

건설공사 설계단계에서의 동시공학 적용을 위한 시뮬레이션 모델

A Simulation Model for the Application of Concurrent Engineering to Design Phase in Construction

한 진 택*
Han, Jin-Taek

이 재 섭**
Lee, Jae-Seob

요 약

동시공학 연구는 최근까지 국내에서 인식이 부족하여 잘 활용되지 못하였고 다만 패스트 트랙에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 그러나 본 연구는 기존의 패스트 트랙 방법에서 정량적인 분석과 논리적으로 증명 및 평가하는 연구가 미비하다고 판단하여, 상위 개념인 동시공학 방법을 분석하였다. 설계단계에서 정성적인 분석이 아닌 실제 예제를 통하여 정량적인 자료를 이용하여 각 공정별 중첩이 전체 프로젝트에 미치는 영향을 명확하게 보여주는 분석방법을 제시하였다. 시뮬레이션 기법을 이용한 정량적인 분석방법을 통하여 실제 분석 결과를 가지고 의사결정에 참고 자료로 활용이 가능하도록 하였다. 사례분석 결과 중첩 비율별 공기·비용 간의 관계를 알 수 있었고 중첩 비율별 값을 가지고 공기·비용간의 정량적인 분석을 통해 최적점을 제시함으로써 의사결정이 가능토록 하였다.

키워드: 동시공학, 시뮬레이션, 중첩, 민감도, 전개

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

근래에는 “개발기간 단축, 높은 품질”이라는 종합적인 대처를 요하는 시대가 오고 있으며 제품의 생애주기(Life Cycle)는 더욱 짧아지고 있다. 세계적으로도 무한경쟁시대에 접어들게 되어 신속한 개발력을 갖추지 못한 기업은 자연 도태될 수밖에 없는 상황에 이르렀다.

이러한 상황에서 프로젝트 기간을 최소화하기 위한 다양한 기법들이 이용되어 왔으며, 그 중 하나가 ‘동시공학(Concurrent Engineering)’이라 할 수 있다. 동시공학은 과거 수십년 동안 제조업에서는 많은 관심을 끈 경영 철학이나 건설업에서는 관심을

끌지 못하였다. 동시공학은 제조업에서 제품 개발 기간을 20%~50%까지 단축시키는 역할을 해왔다(Blackburn 1991; Clark and Fujimoto 1991; Eldin 1997).

공기 단축을 위해 동시공학에서는 기존의 순차적인 프로세스 대신에 동시적·병행적 프로세스를 적용한다(Prasad, 1996). 이에 따라 동시공학은 기존의 순차적인 작업들을 중첩(Overlap)하는 전략을 제시하고 있으며, 프로세스를 중복적·병행적·동시적으로 개발하는 동시공학의 이론은 최근에는 건설분야에서도 중요한 전략수단으로 인식되고 있다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 실제 건설공사의 설계단계에서 동시공학을 적용함에 있어 시뮬레이션을 사용하여 좀 더 합리적인 의사결정에 도움을 주는 정량적인 모델을 제시하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 동시공학이 건설공사의 설계단계에 미치는 영향을 조사하기 위해 건설 프로젝트 설계사례를 분석하여 각 프로세스에 영향을 미치는 요인들을 파악하고 그 요인들 중 핵심 요인을 도출하여 실 공정의 정량적인 자료를 이용하여 시뮬레이

* 일반회원, 동국대학교 건축공학과 박사과정
xor1106@naver.com

** 일반회원, 동국대학교 건축공학과 부교수(교신저자)
js1998@dongguk.edu

이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음.

(과제번호 : KRF-2006-311-D00928)

션을 실시하였다. 이러한 정량화 모델을 제시하기 위해 본 연구는 다음과 같이 진행하였다.

- (1) 가장 기본적인 단계로서 문헌을 분석하여 동시공학의 핵심 요소인 '민감도(Sensitivity)'와 '전개(Evolution)'를 정의한다.
- (2) 선행, 후속 작업의 특성을 정의하기 위해 각 공정별 특성을 설문과 문헌을 통해 분석한다.
- (3) 공정별 특성을 정의한 후 중첩에 의한 재작업 확률과 재작업량을 정량화한다. 이를 위해 기존 문헌과 실제 현장에서 기술자들이 느끼는 경험을 통해 자료를 정량화한다.
- (4) 정량화한 재작업확률과 재작업량 자료를 바탕으로 실제 예제를 선정하여 분석한다. 이를 위해 철골공장 설계 예제를 통해 공기와 비용을 분석한다.
- (5) 분석된 자료를 바탕으로 시뮬레이션 소프트웨어인 ARENA 프로그램을 이용한 시뮬레이션 결과를 기존 공정과 비교·분석한다.
- (6) 시뮬레이션 비교·분석 결과를 통해 합리적인 의사결정이 가능하도록 정량적인 자료를 제시한다.

기존 연구는 동시공학의 이론 및 사례 소개에만 그치고 있어 그 적용 가능성 및 적용 후 검증에 대한 정량적인 분석이 미흡한 실정이다. 본 연구는 실제 설계 사례에 동시공학을 적용하고 전문가 및 설문을 통하여 앞서 언급한 정량적인 자료를 도출하고 시뮬레이션을 수행하여 분석하였다.

