

석유화학 플랜트 EPC 사업의 진도율 산정표준의 제안

조홍연, 유호선*[†]

한양대학교 공학대학원 플랜트엔지니어링 전공, *승실대학교 기계공학과

A Standard Method for Progress Measurement in a Petrochemical Plant EPC Project

Hong-Yeon Cho, HoseonYoo*[†]

Course of Plant Engineering, Graduate School of Industry, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

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

ABSTRACT : In proportion to continuing growth of overseas plant market and the trend of its mega scale of the project, the importance of management is significantly emphasized for the successful execution of the project. And it is recognized that progress control is the most important management item amongst the others in the management. Progress control is importance of progress measurement for performance measurement and process control of project, but it is hardly obtainable securing the objectivity in the progress measurement since the progress measurement are being applied differently in accordance with the project conditions and the experience level of the person in charge for the progress control.

This study has conducted as following to propose a standard method for progress measurement in a petrochemical plant protect. Domestic and overseas plant projects are investigated variously with the applied method of progress measurement, and the deduced problem of progress measurement. And then standard method for progress measurement of engineering, procurement, construction and commissioning has been proposed according to comparison and analysis of practices in domestic & overseas plant project, procedures for progress control in the globally reputed petrochemical client, company rules and recommendation of the expert in progress control.

Key words : progress(진도율), performance measurement(성과측정), process control(진도관리)

기 호 설 명

C_a	: 수압시험 서류검토 진도율 [%]	C_{waq}	: 수압시험 서류검토 실 작업량 [패키지]
C_b	: 배관세척 진도율 [%]	C_{wtq}	: 수압시험 서류검토 전체물량 [패키지]
C_c	: 배관분야의 진도율 [%]	D_a	: 시공용 제출 진도율 [%]
C_{ev}	: 누계 달성진도 값 [%]	D_b	: 승인용 제출 진도율 [%]
C_{paq}	: 배관세척 실 작업량 [라인]	D_c	: 계산서 및 목록 진도율 [%]
C_{ptq}	: 배관세척 전체물량 [라인]	D_{aq}	: 승인용 제출수량 [종류]
		D_{tq}	: 전체수량 [종류]
		I_a	: 터파기 진도율 [%]
		I_b	: 철근설치 진도율 [%]
		I_c	: 거푸집설치 진도율 [%]
		I_d	: 콘크리트 타설 진도율 [%]
		I_e	: 기계기초의 진도율 [%]

[†] Corresponding author

Tel. +82-2-820-0661; Fax +82-2-820-0668

E-mail address: hsyoo@ssu.ac.kr

- I_{aq} : 콘크리트 실 작업량 [m^3]
- I_{eaq} : 터파기 완료수량 [m^3]
- I_{etaq} : 터파기 전체수량 [m^3]
- I_{ev} : 작업 단계별 달성진도 값 [%]
- I_{faq} : 거푸집 완료수량 [m^2]
- I_{ftaq} : 거푸집 전체수량 [m^2]
- I_{paq} : 콘크리트 완료수량 [m^3]
- I_{ptaq} : 콘크리트 전체수량 [m^3]
- I_{raq} : 철근설치 완료수량 [ton]
- I_{rtaq} : 철근설치 전체수량 [ton]
- I_{tq} : 콘크리트 전체물량 [m^3]
- P_a : 현장입고 자재 진도율 [%]
- P_b : 운송 중인 자재 진도율 [%]
- P_c : 압력용기의 진도율 [%]
- P_{dq} : 입고수량 [대]
- P_{rq} : 선적준비 완료수량 [대]
- P_{tq} : 전체수량 [대]
- W_f : 가중치 [%]

1. 서론

국내기업들의 해외 플랜트 프로젝트 수주는 2004년 이후 지속적인 성장을 거듭하여 2010년 해외 플랜트 프로젝트 수주액이 약 645억 달러를 기록하여 사상 최대 수주 실적을 달성하였다.^[1] 또한 프로젝트의 대형화 추세가 뚜렷하여 5억 달러 이상 대형 프로젝트가 전체 수주의 80% 이상을 점유하여 해외 프로젝트의 성공적인 수행을 위한 관리가 더욱 중요시되고 있다. 특히 플랜트는 복합화, 대형화되고 토목, 건축, 기계, 전기 및 계장 등 복합 공종으로 이루어져 프로젝트의 관리목표인 품질, 일정 및 비용을 달성하기 위해서는 계획을 세우고 계획대로 추진되도록 관리하는 것이 중요하다.

성공적인 수행을 위한 해외 플랜트 프로젝트의 관리기술에서 공정관리 100을 기준으로 일본에서 설문조사하였다. 설문조사에 의하면 공정관리, 시공관리, 코스트관리, 계약관리, 품질관리, 프로젝트기획, 생산성관리, 정보관리, 적산기술, 협상발표, 기자재조달, 그리고 기술지도 등이 성공적인 프로젝트 수행을 위한 중요 기술이다. 일반적인 설계와 시공에 관한 기술이 아닌 대부분 매니지먼트와 관련된 기술이 국제 건설 프로젝트의 성공 요인이며 그중에서도 공정관리가 제일 중요한 성공 요인으로 지적하였

다.^[2]

공정관리는 프로젝트를 진행하면서 성과측정 및 진도관리를 위해 계획 대비 실적 진도율 차이를 정확히 분석하여 현황을 인식하고 프로젝트에 미치는 영향을 평가 및 예측하고 신속한 대책 수립 및 실행으로 미래에 발생할 수 있는 위험을 최소화하여 적기에 프로젝트가 완공되고 비용을 절감할 수 있도록 관리되어야 한다. 또한 계획 대비 실적 차이를 정확히 분석하여 현황을 인식하기 위해서는 계획과 실적을 계량화하여야 한다. 그래서 프로젝트 성과측정 및 진도관리에 진도율 산정이 중요한 역할을 한다. 그러나 진도율 산정이 프로젝트 상황 및 공정담당자의 경험수준에 의해 프로젝트별로 다르게 운영되기 때문에 진도산정의 객관성 확보가 어렵다.

