HRB Expert 구축을 위한 지식의 획득과 활용

Knowledge Acquisition and Application for Scheduling Expert System of Highrise Buildings

홍 영 탁* · 유 정 호** · 임 경 호*** · 이 현 수****
Hong, Young-Tak · Yu, Jung-Ho · Lim, Gyeong-Ho · Lee, Hyun-Soo

요 약

초고층 건축물은 층수의 증가에 비해서 공기의 증가가 작기 때문에 공기초과가 발생하기 쉽다. 최근 초고층 프로젝트의 증가에 따라 공정계획의 중요성이 증대되고 있으며 공정관리를 개선하기 위해서 공정계획 소프트웨어의 도입과 교육이 활발히 이루어지고 있다. 하지만 공정계획의 많은 부분은 아직도 계획자의 경험에 크게 의존하고 있다. 따라서 새로운 자재, 장비 및 공법이 도입되는 초고층 프로젝트는 공정 계획자의 경험이 부족할 경우, 경험 미숙으로 인한 공기초과가 발생하기 쉽다. 공정 계획자의 경험미숙으로 인한 공정계획의 편차를 줄이기 위한 방안으로 본 연구에서는 전문가의 경험적 지식을 초고층 공정계획 작성에 활용하는 방안을 제안하였다. 사례연구에서는 초고층 골조공종을 대상으로 하여 본 연구에서 제안한 초고층 공정계획 지원시스템의 지식획득과 지식활용방안을 고찰하였다. 본 연구에서 제안한 지식획득과 지식활용을 토대로 초고층 공정계획 지원시스템을 구축하여 활용한다면 초고층 공정계획의 정확성을 높일 수 있으며 공기초과를 예방할 수 있을 것이다.

키워드 : 초고층, 전문가, 지식, 공정계획, 지원시스템

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도심지 재개발 사업의 일환으로 도심지 초고층 건축물의 시공이 증가하고 있다. 설계단계에서 초고층 건축물에는 구조적인 문제의 해결과 실내 거주성 향상을 위해 새로운 구조시스템 및 설비시스템이 도입되며, 시공단계에서는 공기단축을 위한 목적으로 새로운 자재, 장비 및 공법이 도입된다. 새로 적용되는 시스템 및 새로 투입되는 자재, 장비 및 공법으로 인해서 초고층 프로젝트는 일반 프로젝트에 비해서 불확실성이 크다.

초고층 건축물은 층수의 증가에 비하여 공기의 증가가 작기 때문에 공기초과의 위험이 높다. 또한 대부분이 분양 목적인 초고층 건축물은 사업 목적을 위한 특정 준공시한이 정해져 있기 때문에 공기초과가 발생할 경우 사업에 막대한 손실을 초래한다. 따라서 초고층 건축물은 일반 건축물에 비해서 공정관리의 중요성이 아주 높다.

최근 초고층 프로젝트가 증가하면서 공정관리의 중요성이 증가하고 있다. 공정관리를 개선하기 위해서 공정관리 소프트웨어의 도입과 직원들의 교육이 시행되고 있지만 그 효과는 미비한 실정이다. 공정관리 소프트웨어는 계획가의 생각을 표현해주는 수단에 지나지 않기 때문에 공정계획과 관련된 내용은 아직도 과거 경험에 크게 의존하고 있으며 계획자의 경험수준에 따른 공정계획의 편차도 크게 발생하고 있다.

현행 초고층 공정계획은 계획가의 초고층 경험부족으로 인해 공기초과 발생 가능성이 높기 때문에 이를 방지하기 위한 지원시스템이 요구되고 있다. 따라서 본 연구는 초고층 공정계획 지원시스템(HRB Expert; Highrise Building Scheduling Expert System)의 개념을 제안하고, HRB Expert를 구축하기 위한 지식획득 및 활용 사례를 제안하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

공정관리는 계획(Planning)과 통제(Control)로 구분할 수 있다.(신현식 외, 1998) 공정계획을 업무순서에 따라 구분하면 기본계획, 일정계획, 자원할당으로 구분할 수 있다.(서상욱, 1992)

* 학생회원, 대우건설 기술연구소 연구원, 공학석사
** 학생회원, 한미파슨스 건설전략연구소 선임연구원, 공학박사
*** 일반회원, 포스코건설 건축사업본부 건축기술팀 팀장
**** 종신회원, 서울대학교 건축학과 교수, 공학박사
본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C103A104000-03A0204-00110)에 의한 것임.

일정계획 및 자원할당은 공정관리 소프트웨어를 통한 지원이 가능하나 기본계획은 계획가의 경험에 의존하는 비중이 높다. 따라서 본 연구에서 제안하는 HRB Expert의 용도는 초고층 건축 프로젝트의 기본계획 수립 지원에 한정한다.

본 연구는 최근 국내에서 시공 사례가 증가하고 있는 초고층 주상복합 건축물을 주요 대상으로 하였으며 전체공기에서 차지하는 비중이 높은 골조공종에 집중하여 수행하였다[1]. 현행 초고층 골조의 경우, 뉴욕지역의 주거용 건축물이나 호텔은 거의 대부분 철근콘크리트구조로 시공되고 있다. 국내에서 시공된 초기 주상복합 건축물은 철골조 또는 철골철근콘크리트구조[2]이었으나 최근 준공된 프로젝트 및 진행 중인 프로젝트는 철근콘크리트구조[3] 형식을 취하고 있다. 따라서 본 연구는 철근콘크리트구조의 골조공종에 한정하였다.