본 연구에서는 실제 사례를 대상으로 분석과 시뮬레이션을 하지만 작업 시 일어날 수 있는 예기치 못한 상황은 배제하고 공기와 비용 두 가지 측면만을 변수로 생각하도록 한다.

2. 동시공학의 이론 및 선행 연구 고찰

2.1 동시공학의 이론

동시공학 개념이 등장하게 된 배경은 1980년부터 기업경쟁의 심화, 급속한 기술혁신, 제품의 다양화, 제품수명의 단축 등과 같이 변화하는 환경에 재빨리 대처하기 위해서이다. 단기간에 경쟁력 있는 상품을 개발하기 위한 방안으로 제품개발의 여러 활동을 병렬적으로 처리하는 동시공학의 개념을 도입하게 된 것이다(이국환 2001).

동시공학의 장점은 그림 1과 같이 순차적으로 행해야 할 작업을 중첩적으로 시행함으로써 공기를 단축시키는 것이다. 설계가 진행되면서 터파기 등의 시공 작업이 이미 시작됨으로써 공기를

단축시키는 패스트 트랙은 '독립 작업들의 중첩'에 초점을 두고 있는 반면에 동시공학은 '중속 작업들의 중첩'에 초점을 두고 있다. 이러한 공기 단축은 이익실현의 극대화를 가져올 수도 있다. 부수적으로 짧아진 공기는 환율이나 정치적·사회적 리스크 등의 불확실성을 줄일 수 있는 효과도 있다.

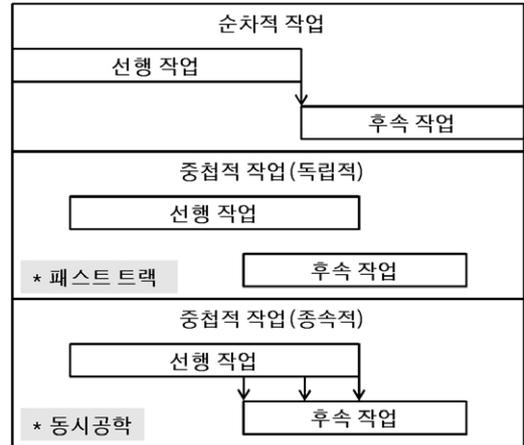


그림 1. 순차적·중첩적 작업의 관계

동시공학은 프로젝트에 주어진 시간이 상대적으로 넉넉하지 않은 경우에 사용할 수 있지만, 설계와 시공의 의사합치 혹은 목적에 대한 충분한 공유가 이루어지지 않은 상태에서는 커다란 위험을 불러올 수 있다. 따라서 설계-시공의 통합 및 협력 정도가 높은 CM, Design-Build 방식 등에 활용하는 것이 보다 안정적이라 할 수 있다. 또한, 시공이 진행되고 있는 시점에서의 설계 변경은 오히려 공기의 확대, 설계자-시공자간의 분쟁발생, 진행된 작업의 수정으로 인한 공기·공사비 증가의 문제점을 불러일으킬 수 있다는 점을 주의하여야 한다. 따라서 발주자는 각 단계에 대해 전문가의 조언을 통해 신중히 결정하여야 한다.

따라서 동시공학을 성공적으로 실행하기 위해서는 전문적이고 충분한 지식과 경험을 갖춘 전문가가 개입하는 것이 좋다. 즉, 단순히 물리적인 공기를 단축한다고 안이하게 생각할 것이 아니라, 설계단계에서부터 공사 진행에 이르기까지 발생할 수 있는 과정상의 문제점을 면밀히 분석하고 각 공정별 작업 시기를 중첩하여 진행할 수 있도록 일정을 관리하여야 한다.

2.2 동시공학의 특성

건설에서의 동시공학은 어떤 작업들이 중첩될 것인지는 작업들 사이의 정보 교환 특성에 의해 정의될 수 있다. 동시공학 이론은 그림 2와 같이 각 작업에서 '정보 전개율(Rate of Information Development)'과 선행작업에서의 정보 변경이 후속작업에 영향

을 미치는 정도인 '민감도(Sensitivity)'라는 관점에서 선행작업과 후속작업 사이의 정보 교환을 나타낸다(Bogus et al. 2005).

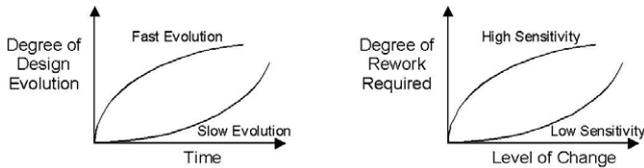


그림 2. 전개와 민감도의 개념(Bogus 2005)

이러한 동시공학 이론은 건설 공사에도 적용이 가능하다. 다만, 설계 작업에서는 허가, 민원, 설계 작업에 필요한 대지 정보 및 법규 등 '정보관련 제약조건'의 영향을 받는다. 이러한 제약 조건을 변경하는 경우에는 재작업이나 지연 또는 추가 비용 등이 발생할 가능성이 높아진다.