본 연구에서는 석유화학 플랜트 프로젝트의 객관적인 성과측정 및 진도관리를 위한 진도율 산정표준을 제안하여 프로젝트 상황 및 공정담당자 경험수준에 의한 차이를 최소화하고, 프로젝트별 동일한 진도율 산정으로 공종별 계획 대비 실적 차이의 쉬운 이해와 분석, 평가 및 예측으로 신속한 대처가 가능하도록 활용 가능한 진도율 산정표준을 연구하고자 한다.

2. 진도율 이론

2.1 진도율 관리

진도율 관리란 공정관리의 일정계획 기능과 일정관리 기능 중 일정관리 기능으로 미리 세운 일정계획대로 프로젝트가 진행되도록 계속 감독하고 계획 대비 실제 진행과의 차이로 공정지연이 있을 경우 분석 및 원인을 밝혀 개선안을 찾아내는 관리기법을 말한다. 즉, 사전에 계획을 세우고, 공사를 계획대로 수행하며, 공사가 계획대로 진행되는지 추적 감시를 통하여 통제하고, 공사계획과 시행을 대비하여 일치하지 않을 때에는 계획을 수정하고 보완작업을 지속적으로 수행하면서 관리자 등의 의사결정을 반영해주는 공정관리의 기법^[3] 중 일부를 말한다.

일정계획 기능 중 계획단계는 작업을 분류하고 작업순서와 소요시간 결정, 공정계획수립 및 유관정보를 통합하며, 공정표 작성 단계에서는 전체 공사기간 산정과정으로 공기 조정, 자원 평준화 및 실적자료수집 등이 이루어진다. 또한 일정관리 기능 중 감시와 평가 단계에서는 실적자료 수집, 현황 파악, 계

획 대비 수행실적 차이 분석 및 평가를 하며, 통제 단계에서는 예측, 공기 지연 시 대책 수립 현황 및 자원계획 변경 보고가 이루어진다. 즉, 프로젝트 시작시점에서 완료 때까지의 일정을 계획하여 수립하는 업무, 프로젝트의 수행 작업의 진척도를 측정하여 보고하는 업무, 계획일정과 실적치와의 차이를 조기에 발견하고 분석 및 평가하여 일정에 미치는 영향을 정확히 예측하는 업무, 차이에 따라 필요한 독촉활동, 관련부문에 보고 및 관련부문과의 조정 작업, 그리고 각종 일정의 수정작업을 시행하는 업무 등이 있다.^[4]

2.2 기존 진도율 산정방법

진도율 산정의 다양한 방법 중 보편적으로 연구에 사용되는 Thomas와 Mathews가 제시한 3가지 산정방법으로 추정진도 측정방법(estimated percent complete method), 실 작업량 측정방법(physical progress measurement method), 달성진도 인정방법(earned value method)이 있다.^[5]

① 추정진도 측정방법

추정진도 측정방법은 가장 쉽고 경제적인 방법으로, 프로젝트 감독자 혹은 기술 감독자의 주관적인 판단에 의해 작업 단위 수를 결정하고 현재까지 완료된 작업 진도율을 추정한 후, 그 작업 단위 수와 작업 진도율을 곱함으로써 산정되는 방법이다. 또한 총 작업 단위 수는 공사 시작 이전에 결정되어야 하나, 실제로는 작업범위가 결정되기 전에 공사가 시작되는 경우가 허다하므로, 작업 단위 수는 추정되어 결정된다.

추정진도 측정방법의 장점은 진도 산정이 극히 단순하여 적은 인력과 시간 투입으로 측정이 가능하며 규모가 작고 공사기간이 6개월 미만인 경우 및 단순 반복공사에 유리하다. 단점은 작업 진도율과 실 작업량 관계가 불균등 및 불일치하고 주관적 판단으로 객관성이 결여되어 신뢰도가 저하된다. 설계나 혹은 작업량 변경 시 수정이 용이하지 못하고 진도율 판정이 개인의 능력에 크게 좌우되며 담당 책임자의 이동시 기준이 흔들릴 수 있다.

② 실 작업량 측정방법

실 작업량 측정방법은 단위공종별 총 예상 작업물량 대비 실작업완료 물량의 비율로 진도율을 산정하는 방법으로, 건설공사에 소요되는 자재 중 대량 자

재로써 수량측정이 가능한 공종에 도입하는 방법으로 국내 건설공사에서 일반적으로 채택하고 있는 방식이기도 하다.

효과적인 적용을 위한 전제 조건으로 단위공종이 세부적으로 정확하게 정의되어야 하고 단일 계량단위가 부여되어야 하며 물량은 대량으로, 대표물량 선정이 비교적 정확해야 한다. 실 작업 측정방법의 장점으로는 가장 정밀하고 정확하며 주관적 요소가 배제된 객관성 확보로 신뢰도를 증가시키고 정확한 평가가 가능하다. 단점으로는 적기에 작업물량이나 금액정보를 확보하기가 어렵고 기준수립에 시간과 인력 소모가 많다.

③ 달성진도 인정방법

단위작업 범위를 측정 가능한 규모로 세분화시켜 작업진행 단계별로 일정한 달성진도값(earned value)을 부여하여 작업진도를 산정하는 방법이다.

달성진도 인정방법의 장점으로는 추정진도 측정방법에 비해 훨씬 세부적이고 객관적인 진도측정이 가능하고 정확성에 비해 실 작업량 측정방법보다 개발에 시간과 인력이 덜 소모된다. 단점으로는 계약자별 혹은 발주기관에 따라 작업 단계별로 달성진도값 인정 방법이 상이할 수 있고 단위사업에서 발주자와 계약자 사이에 이견이 발생할 수 있으므로 건설공사 초기 또는 착수 전에 계약 당사자인 발주자와 계약자 사이에 사전 협의 확정이 반드시 이루어져야 한다. 또한 단위작업이 지나치게 세분화될 수 있다. 달성진도 인정방법 중 단위작업에 대한 진도율 산정의 방법으로 다음과 같은 방법들이 제시되고 있다.^[6]

㉠ 완료물량 측정(units completed)

쉽게 측정이 가능하고 각 단위작업에 필요한 노력이 반복되어지는 작업에 적합하다.

