

동시공학을 통한 공기단축 의사결정 모델

A Decision-Making Model for Shortening Construction Period through Concurrent Engineering

최도승* 이재섭**
Choi, Do-Seung Lee, Jae-Seob

요 약

지금은 '개발기간 단축, 고품질'을 위한 종합적인 대처를 요하는 시대이다. 제품은 점차 복잡화되고 그 종류 또한 다양화 되어 가는 반면 제품의 생애주기(Life Cycle)는 축소되고 있다. 이러한 무한경쟁시대에 있어 적자생존의 확실한 해답은 기업 스스로 개발기간 및 납기를 단축시키고 제품개발에 앞장서며, 제품의 생애주기 원가를 절감시켜 성능과 가치 양면을 동시에 고객에게 감동줄 수 있는 품질을 확보하는 데에 있다. 이와 같은 측면에서 프로세스의 각 공정을 동시 병행적으로 개발하는 '동시공학'은 건설에 있어 중요한 개념으로 인식되고 있다. 본 연구는 동시공학을 성공적으로 적용하기 위하여 문헌 및 여러 가지 사례를 조사, 분석하고 그것들이 각 프로세스에 미치는 영향을 시뮬레이션 실행을 거쳐 의사결정 모델로 제시한다.

키워드 : 동시공학, 시뮬레이션, 오버랩, 민감도, 생산율

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재의 경제여건과 환경은 무한경쟁의 시대라는 말로 압축할 수 있다. 제품 수명의 단기화, 제품의 다양화, 생산 규모의 증대화 및 양식의 단순화 등 모든 관계가 통합되며 복잡하고 빠르게 진행되고 있다.

이러한 무한경쟁에서 기업이 생존하기 위해서는 부단히 새로운 전략을 추구하는 자세는 물론, 동일 한 전략이라도 기업의 상황에 맞추어 구체화시키는 방법이 필요하다. 항상 여건과 환경을 주시하는 많은 노력이 있어야 고품질, 양질의 서비스, 원가절감, 생산 기간단축, 저위험도 등의 요구조건을 동시에 만족시킬 수 있다.

이러한 요소들을 동시다발적, 중복적, 병렬적으로 가능하게 하는 '동시공학'의 역할은 이런 관점에서 그 중요성이 높이 평가된다.

이에 본 연구는 여러 사례를 분석하여 각 프로세스에 미치는 요인들을 파악하고, 핵심요인을 도출하여 실공정에 도입시킴으로써 개선방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구방법 및 범위

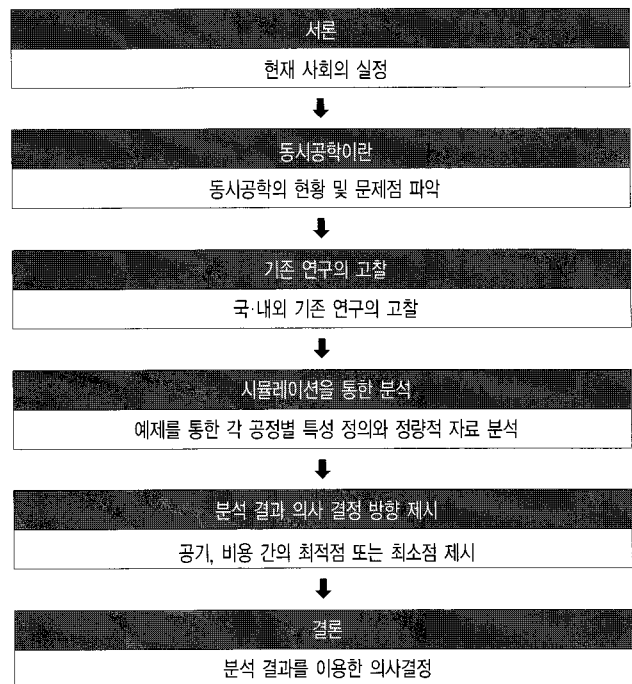


그림 1-1. 연구진행 방법론

* 일반회원, 동국대 대학원 건축공학과 박사과정, cds6500@hanmir.com

** 일반회원, 동국대 건축공학과 부교수, 공학박사, js1998@dongguk.edu 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음. (과제번호 : KRF-2006-311-D00928)

지금까지 동시공학 연구는 동시공학 시스템의 적용에 대한 가능성, 장단점 등 정성적인 부분을 다루었다. 동시공학의 보편적인 사항들을 다룬 것이 대부분이었다. 물론 이 연구에서도 각 프로젝트별 동시공학의 적용에 대한 상세한 비용이나 공기에 대한 수치적인 접근에 있어서는 다소 한계가 있음을 미리 밝혀둔다.

본 연구에서는 정성적인 접근 보다는 정량적인 접근을 통하여 동시공학의 효과와 결정모델을 제시해 보고자 한다. 이를 위한 첫 번째 단계로 문헌조사를 통한 이론적 고찰을 하고, 두 번째로 동시공학 적용 현장을 방문하여 동시공학에 대한 실시자료를 취득하고 전문가와의 면담을 통하여 동시공학의 현황 및 문제점을 파악한다. 세 번째로 자세한 공종별 비용과 공기에 대한 자료를 분류 및 분석한다. 네 번째로 동시공학의 성공요인을 도출하여 예비모델을 개발한다. 마지막으로 개발한 모델을 ARENA Simulation을 통하여 수정하고 보완하는 작업을 거쳐 최종 모델을 제시한다.

2. 예비적 고찰

2.1 동시공학의 정의

Creese는 동시공학이란 새로운 제품의 개발이나 제품개선에 있어서 품질(Quality)을 높이고, 비용(Cost)을 낮추고, 제품 리드타임을 줄이는 관리 및 엔지니어링 철학이라고 정의했다.¹⁾ Adachi는 동시공학이라는 것은 제품 개발환경에 있어서 경영과 학적인 기법을 적용하고 제조 조직 및 기능을 개선함으로써 제품개발에 있어서 QCD(Quality, Cost, Delivery)를 개선하는 것이라고 주장했다.²⁾

종래의 순차적인 제품개발 과정에서는 설계부서에서의 설계작업이 끝나면 그것을 받아서 생산기술 부서에서 생산성을 검토하고 필요한 기계의 선정과 공정설계를 하며 이것이 끝나야 그 다음 부서의 개발작업이 이루어지기 때문에 과실이 발생할 여지가 크다. 예를 들어 마지막 단계에서 어떤 문제가 발생하였다면 첫 단계인 설계부터 다시 시작해야 하는 문제가 발생하여 개발기간이 길어지며 개발비도 많이 드는 등 경제적으로 비효율적인 인자로 지적된다.