따라서 설계 프로세스에 동시공학을 적용할 경우에는 작업 중첩 또는 작업 순서 변경으로 인한 불확실한 결과를 고려하여야 한다. 작업의 중첩 정도가 커질수록 재작업과 추가비용의 발생 가능성은 높아진다. 이러한 작업 및 작업관계의 특성으로서 '전개(Evolution)'와 '민감도(Sensitivity)' 개념은 중첩을 위한 적절한 전략을 제시해 준다(Krishnan et al. 1997). 따라서 프로젝트 전체 기간을 최소화할 수 있는 중첩 정도를 결정하기 위해서는 각 작업 및 작업관계의 특성을 파악할 필요가 있다.

2.3 동시공학과 패스트 트랙의 차이점

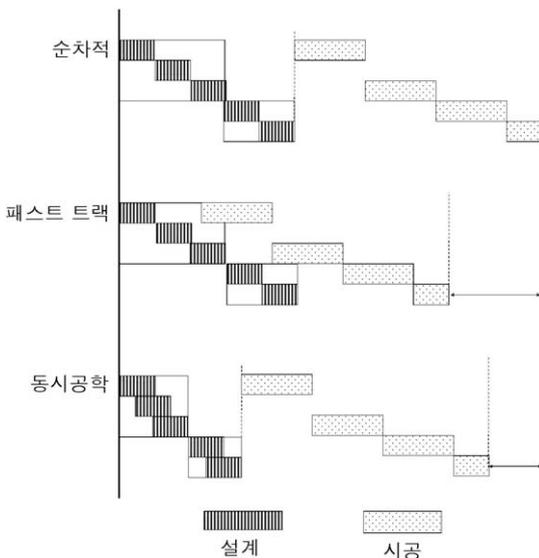


그림 3. 패스트트랙과 동시공학의 차이(Maheswari et. al 2006)

패스트 트랙보다 좀 더 넓은 범위의 개념인 동시공학은 패스트 트랙의 설계, 시공 두 가지의 독립 작업 단위를 중첩하는 것과는

달리 그림 3과 같이 설계, 시공 각 작업 단위에서 설계의 각 공정별, 시공의 각 공정별 종속 프로세스를 중첩하는 방법이다.

2.4 선행 연구 고찰

국외와 달리 국내의 경우 건설공사의 동시공학과 관련된 연구가 부족한 편으로 주로 패스트 트랙에 대한 연구가 진행되었고 최근에서야 동시공학과 관련된 연구가 시작되었다.

Krishnan et al.(1997)은 작업 및 작업관계의 특성으로서 '전개(Evolution)'와 '민감도(Sensitivity)' 개념에서 선행작업의 빠른 전개와 후속작업의 낮은 민감도는 중첩을 위한 좋은 대안이 될 수 있음을 제시하였다.

Lee et al.(2006)은 동시공학이 설계단계에 초점이 맞추어져 왔으나 시공단계에도 동시공학이 적용될 수 있음을 제시하였다. 예를 통해 알아본 결과 동시공학 적용 시 기간은 7.9% 단축, 비용은 11% 증가하였다.

Bogus et. al(2005)는 동시공학을 적용할 경우 중첩을 위한 최적상황은 빠른 전개와 낮은 민감도임을 제시하였다. 중첩을 할 경우 재작업확률과 재작업량이 적다면 효율적으로 공사 프로젝트를 진행할 수 있으며 공기를 약 20% 정도 단축시킬 수 있음을 보여주었다.

한미파슨스(2002)에 의하면 S경기장은 사업초기에 의사결정의 지연으로 공기가 촉박한 위기가 발생하였으나 패스트 트랙을 도입하여 당초 공기보다 5개월의 여유 공기를 확보할 수 있었다.

변은정 외(2005)에 의하면 패스트 트랙은 주로 공공부문에서 급박한 공기를 맞추기 위한 경우나 민간부문의 대형할인매장, 한국전력의 원전사업 등에 도입되어 시행되었다.

최도승·이재섭(2007)은 공기단축을 위한 의사결정 모델로서 동시공학을 적용할 수 있는 방안을 시공단계를 대상으로 제시하였다.

3. 의사결정을 위한 시뮬레이션 모델

3.1 시뮬레이션 개요

시뮬레이션으로 모델을 최적화하기 위해서는 많은 시간이 소요되는데 이런 문제점을 해결하기 위해 널리 사용되는 방법이 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션이다(김기홍 1992). 몬테카를로 시뮬레이션은 현실세계를 대표하는 확률분포로부터 임의적으로 표본을 추출하여 특정 상황 하에서 발생할 수 있는 결과값의 분포를 추정하는 확률적·통계적 방법이다(백승호 1997). 본 연

구에서는 몬테카를로 시뮬레이션에 기반한 ARENA 11.0 프로그램을 통하여 시뮬레이션 분석을 실행하였다.

3.2 시뮬레이션 모델

해당 프로젝트에 동시공학을 적용하기 위해 가장 중요한 것은 각 공정의 중첩이 가능한가에 대해 알아보아야 한다. 그림 4는 중첩에 대한 의사결정 흐름도이다.