㉡ 진행 단계별 측정(incremental milestone)

순차적으로 진행되는 하부작업 군으로 구성되어 있는 작업에 적합하다. 작업 진행률은 각 작업에 소요될 노무량에 기준하여 제시된다.

㉢ 시작/완료 구분에 의한 측정(start/finish)

하부작업군 구분이 어렵거나 단위작업 기간별 노력도를 측정하기 어려운 작업에 적합하다.

㉣ 추정에 의한 측정(supervisor opinion)

어느 특정의 측정방법 적용이 어려운 상대적으로 주요하지 않은 작업에 적합하다.

㉤ 공사비 비율에 의한 측정(cost ratio)

공사 기간이 긴 경우 또는 프로젝트가 진행되면서

지속적으로 예산이 잡히는 작업에 적합하다.

㉞ 가중치에 의한 측정(weighted or equivalent units)

작업진도 측정단위가 서로 다른 몇 개의 하부작업으로 구성된 기간이 긴 작업에 적합하다.

이와 같이 작업진도 측정방법은 여러 가지가 있으며 각 단위작업의 진도율을 결정하여 공종별 진도율을 산정할 수 있고, 각 공종별 진도율을 합하면 프로젝트 전체의 총 진도율을 산정할 수 있다.

3. 진도율 관리 현황 및 문제점

3.1 진도율 산정방법

3.1.1 국내 플랜트 프로젝트

진도관리를 위한 작업분류체계는 대부분 설계, 구매, 시공 및 시운전 부문으로 구분하고 각 부문은 도목, 건축, 철골, 기계, 배관, 전기, 계장, 도장 및 보온 등 분야별로 나누어진다. 또한 각 분야는 다시 상세한 단위작업으로 나누어져 구성된다.

설계의 진도율 산정방법은 달성진도 인정방법 중 진행 단계별 측정방법으로 설계분야별 설계 성과품의 진행 단계별 달성진도 값으로 산정되며 설계 도서목록(document register)에 기록하여 관리한다. 또한 설계 가중치는 총 예상 투입인력에 대한 각 설계도서에 투입되는 인력을 기준으로 한다.

구매의 진도율 산정방법은 달성진도 인정방법 중 진행 단계별 측정방법으로 기계, 배관, 전기 및 계장 등의 분야별 구매품의 진행 단계별 달성진도 값으로 산정되며 구매목록(procurement register)에 기록하여 관리한다. 또한 가중치는 총 구매 계약금액에 대한 단위작업별 자재비를 기준으로 한다.

시공의 진도율 산정방법은 대부분 실 작업량 측정 방식으로 분야별 단위작업 및 단위작업에 대한 대표물량을 선정하고 대표물량에 대한 실 작업량으로 진도율을 산정한다. 시공 가중치는 총 시공 계약금액에 대한 단위작업별 시공 금액을 기준으로 한다. Table 1은 국내 플랜트 현장의 시공 진도율 산정방법이다. CO(carbon oxide) 프로젝트, BTX(benzene toluene xylene) 프로젝트, NCC(naphtha cracking center) 프로젝트 및 LNG(liquefied natural gas) 프로젝트의 진도율 산정은 공통적으로 가중치는 계약금액, 진도율 산정방식은 대표물량의 완료비율, 그리고 측정주기는 주간이다. 또한 배관작업을 예로 들어 살펴보면, 배관설치 단

위작업에 대한 대표물량이 CO 프로젝트 및 LNG 프로젝트에서는 설치 및 제작 배관 다이아-인치(dia-inch)를 100%로 보아 한 개의 대표물량을 갖는다. 그러나 BTX 프로젝트 및 NCC 프로젝트에서는 설치 및 제작 배관 다이아-인치(dia-inch) 비율을 85%, 수압시험 비율을 15%로 두 개의 대표물량을 갖는다. 이와 같이 프로젝트별로 단위작업에 대한 대표물량 선정에 차이가 있다.

시운전 진도율 산정방법은 달성진도 인정방법 중 작업 단계별 측정방법으로 기계, 배관, 전기 및 계장의 단위작업별 중점관리 사항을 작업 단계로 정하고 작업 단계별 달성진도 값으로 산정된다. 또한 시운전 가중치는 투입인력 및 기능상의 중요도를 기준으로 한다.

위와 같이 설계, 구매 및 시운전의 진도율 산정은 단계별 달성진도 값을 사용하고 있으며 시공의 진도율 산정은 분야별 단위작업과 대표물량의 실 작업량을 사용하고 있다.

Table 1 Progress measurement of construction for domestic plant

Project Name	Progress Measurement	Example of Piping Work
CO project	- Weight factor: contract cost - Progress: completion rate of principle quantity - Measurement period: week	- Activity: piping installation - principle quantity: * pipe dia-inch of installation or shop fabrication quantity (100%)
BTX project	- Weight factor: contract cost - Progress: completion rate of principle quantity - Measurement period: Week	- Activity: piping installation - Principle quantity: * pipe dia-inch of installation or shop fabrication quantity (85%) * completed quantity of hydro-test (15%)
NCC project	- Weight factor: contract cost - Progress: completion rate of principle quantity - Measurement period: week	- Activity: piping installation - Principle quantity: * pipe dia-inch of installation or shop fabrication quantity (85%) * completed quantity of hydro-test (15%)
LNG project	- Weight factor: contract cost - Progress: completion rate of principle quantity - Measurement period: week	- Activity: piping installation - Principle quantity: * pipe dia-inch of installation or shop fabrication quantity (100%)

석유화학 플랜트 EPC 사업의 진도율 산정표준의 제안

사업 초기 공정계획에서 설계, 구매 및 시공의 충분한 자료 검토 없이 유사 플랜트의 실적자료를 활용하거나 현금흐름을 고려하여 선행 작업의 가중치를 조정하는 등 객관성이 부족하다. 특히 설계, 구매 및 시운전의 단계별 달성진도 값과 시공의 분야별 단위작업 및 단위작업에 대한 대표물량이 개인의 경험이나 판단에 의해 선정되고 있다.