동시공학은 이와 같이 개발의 전체과정에서 발생될 수 있는 문제들을 미리 발견함으로써, 종래의 시행착오적인 방법에 의한 오류를 줄이겠다는 전략을 포함하고 있다.³⁾

동시공학의 최대 장점은 그림 2-1처럼 순차적으로 행해야 할 건설작업을 중첩적으로 시행함으로써 공기를 단축시키는 것이다. 즉, 설계가 진행되면서 이미 터파기 등의 시공작업이 시작됨으로써 공기를 크게 앞당길 수 있다. 건설 목적물의 수익성 및 효용이 완성시점에 의해 크게 좌우되는 경우에는 공기의 단축이 이익실현의 극대화를 가져올 수도 있다. 부수적으로 짧아진 공기는 환율이나 정치적, 사회적 리스크 등의 불확실성을 줄일 수 있는 효과도 기대 할 수 있다.

동시공학은 공사에 주어진 시간이 상대적으로 넉넉하지 않은 경우에 사용할 수 있지만, 설계와 시공의 의사일치 또는 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.

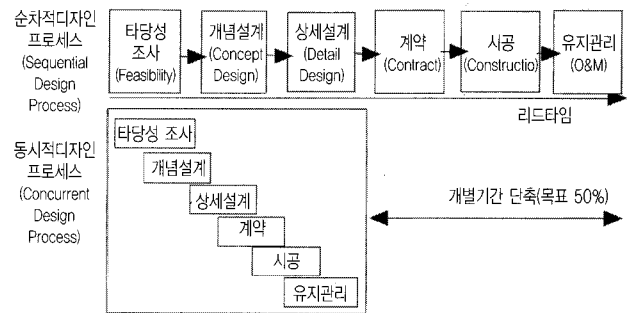


그림 2-1. 순차적설계 프로세스와 동시적설계 프로세스⁴⁾

또한, 시공이 진행되고 있는 시점에서 설계변경을 할 경우, 오히려 공기가 늘어나거나, 설계자-시공자간에 분쟁이 발생될 수 있으며, 진행된 작업의 수정으로 인한 공사비가 증가되는 등의 문제점을 불러일으킬 수 있다는 점을 주의하여야 한다. 따라서 발주자는 각 단계별로 전문가의 조언을 통해 신중히 결정하여야 하며, 일단 한번 승인한 사항에 대해서는 최대한 수정하지 않는다는 자세를 가져야 한다.

따라서 동시공학을 성공적으로 시행하기 위해서는 전문적이고 충분한 지식과 경험을 갖춘 건설사업관리자가 개입하는 것이 좋다. 즉, 단순히 물리적으로 공기를 단축한다고 안이하게 생각할 것이 아니라, 설계단계에서부터 공사진행에 이르기까지 발생할 수 있는 과정상의 문제점을 면밀히 분석하고, 각 공정별 시공

1) Creese Rebert C. and L. Ted Moore, Cost Modeling for Concurrent Engineering, Cost Engineering, vol. 32, No.6, pp.23-27, June 1990

2) T.Adachi, A concurrent engineering methodology using analogies to Just-In-Time concepts, International Journal of Production Research, vol. 33, No. 3, pp.587-609, 1995

3) 이국환, 2001, 동시공학기술, 기전연구사, p.33~36

4) 남규현, 송성진, 2000, 동시공학 경영혁신 이론과 사례에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 12호, p.183~p.194

시기를 중첩하여 진행할 수 있도록 설계일정을 관리하여야 한다.

2.2 동시공학과 패스트트랙의 차이점

현재 여러 가지 공기단축 기법이 사용되고 있는데, 공기단축 전략에 대해서는 그림 2-2와 같이 나누어 볼 수 있다.

첫 번째는 순차적인 공기 진행방식으로서 설계가 끝난 후 시공을 시작하는 가장 일반적이고 보편적인 방법이다.

두 번째는 패스트 트랙(Fast Track) 방식으로 설계와 시공 액티비티를 작업 패키지(Work Packages)로 나누어 전체 설계가 완료되기 전에 일부 작업 패키지가 완료되면 시공을 시작할 수 있도록 하는 방법이다.

세 번째는 동시공학 방식은 패스트 트랙과는 다르게 설계와 시공의 각 부분에 대해 작업 패키지(Work Packages)를 공정별로 나누어서 설계 부분, 시공 부분의 각 공정별 오버랩을 통하여 공기를 단축시키는 방법이다.

패스트 트랙과의 가장 큰 차이점은 설계와 시공을 큰 작업그룹으로 나누어 오버랩을 시키는 방식과 설계, 시공을 공정별로 나누어 각 공정별 오버랩을 시키는 방식이라 할 수 있다. 그 외에 위의 패스트 트랙과 동시공학의 장점만을 결합시킨 동시건설이라는 새로운 방식도 생겨나고 있다.

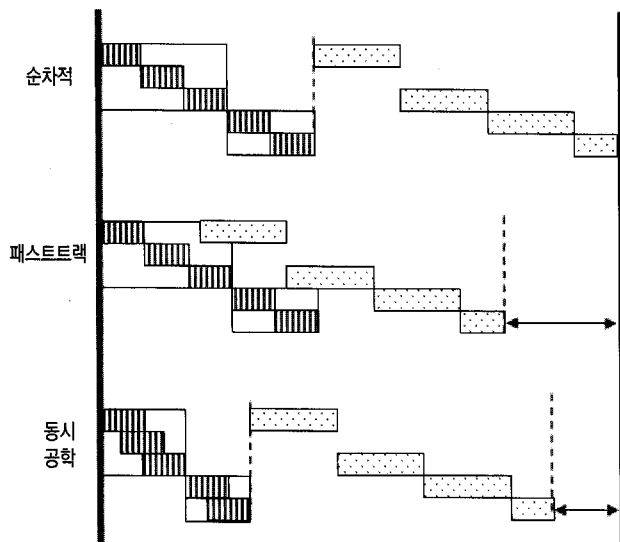


그림 2-2. 프로젝트 실행 전략⁵⁾

2.3 동시공학의 현황

국가계약법 제87조 제5항에 명시된 바에 의하면 '각 중앙관서

의 장 또는 계약담당공무원은 제2항의 규정에 의한 낙찰자결정에 있어서 공사의 시급성 기타 특수한 사정으로 인하여 필요하다고 인정하는 경우에는 제1항의 규정에 의한 실시설계적격자로서 하여금 당해공사를 공정별 우선순위에 따라 구분하여 실시설계서를 작성하게 할 수 있으며, 당해 실시설계서에 대하여 중앙건설기술심의위원회 또는 설계자문위원회로부터 실시설계적격통지를 받은 때에는 그 실시설계적격자를 낙찰자로 결정하고 우선순위에 따라 공사를 시행하게 할 수 있다.'고 정의하고 있다. 그리고 기술 관리법의 경우 발주청은 '국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령 제87조의 규정에 의하여 일괄입찰방식으로 결정된 건설공사의 경우에는 공사의 종류 및 구간별로 당해 실시설계와 시공을 병행할 수 있다.'라고 명시하고 있어 기법 적용이 활성화되기 어렵다. 또한 현재 국내 적용 사례가 미흡한 탓으로 기법의 성과에 대한 자료가 부족하여 발주자의 도입 결정을 어렵게 하고 있다.⁶⁾

