 Weekly | & Monthly Schedule Report를 통한 진도율 보고, 분석, 예측 업무)
  - 3) Schedule Revision: PM 및 발주처의 필요에 따른 공정표 수정 업무
4. 공정표 작성 시 프로젝트 요구사항(계약서, ITB, 발주처 요구사항 등)을 우선적으로 고려해야 한다.

Fig. 5. Sample guidelines for schedule management (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019)

현장공정관리 업무 단계에서는 공사준비단계, 공사수행 단계 및 공사준공 단계까지 현장공정 관리자가 수행할 모든 업무와 부서 간 협업, 대 발주자 보고 및 협력업체와 관리 업무를 포함한다. 공정관리업무 수행단계의 Project Schedule Control를 따라 발주처의 Baseline Schedule 승인 이후 공정관리를 진행하는 것을 관리하는 단계로 Schedule 관리 및 분석업무를 수행한다(Choi et al., 2019).

**3.3 원가·공정 통합관리 방법론**

원가·공정 통합 방법에는 크게 특정 교환 단위(Interfacing Unit)를 활용하여 통합하는 방법과 분류체계를 일원화된 분류체계로 통합하는 방법 2가지로 나뉜다. 첫 번째, 특정 교

한 단위를 활용하여 통합하는 방법은 서로 다른 분류체계를 유지하면서 교환 단위에 해당하는 특정 체계를 활용하여 통합하는 방법이다. 두 번째, 분류체계를 일원화된 분류체계로 통합하는 방법은 계획단계에서 분류체계를 정립할 때 통합된 체계로 구축하기 때문에 단일화된 분류체계 형성이 가능한 방법이다(Kang et al., 2017).

두 가지 방법 중 모듈러 플랜트에 적합한 방법은 두 번째 방법인 분류체계를 일원화된 분류체계로 통합하는 방법이다. 모듈러 플랜트 프로젝트는 모듈단위로 원가산정, 일정 계획, 개별 발주가 진행되기 때문에 공정과 원가의 서로 다른 분류체계를 적용하는 특정교환단위의 관리방식은 효율적이지 않다. 반면에 일원화된 분류체계는 계획 단계부터 통합된 분류체계를 가지기 때문에 모듈에 특화된 관리가 가능하다.

#### 4. 샘플 시나리오를 통한 지침서 개발

본 연구에서 제시한 원가-공정 통합관리 방법론을 적용한 지침서를 개발하기 위해서 샘플 EPC 플랜트 프로젝트 시나리오를 활용하였다. 개발된 지침서는 EPC 모듈러 플랜트 프로젝트 수행의 핵심요소인 원가 및 공정을 통합 연계관리하기 위한 지침으로 모듈단위의 통합관리 시나리오를 적용하여 가상의 플랜트 프로젝트 관리체계를 포함한다.

프로젝트의 입찰단계에서 EPC 기업은 발주자가 제공하는 입찰안내서(Instruction to Bidders; ITB) 등을 통해 프로젝트 기본정보, 업무범위(Scope of Work), 계약적 요구사항 등을 확보한다. 일반적으로 계약적 요구사항을 통해 발주자는 발주자와 계약자 상호간 계약적 의무와 입찰 및 실행비용을 위한 CBS의 기본구조를 제시할 수 있다.

EPC 기업은 계약적 요구사항에 프로젝트 수행 단위 및 기성을 위한 CBS가 포함되지 않은 경우 기업 자산으로 보유한 CBS를 발주자 승인을 통해 활용한다. 일반적인 CBS의 기본구조는 본사에서 수행하는 설계, 구매, 시공, 관리 및 지원업무를 포괄한 본사비용(Home office service), 장비 구입비, 자재 구입비, 현장의 토목 및 건축비, 자동화비, 시험 및 테스트 비, 현장 관리비, 보험비, 교육비 등의 체계로 구성된다. <Table 2>는 CBS사례로 플랜트의 비모듈화 구조와 모듈화 구조가 구분되어 있다. 비모듈화 부분의 비용체계는 Equipment and Package, Bulk Materials, Stick-build Construction에 해당 비용이 포함된다. 모듈화 부분은 별도의 비용 아이템(d)에 해당하는 Modularization으로 구분된다.

