원자력 발전소 설계공정관리 사례

권태중, 한국전력기술㈜ 건설사업관리처 차장

1. 머리말

프로젝트의 성공적인 완수는 주어진 공기 내에 최소 비용과 최고 품질로 고객이 만족하는 결과물을 생산해 내는 것이라 할 수 있다.

이러한 프로젝트의 성공적인 완수를 위해 프로젝트 생애주기(Project Life Cycle) 동안에 필요한 기술적 요소는 물론, 시간, 비용, 및 자재등과 같은 자원적 요소들에 대한 수행계획을 철저하게 수립하고, 수립된 계획에 따라 효과적으로 자원을 집행하고, 이에 대한 현황을 집계, 분석 및 보고를 통하여 계획에 따라 진행여부를 관리하는 기능이 필수적이라 할 수 있다.

이에 본 고에서는 원자력 발전소 건설사업의 종합설계업무의 성공적인 사업수행을 위해 적용해 온 공정관리업무를 설계일정, 비용관리, 진도율관리 및 성과도분석을 포함한 설계공정관리 측면에서 살펴보고, 이를 통합적으로 관리할 수 있도록 전산시스템으로 구축된 설계공정관리 시스템을 소개하고자 한다.

2. 설계공정관리의 필요성

원자력 발전소 건설사업은 프로젝트 수행기간이 장기적(한국표준형 원자력 발전소인 울진 원자력 3&4호기 기준으로 ATP에서부터 4호기 준공까지 110개월 소요)이고, 소요되는 비용과 자원이 대규모이다. 그리고 종합설계용역 수행결과로 생산되는 설계결과물 종류도 다양하고 그 수량 또한 9만5천건(As-Built기준)이 넘는 방대한 양이다. 이러한 설계결과물을 작성하기 위해 설계업무를 수행하는 기술분야들은 서로 필요한 설계정보를 적시에 제공해야 하고, 발전소 건설에 필요한 기자재 제작을 위해 기자재 공급사가 작성하는 각종 설계도서를 검토 및 승인하는 작업이 병행되어야 하며, 기자재 공급사가 제공하는 설계자료 또한 설계결과물 생산시 반영되어야 한다. 설계결과물이 발행된 이후에도 시공시 문제점이 예상되거나 설계개선 사항등이 발생되면 이를 설계결과물에 반영하는 작업이 지속적으로 수행된다.

따라서, 주어진 목표 공기 내에 상호 연계되어 복잡한 설계프로세스를 갖는 방대한 양의 설계결과물들을 적기에 생산하기 위해 각 설계결과물에 대한 체계적인 일정계획 수립과 이에 따른 합리적인 예산 수립, 설계결과물 발행계획에 대한 실적을 파악하여 진도율을 측정하고, 사용된 비용을 집계하여 설계업무 수행에 대한 성과도를 측정 및 분석하는 설계공정관리업무에 대한 체계를 수립하여 운영하는 것은 성공적인 사업수행을 위해 절대적으로 필요하다.

3. 설계일정관리

3.1 공정표 체계

원자력발전소 종합설계업무에 대한 일정관리는 설계, 구매, 시공 및 시운전을 포함하는 전체 원자력발전소 건설사업관리의 일정관리를 위한 그림 1의 공정표 체계에 따라 개발 및 운영되어진다.

원자력발전소 건설사업의 일정관리는 운영목적에 따라 Level별로 작성·운영되는 공정표에 의해 체계적으로 관리된다. 원자력발전소 일정관리체계는 상위단계의 일정이 하위단계의 기준일정이 되고, 하위단계에서 발생되는 각종 정보는 상위 단계로 요약되는 계층적 공정표 체계를 갖는다.

최상위 계층인 Level I 공정표는 Time Scaled Barchart 형태로 발전소 건설사업 전단계인 설계, 구매, 시공 및 시운전 주요업무에 대한 계획과 주요일정(Major Milestone)을 나타내는 기본공정표(Project Milestone Schedule)

이다.

Level II 공정표는 기본공정표를 기준으로 Time Scaled Barchart 형태로 설계, 구매, 시공 및 시운전 분야별로 업무를 세분화하여 주요업무에 대한 수행일정 및 관계를 표시한 분야별 종합공정표(Project Summary Schedule)이며 각 분야별 최상위 공정표 역할을 한다.

또한 Level III 공정표는 분야별 종합공정표를 기준으로 설계/구매, 시공 및 시운전 업무를 통합하여 단위작업(Activity)별 연계관계(Logic Relation), 일정 및 자원분석과 공정 현황분석이 가능하도록 전산화된 CPM(Critical Path Method)방식의 Logic Network으로 개발되는 관리기준공정표(Integrated Project Schedule)이다.