2.4 동시공학의 장단점

일반적으로 동시공학이 실현될 경우 공기가 단축된다. 단축이라는 장점 이외에 선행공사에 투입되는 예산을 고려하여 후속단계의 공사범위를 정할 수 있다는 장점과 프로젝트의 비용이 절감되며, 사업초기단계에 발주자 조직이 참여함으로써 좀 더 직접적인 통제가 가능하다는 장점이 따른다. 그러나 후속공정의 설계가 확정되지 않은 상태에서 선행공정이 이루어지는 특성으로 인해 다음 단계로의 원활한 전이가 어려우며 설계변경 등의 리스크가 대단히 크다. 또한 설계가 완성되고 제품의 구체적인 모습이 가시화됨에 따라 사용자 요구사항이 구체화 되어 새로운 요구사항이 발생할 수도 있는데 이런 리스크로 인하여 공기와 비용이 오히려 증가할 수도 있는 단점이 파생된다.⁷⁾

본 연구에서는 제조업에서 널리 인정되고 있는 개념인 전개와

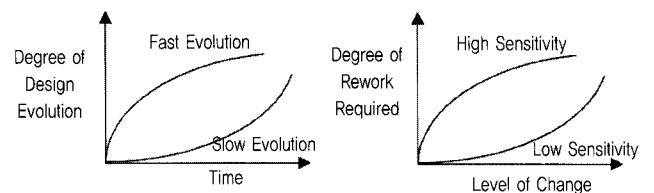


그림 2-3. 전개와 민감도의 개념⁸⁾

5) J. Uma Maheswari(2006), Application of Dependency Structure Matrix for Activity Sequencing in Concurrent Engineering Projects, ASCE, MAY 2006

6) 조규만, 2005, 공공부문 일괄입찰사업의 패스트트랙 파트너링 프로세스 모델 개발, 서울시립대학교 대학원, p.15

7) 이복남, 1997, 패스트트랙 방식과 건설사업의 경제성, 한국건설산업연구원, 제 12호, p.33

민감도를 정의하여 이를 건설 작업들을 특성화하는데 이용하고자 한다.

제품개발을 위한 작업들의 특성으로서 전개와 민감도의 개념은 Eppinger(1994, 1997), Krishnan et al.(1995, 1997), Krishnan(1996) 등에 의해 정의되었다.

‘민감도(Sensitivity)’라는 개념은 후속작업이 이미 시작된 이후에 선행작업의 정보가 변화되는 경우 후속작업에 미치는 영향 정도를 나타낸다. ‘전개(Evolution)’는 선행작업의 정보가 얼마나 빨리 작업의 최종 단계에 근접하는지를 나타낸다.

작업 및 작업관계의 특성으로서 ‘전개(Evolution)’와 ‘민감도(Sensitivity)’의 개념은 중첩을 위한 적절한 전략을 제시해 준다(Krishnan et al. 1995, 1997).

그림 2-3은 선행작업과 후속작업을 중첩하기 위한 전개와 민감도 특성의 개념을 보여준다. Fast Evolution이란 빠른 전개로서 작업의 빠른 진척도라 할 수 있고, High Sensitivity란 선행작업이 후속작업에 미치는 영향이 많음을 의미한다고 할 수 있다. 선행작업의 빠른 전개와 후속작업의 낮은 민감도는 중첩을 위한 좋은 대안이 될 수 있다(Bogus et al. 2005).

본 연구에서는 시공 부분에 적용하므로 설계부분에 사용하는 ‘전개(Evolution)’라는 용어 대신 ‘생산율(Production)’이란 용어를 사용한다.

2.5 기존문헌 고찰

(1) 국외

동시공학은 최소의 비용으로 프로젝트 기간을 획기적으로 줄이는데 성공적으로 이용되어 왔다(Songer et al. 2000; Williams 1995).

동시공학은 액티비티의 중첩이나 기간단축을 통하여 설계 또는 시공기간을 축소하는 것이라 정의할 수 있다(Clough and Sears 1991).

동시공학 프로세스는 설계와 시공의 액티비티를 작업 패키지(Work Packages)로 나누어 전체 설계가 완료되기 전에 일부 작업 패키지가 완료되면 시공을 시작할 수 있도록 한다.

동시공학 설계와 시공에 대한 최근 연구는 주로 설계시공의 일괄방식(Design-Build) 내에서 이루어졌다(Molenaar et al. 1999; Songer and Molenaar 1997). 설계시공 일괄방식은 설계

와 시공을 발주자와 단일계약으로 체결하는 프로젝트 발주방식이다. 설계와 시공이 동일한 조직 또는 설계회사와 시공회사의 조인트 벤처(Joint Venture)에 의해 수행되므로, 프로젝트 기간을 단축하기 위하여 제반작업을 작업 패키지로 나누면 중첩하기가 수월해진다(Barrie and Paulson 1992).

Pe?a-Mora and Li (2001) 및 Pe?a-Mora and Park (2001)은 패스트 트랙 건설 프로젝트를 대상으로 동적 계획 방법론(Dynamic Planning Methodology)을 제시하였다.

(2) 국내

S 월드컴경기장은 사업계획초기에 의사결정의 지연으로 공기가 촉박한 위기에 직면했으나 패스트 트랙을 도입하여 당초 공기보다 5개월간의 여유 공기를 확보할 수 있었다.(한미파슨스 2002). 이처럼 패스트 트랙은 주로 공공부문에 있어 급박한 공기를 맞추기 위한 경우나 민간부문의 대형할인매장, 한국전력의 원전사업 등에 도입되어 시행되었다(변은정 외 2005).

국내에서 설계와 시공을 통합하여 발주하는 방식인 ‘설계시공 일괄방식(Design-Build)’은 변화하는 건설 환경에 적합한 대안으로 대두되고 있다.