프로젝트 초기단계 또는 프로젝트 계획 및 진도관리 단계에 앞서 프로젝트 참여자들이 일관된 목표를 설정하고

일치된 결과물을 정의하기 위해 자산 데이터로부터 Cost Breakdown Structure (CBS) 및 Cost Data를 추출하여 활용한다(Wang et al., 2019). 프로젝트 관리자는 정의된 작업 패키지를 선별적으로 추출하여 플랜트 유닛별로 원가계획을 작성하여 유닛별 원가 내역을 확정한다. 원가계획을 작성하기 위해 CBS Library를 작성하고 이를 바탕으로 프로젝트의 CBS를 구성한다. CBS Library는 프로젝트 레벨부터 작업과 원가 아이템(Cost Item)을 포함하는 상세 수준까지 구성되며 각 수준별 요구되는 내용들을 포함한다. 각 수준별 내용들은 ‘프로젝트(Project)’, ‘구역(Area)’, ‘공종(Discipline)’, ‘유닛(Unit)’, ‘작업패키지(Work Package)’ 등이며 프로젝트 특성에 따라 구성한다. CBS는 WBS와의 연계를 위하여 공종을 중심으로 작업 패키지과 작업을 정의하였으며 각 작업들은 Cost Item과 그에 따른 Cost Data를 갖는다. CBS 및 Cost data 추출을 위해 실행 프로젝트 수행 중 CBS 수정/보완이 가능한 CBS 정보를 추출하고, 상세원가산정의 2단계인 ‘원가분류체계(CBS)개발’ 단계에서는 견적의 목적, 요구되는 상세 수준 및 견적 범위를 규정한다. 상세도가 높고 명확한 체계로 정의한 CBS/WBS 통합체계를 구성한다.

원가 데이터는 자산 데이터의 BOM (Bill of Material)을 참고하여 추출하며, 물리적 체계(Physical Breakdown Structure; PBS)와 작업체계(Work Breakdown Structure; WBS)의 연계성을 고려하여 구성한다. 물리적 체계는 유닛, 패키지, 모듈, 장비 및 장치 등으로 구성되는 플랜트의 물리적 구성요소에 해당하고, 작업체계는 공종(Disipline), 작업단위(Work Package), 요소작업(Activity)과 같은 계약 및 시공을 위한 요소에 해당한다.

Table 2. Structure of sample CBS

Item	Description
1	LUMP SUM PRICE
1.1	Fixed LUMP SUM PRICE
a)	Home Office Services
b)	Equipment and Packages
c)	Bulk Materials
d)	Modularisation
e)	Piling, Underground, Foundations&other Civil Works
f)	Stick-built Construction, Modules Installation Hook-up&Pre commissioning (including commissioning of all utilities)
g)	Commissioning Assistance and Test Run
h)	Field Management and Supervision
l)	Insurance Space
j)	Pre-defined Critical Spares (SPIR-1)
k)	Training
	Sub-Total Fixed LUMP SUM PRICE 1.1 (a to k)

EPC 플랜트의 특성상 주요 생산 프로세스 및 유틸리티 장비와 모듈화 단위를 규정하여 WBS 및 CBS체계에 반영하는 것이 핵심적이다. <Table 3>는 설치유닛, 모듈, 공종의 예시이다.

Table 3. Units and disciplines included in the sample project

Division	Content
Install Unit	Process Unit (Reactor Modules)
	Control Building
	Storage Unit
	Power Supplier
	Water Treatment Unit
Module	Preassembled Rack (PAR)
	Preassembled Unit (PAU)
	Vendor Assembled Unit (VAU)
	Preassembled Building (PAB)
Main Discipline	Civil (CV)
	Building/Architecture (AR)
	Piping (PI)
	Electrical (EL)
	Instrument (IN)
	Steel Structure (SS)
	Mechanical (ME)
	Painting/Insulation (PA)