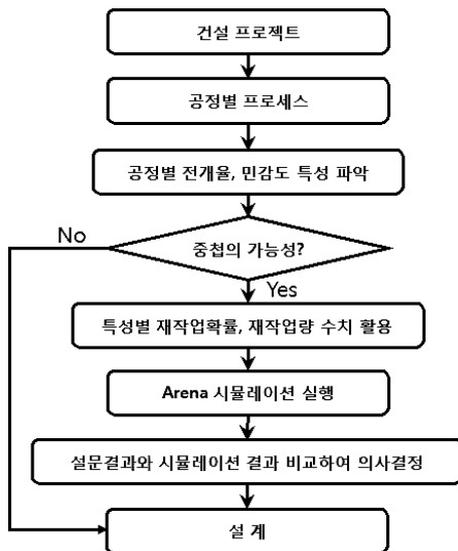


그림 4. 동시공학의 설계단계 중첩 의사결정 모델

(1) 공정별 특성 정의

동시공학을 건설 프로젝트에 적용하기 위해서는 각 공정을 세분화하여 단계별 전개율과 민감도의 특성을 정의하여야 한다. Fast/Slow Evolution, High/Low Sensitivity 4가지로 구분한 공정별 특성을 토대로 기존 문헌 분석과 설문 분석, 실제 현장에서의 전문가 면담을 통하여 특성을 정의한다.

(2) 중첩 가능성 확인

각 공정별 프로세스를 확인하여 중첩이 가능한지 대한 구분을 한다. 중첩이 가능하면 얼마정도의 중첩이 가능하며 재작업의 위험은 어느 정도인지 파악한다. 중첩의 가능성 판단은 건설 프로젝트별로 다르므로 각 프로젝트의 공정별 중첩의 가능성은 개별적으로 판단해야 한다.

(3) 공정의 특성별 재작업확률과 재작업량 파악

공정 특성별 재작업확률과 재작업량은 기존 문헌과 전문가 면담을 통하여 얻은 자료를 토대로 작성한다. 각 중첩 정도별 재작업의 확률과 양을 통해 시뮬레이션 실행 시 좀 더 실제와 적합한

결과값을 도출한다. 앞에서 4가지의 공정별 특성으로 나누었는데, 하나의 특성을 선택하면 그것의 특성에 따른 중첩별 재작업 확률과 재작업량의 수치를 활용한다.

(4) ARENA 시뮬레이션 실행

총 100,000번의 시뮬레이션 실행을 한다. 각 공정별 특성 중 하나를 선택하여 각 특성에 맞는 표 3과 같은 재작업확률과 재작업량의 분포를 대입하여 실행한다. 변수로는 공정별 특성과 특성에 따른 중첩 비율, 재작업확률과 재작업량으로 나눌 수 있다.

(5) 설문결과와 시뮬레이션 결과와 비교분석

도출된 결과값을 가지고 현장에서 얻은 정성적인 설문 결과와 정량적인 시뮬레이션 결과값을 비교한다. 설문 분석 결과는 경험자들의 정성적인 판단이고 시뮬레이션 결과값은 정량적인 자료이므로 두 가지 값들의 비교·분석을 통하여 의사결정시 합리적인 결정이 되도록 제시한다.

4. 사례 연구

4.1 사례 개요

그림 5는 실제 공장 건축물 설계를 위한 작업 공정표이다.

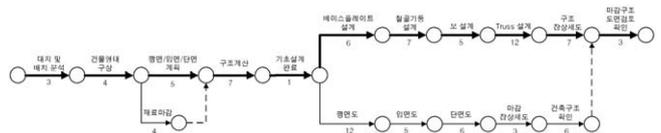


그림 5. 공장 건축물 설계 공정표

표 1. 철골공장 기본설계 비용

내 용	비 용		공 기	
	금액(천원)	비율(%)	소요일수	비율(%)
1) 대지 및 배치 분석	35,000	8	3	5
2) 건물 형태 구성	40,000	9.1	4	6.6
3) 평면, 입면, 단면 계획	53,000	12	5	8.3
4) 재료마감			4	6.6
5) 구조계산	30,000	6.8	7	11.6
6) 기초 설계 완료	18,000	4.1	1	1.7
소 계	176,000	40	20	33.3

11개의 주공정(C,P)으로 기본설계와 실시설계로 나누었으며 건축공정 외의 공정에 대해서는 고려하지 않았고 총 소요기간은 60일이다. 시뮬레이션 수행 시 모든 공정간의 중첩이 가능하다는 가정 하에 시뮬레이션을 실행하였다. 실제로는 생각하지 못

한 변수들이 많이 발생하겠지만 본 연구의 시뮬레이션에서는 공기와 비용의 변수만을 고려하였다.

표 1과 표 2는 철골공장 설계 시 각 공정의 공기와 비용에 관한 표이다. 설계 기준은 실제 계약금액(평당 설계비 적용)을 사용하였으며, 철골공장 설계에 대한 총 소요일수는 60일이 소요되었으며, 설계 용역비는 4억 4천만원의 설계 프로젝트이다.

표 2. 철골공장 실시설계 비용

내 용	비 용		공 기	
	금액(천원)	비율(%)	소요일수	비율(%)
1) 베이스 플레이트	22,000	5	6	10
2) 철골 기둥 설계	25,600	5.8	7	11.6
3) 보 설계	18,300	4.2	5	8.3
4) 트러스 설계	44,000	10	12	20
5) 구조 잡상세도	25,600	5.8	7	11.6
6) 평면도	44,000	10	12	20
7) 입면도	18,000	4.1	5	8.3
8) 단면도	22,500	5.1	6	10
9) 마감 잡상세도	11,000	2.5	3	5
10) 건축, 구조 확인	22,000	5	6	10
11) 마감, 도면 검토 확인	11,000	2.5	3	5
소 계	264,000	60	40	66.7
합 계(표1+표2)	440,000	100	60	100

4.2 사례 분석

4.2.1 설문지 분석

설문을 통하여 도출한 동시공학의 국내 현황과 사례의 정성적인 응답을 시뮬레이션을 통한 정량적인 자료와 비교·분석하여 효과적인 의사결정 자료로 사용한다. 조사 대상은 서울, 경기 지역 설계 관계자 100명을 대상으로 하였다.