표 2-1. 순차적, 동시공학 방식의 장단점⁸⁾

구분	순차적 진행방법	설계시공 병행 진행방법
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 설계 끝난 후 시공 착수로 설계 변경 요인제거 • 발주자의 관리 인력 증가 억제 가능 • 건설사업관리에 대한 고도 기법 불필요 • 건설사업관리 비용 축소 	<ul style="list-style-type: none"> • 총 사업기간 단축 • 목적물 조기완공으로 인한 영업수익증대로 기회비용 증가 • 세부 공종별 전문기관선정 및 가격인하 가능 등
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 간접비 증가로 총사업비 증가 • 사업기간 장기간으로 기회비용손실 발생 • 설계변경 요인이 과다하게 발생할 소지가 큼 	<ul style="list-style-type: none"> • 건설사업관리 비용증가 • 설계와 시공의 공종세분화로 관리능력 부재시 품질 저하 요인 발생 가능 • 조기착공으로 인해 계약변경 요인 과다 발생가능 등

이는 기존 연구에 따르면 공기나 비용측면에서 전통적 방식인 설계시공 분리방식보다 우수한 것으로 나타났다. 하지만 국내에서는 관련제도의 모순과 미비로 인한 여러 문제점들이 지속적으로 발생되고 있다(김정훈 외 2003). 표 2-1은 순차적인 방법과 동시공학 방식의 비교 내용이다.

8) Bogus, S. M. (2004). "Concurrent Engineering Strategies for Reducing Design Delivery Time," PhD Dissertation, University of Colorado, Boulder.

9) 이복남, 1997, 패스트트랙 방식과 건설사업의 경제성, 건설산업동향, 한국건설산업연구원, 2쪽

3. 사례 및 설문 분석

3.1 사례

1) Digital Equipment Company

Digital Equipment Company는 신제품에 대한 개념정립에서 고객까지의 과정을 완성하는데 30개월이 소요되었는데, 이러한 제품은 일반적으로 24개월이면 옛것이 되어버린다. 이러한 개발단계는 경쟁사 제품에 비하여 너무 길게 소요되었기 때문에 이 회사는 동시공학을 도입하기로 결정하였다. 동시공학 적용이후의 결과는 다음과 같다.

- ① 개념정립에서 고객까지의 과정이 30개월에서 18개월로 단축되었다.
- ② 손익분기점이 12개월로 단축되었다.
- ③ 제품의 수명에 대한 비용이 7500만 달러 감소되었다.
- ④ 마그네틱 드라이브의 조립비용이 55%, 부품의수가 52% 감소되었다.
- ⑤ 판매는 100% 증가하였다.

2) 폭스바겐의 홀54 조립공장

이 사례는 동시공학이 상품제조를 용이하게 해주고 비용을 줄여주는 것을 입증하여 주는 대표적인 경우라고 할 수 있다.

이 회사가 동시공학을 도입한 결과 프레임 부품 하나가 추가되었고, 이로 인해 조립 중인 폭스바겐 골프와 제타의 앞부분이 잠시 열려지게 되었다. 바로 이때 조립로봇이 엔진과 완충장치를 설치했는데 이전까지만 해도 엔진을 얹고 완충장치를 설치하기 위해 여러 명의 노동자가 1분간 작업해야만 했던 공정이었다. 이 공정에 걸리는 시간도 문제였지만 이로 인해 조립라인의 원활한 흐름을 막는다는 것이 더 큰 문제로 제기되었다. 그리하여 홀54 조립공장에서는 이 공정을 생략하기로 하였다. 또한 이 공장의 조립부서 책임자는 구매부서를 설득하여, 일반나사보다 가격은 18%정도 비싸지만 나사 구멍과 정확하게 직각을 이루지 않더라도 쉽게 끼워 넣을 수 있는 원추형나사를 구입해 주도록 요구하였고, 이 의견이 받아들여져서 전체 조립공정에서 많은 부분을 차지하던 나사조립이 자동화될 수 있었다.

- ① 조립에 걸리는 시간이 1분에서 26초로 줄어들게 되었다.
- ② 5%에 불과하던 자동화 공정의 비율이 25%에달하게 되었다.

3.2 설문지 분석

(1) 설문지 개요

본 연구는 건설공사에서 동시공학이 미치는 영향을 조사하기 위해 여러 사례를 분석하여 각 프로세스에 영향을 미치는 요인들을 파악하고 그 요인들 중 핵심요인을 도출하여 실 공정에 도입, 시뮬레이션을 통해 합리적인 의사결정 방안에 도움을 주도록 하는 것이다. 조사대상은 서울, 경기 지역 산하의 건설현장 관계자 100명을 대상으로 하였다.

(2) 설문지 분석

총 100부의 설문지를 배부하여 80부를 수령하였다. 그림 3-1에서 보면 성별로는 여자가 1명으로 건설 산업의 특성상 남자가 압도적으로 많았다. 학력으로는 학사가 49명이었고, 박사는 2명이 설문에 응하였다. 또한 기사자격으로는 소지자가 51명이었으며, 10년 이상의 건설현장 경력자가 50% 이상이며 건설현업에서 종사하는 사람을 대상으로 설문지를 배부하여 수령하였다.

분석결과 대부분의 응답자들이 동시공학의 실제 현장 적용부분에 관하여는 인식이 부족하며 경험이 미숙하다고 대답하였다.

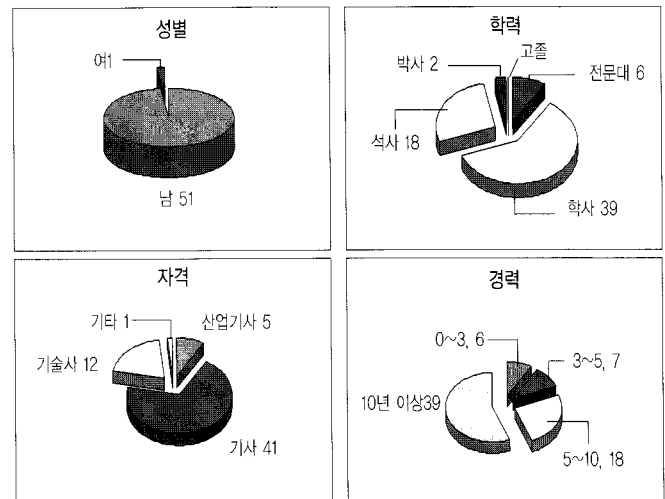


그림 3-1. 설문지 분석 결과

이는 건설현장에서 동시공학이라는 기법을 적용하기 보다는 대규모 물량투입을 통한 시공이 만연하기 때문이라 생각된다. 또한 현장에서 직접 동시공학을 적용하여 시공한 경험을 토대로 대답한 문항에서는 약 20% 정도의 오버랩시 가장 효율적이고 생산적이라는 대답이 압도적이었다. 이것은 공기의 단축이라는 목표보다 공기와 비용간의 최적점을 찾아 오버랩을 시행하였다고 판단된다.