예시된 모듈은 PAR (Pre-Assembled Pipe Rack), PAU (Pre-Assembled Unit), VAU (Vendor Assembled Unit)이며 <Fig. 5>, 기계, 파이핑, 전기, 장치 등이 개별 모듈에 포함된다. 이를 반영하여 프로젝트의 관리를 위한 분류기준에 해당하는 Phase, Unit/Area, Discipline, Milestone, Organization, Scope of Work, Module 등을 고려하여 CBS/WBS 통합체계를 정의한다. 통합체계는 발주처의 요구사항을 기본으로 프로젝트의 진도관리(Monitoring & Control)를 위한 Summary Level 일정을 발주자 PM과 협의하여 마스터 스케줄의 상위 레벨에서 상세스케줄에 해당하는 하위 레벨로 상세화 한다. 발주자로부터 통합체계에 대한 특별 요구사항이 없을 경우에는 유사 프로젝트를 참조하여 통합체계를 개발하며, Phase, Zone, System, Discipline/Work Package/Module (PAR, PAU, VAU)/Material Status Report/Progress Measurement System을 고려하여 통합체계를 개발한다.

WBS의 Level 1은 최상위 Level로 프로젝트 명을 나타내며, Level 2는 프로젝트 비용구조체계와 연계하여 프로젝트 일반, 본사지원, Off-site, On site, Commissioning 등으로 구분된다. Level 3은 Work Package로 분류되어 일정관리를 위한 체계와 통합되어 세분화 된다<Fig. 6>.

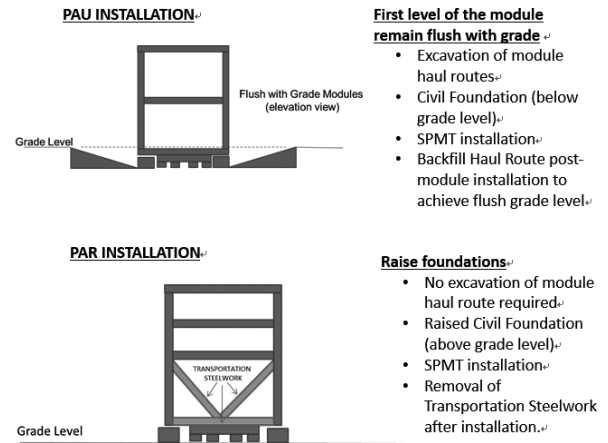


Fig. 6. PAU and PAR installation

CBS의 Level 1은 최상위 Level로 프로젝트 명을 나타내며, Level 2는 Fixed LUMP SUM PRICE와 Optional LUMP SUM Scope Items/PRICE로 구성된다. Level 3은 Fixed LUMP SUM PRICE의 cost 세부 목록이다<Fig. 7>. <Fig. 8>은 WBS와 CBS가 통합된 체계의 예시이며 <Table 2>에 예시된 모듈단위의 체계 구성을 나타낸다. 결과적으로 원가산정 단계에서 물리적 구성에 따른 유닛, 모듈 단위의 물리적 구성과 제작 및 시공을 위한 공종별 작업단위가 연계관리된다.