3.1.2 해외 플랜트 프로젝트

해외 플랜트 프로젝트의 진도관리를 위한 작업분류체계 부문 및 분야는 국내 플랜트 프로젝트와 유사하다. 설계, 구매 및 시운전의 진도율 산정방법은 발주처에 따라 단계 및 단계별 달성진도 값의 차이는 있으나 일반적으로 국내 플랜트 프로젝트와 유사한 방법으로 진도율을 산정하고 있다.

Table 2는 해외 플랜트 현장의 시공 진도율 산정 방법으로 진도율 산정 및 토목공사의 예를 들어 보인 기계기초 단위작업에 대한 작업 단계와 달성 달성진도 값을 보여주고 있다.

위와 같이 시공의 진도율 산정과 단위작업에 대한 작업 단계와 단계별 달성진도 값이 발주자에 따라 크게 다르다. 그러나 대부분의 발주자는 단위작업과 단계별 달성진도 값의 일부만을 제시하고 계약자가 진도율 산정 안을 제안하여 승인을 받도록 하고 있다.

해외의 진도율 산정은 가능한 객관성을 추구하고 있으며 대부분 달성진도 인정방법을 사용하고 있다. 또한 가중치 부여방법은 금액을 기준으로 하거나 공종별 설치 물량에 소요되는 인력을 기준으로 한다. 다만 소요비용 기준인 경우에는 시공계약자가 공사 입찰 단계에서 제시한 금액 기준으로 작업의 진도를 객관적으로 계량화하여 발주처와 시공자 모두 서로 다른 기준 사용을 배제하도록 한다.^[7]

3.2 진도율 산정의 문제점

국내의 진도율 산정의 문제점은 발주자의 공정관리 중요성에 대한 인식 부족으로 공정관리 설명서 및 전담 공정관리자의 프로젝트 배치 요구가 없고 대부분 공무에서 겸직하고 있다는 것이다. 실적자료의 관리가 시스템적으로 이루어지지 않아 공정담당자의 경험 수준에 따라 진도율 산정이 프로젝트별로 다르다. 진도율 산정에 객관성이 없이 작성된 공정표는 발주처로부터 신뢰도의 상실을 가져오고 진도율에 대한 평가 및 예측이 불가하여 공정관리의 기

Table 2 Progress measurement method of construction for overseas plant

Country	Progress measurement	Example of equipment foundation for civil work
Saudi Arabia (ARAMCO)	- Weight factor: required manpower - Progress: earned value of each activity - Measurement period: Week	* Excavation: 5% * Lean concrete: 5% * Reinforcement: 25% * Formworks: 20% * Anchor bolts/plates: 10% * Concrete pouring: 15% * Formworks stripping, concrete protection & backfill: 10% * Grouting: 10%
Qatar (Qatar chemical company Ltd.)	- Weight factor: required manpower - Progress: earned man/hour & earned value of each activity - Measurement period: month	* Lean concrete: 10% * Rebar installation: 35% * Form installation: 35% * Concrete pouring: 15% * Form stripping/inspection: 5%
Taiwan (Formosa Petrochemical Corp)	- Weight factor: contract cost - Progress: completion rate of principle quantity - Measurement period: week	* Principle quantity: concrete pouring
UAE (TAKREER)	- Weight factor: required cost or manpower - Progress: farned value of each activity - Measurement period: month	* Excavation : 15% * Formwork/rebar : 40% * Concreting : 40% * Backfilling : 5%
Kuwait (Kuwait national petroleum company)	- Weight factor: required manpower - Progress: farned value of each activity - Measurement period: week	* As per client's approval - excavation, install formwork, install rebar, place concrete, strip formwork, finishings, acceptance etc.

능 수행이 어렵다. 그러므로 객관적인 성과측정 및 진도관리를 위하여 진도율 산정의 핵심이 되는 설계, 구매 및 시운전의 단계별 달성진도 값과 시공의 분야별 단위작업 및 대표물량의 객관성 확보가 필요하다.

해외의 진도율 산정의 문제점은 발주자가 입찰시

Table 3 Standard method for progress measurement of engineering.

Disciplines	Principle commodity	Activity	Unit	Earned value by progress step		
				1	2	3
All	Type of design document (calculation/ list, datasheet, specification, drawing, RFQ, BOM)	Name of design document	Sheet or copy	Design start	Issue for approval / information (IFA/IFI)	Issue for construction (IFC)
				10%	50%	40%
		RFQ name of engineered item	RFQ package	Issue for RFQ	Technical bid evaluation (TBE)	Approved vendor print
				20%	40%	40%
		BOM name of bulk material	BOM package	Issue for BOM		
				100%		

제공하는 공정관리 설명서에 명시된 규정에 따라 작성되지만, 대부분 단위작업과 단계별 달성진도 값의 일부만을 제시하고 계약자가 진도율 산정 안을 제안하여 승인을 받도록 하고 있다는 것이다. 프로젝트 초기에 발주처의 공정관리 설명서의 요구조건을 반영한 발주자와의 협의에 활용될 수 있는 진도율 산정표준이 필요하다. 설계, 구매 및 시운전은 국내와 같은 진도율 산정방법을 활용하고 시공은 단위작업에 대한 작업 단계별 달성진도 값의 객관성 확보가 필요하다.

본 연구와 연관된 시공 진도율 산정방법에 대한 문제점은 다음과 같다.^[7]

- ① 대표 공중 선정 기준 부재.
- ② 계획 진도율과 실적 진도율 산정 공중 불일치.
- ③ 객관적 기준 자료 부재로 인한 문제점.

4. 진도율 산정표준 제안

본 연구에서는 설계, 구매, 시공 및 시운전에 대한 진도율 산정표준의 객관성 확보를 위하여 단위작업 및 단계별 달성진도 값, 대표물량 등을 다음과 같은 방법으로 선정하였다. 우선 제3장 진도관리 운영 현황 및 문제점에서 조사한 국내외 프로젝트에서 다양하게 적용되는 진도율 산정방법과 세계적 유명 석유화학 발주자의 공정관리 절차서 중 가장 세분화되어 있는 사우디아라비아의 아람코(ARAMCO)^[8] 및 아랍에미리트의 타크리어(TAKREER)^[9] 기준을 비교, 분석하여 진도율 산정표준 안을 작성하였고 회사규정 및 전문가의 조언을 반영하여 진도율 산정표준을 제안하였다. 그리고 진도율 관리체계는 1단계

프로젝트 코드(project code), 2단계 부문(phase - EPC), 3단계 분야(discipline), 4단계 단위작업(activity)을 기준으로 하였다.