총 100부의 설문지를 배부하여 80부를 수령하였다. 성별로는 여자가 7명으로 건설 산업의 특성상 남성 응답자가 많았다. 학력으로는 학사가 49명이었고, 박사는 2명이 설문에 응하였다. 또한 기사 자격으로는 소지자가 51명이었으며, 10년 이상의 건설현장 경력자가 1/2이상이다. 설문은 설계 작업을 중첩할 경우 일반적인 문제점과 가능한 중첩정도, 중첩의 성공요소 등 중첩에 대한 전반적인 질의와 본 연구 사례의 공정별 중첩 정도(표 3), 공정별 특성 정의(표 4)에 대한 내용을 실시하였다. 분석결과 일반적인 건설 프로세스를 중첩할 경우 가장 큰 문제점으로는 작업자의 지식 부족과 무리한 작업으로 인한 재작업의 증가 대담이 가장 많았다. 본 설문에서 설계 프로세스 중첩의 가능 정도로는 20~30% 미만의 대담이 가장 많았다. 정성적인 설문 분석 결과와 정량적인 시뮬레이션 결과의 비교·분석을 위해 다음과 같이 대상 사례에 대한 시뮬레이션을 실행하였다.

4.2.2 사례 분석

(1) 중첩 확률에 따른 재작업확률과 재작업량

표 3은 각 특성에 따라 중첩이 일어났을 경우 중첩 정도별 재작업이 일어날 확률과 재작업이 일어났을 경우 재작업량의 정도에 대한 표이다. 공정별 중첩의 정도가 많아질수록 재작업확률과 재작업량이 증가한다. 표 3의 자료는 설문과 실제 현장 기술자 면담을 토대로 작성하였다.

표 3. 재작업확률과 재작업량

구 분		중첩 정도					
		0%	20%	40%	60%	80%	100%
Fast Evolution, High Sensitivity	재작업확률(%)	0	5	10	20	35	55
	재작업량(%)	0	5	15	25	40	60
Fast Evolution, Low Sensitivity	재작업확률(%)	0	0	5	5	10	20
	재작업량(%)	0	0	5	10	15	25
Slow Evolution, High Sensitivity	재작업확률(%)	0	10	20	35	60	90
	재작업량(%)	0	15	25	45	65	95
Slow Evolution, Low Sensitivity	재작업확률(%)	0	5	15	35	55	85
	재작업량(%)	0	10	20	35	55	80

4가지 특성과 6가지의 중첩 정도에 따라 각각의 재작업확률과 재작업량을 평균적으로 산출하였으며 재작업확률은 ‘재작업’과 ‘재작업이 아닌’ 두 결과만을 가지는 시행으로 각 시행의 결과가 다른 시행의 결과에 영향을 미치지 않으므로 베르누이 시행이라고 할 수 있다. 재작업에 들어갈 확률이 p인 베르누이 시행을 n번 수행할 수 있으며, 이는 모수가 (n,p)인 이항분포라 할 수 있다. 즉 Bin(n,p)이고 np와 n(1-p)가 충분히 크기 때문에 근사적으로 평균이 np이고 표준편차가 $\sqrt{np(1-p)}$ 정규분포로 근사시킬 수 있다. 따라서 설문지를 통하여 산출해낸 자료를 바탕으로 시뮬레이션에 사용할 분포를 도출하였다. 이렇게 제시된 자료는 시뮬레이션에 사용하여 분석을 실행하였다.

표 3은 하나의 예측값으로서 모든 건설 부분에 적용되지는 않고 연구에서 제시한 예제에만 적용된다.

(2) 공정별 특성 정의

표 4는 전문가 면담과 설문을 토대로 작성한 설계 공정별 특성에 관한 정의이다. 공정의 특성이 Fast Evolution이 된다고 후속작업과의 중첩이 많이 되는 것이 아니라 중첩의 가능성이 높아진다는 사실을 염두에 두어야 한다.

(3) ARENA 시뮬레이션 흐름도

총 11개의 공정을 각 특성에 대한 부분과 중첩 부분, 재작업 부분으로 나누어 시뮬레이션을 실행하며 11개의 공정을 거치면서 결과값을 도출해낸다. 그림 6은 ARENA 프로그램의 시뮬레이션의 흐름도로서 위에 언급한 자료들을 활용하여 시뮬레이션

표 4. 선행·후속 공정별 특성 정의

Activity	Evolution	Sensitivity
대지분석 및 배치분석 건물형태 구상		
건물형태 구상 평면/입면 계획		
평면/입면/단면 계획 구조계산		
구조계산 기초설계		
기초설계 베이스플레이트 설계		
베이스플레이트 설계 철골기둥 설계		
철골기둥 설계 보 설계		
보 설계 트러스 설계		
트러스 설계 구조 잡상세도		
구조 잡상세도 마감구조, 도면검토 확인		

분석을 실시하였다.