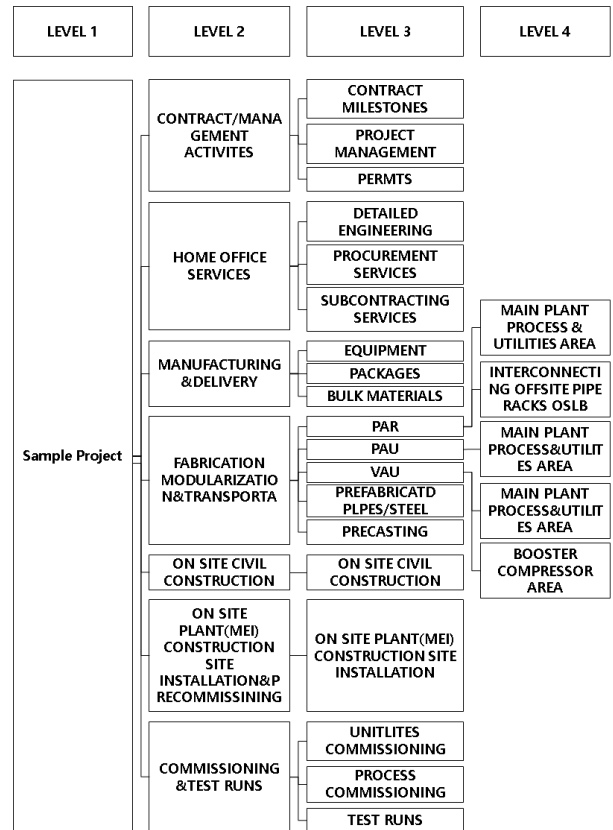


Fig. 7. Integrated management structure

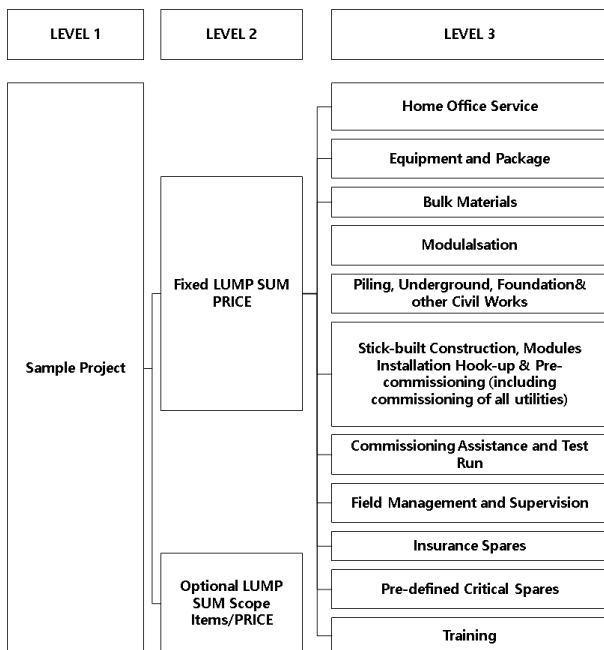


Fig. 8. Sample cost breakdown structure

원가·공정 통합관리 방법론에 샘플 시나리오를 적용하여 WBS와 CBS를 개발하였고, WBS와 CBS가 통합관리 가능한 것을 볼 수 있다. 모듈러 플랜트 프로젝트의 원가·공정 통합관리의 효율성을 높일 수 있다.

## 5. 결론

본 연구는 EPC 플랜트 프로젝트의 통합 연계관리를 위한 지침서 개발을 목적으로 모듈러 플랜트 프로젝트 관리의 기본이 되는 원가 및 공정 업무 체계를 고찰하고, 모듈단위로 CBS와 WBS를 통합연계 할 수 있는 방법론을 제시하였다. 또한, 제시한 방법론을 샘플 시나리오에 적용하여 프로젝트의 통합관리가 가능한 지침서를 개발하였고, 이를 통해 공정 관리 방법론, 원가관리 방법론, 원가·공정 통합관리 방법론을 개발하였다. 기존의 Stick-built 방식과는 달리 현장준비와 모듈제작이 동시에 이루어지기 때문에 처음부터 통합 분류체계를 원가 중심으로 구축한 WBS·CBS 통합체계를 통해 플랜트 프로젝트의 원가·공정 통합연계관리가 가능하다는 결과를 도출하였다.

플랜트 프로젝트의 원가·공정 통합관리 지침서를 다양한 플랜트 프로젝트 사례에 적용하여 모듈개념에 비용-일정 체계를 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2020년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음.