4.1 설계 진도율 산정표준 제안

4.1.1 설계 업무 흐름

설계 업무 흐름은 공정, 토목, 건축, 철골, 기계, 배관, 전기 및 계장 등 분야별로 설계 작업을 착수하여 작성된 설계 도서를 유관 분야의 확인을 거쳐 발주자에게 승인용 도서인 IFA(Issue For Approval)로 제출한다. 제출된 도서는 발주자가 검토하여 승인하면 시공용인 AFC(Approved For Construction)로 발주자에게 재제출된다. 만약 발주자가 승인용 도서를 보완하도록 요구하면 발주자가 승인을 받을 때까지 수정 제출하여야 한다. 시공용 도서를 기준으로 작업은 착수되고 시공 중 설계 또는 현장 변경사항은 DCN(Design Change Notice) 또는 FCN(Field Change Notice)로 관리되어 준공 전 준공도면에 반영하여 제출한다.

4.1.2 설계 진도율 산정표준 제안

설계 진도율은 일반적으로 분야별 각종 설계 도서를 도서목록(document register)에 기록하고 기록된 각 설계도서의 진행 단계별 달성진도 값에 각 설계도서의 가중치를 곱한 진도율을 전체 합산하여 산정한다.

설계 진도율의 객관적인 성과측정 및 진도관리를 위하여 진행 단계별 달성진도 값의 객관성이 중요하다. 이를 위하여 국내외 프로젝트에서 현재 사용하

석유화학 플랜트 EPC 사업의 진도율 산정표준의 제안

는 방법과 회사규정을 기준으로 전문가의 조언을 통해 진행 단계별로 달성진도 값을 선정하였다.

Table 3은 설계 진도율 산정표준을 나타낸 것이다. 분야별 대표공종을 계산서와 목록, 데이터시트, 설명서, 도면, 견적요청서 그리고 물량산출서 등 6종류로 나누고 단위작업은 설계도서 명칭, 견적요청서(RFQ, Requisition For Quotation) 명칭 그리고 물량산출서(BOM, Bill Of Material) 명칭 등 3종류로 나누었다.

설계가 진행되면서 사업 초기 회사실적 및 경험에 의해 예상한 설계도서 대비 실제 설계도서의 종류 및 수량 차이가 발생한다. 특히 설계, 구매 및 시공이 동시에 진행되는 패스트트랙(fast track) 공사에서는 더욱 심하다. 이에 대한 대안으로 설계분야별 대표공종에 의한 설계 진도율 산정을 제안한다.

대표공종의 가중치를 명시하고 진도율 계산의 기준이 되는 수량에 변경을 두어 수량 변경이 있을 때 변경된 수량에 따라 진도율을 산정할 수 있도록 하였으며 Table 3의 진행 단계별 및 단계별 달성진도 값의 누계치로 표시하였다. 만약 공정분야의 대표공종 중 계산서 및 목록의 가중치가 5%로 가정하고 수량이 4종류인데 현재 승인용으로 4종류 모두를 제출하고, 시공용으로 2종류를 제출하였다면 진도율 산정은 다음과 같다.

$$D_a = W_f \times (D_{cq}/D_{iq}) \times C_{ev} \quad (1)$$

$$= 5\% \times (2 \text{ kinds}/4 \text{ kinds}) \times 100\% = 2.5\%$$

$$D_b = W_f \times [(D_{aq} - D_{cq})/D_{iq}] \times C_{ev} \quad (2)$$

$$= 5\% \times [(4 \text{ kinds} - 2 \text{ kinds})/4 \text{ kinds}] \times 60\% = 1.5\%$$

$$D_c = D_a + D_b = 2.5\% + 1.5\% = 4.0\% \quad (3)$$

여기서 D_a 는 시공용 제출 진도율, D_b 는 승인용 제출 진도율, D_c 는 공정분야의 계산서 및 목록 전체 진도율이며, W_f 는 가중치, D_{iq} 는 전체수량, D_{aq} 는 승인용 제출수량, D_{cq} 는 시공용 제출수량 그리고 C_{ev} 는 누계 달성진도 값을 나타낸다.

4.2 구매 진도율 산정표준 제안

4.2.1 구매 업무 흐름

구매 업무 흐름은 공급업체 선정단계, 설계 및 제작단계, 그리고 통관 및 현장입고 단계로 나눌 수 있다. Fig. 1은 구매 업무 흐름도이다. 추천 자재공급업체 목록을 발주자로부터 접수 또는 승인을 받고 기술 및 상업사항을 취합한 견적요청서(RFQ, Requisition For Quotation)를 승인된 입찰자에게 송부 및 견적을 접수하여 상업적 평가(CBE, Commercial Bid Evaluation)와 기술적 평가(TBE, Technical Bid Evaluation)를 거쳐 구매발주(PO, Purchase Order)하는 단계까지가 공급업체 선정단계이다. 또한 선정된 업체로부터 제작관련 설계 도서(V/P, Vendor Print)를 접수 및 검토, 승인, 제작, 검사 그리고 입고준비 전까지의 단계가 설계 및 제작단계이다. 현장입고 단계는 선적항 인도(FOB, Free On Board) 및 운송, 통관, 현장입고, 그리고 입고 검사