설문지 분석결과 동시공학이 성공적으로 적용되기 위한 요인은 표 3-1과 같다.

표 3-1. 동시공학 성공을 위한 요인

노동자	관리	프로세스
1.대인관계	1.주인의식	1.커뮤니케이션 체제 확립
2.개인적 기술	2.교육	2.과거 자료 사용
3.책임감	3.최고 관리자의 지원	3.단계별 공정 조절 능력
	4.포상	4.실수요자 배려

실제 현장에서 동시공학을 적용하였을 경우 크게 노동자와 관리 그리고 프로세스라는 세 가지 측면으로 나누어 볼 수 있다.

첫 번째로 일선에서 일하는 노동자들의 경우에는 동료간의 관계나 상사와의 관계에 문제가 없으며, 개인적으로 충분한 경험과 기술 그에 따른 책임감이 필요하다.

두 번째 관리측면에서는 동시공학의 이해에 대한 교육이 무엇보다도 필요하다. 설문지 분석결과 동시공학 이해의 부족에서 오는 문제가 다른 문제들보다 많았으며, 관리자들이 주인의식을 가지고 시공 현장을 관리한다면 좀 더 효율적이며 성공적인 프로젝트가 될 것이다.

마지막 프로세스 측면에서는 발주자나 시공자간의 커뮤니케이션이 활발해야하며 과거의 자료나 경험을 바탕으로 부족한 점을 보충하여 새로운 프로젝트에 임한다면 성공적으로 건설공사에 동시공학을 적용할 수 있다.

아래 표 3-2는 면담을 통해 앞으로 시뮬레이션을 분석할 예제의 각 공정별 특성에 대한 자료이다.

면담을 통해 공정별 특성을 정의한 결과 거푸집설치-철근배근 간의 공중은 Fast Production과 High Sensitivity로 나타났다. 그 외의 공중에서도 Fast Production에 대한 답변이 많이 나왔는데 이는 실제 건설공사에서 동시공학 적용을 위해 선행작업이 Fast Production이 되면 후속작업을 오버랩 하는데 수월하고 오버랩 비율을 좀 더 늘릴 수 있기 때문으로 분석된다.

표 3-2. 각 공정별 특성 면접 내용

공 중	면담자			
	A	B	C	
거푸집설치-철근배근	F,P	F,P	F,P	F,P
-Production/-Sensitivity	H,S	L,S	H,S	H,S
철근배근-앵커볼트 설치	F,P	F,P	F,P	S,P
-Production/-Sensitivity	H,S	H,S	L,S	H,S
앵커볼트 설치-콘크리트 타설 및 양생	F,P	F,P	F,P	F,P
-Production/-Sensitivity	L,S	L,S	L,S	H,S
콘크리트 타설 및 양생-베이스 플레이트 제작 및 설치	S,P	S,P	S,P	F,P
-Production/-Sensitivity	L,S	L,S	H,S	L,S
베이스 플레이트 제작 및 설치-그라우팅	F,P	F,P	S,P	F,P
-Production/-Sensitivity	L,S	H,S	L,S	L,S
그라우팅-철골기둥 제작 및 설치	S,P	S,P	F,P	S,P
-Production/-Sensitivity	H,S	H,S	H,S	L,S

그 외 민감도에 관한 부분에서는 여러 의견이 나왔으나 같은 공중이라도 각 현장마다 상황과 여건들이 서로 다를 수 있고 위의 예제에서만 적용되는 것임을 밝혀둔다.

4. 분석을 통한 액티비티 중첩도 증대를 위한 전략

각 공정별 오버랩 증가를 위해 그림 4-1과 같이 각 공정별 특성을 정의한 후 오버랩 하였을 경우 시간과 비용간의 최적점을 파악하여 오버랩하여야 한다. 만약 절감액이 최초 예산보다 적다면 당연히 다시 처음 순서부터 액티비티 중첩의 정도를 결정하여 중첩 전략을 적용하여야 한다.

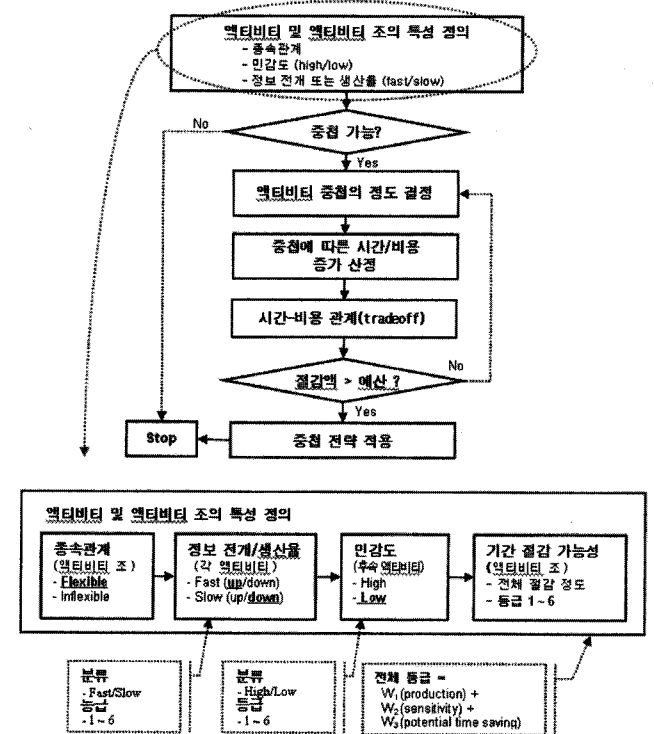


그림 4-1. 중첩 최적화 알고리즘

5. 시뮬레이션을 통한 검증

5.1 시뮬레이션

시뮬레이션에서 시스템(System)이란 관심의 대상이 되는 현실세계(Real World)의 부분집합으로 그 속에 상호작용(Interface)하는 구성요인 혹은 개체(Entity)의 집합 즉 현실세계의 한 부분으로서 분석자의 관심의 대상이 되는 개념적 또는 물리적 실체를(김선민;2002) 이해하고 의사결정에 도움을 주기 위하여 현재 혹은 미래에 일어날 수 있는 상황을 수리적이고 논

리적인 모델로 재현(김기호;2005)하는 모의시험의 총칭이다.