Level IV 공정표는 관리기준공정표를 기준으로 설계, 구매, 시공 및 시운전 단위작업에 대한 세부적이고 실질적인 수행 일정을 나타낸 시행공정표이다.

원자력 발전소 건설사업에 필요한 모든 설계결과물의 일정관리도 이러한 공정표 체계에 따라 기본공정표(Project Milestone Schedule), 설계종합공정표(Engineering Summary Schedule), 설계/구매관리기준공정표(Engineering /Procurement Integrated Project Schedule) 및 설계시행공정표(Engineering Working Schedule)로 구분되어 단계적이고 체계적으로 개발 및 운영된다.

본 고에서는 프로젝트 전기간 동안 수행되는 설계 Activity에 대한 기준 일정을 제시하는 CPM(Critical Path Method) 공정표인 설계/구매관리기준공정표와 설계업무 수행결과로 생산되는 모든 설계결과물에 대한 세부적인 일정을 관리하는 설계시행공정표에 대하여 살펴보겠다.

3.2 설계/구매관리기준공정표

설계/구매관리기준공정표는 발전소 건설사업의 설계/구매업무를 관리 가능한 Activity로 세분화하여 설계 및 구매업무 수행계획을 나타낸 공정표로서 Activity간 연계관계 및 일정계획에 따른 업무수행 추진실적을 분석하여 정확한 공정현황 파악 및 대책수립을 위한 설계/구매분야의 공정관리 기준을 제시하는 공정표이다.

이 공정표는 PMBOK(Project Management Body of Knowledge) Time Management의 Schedule Development Process에 따라 설계업무의 특성, 계약 조건 및 관련사와 연계관계 등과 같은 제한사항을 반영하여 PDM(Precedence Diagram Method)기법을 이용한 CPM Network를 구성하여 개발한다.

일반적으로 원자력 발전소 종합설계업무 수행으로 작성되는 결과물(Deliverable)은 시공에 필요한 도면(Drawing), 모든 설계데이타 작성 및 검증을 위한 설계계산서(Calculation), 기자재 구매를 위한 기술사양서(Specification)와 입찰평가업무, 및 각종 설계기준과 절차서를 포함한 보고서(Document)로 분류되며 발행 수량 또한 대량이다. 이들 설계결과물은 상호 연계되어 서로 필요한 정보를 주고 받으며, 설계결과물 종류별로 순차적으로 설계업무가 진행된다. 그리고 기자재 제작을 위해 기자재 공급사가 작성한 설계자료는 종합설계자에게 검토 및 승인을 받아야 하고 기자재 공급사의 최종 정보는 설계결과물에 반영되어야 하며, 생산된 설계결과물은 시공 및 시운전 업무에 직접적인 영향을 미치는 그림 2와 같은 연계프로세스를 형성하고 있어 공정표 개발시 이를 충분히 고려해야 한다.

또한, 대부분의 설계결과물은 초안(Preliminary Issue), 공사용(Construction Issue), 및 최종분(Final Issue)으로 구분되어 단계적으로 작성·발행되며, 설계결과물이 시공 착수 전에 발행되어 시공에 필요한 제작설계 및 자재구매등의 업무가 이루어질 수 있도록 그림3과 같이 시공 Lead Time을 적용하여야 하며, 설계결과물 종류별 적정 시공 Lead Time은 절차서에 규정되어있다.