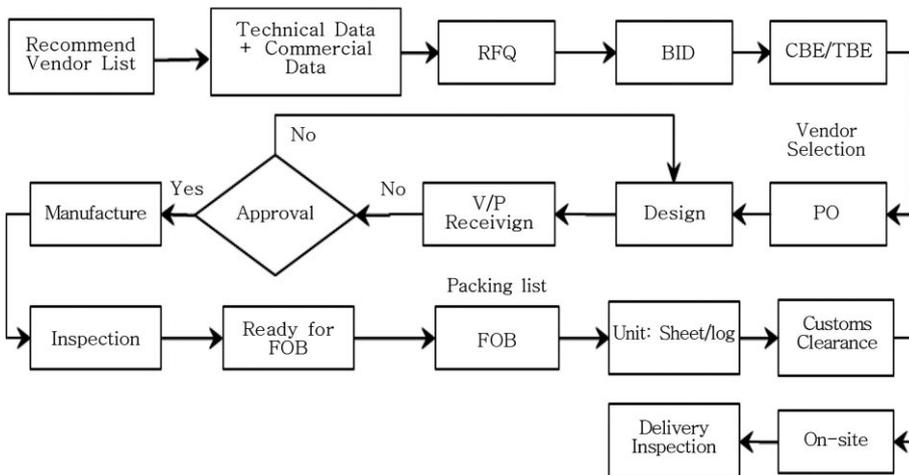


Fig. 1 Procurement flow chart

까지를 말한다.

4.2.2 구매 진도율 산정표준 제안

구매 진도율은 기계 및 배관, 전기, 계장 분야의 단위작업으로 기자재 및 벌크자재 품목을 구매목록(document register)에 기록하고 기록된 각 자재품목의 진행 단계별 달성진도 값에 각 자재품목의 가중치를 곱한 진도율을 전체 합산하여 산정한다. 그리고 토목, 건축, 철골, 보온 및 도장 분야의 자재는 대부분 외주업체 공급범위에 포함하여 시공 진도율로 산정하므로 구매 진도율 산정에서는 제외한다.

구매 진도율의 객관적인 성과측정 및 진도관리를 위하여 진행 단계별 달성진도 값의 객관성이 중요하다. 이를 위하여 국내외 프로젝트에서 현재 사용하는 방법과 회사규정을 기준으로 전문가의 조언을 통해 진행 단계별로 달성진도 값을 선정하였다. 예를 들어 설명하면 벌크자재의 진행단계는 Fig. 1의 구매 업무 흐름도 중 중점관리단계인 견적요청서 배포, 견적 평가 및 승인, 발주, 검사 또는 시험, 선적준비 그리고 현장입고 등의 6단계로 진행단계를 구분하고 각각의 달성진도 값을 부여하여 제안된 구매 진도율 산정표준을 만들었다. 분야별 단위작업을 견적요청서 및 벌크자재의 종류 2종류로 나누고 각 단위작업에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 다음과 같다.

- ① 견적요청서에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 입찰자에게 견적요청서 송부시 10%, 견적 평가 및 승인시 15%, 발주시 10%, 제작 설계도서 승인시 15%, 검사 또는 시험시 35%, 선적준비 완료시 5%, 그리고 현장입고시 10%이다.
- ② 벌크자재에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 입찰자에게 견적요청서 송부시 10%, 견적 평가 및 승인시 15%, 발주시 10%, 검사 또는 시험시 50%, 선적준비 완료시 5%, 그리고 현장입고시 10%이다.

만약 기계분야의 단위작업인 압력용기(pressure vessel)의 가중치를 10%로 가정하고 전체 수량 20대 중 현재 현장입고가 10대이고 잔여 10대는 현재 운송중이라면 진도율 산정은 다음과 같다.

$$P_a = W_f \times (P_{dq}/P_{iq}) \times C_{ev} \quad (4)$$

$$= 10\% \times (10 \text{ pressure vessels}/20 \text{ pressure vessels}) \times 100\% = 5.0\%$$

$$P_b = W_f \times [(P_{rq} - P_{dq})/P_{iq}] \times C_{ev} \quad (5)$$

$$= 10\% \times [(20 \text{ pressure vessels} - 10 \text{ pressure vessels})/20 \text{ pressure vessels}] \times 90\% = 4.5\%$$

$$P_c = P_a + P_b = 5.0\% + 4.5\% = 9.5\% \quad (6)$$

여기서 P_a 는 현장입고 자재 진도율, P_b 는 운송 중인 자재 진도율, P_c 는 압력용기의 진도율이며, W_f 는 가중치, P_{iq} 는 전체수량, P_{dq} 는 입고수량, P_{rq} 는 선적준비 완료수량 그리고 C_{ev} 는 누계 달성진도 값을 나타낸다.

구매 업무가 진행되면서 사업 초기 예상한 구매 비용 대비 실제 구매 비용에서 차이가 발생한다. 특히 패스트트랙(fast track) 공사에서는 계획 대비 실제 설계의 수량 및 사양 변경 등으로 큰 차이가 날 수 있어 특정시기에 가중치 변경을 고려해야 한다.

4.3 시공 진도율 산정표준 제안

4.3.1 시공 업무 흐름

시공 업무 흐름은 토목의 현장 부지정리 작업을 시작으로 파일공사 후 철골과 기계 기초공사, 지하 배관 설치, 건축공사, 철골공사, 기계공사, 배관공사, 전기공사 그리고 계장공사 등 복합적으로 수행되어 기계적 준공(mechanical completion)으로 진행된다.

4.3.2 시공 진도율 산정표준 제안

시공 진도율 산정은 토목, 건축, 철골, 기계, 배관, 전기, 계장, 보온 및 도장 분야로 나누어 분야별 단위작업의 대표물량에 대한 실 작업량 또는 작업 단계별 달성진도 값에 각 단위작업에 대한 가중치를 곱한 진도율을 전체 합산하여 산정한다.