① 처음 공정 1의 사각박스는 공정(Activity)을 나타낸다. ② 두 번째 다이아몬드의 오버랩 부분은 공정별 중첩 가능여부의 선택과정이다. ③ 세 번째 중첩별 수치 부분박스는 본문 표 3의 내

용을 사용한다. Fast/Slow Evolution, High/Low Sensitivity의 공정별 특성에 따라 4가지의 중첩별 수치를 사용한다. ④ 네 번째 다이아몬드의 재작업 부분은 중첩 후 재작업이 발생할 경우 재작업이 일어날 확률과 재작업이 발생할 경우 공정별 특성에 따른(Fast/Slow Evolution, High/Low Sensitivity의 공정별 특성에 따라 4가지의 중첩별 수치) 재작업량의 정도를 고려한 후 공정 2로 넘어가며 같은 흐름으로 최종 공정까지 수행된다.

예를 들어, '공정 1(대지분석 및 배치분석)' 과 '공정 2(건물형태 구상)' 의 경우 표 4를 참조하면 Slow Evolution과 High Sensitivity이다. 이것을 표 3에서 참조하면 중첩 정도가 20%일 경우 재작업확률은 10%의 분포를 가지고, 재작업량은 15%의 분포를 가진다. 이 값을 시뮬레이션에 사용하여 공정 1과 공정 2 사이에 중첩이 가능하다면 어느 정도의 중첩이 적합할 지를 결정하고 그에 따른 재작업확률과 재작업량을 사용하여 시뮬레이션을 실행한다. 이와 같은 과정을 각 공정별로 거쳐 최종 결과값이 도출된다.

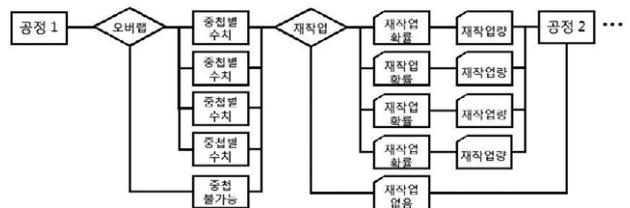


그림 6. ARENA 시뮬레이션 흐름도

4.3. 사례 결과

(1) 중첩 정도별 공기·비용 변화

총 100,000번의 시뮬레이션 실행 결과 중첩별 공기와 비용은 그림 7과 같다. 공기와 비용 관계에서 중첩도가 커질수록 공기는 감소하지만 반대로 비용은 증가하는 모습을 보여주고 있다.

기존 공기는 60일이었지만 중첩이 일어난다는 가정을 하면 47일까지 공기가 줄어드는 결과를 알 수 있다. 그러나 중첩 정도가 커질수록 반비례하여 비용이 증가하는 모습을 보여주기 때문에 맹목적으로 중첩 정도가 크다고 좋은 것은 아니다.

그림 8은 공중별 중첩 정도에 따른 공기 변화에 대한 그래프이다. 각 공중별로 비슷한 비율로 공기가 줄어들고 있는 모습을 볼 수 있다.

표 5는 시뮬레이션의 결과표로서 각 중첩 정도별 결과 수치이다. 총 공기는 60일에서 47일까지 줄어드는 것을 알 수 있고, 그와 다르게 비용은 반비례하여 늘어나는 것을 알 수 있다.

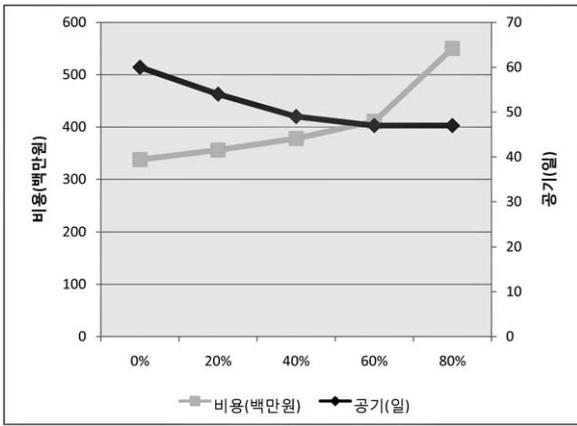


그림 7. 중첩 비율별 공기와 비용 변화

비용간의 최적점을 찾아 효율성 있는 공사가 가능한지에 대한 내용을 정량적으로 나타낼 수 있다.