오늘날 의사결정 변수가 방대하고 복잡하여 체계적인 연구가 지금까지(이재규;1987) 진행되고 있다. 통상 시물레이션으로 모델을 최적화하기 위해서는 많은 시간이 소요되는데 이런 문제점을 해결하기 위해 가장 널리 사용되는 방법이 몬테칼로 시물레이션이다.(김기호;2003)

몬테칼로(Monte Carlo) 시물레이션은 현실세계를 대표하는 확률분포(Probability Distribution)로부터 임의적으로 표본을 추출하여 특정 상황 하에서 발생할 수 있는 결과값의 분포(Distribution)를 추정하는 확률, 통계적 방법(백승호;1997)으로 무작위 난수를 발생시켜 확률적으로 리스크를 평가하여 의사결정자의 경험, 기술 및 판단을 이용하여 범위 추정값을 결정한 후 정의된 확률분포 내에서 난수를 발생시켜 그 결과를 해석하는 방식이다.

오늘날 생산현장, 제품개발, 사업성 분석 등 다양한 응용분야에서 널리 사용되고 있으며¹⁰⁾ 그 절차는 그림 5-1 과 같다.

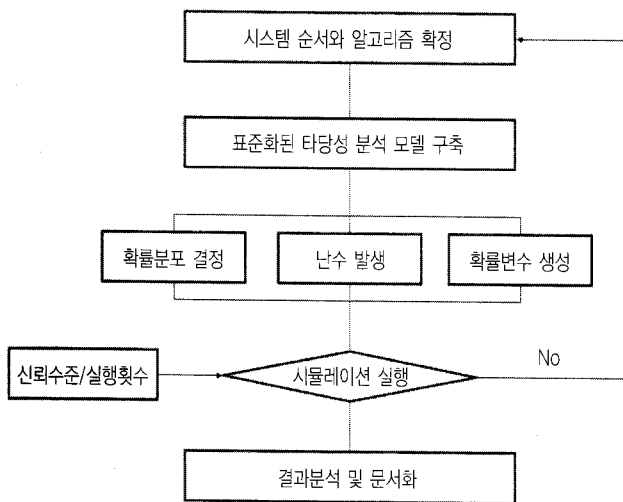


그림 5-1. 시물레이션 절차

먼저 시스템의 순서와 알고리즘을 확정하여 타당성 있는 분석 모델을 구축한다. 그리고 확률분포를 결정하고 난수를 발생시켜 실행 횟수와 신뢰수준을 고려하여 시물레이션을 실행한다. 시물레이션 결과 분석을 문서화하여 자료로 활용한다.

5.2 시물레이션 실행

시물레이션을 실행하기에 앞서 시물레이션에 필요한 실제 사례와 수치를 자료화하여 정량적인 분석에 사용한다. 각 공정별

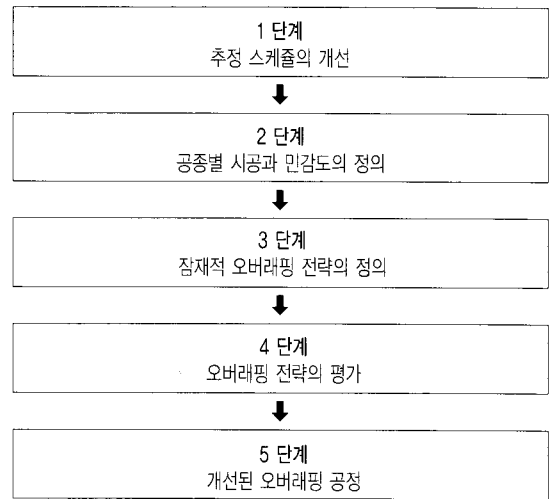


그림 5-2. 시물레이션 과정

민감도와 생산율에 대해 전문가와의 면담을 통하여 특성을 정의하고 기존 문헌분석과 설문분석, 실제 현장에서의 전문가 면담을 통하여 재작업 확률과 재 작업량에 대한 표를 만든다.

(1) 예제

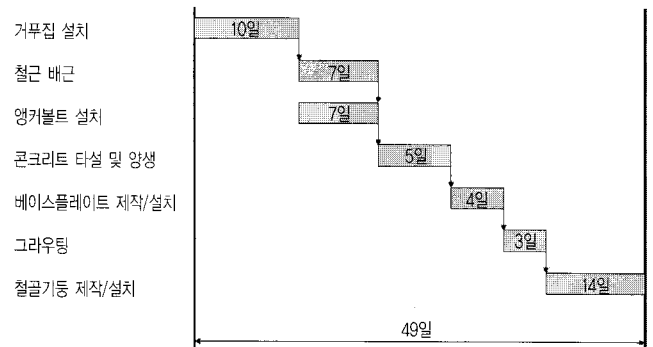


그림 5-3. 철골기둥 설치 사례(철골 기둥 총 100개)

그림 5-3은 100개의 철골기둥 설치 사례에 대한 공정표이다. 총 49일이 소요되는 공정이며, 시물레이션시 모든 공정간의 중첩이 가능하다는 가정하에 시물레이션을 실행한다. 실제 사례를 중심으로 비용은 표준품셈을 사용하였고, 오버랩시 추가비용도 실제 추가비용을 사용하였다. 연구에서 사용한 변수는 공기와 비용 두 가지 측면만을 고려하였다.

그 외 발생할 수 있는 예기치 못한 사건들은 변수로 사용하지 않도록 한다.

(2) 공정별 특성 정의

표 5-1은 공정별 특성에 대한 정의이다. 전문가 면담과 설

10) 조나단 문, 2005, 미래형 리스크 분석(시물레이션을 이용한), 이레테크

문을 토대로 각 공정별 생산율과 민감도에 대한 특성을 정의하였다.

표 5-1. 공정별 특성 정의

Activity	Production	Sensitivity
거푸집 설치		
철근 배근		
앵커볼트 설치		
콘크리트 타설 및 양생		
베이스플레이트 제작/설치		
그라우팅		
철골기둥 제작/설치		

모든 공정이 Fast Production이 된다고 후속 작업과의 중첩이 많이 되는 것이 아니라 중첩의 가능성이 높아진다는 사실을 염두에 두어야 한다. 자료는 후에 시뮬레이션 실행 시 사용하여 분석한다.

(3) 중첩 확률에 따른 재작업 확률과 재작업량

표 5-2는 중첩 정도별 재작업이 일어날 확률과 재작업이 일어났을 경우 재 작업량의 정도에 대한 표이다. 4가지 특성별로 0~100% 까지 중첩되었을 경우의 확률 분포에 대한 자료이다.

중첩 정도가 커질수록 재작업확률과 재 작업량이 증가하지만 100% 중첩에 가까워질수록 그 증가폭이 줄어드는 모습을 볼 수 있다. 아래의 자료는 문헌 자료와 설문, 실제 현장 기술자 면담을 토대로 작성하였다. 제시된 자료는 시뮬레이션에 사용하여 분석을 실행한다.