설계, 구매, 시공 및 시운전의 진도율 산정 중에서 시공부문이 프로젝트 상황 및 공정담당자의 주관적 판단이 가장 많이 반영되어 있다. 시공 진도율의 객관적인 성과측정 및 진도관리를 위하여 분야별 단위작업 및 대표물량 선정, 작업 단계별 달성진도 값의 객관성이 중요하다. 이를 위하여 다음과 같이 진행하였다. 첫 번째 국내외 프로젝트에서 다양하게 적용되는 진도율 산정방법과 세계적으로 유명 석유화학 발주자인 아람코(ARAMCO)^[8] 및 타크리어(TAKREER)^[9]의 공정관리 절차서, 회사규정 등을 비교, 분석하여 분야별 단위작업 선정 및 작업 순서,

작업 순서에 대한 가중치를 도출하였다. 두 번째 도출한 작업 단계 중에서 중점관리 단계 작업으로 작업물량 산정이 가능한 작업을 선정하고 제외된 작업의 가중치는 후속 작업의 가중치에 포함하여 달성진도 값으로 선정하였다. 세 번째 선정된 분야별 단위 작업, 작업 단계별 달성진도 값은 전문가의 조언을 반영하여 완성하였다. 완성된 시공 분야별 단위 작업, 작업 단계별 달성진도 값은 해외 프로젝트 사업 초기에 발주자의 요구조건을 반영하여 발주자와의 협의에 활용할 수 있다고 판단한다. 마지막으로 국내 시공 진도율 산정시의 대표물량은 중점관리 단계 작업 중 핵심 작업 물량을 대표물량으로 선정하고 완료 값을 100%로 하였다. 선정된 대표물량은 국내 현장 및 전문가의 조언을 반영하여 최종 선정하였다. 그리고 대표물량 이후 작업 및 달성진도 값은 단위작업에 대한 일정계획에 미치는 영향 및 중요도가 낮고 다른 후속 단위작업에 연계가 어려워 대표물량에 포함하였다.

우선 국내외 프로젝트의 진도율 산정방법과 객관성이 있는 해외 공정관련 설명서, 회사규정 등을 활용하여 작업순서를 터파기, 버림 콘크리트, 철근설치, 거푸집 설치, 기초볼트, 콘크리트 타설, 거푸집 제거 그리고 되 메우기 등 8종류의 작업으로 나누고 각 작업별 가중치를 5%, 5%, 20%, 20%, 10%, 30%, 5%, 5%로 도출하였다.

다음 단계로 작업 순서 중 중점관리 작업인 터파기, 철근설치, 거푸집 설치, 콘크리트 타설 그리고 되 메우기 등 5단계의 작업을 선정하고 제외된 작업의 가중치는 후속작업에 포함하여 달성진도 값을 선정하였다. 그리고 중점관리 5단계 중 핵심 단계인 콘크리트 타설 작업의 물량을 대표물량으로 선정하고 완료 값을 100%로 하였다.

시공의 작업물량은 설계가 완료되기 전까지 사업 초기 예상물량 대비 실제물량의 차이가 발생한다. 특히 패스트트랙 공사에서는 물량 차이 발생이 더욱 크다.

진도율관련 건설공사 중간에 설계 변경이나 업무량 축소 혹은 증가사태가 다수 있을 수 있다. 업무량 축소보다 증가시작이 진도율에 큰 영향을 준다. 그러나 경험에 의하면 그 변화폭이 20%미만이면 증가된 항목에 대한 계획을 별도 항목으로 관리하여 특정시기에 일괄하여 계획과 실적진도를 변경하는 것이 현실적인 것으로 알고 있다. 어떠한 경우에도 진도율 개정 시 계획과 실적치가 동시에 이뤄지도록 해야 한다.^[7] 특정시기에 단위작업의 대표물량을 실

제물량에 반영하여 계획하고 실적 진도율을 재산정해야 한다.

해외의 작업 단계별 달성진도 값에 의한 진도율 산정은 각 작업 단계별 달성진도 값에 작업량 및 가중치를 곱하여 단위작업의 진도율을 산출하고 전체 단위작업의 진도율 합산으로 계산한다. 만약 기계 기초의 전체 가중치가 10%로 가정하고 터파기 전체 60 m³ 중 60 m³ 완료, 철근설치 전체 10톤 중 6톤 완료, 거푸집 설치 전체 30 m² 중 15 m² 완료, 콘크리트 타설 전체 20 m³ 중 10 m³를 완료하였다. 또한 제안된 기계 기초의 진행 단계별 달성진도율을 터파기 5%, 철근 설치시 25%, 거푸집 설치시 20%, 콘크리트 타설시 40% 그리고 되 메우기시 10%를 적용하여 진도율을 산정하면 다음과 같다.

$$I_a = W_f \times (I_{eaq}/I_{etq}) \times I_{ev} \quad (7)$$

$$= 10\% \times (60 \text{ m}^3/60 \text{ m}^3) \times 5\% = 0.5\%$$

$$I_b = W_f \times (I_{raq}/I_{rtq}) \times I_{ev} \quad (8)$$

$$= 10\% \times (6 \text{ ton}/10 \text{ ton}) \times 25\% = 1.5\%$$

$$I_c = W_f \times (I_{faq}/I_{ftq}) \times I_{ev} \quad (9)$$

$$= 10\% \times (1530 \text{ m}^2/3030 \text{ m}^2) \times 20\% = 1.0\%$$

$$I_d = W_f \times (I_{paq}/I_{ptq}) \times I_{ev} \quad (10)$$

$$= 10\% \times 50\% (10 \text{ m}^3/20 \text{ m}^3) \times 40\% = 2.0\%$$

$$I_e = I_a + I_b + I_c + I_d \quad (11)$$

$$= 0.5\% + 1.5\% + 1.0\% + 2.0\% = 5.0\%$$

여기서 I_a 는 터파기 진도율, I_b 는 철근설치 진도율, I_c 는 거푸집설치 진도율, I_d 는 콘크리트 타설 진도율, I_e 는 기계기초의 진도율이며, W_f 는 가중치, I_{eaq} 는 터파기 완료수량, I_{etq} 는 터파기 전체수량, I_{ev} 는 작업 단계별 달성진도 값, I_{raq} 는 철근설치 완료수량, I_{rtq} 는 철근설치 전체수량, I_{faq} 는 거푸집 완료수량, I_{ftq} 는 거푸집 전체수량, I_{paq} 는 콘크리트 완료수량 그리고 I_{ptq} 는 콘크리트 전체수량을 나타낸다.

4.4 시운전 진도율 산정표준 제안

4.4.1 시운전의 업무 흐름

시운전의 업무 흐름은 크게 기계적 준공(mechanical completion) 후 예비 시운전(pre-commissioning), 시운전 및 운전 시작(commissioning &

start-up) 순으로 진행되며 성능시험(performance test)에 통과 후 사업주에게 인도(hand-over)된다.