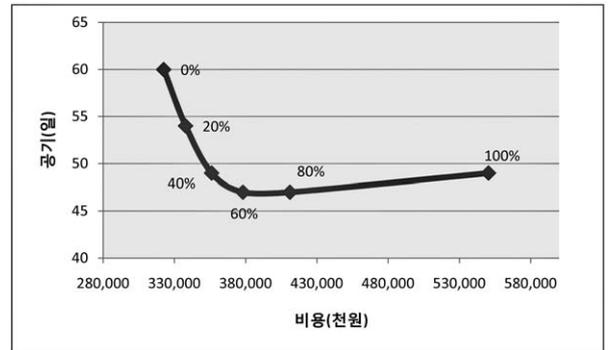


그림 9. 중첩 정도별 공기, 비용 간의 관계

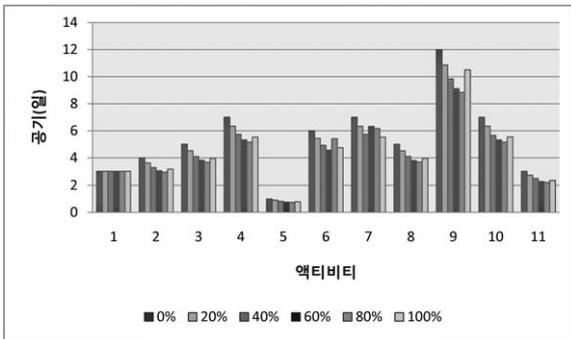


그림 8. 공정별 중첩 비율에 따른 변화

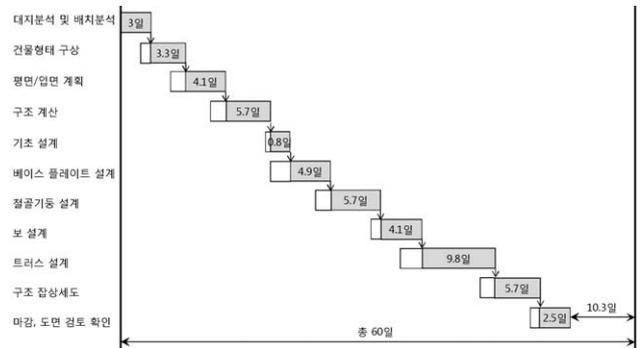


그림 10. 40% 중첩의 공정표

표 5. 중첩 확률에 따른 시뮬레이션 결과표

구분(%)	평균	표준편차	최소값	최대값	
비용 (천원)	20	337,832	5,791	322,800	354,535
	40	356,124	12,705	322,800	400,305
	60	378,105	26,754	322,800	462,952
	80	411,108	47,431	322,800	656,056
	100	550,421	81,130	322,800	797,080
공기 (일)	20	54	1.9	48	60
	40	49	3.57	37	60
	60	47	5.12	26	60
	80	47	6.63	16	60
	100	49	8	9	60

(2) 중첩 정도별 공기·비용 최적점

시뮬레이션 실행 결과 각 중첩 정도별 공기·비용의 관계를 그래프로 나타내면 그림 9와 같다. 그래프 결과와 같이 40~60% 중첩이 공기, 비용 사이의 최적점임을 알 수 있다. 중첩이 40% 미만인 경우 공기단축 효과가 적고 60% 초과할 경우 추가비용에 비해 공기가 적게 줄어드는 것을 알 수 있다.

그림 10은 40% 중첩을 하였을 때의 공정표로서 원래 60일이 필요했던 프로젝트가 11일이 줄어들었다. 이와 같이 발주자가 건설 프로젝트에 동시공학을 적용할 경우 중첩을 통하여 공기와

시뮬레이션 결과와 다르게 설문에서는 20~30%의 결과가 최적점으로 나타났다. 이는 실제 사례에 대한 결과가 아닌 건설 참여자들의 주관적인 생각으로서 과도한 공정별 중첩보다는 적당한 정도의 중첩율을 선택한 것으로 판단된다. 예제를 시뮬레이션 실행한 결과로는 중첩의 정도가 설문 의 경우보다 조금 더 높아지는 것이 공기, 비용간 효율성이 높은 것으로 나타났다.

시뮬레이션 결과 최적점이라 할 수 있는 결과가 도출되었으나 이것은 비용대비 공기의 효율성에 관한 부분이고 프로젝트의 성격에 따라 공기를 단축시켜야 하는 경우도 있고, 비용을 절감시켜야 하는 경우가 있기 때문에 어느 정도의 중첩이 최적이라고 단정짓기가 어려운 면이 있다.

동시공학을 적용하는 프로젝트에 본 연구의 결과를 참조하여 실제 프로젝트를 수행할 경우 프로젝트의 성격에 따라서 공기를 단축시켜야 할 경우에는 비용이 증가하지만 중첩도를 크게 하고, 반대인 경우에는 작게 하여 발주자가 의사결정을 하는데 도움이 되는 자료를 제시할 수 있다.

본 연구를 통해 어느 중첩도가 가장 효율적이고 이 프로젝트에 옳다고 말할 수는 없다. 그러나 프로젝트 상황이나 주변 여

건에 맞는 범위 내에서 의사결정을 하는데 도움을 줄 수 있는 자료로서의 역할을 하게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 건설공사의 설계단계에 있어 동시공학 적용의 실제 사례를 대상으로 시뮬레이션 분석을 통하여 공정별 특성을 정의하고, 중첩 정도별 재작업확률과 재작업량을 정량화 하였다. 또한 실제 사례에 정량화한 자료를 사용하여 시뮬레이션 하였으며 그 결과값으로 프로젝트에서 합리적인 의사결정을 하는데 활용할 수 있도록 하였다. 연구를 통하여 도출된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 사례를 통한 각 공종별 특성(전개, 민감도)을 문헌자료와 설문문을 통하여 정의하였다. 설계분야 분석결과는 설계업무에서 중첩이 가능한 정도는 20~30%로 나타났으며, 공장 프로젝트의 설계에서 공종 중 중첩이 가장 많이 되는 공종은 실시설계, 중첩할 경우 원가절감은 0~10%, 예상 투입인원은 20~30% 절감, 성공요소는 기술자의 능력이 가장 중요한 것으로 나타났다.