## References

- Choi, J., Kang, S.H., Shin, H.C., Son, C.B., and Park, H.S. (2019). Construction Management-Schedule, Productivity, Cost Management, and Economic Analysis. CIR.
- Choi, J.O. (2019). "Related Research Trends of Modularization." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(1), pp. 45-48.
- Choi, J.O., and Yoon, B.K. (2005). Construction Management, SEOWOO Publication, pp. 13-14.
- Construction Industry Institute (2012). "Industrial Modularization: How to Optimize; How to Maximize (Best Practice)"
- Gibb, A., and Pendlebury M. (2005). Glossary of terms, Buildoffsite: Prompting Construction offsite, London.
- Gotlieb, J., Stringfellow, T., and Rice, R. (2001). "Power Plant Design taking Full Advantage of Modularization." *Power Engineering*, Carter & Burgess Inc., <<http://www.power-eng.com/articles/print/volume-105/issue-6/features/power-plant-design-taking-full-advantage-of-modularization.html>> (Jun. 01, 2001).
- Samjong KPMG ERI Inc. (2019). Open Innovation in the Construction Industry: Notice Modularization, Automation and Digitalization, Issue Monitor, 107.
- Hwang, J., Choi, S., Lee, J., and Kim, Y. (2014). "Development of Bill Service Framework for Modular Housing Construction." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(5), pp. 138-146.
- Kang, N.H., and Choi, J.H. (2017). "Construction Cost-Schedule Integration Management Methodology by using Progress Integration Unit." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 18(3), pp. 42-52.
- Kim, D.M., Lee, J.S., Kim, J.H., and Kim, J.J. (2014). "Marketing Strategy and Influential Factors based on the Attribute of Unit Modular System." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(1), pp. 78-86.
- Kim, H.J., and Choi, J.H. (2019). "Development of a Conceptual Estimate Methodology for Plant Construction Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(1), pp. 141-150.



- Lapp, C. W., and Golay, M.W. (1997). "Modular design and construction techniques for nuclear power plants." *Nuclear Engineering and Design*, 172(3), pp. 327-349.
- Lee, H. (2015). Technology and R&D Trends in Plant Modularized Construction Market. *The Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineers of Korea*, SAREK, 44(9), pp 54-62.
- Li, H.X., Al-Hussein, M., Lei, Z., and Ajweh, Z. (2013). "Risk Identification and assessment of modular construction utilizing fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and simulation." *Canadian Journal of civil Engineering*, 40(12), pp. 1184-1195.
- Park, B.J., Lee, M.J., and Lee, T.S. (2008). "Development of EPC Business Process Management Model for Improving Plant Project Management."
- Park, C.Y., Kim, H.J., Won, J.W., Jang, W.S., and Han, S.H. (2016). "A Study for Selecting Modular Construction Method-Focus on Benefits and Barriers of Modular Method." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 17(4), pp. 12-19.
- Park, K.J. (2012). "Introduction of Modular Construction Method for Overseas Plant Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(1), pp. 21-25.
- Rogan, A.L., Lawson, R.M., and Bates-Brkljac, N. (2000). "Value and benefits assessment of modular construction." The Steel Construction Institute, Ascot.
- Tatum, C.B., Vanegas, J.A., and Williams, J.M. (1987). "Construction Improvement using Prefabrication." Pre-assembly and Modularization, Technical Report 297, Austin: Construction Industry Institute.
- Wang, H.K., and Choi, J.H. (2019). "Data-Driven Interactive Planning Methodology for EPC Plant Projects." *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 20(2), pp. 95-104.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2019). Integrated Cost-Schedule Management Guidelines for Plant Projects. Report Number: 19IFIP-B091004-06.

---

**요약** : 플랜트 산업의 대형화, 복잡화 추세에 따라 플랜트 프로젝트의 수행효율을 극대화하기 위해 모듈러 플랜트의 적용비율이 높아지고 있다. 모듈러 프로젝트의 성공적인 수행을 위해서는 사업수행 전 단계에 걸친 사업수행 전략 수립 및 이행이 필수적이다. 그러나 국내 건설업체는 플랜트 사업관리기술의 정립이나 적용이 미비한 실정으로 특히 사업관리 기술의 핵심요소로서 원가와 공정의 통합관리 방법을 정립하고 체계화 하는 것이 필수적이다. 본 연구는 모듈러 플랜트 프로젝트의 원가와 공정을 통합관리하기 위한 방법론 및 지침서 개발을 목적으로 수행되었다. 모듈러 공법의 일반적인 사항, 원가·공정관리의 업무절차에 대한 이론적 고찰을 토대로 원가관리 방법론, 공정관리 방법론을 개발하고 원가·공정을 모듈단위로 통합관리 할 수 있는 방법론과 지침서를 개발하였다. 모듈러 플랜트 프로젝트에 특화된 원가·공정 통합관리 방법론 및 지침서의 적용을 통해 프로젝트 관리의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

**키워드** : EPC 프로젝트, 모듈러 플랜트, 원가·공정 통합관리 절차, 지침서

---