4.4.2 시운전 진도율 산정표준 제안

프로젝트의 정의에 따라 다를 수 있지만 본 연구에서의 예비 시운전 단계인 무부하 시험(non operation test)까지의 진도율을 시운전 진도율이라 정의한다. 시운전(commissioning) 착수는 실제로 공장 운전을 시작할 수 있는 단계로 시운전의 협조를 위한 작업인원 이외에는 현장 출입이 제한되고 운전자에 의해 순차적으로 운전된다.

시운전 진도율은 일반적으로 기계, 배관, 전기 및 계장 등 단위작업의 작업 단계별 달성진도 값에 작업량 및 가중치를 곱하여 단위작업의 진도율을 산출하고 전체 단위작업의 진도율 합산으로 계산한다. 시운전 진도율의 객관적인 성과측정 및 진도관리를 위하여 작업 단계별 달성진도 값의 객관성이 중요하다. 이를 위하여 국내외의 프로젝트에서 현재 사용하고 있는 방법과 회사규정을 기준으로 전문가의 조언을 통해 단위작업의 중점관리 단계를 작업 단계별 달성진도 값으로 선정하였다.

제안된 시운전 진도율 산정표준은 다음과 같다. 분야별 대표공종 및 단위작업을 기계, 배관, 전기 및 계장 등 4종류로 나누고 단위작업에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 아래와 같다

- ① 기계에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 예비 점검시 35%, 정렬 시험시 50%, 첫 오일 채움시 10% 그리고 기계 성능검사시 5%이다.
- ② 배관에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 수압시험 서류 점검시 10%, 세정시 70% 그리고 재설치시 20%이다.
- ③ 전기에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 예비 점검시 30%, 저항 시험시 30% 그리고 단동 및 무부하 시험시 40%이다.
- ④ 계장에 대한 진행 단계별 달성진도 값은 예비 점검시 25%, 루프 점검시 70% 그리고 기능 점검시 5%이다.

만약 배관분야의 가중치를 30%로 가정하고 수압시험서류를 300 패키지 중 150 패키지를 완료하고 배관 세척을 50라인 중 25라인을 완료하였다면 진도율 산정은 다음과 같다.

$$C_a = W_f \times (C_{wag}/C_{wtq}) \times I_{ev} \quad (12)$$

$$= 30\% \times (150 \text{ packages}/300 \text{ packages}) \times 10\% = 1.5\%$$

$$C_b = W_f \times (C_{paq}/C_{ptq}) \times I_{ev} \quad (13)$$

$$= 30\% \times (25 \text{ lines}/5 \text{ lines}) \times 70\% = 10.5\%$$

$$C_c = C_a + C_b \quad (14)$$

$$= 1.5\% + 10.5\% = 12.0\%$$

여기서 C_a 는 수압시험 서류검토 진도율, C_b 는 배관세척 진도율, C_c 는 배관분야의 진도율이며, W_f 는 가중치, C_{wag} 는 수압시험 서류검토 실 작업량, C_{wtq} 는 수압시험 서류검토 전체물량, I_{ev} 는 작업 단계별 달성진도 값, C_{paq} 는 배관세척 실 작업량 그리고 C_{ptq} 는 배관세척 전체물량을 나타낸다.

5. 결론

석유화학 플랜트 프로젝트의 공정관리를 위한 진도율 산정이 프로젝트 상황 및 공정담당자의 경험수준에 의해 프로젝트마다 다르게 운영되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 객관적인 진도율 산정표준을 제안하기 위하여 국내외 프로젝트에서 적용된 사례 및 세계적 유명 석유화학 발주처의 공정관리 절차서, 회사규정, 공정관리 전문가 조언을 비교, 분석하여 진도율 산정의 핵심이 되는 다음 두 가지를 제안하였다.

- ① 설계, 구매, 시공 및 시운전 부문의 진도율 산정 방법은 일반적으로 달성진도 인정방법 중 단계별 달성진도 값으로 산정한다. 프로젝트 상황 및 공정담당자 경험수준에 의한 차이를 최소화하고 객관적인 성과측정 및 진도관리를 위하여 진도율 산정표준이 되는 토목, 건축, 철골, 기계, 배관, 전기, 계장, 도장 및 보온 등 분야별 단위작업(activity)을 선정하고 선정된 단위작업의 단계별 달성진도 값을 제안하였다.
- ② 국내 시공의 진도율 산정방법은 실 작업량 측정 방식을 사용하며 각 분야에 대한 단위작업(activity)별 대표물량의 실 작업량으로 산정한다. 진도율 산정표준이 되는 대표물량은 시공 부문의 중점관리 단계 작업 중 핵심 단계 작업의 물량을 대표물량으로 제안하였다.

후 기

본 연구는 1997년도 교육부 학술연구 조성비(기계공학 : ME97-A-10) 및 한국과학재단(특정기초연구) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 지식경제부, 2011, “해외플랜트 수주 사상최대 실적 달성”, 2011년 1월 5일 보도자료.
2. 김수삼, 2003, “한국의 건설산업 그 미래를 건설하자”, 삼성경제연구소, p. 451.
3. 박홍태, 강인석, 김창학, 2007, “건설공정관리학”, 기문당, pp. 11-16.
4. 유홍석, 이재현, 2006, “플랜트 엔지니어링과 프로젝트 매니지먼트”, (사) 한국플랜트학회,

pp. 200-203.

5. Thomas, H.R., and Mathews, C.T. 1986, “An analysis of the methods for measuring construction productivity”, CII Source document #13.
6. CII, 1987, “Project Control for Construction”, Publication No. 6-5, pp. 14-16.
7. 이복남, 1996, “건설공사 진도 및 기성고 산정 방법 개선”, 한국건설산업연구원, pp. 26-45.
8. ARAMCO, 2007, “Project procedure for planning, scheduling, progress control and report”, Attachment #6.
9. TAKREER, 2009, “Progress measurement procedure”, Exhibit B.4.4.