표 5-2. 재작업 확률과 재 작업량

구분		오버랩 정도					
		0%	20%	40%	60%	80%	100%
Fast Production, High Sensivity	재작업확률	0	15	20	35	55	65
	재작업량	0	5	10	10	20	25
Fast Production, Low Sensivity	재작업확률	0	5	10	15	20	20
	재작업량	0	5	5	10	15	15
Low Production, High Sensivity	재작업확률	0	55	70	75	80	80
	재작업량	0	20	25	25	30	30
Low Production, Low Sensivity	재작업확률	0	15	25	30	30	30
	재작업량	0	10	15	20	20	20

(4) ARENA 시뮬레이션 흐름도

그림 5-4는 시뮬레이션 프로그래밍을 하기 위한 오버래핑 흐름도이다.

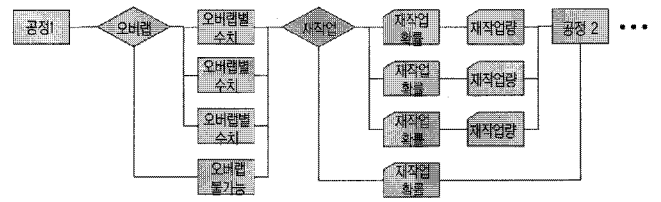


그림 5-4. 아레나 시뮬레이션 흐름도

첫째로 언급한 4가지 전략에 대해 공정간의 특성을 정의한다. 정의한 전략 중 한 가지를 선택하여 오버랩이 가능한지 불가능한지 선택한다.

둘째로 오버랩이 가능한 공정이라면 얼마만큼 오버랩이 가능한지 확인한다. 그리고 오버랩에 따른 재작업 여부를 확인한 후 다음 공정으로 넘어간다.

작업을 정의할 때 4가지의 경우의 수, 오버랩율의 변화에 따른 0% ~ 100% 까지의 경우의 수, 재작업이 발생할 확률과 발생하였을 경우 재작업의 작업량에 대한 경우의 수까지 무수히 많은 경우의 수를 거쳐 시뮬레이션을 실행한다.

5.3 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션 결과 원래 공기와 중첩했을 경우 공기의 차이가 있었다. 중첩의 정도가 커질수록 당연히 공기는 줄어들었으나, 그림 5-5처럼 비용은 반비례하여 증가하는 모습을 보여주었다.

그림 5-6은 각 공정별 오버랩 비율에 따른 공기의 변화에 대한 자료이다. 오버랩 비율이 증가할수록 공기는 당연히 줄어드는 모습을 보여주고 있다.

표 5-3은 20~100% 오버랩 했을 경우의 시뮬레이션 결과자료이다. 자료를 통해 오버랩 비율이 증가할수록 공기는 줄어들지만 비용은 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 공사의 특성에 따라 최적점을 찾는 것이 중요하다.

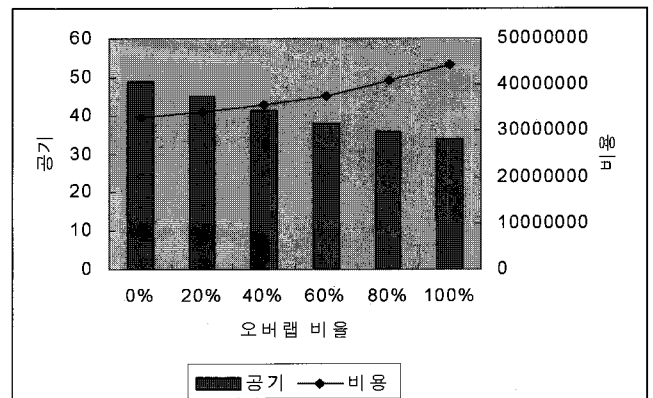


그림 5-5. 오버랩 비율별 공기와 비용변화

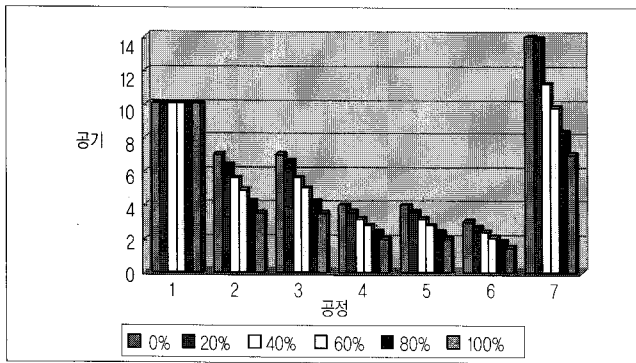


그림 5-6. 공정별 오버랩 비율에 따른 변화

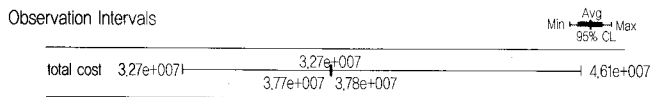


그림 5-7. 60% 오버랩 경우 0.95 신뢰도의 cost 표준편차

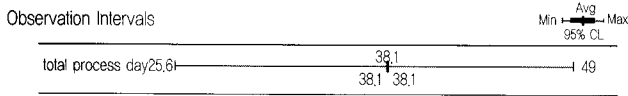


그림 5-8. 60% 오버랩 경우 0.95 신뢰도의 process 표준편차

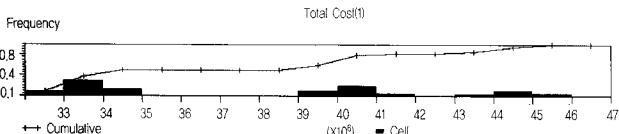


그림 5-9. 60% 오버랩 경우 cost 빈도수

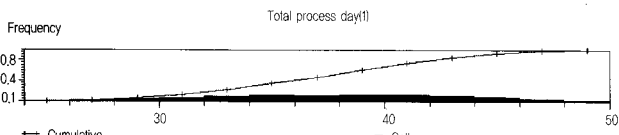


그림 5-10. 60% 오버랩 경우 process 빈도수

그림 5-7, 8은 100,000번의 시뮬레이션 결과 60% 오버랩 했을 경우의 95% 신뢰도에서 공기와 비용간의 표준편차 그림이고, 그림 5-9, 10은 100,000번의 시뮬레이션 결과 60% 오버랩 했을 경우의 95% 신뢰도에서 공기와 비용간의 빈도수 그림이다.