따라서 설계/구매 관리기준공정표는 이러한 설계업무의 복잡한 프로세스, 기술분야간의 연계관계, 설계결과물별 시

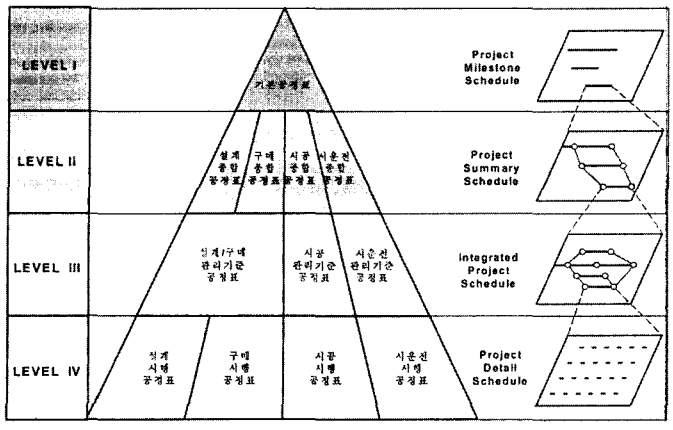

그림 1. 원자력 발전소 공정표 체계

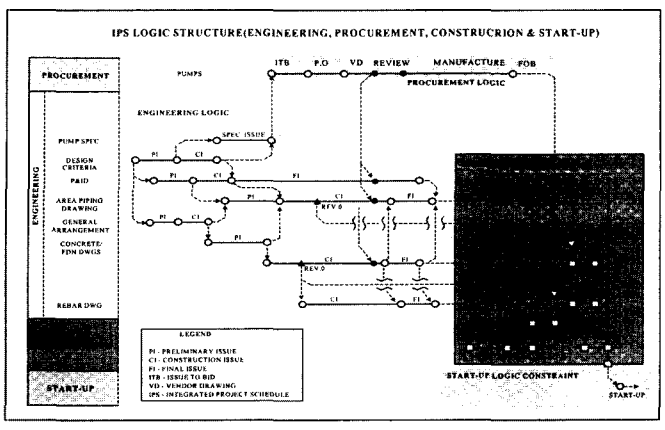

그림 2. 관리기준공정표 연계 Logic

공 Lead Time 적용 및 기자재 공급사와의 상호 연계관계 등을 모두 적용한 설계 Logic을 구성하고 최종적으로 해당 설계 업무를 수행할 수 있는 자원의 가용성을 반영하여, 계약상 공정 요구사항들을 만족시키고 사업 내·외부의 상호 연관관계를 만족 시킬 수 있는 설계 Activity별 최적의 설계일정을 개발한다.

3.3 설계시행공정표

Level IV인 설계시행공정표(EWS, Engineering Working Schedule)는 실제 설계업무 담당자들이 설계/구매관리기준공정표의 설계 Activity을 수행하여 생산하는 설계결과물에 대한 업무 수행 단계별(Control Point) 일정뿐 아니라 설계결과물에 대한 상세한 정보를 관리하는 최하위 공정표로 예산편성, 진도율관리 및 성과도 분석의 기초 자료로 이용될 뿐 아니라, 설계업무에 대한 기성정산 자료로 이용된다. 각 설계 Activity별 설계결과물에 대한 기본적인 정보는 설계업무 담당자에 의해 제공되며, 수행일정은 Level III인 설계/구매관리기준공정표의 계획일정을 기준으로 그림 4와 같이 설계결과물 작성 단계별(Control Point)로 개발된다.

설계업무 담당자들은 설계시행공정표의 계획일정을 기준으로 단계별로 설계업무를 수행하여 설계결과물이 생산 되면, 그 결과가 설계시행공정표의 실적으로 입력된다. 입력된 실적데이터를 기준으로 매월 설계관리계정(ECOA: Engineering Code of Account)별로 실적 진도율 산정과 성과도 분석을 실시하며, 상위 Level공정표로 그 실적이 그림 4와 같이 Roll Up되어 각 공정표의 현황을 파악하게 된다. 만약 지연사항이 발생하게 되면 설계/구매 관리기준공정표상에서 설계 Activity별로 그 영향을 평가하고 이를 만회할 수 있는 방안을 마련하여 시행함으로써 전체 건설사업에 영향을 미치지 않도록 관리된다.

4. 설계비용관리 및 성과도 분석

설계업무에 대한 업무분류체계(WBS: Work Breakdown Structure)가 작성되면 이에 따라 설계업무 수행에 대한 일정관리, 예산편성과 비용관리, 진도율관리 및 성과도 측정시 기준되는 설계관리계정(ECOA: Engineering Code of Account)을 개발하게 된다. 설계업무에 대한 예산은 설계관리계정별로 해당 설계업무를 수행하는데 필요한 소요 MH을 배정하고 이를 설계시행공정표의 계획일정에 따라 배분하여 편성한다.

편성된 예산에 대한 집행 실적은 전산시스템을 통해 전 직원이 수행한 설계업무에 대하여 개인별로 사용한 실적 MH을 실시간으로 입력한 자료를 사업별 설계관리계정별로 집계하여 비용을 관리한다.

설계관리계정별 편성된 예산과 비용은 설계시행공정표의 실적데이타와 함께 성과도 분석의 기초자료로 이용된다.

프로젝트 수행에 대한 성과도 측정은 설계업무에 대한 생산성정도를 판정하기 위해 계획과 실제 비용을 비교 분석하는 체계적인 기법으로, EVMS(Earned Value Management System)의 근간이 된 미국 에너지성의 C/SCSC(Cost & Schedule Control System Criteria) 기준을 적용하여 Variance와 Index을 측정하여 사업완료시까지 필요한 예산인 BAC(Budget at Completion)와 EAC(Estimate at Completion)를 산정하여 사업책임자(PM: Project Manager)에게 비용과 공정을 통합한 성과를 보고한다.