둘째, 실제 설계 프로젝트 예제를 대상으로 도출된 값들을 사용하여 시뮬레이션을 실행하였다. 건설공사에 있어 동시공학 적용 시 총 공기와 비용간의 관계를 분석하면 비용 대비 공기 단축의 효과가 공정별 40~60%의 중첩도가 가장 효율적으로 도출되었다. 하지만 건설업의 특성상 모든 건설 프로젝트에서 일률적으로 적용되지는 않고 프로젝트 상황이나 주변 여건에 맞는 범위 내에서 의사결정을 하는데 도움을 줄 수 있는 자료이다.

셋째, 중첩을 통한 리스크가 적은 공기단축을 위한 구체적인 방안으로 각 공정별 중첩 전략은 중첩을 할 경우 재작업이 적게 일어나는 빠른 전개(Fast Evolution)와 낮은 민감도(Low Sensitivity)가 되도록 해야 한다. 이러한 효율적인 전략을 통하여 건설 프로젝트에 적용할 경우 공기와 비용 측면에서 만족할 만한 성과를 올릴 수 있게 된다.

실제 설계 프로젝트에는 예측할 수 없는 일들이 일어난다. 본 연구에서는 그러한 요소들을 모두 배제하고 단순히 공기와 비용에 대해 중첩 정도별 변화만을 알아보았다. 이 결과값은 설계 작업에 바로 적용시키기는 어렵다. 향후 후속 연구에서는 위의 두 가지 요소뿐만 아니라 설계 과정에서 일어나는 근본적인 문제들에 대해 정량화 시키는 작업을 하여 시뮬레이션 수행 시 더 많은

조건들이 추가된다면 설계 작업에 적용하여도 무리가 없는 자료가 될 것이라 사료된다.

참고문헌

1. 김기홍 (1992). 신회계이론, 창문각.
2. 김정훈, 구교진, 현창택 (2003). “설계시공 일괄방식 프로세스 성공모델에 관한 연구”, 한국건설관리학회 논문집, 제4권 제3호, 119~127.
3. 남규현, 송성진 (2000). “동시공학 경영혁신 이론과 사례에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 16권 12호, 183~194.
4. 변은정 외 (2005). “리모델링 공사에서 Fast Track 적용방안”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 25권 1호, 321~324.
5. 백승호 (1997). “시뮬레이션을 이용한 통계적 코스트 모델의 유효성 검증방법”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 17권 2호, 1511~1517.
6. 이국환 (2001). 동시공학기술, 기전연구사.
7. 최도승, 이재섭 (2007). “동시공학을 통한 공기단축 의사 결정 모델”, 한국건설관리학회논문집, 제8권 제6호, 197~206
8. 한미파슨스 (2006). Construction Management Best Practice, 기문당.
9. Barrie, D. S. and Paulson, Jr., B. C. (1992). Professional Construction Management, McGraw-Hill, Inc., New York, NY.
10. Blackburn, J. D., editor (1991). Time-Based Competition: The Next Battleground in American Manufacturing, Business One Irwin, Homewood, IL.
11. Bogus, S. M., Molenaar, K. R., and Diekmann, J. E. (2006). “Concurrent Engineering Approach to Reducing Design Delivery Time”, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 131(11), 1179~1185.
12. Clark, K. B., and Fujimoto, T. (1991). Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry, Harvard Business School Press, Boston, MA.
13. Eldin, N. N. (1997). “Concurrent Engineering: A Schedule Reduction Tool.” ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 123(3), 354~362.
14. Krishnan, V., Eppinger, S. D., and Whitney, D. E. (1997). “A Model-Based Framework to Overlap Product

- Development Activities.” *Management Science*, 43(4), 437~451.
15. Lee, J. S., Molenaar, K. R., Bogus, S. M., and Diekmann, J. E. (2006). “An Activity Overlapping Algorithm for Construction”, *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, Montreal, Canada, 3827~3836
16. Maheswari, J. U., Varghese, K., and Sridharan, T. (2006). “Application of Dependency Structure Matrix for Activity Sequencing in Concurrent Engineering Projects”, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, 132(5), 482~490.
17. Prasad, B. (1996). *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

논문제출일: 2008.10.31

심사완료일: 2008.03.20

Abstract

Although several research efforts have been directed to fast-tracking to reduce the total delivery time, few researches have been studied on concurrent engineering in construction projects. The focus of fast-tracking is primarily on overlapping independent activity pairs. In comparison, the focus of concurrent engineering is on overlapping dependent activity pairs. Dependent activities are much harder to overlap successfully.

This paper presents a simulation-based Concurrent Engineering methodology to optimize the overall duration of a set of design activities in a project by modelling key factors that determine the duration of individual activities and overlap between dependent activities. This methodology involves determining how much to overlap activities, how to decide which activities to overlap and the corresponding cost and time tradeoffs using a discrete event model solution. This simulation model, therefore, can be used as a reference on decision-making to define optimum point between time and cost.

Keywords : Concurrent Engineering, Simulation, Overlap, Sensitivity, Evolution