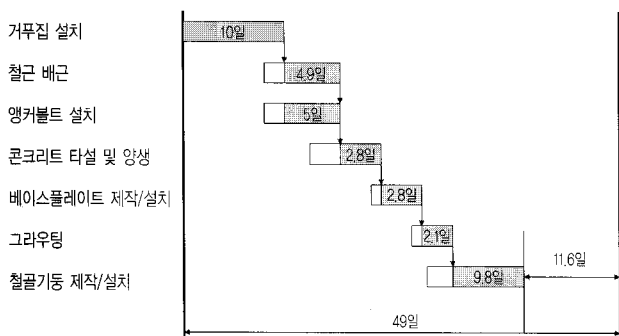


그림 5-11. 60% 오버랩 했을 시 오버랩 공정표

그림 5-11은 기존 철골공사 100개의 공정표와 60% 오버랩 할 경우 공중별로 얼마간의 오버랩이 되는지와 전체공기가 11.6일 단축되는 결과를 볼 수 있다.

표 5-3. 중첩 확률에 따른 시뮬레이션 결과표

구분(%)	평균	표준편차	중앙값	최소값	최대값	
cost (원)	20	341,000,000	1,160,000	72,000	327,000,000	359,000,000
	40	365,000,000	2,440,000	151,000	327,000,000	399,000,000
	60	377,000,000	4,400,000	273,000	327,000,000	461,000,000
	80	411,000,000	7,560,000	469,000	327,000,000	541,000,000
	100	445,000,000	10,700,000	661,000	327,000,000	616,000,000
Process (일)	20	45.1	1.82	0.0113	41.2	49
	40	41.3	3.59	0.0223	33.4	49
	60	38.1	5.16	0.03	25.6	49
	80	36	6.31	0.0391	17.8	49
	100	33.9	7.39	0.0458	10	49

5.4 모델의 활용 방안

총 100,000번의 결과값을 통해 중첩 정도별 공기와 비용을 알아 볼 수 있었다.

시뮬레이션 결과값을 이용하여 건축주와 발주자가 프로젝트를 진행시킬 경우 동시공학을 적용하면 어느 정도의 효용성이 있는지에 대한 내용을 정량적으로 나타낼 수 있었다.

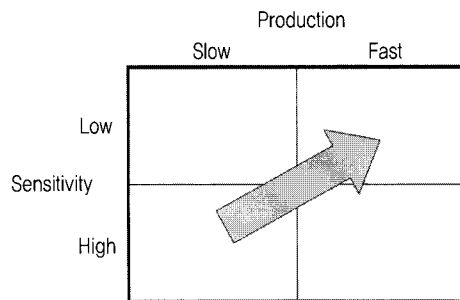


그림 5-12. 중첩 전략의 목표

결과값을 이용하여 건축주나 발주자는 프로젝트에 이익이 되는 방향으로 공기가 최우선이 되는 방향을 결정할 수 있거나 비용이 최우선이 되는 방향으로 결정하거나 공기, 비용의 최적점을 결정하는데 도움이 되는 자료가 된다.

각 공정별 중첩 전략은 그림 5-12처럼 Fast Production과 Low Sensitivity 가 되도록 하면 각 공정별 오버랩의 가능성이 높아진다. 그러나 Fast Production이 된다고 무조건 중첩이 많이 되고 공기가 줄어든다는 것이 아니라 중첩 할 여지가 많아진다는 이야기이다. 이러한 전략을 통하여 프로젝트에 적용할 경우 공기와 비용 측면에서 만족할 만한 성과를 올릴 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결론

이 연구는 시뮬레이션을 통해 동시공학이 건설공사에 적용되었을 경우, 오버랩의 비율별 공기와 비용에 관하여 분석하였다. 실제 현장에서는 여러 가지 문제점과 상황이 발생하겠지만 공기와 비용 두 가지 측면에서 시뮬레이션 방법을 수행하였다. 프로젝트 기간을 단축하는 이점은 사회적인 측면에서 여러 가지가 제시될 수 있다.

즉, 새로운 제품을 시장에 빨리 출시하고 산업의 전반적인 생산성을 향상하는 것이다. 본 연구에서 개발된 설계단계, 설계-시공 접목단계, 시공단계의 재구명을 통한 액티비티 중첩방법은 건설 산업에서 프로젝트 기간을 획기적이고 지속적으로 단축하기 위한 첫 단계라 할 수 있다.

이것은 건설 분야 설계 및 시공 프로세스를 다시 생각토록 해 주고 설계와 시공 업무를 계획과 엔지니어를 교육하는데 있어 이론적으로 확고한 방법을 제공하게 될 것이다.

따라서 본 연구는 동시공학의 적용을 실제 예제를 통하여 정량적으로 분석하여 의사결정이나 연구자료 및 가이드라인으로서 이용될 수 있다. 그러나 본 연구를 수행하면서 정량적으로 분석이 가능한 부분만이 연구대상이 될 수 밖에 없는 점에 한계를 느끼며, 향후 연구에서는 보다 명확한 분석을 위해서 정량적인 분석이외에 정성적인 부분에 대해서도 포괄적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김대영 (2002), “린 건설의 도입 및 수행”, 건설관리 12월호, 한국건설관리학회.
2. 김정훈, 구교진, 현창택 (2003), “설계시공 일괄방식 프로세스 성공모델에 관한 연구”, 한국건설관리학회 논문집, 제4권 제3호.
3. 남규현, 송성진 (2000), “동시공학 경영혁신 이론과 사례에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 16권 12호.
4. 박찬식, 장선호, 김기홍 (2003), “설계의사결정 과정에서의 확률적 공사비 계획 모델”, 대한건축학회 논문집, 19권 11호.
5. Barrie, D. S., and Paulson, J., Boyd C. (1992). Professional Construction Management, McGraw-Hill.
6. Blackburn, J. D., editor. (1991). Time-Based Competition: The Next Battleground in American Manufacturing, Business One Irwin, Homewood, IL.
7. Bogus, S. M. (2004). “Concurrent Engineering Strategies for Reducing Design Delivery Time,” PhD Dissertation, University of Colorado, Boulder.
8. Clough, R. H., and Sears, G. A. (1991). Construction Project Management, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.

논문제출일: 2007.04.27

심사완료일: 2007.10.18

Abstract

The age of synthetic correspondence against “development period shortening, high quality” is about to come. While the product is becoming complexation gradually and also diversification, life cycle of product gets shorted.

Under the infinity competition age, the certain answer of “the survival of the fittest” is that the enterprise itself must be able to shorten development and delivery term, reduce product development and life cycle cost, and satisfy customer in performance and value.

From this point of view, concurrent engineering’s theory, which develops the process of product in the manner of repetition, parallel, and synchronously, is realized as a important strategy instrument in construction.

This study investigates and analyzes several examples in order to apply concurrent engineering successfully, and presents the decision-making model through the simulation about the factor affecting in each process.

Keywords : Concurrent Enigneering, Simulation, Overlap, Sensitivity, Production