사업의 성과도 분석을 위한 BCWS (Budget Cost of Work Scheduled)는 설계시행공정표의 계획일정에 따라 편성된 예산을 기준으로 하고, Earned Value인 BCWP(Budget Cost of Work Performed)는 설계시행공정표의 실적일정을 기준으로 산정하며, 집계된 실적 MH를 ACWP(Actual Cost of Work Performed)로 각각 활용하여, 설계관리계정별, 설계업무 수행 분야별 등으로 다양한 형태로 측정·분석한다.

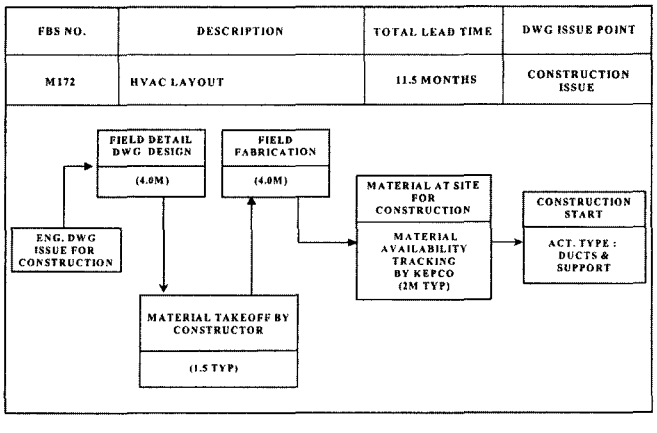

그림 3. 설계결과물 종류별 시공 Lead Time

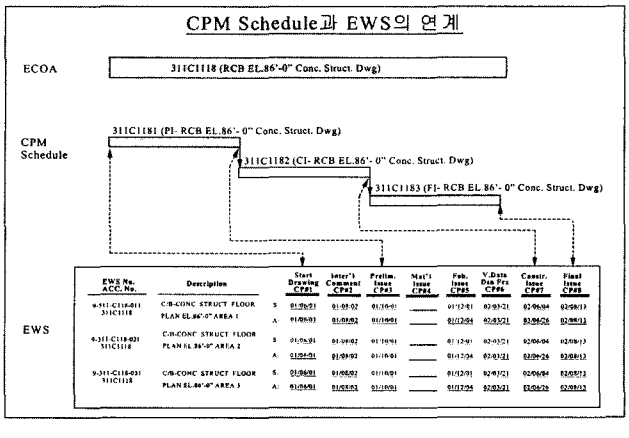

그림 4. CPM Schedule과 설계시행공정표 연계

5. 설계진도 및 기성관리

설계진도 및 기성관리 또한 설계시행공정표를 기준으로 설계관리계정별로 산정·관리된다.

설계업무에 대한 진도율은 실제 설계결과물이 발행되는 설계업무와 설계결과물은 생산되지 않지만 설계업무 수행시 꼭 필요한 LOE(Level of Effort)업무를 포함하여 설계진도 측정용과 기성관리용으로 이원화하여 설계시행공정표에 의해 설계관리계정별로 계획 및 실적 진도율을 산정하여 관리한다.

계획진도율은 사업수행 전기간 동안 소요되는 인력을 예측하고, 예산편성의 기초자료로 활용되며, 설계진도 측정용 실적진도율은 매월 사업주에게 보고되어 설계진척도를 파악할 수 있도록 하고, 기성관리용은 설계업무 수행대가로 지급한 기성에 대한 정산 작업시 설계시행공정표와 함께 이용된다.

진도율 산정에 대한 내용은 공정절차서에 기술되어 사업책임자의 승인을 받아 운영하며 이러한 절차는 설계공정관리시스템에 구현하여 운영한다.

6. 설계공정관리시스템

성공적인 원자력 발전소 설계공정관리업무를 수행하기 위한 전산시스템인 설계공정관리시스템은 Application Software인 Power Builder와 Oracle RDBMS을 이용한 Client-Sever방식으로 개발되어 프로젝트의 모든 참여자가 시스템을 이용할 수 있도록 구축되었으며, 설계공정관리시스템 구성도는 그림5와 같으며, 다음과 같은 주요 모듈로 구성하여 운영하고 있다.

■ BEME(Baseline Engineering M/H Estimate) 모듈 : 전체 설계공정관리에 업무를 설계관리계정으로 분류하고 설계예산을 관리하는 모듈로서, 이 정보는 실적 MH관리, 진도율 산정 및 성과도 분석의 기준자료로 활용된다.

■ Schedule 모듈 : Level III인 설계/구매관리기준공정표와 하위 Level인 설계시행공정표를 연계하여 계획/실적데이타의 입출력을 수행하는 모듈이다.

■ EWS 모듈 : 공정표체계중 최하위 단계인 설계시행공정표를 관리하는 모듈로서 설계결과물에 대한 단계적 일정관리를 포함한 상세정보가 관리되며, 이 정보는 기성관리, 진도율 산정 및 성과도 분석의 기초자료로 활용된다.

■ MH(Man-Hour) 모듈 : 설계비용관리 및 성과도 분석에 사용될 실적 MH을 관리하는 모듈로 회사의 타 전산시스템과 연계되어 해당 프로젝트의 실적 MH를 관리한다.

■ Progress 모듈 : 설계업무에 대한 진도율을 산정하는 모듈로서 설계공정률과 기성공정률로 구분하여 산정한다.

■ Performance 모듈 : 성과도 측정의 기초 자료인 BCWS, BCWP 및 ACWP를 설계관리계정별로 측정하고 성과도 분석를 실시하는 모듈로서 프로젝트의 현황파악 및 의사결정에 필요한 참고자료로 활용된다.

■ Report 모듈 : 설계공정관리 현황을 보고서로 출력하여 볼 수 있는 모듈이다.

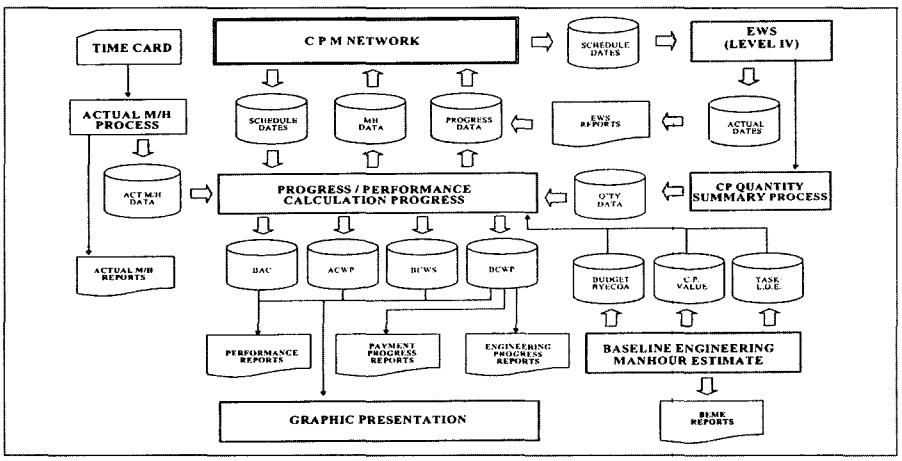

그림 5. 설계공정관리시스템 구성도

7. 맺음말

설계공정관리는 결국 프로젝트의 건설사업공정계획에 따라 종합설계기술용역의 설계성과물이 적기에 도출될 수 있도록 합리적인 일정계획을 수립하고 관리함과 동시에 이와 연계하여 편성된 예산과 실적정보를 활용한 성과도 분석을 통하여 목표공기와 배정된 예산범위내에서 사업을 성공적으로 수행하도록 하는데 목적이 있다.

이와 같은 목적을 달성하기 위한 설계공정관리체계는 영광원자력 3,4호기 건설사업(사업수행기간:'87. 5 ~ '96. 3)에 처음으로 개발되었으며, 사업 적용과정에서 많은 교육을 통해 정착화 되고 끊임없이 개선사항을 도출하여 보완함으로써 성공적인 사업수행 결과를 얻을수 있었다. 이러한 관리기법은 한국 표준형 원자력 발전소인 울진 3,4호기 건설사업(사업수행기간: '90.10 ~ '99.12) 수행시 좀 더 체계화 되어 후속 원자력발전소 설계용역의 표준으로 정착하게 되었다.

이러한 관리기법 정착은 단기간에 이루어지는 것이 아닌 만큼 모든 사업수행자 뿐 아니라 사업주는 끊임없이 효율적인 관리기법을 연구·개발하고 체계적으로 절차화시키는 노력이 절대적으로 필요하며, 날로 발전되는 전산기법을 통하여 우수한 전산시스템으로 구축하는 작업도 병행되어 실직적인 관리체계로 운영되어야 한다.