본 연구는 주로 문헌조사의 방법으로 진행하였지만 일반 건축물과는 다른 초고층의 특성을 연구에 반영하기 위해서 국내외 초고층 시공사례를 조사하였다. 문헌조사 및 사례조사의 내용을 바탕으로 조사 내용의 타당성과 실무 적용의 가능성을 높이기 위해서 초고층 전문가 면담을 실시하였다. 본 연구의 순서는 다음과 같다.

1) 초고층 공정계획의 특성과 문제점에 대해서 고찰한다.
2) 초고층 공정계획의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 HRB Expert의 개념을 제안하고 Framework를 제시한다.
3) HRB Expert를 구축하기 위한 지식획득 사례를 제시한다.
4) HRB Expert가 목적한 기능을 수행하기 위해 획득한 지식의 활용 사례를 제시한다.

2. HRB Expert의 개념

2.1 초고층 공정계획의 특성

2.1.1 층당공기

프로젝트는 그림 1과 같이 위계를 갖는다.(Thomas et al., 2002) 프로젝트는 대공종(Total Process Level)의 조합으로 구성되며, 대공종은 소공종(Activity or Task Level)의 조합으로 구성된다. 소공종은 작업(Subtask or Method Level)의 조합으로 구성된다.

초고층 건축물은 크게 저층부(Podium)와 주동부(Tower)로 구분할 수 있으며 공기는 작업시간이 상대적으로 많이 소요되는 주동부에서 결정된다. 주동부는 구조적 목적으로 설치된 구조층[4]을 제외하고는 동일한 평면이 반복되기 때문에 주동부의 한 층에 소요되는 작업시간은 프로젝트의 전체 공기를 좌우한다. 본 연구에서는 각 대공종별로 주동부 한 층의 작업을 완성하는데 소요되는 소공종의 작업시간의 합을 층당공기라 명명한다.

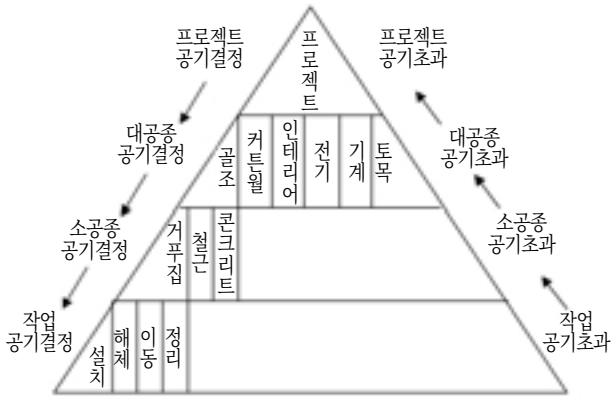

그림 1. 프로젝트의 위계

초고층 프로젝트에서 층당공기가 중요한 의미를 갖는 것은 초고층 프로젝트의 공기결정 특성 때문이다. 일반 프로젝트는 작업 기간을 결정하고, 소공종, 대공종 공기를 결정한 후 프로젝트 전체 공기를 결정하는 상향식 결정구조를 갖는다. 하지만 상향식 방법으로 초고층 전체 공기를 산정할 경우 층수의 증가로 인해서 초고층 공기는 급격히 증가되며 공기 증가에 따라 공사비의 증가, 사업 일정의 차질, 불확실성의 증가로 인한 여러 가지 문제가 발생한다. 따라서 초고층 공기는 사업의 목적을 위한 전체공기를 산정하고 이를 달성하기 위한 대공종, 소공종, 작업공기를 결정하는 하향식 구조를 통해서 결정되며, 층당공기의 준수를 위한 시공계획 작성은 공정계획의 주요 내용이 된다.

1) 국내 T 프로젝트(구조:철골철근콘크리트구조, 규모:66층1동, 59층2동, 42층1동, 지상높이: 233.9M)의 경우 입주준비 3개월을 제외하고, 전체 36개월의 공사기간이 소요되었다. 공사기간은 크게 4단계로 토공사(4.5개월), 기초공사(2.0개월), 골조공사(15.7개월), 마감공사(13.8)로 나뉘며 그중 골조공사는 전체 공기의 44%가 소요되었다.

2) 대림아크로타운(대림산업, 지상42층, 1999년 준공), 타워팰리스1차(삼성물산, 지상66층, 2002년 준공)

3) 갤러리아 팰리스(삼성물산/한화건설, 지상46층, 2005년 준공 예정), 삼성동 I'PARK(현대산업개발, 지상46층, 2004년 준공), 여의도 대우 트럼프월드(대우건설, 지상41층, 2002년 준공), the # 센텀파크(포스코건설, 지상53층, 2004년 준공 예정), the # 해운대 아델리스(포스코건설, 지상47층, 2006년 준공 예정)

4) 초고층 건축물은 높은 높이로 인해서 중력과 같이 건축물에 수직인 하중뿐만 아니라 바람과 같이 건축물에 수평인 하중의 영향을 크게 받는다. 초고층 건축물에는 자중 및 외력에 대응하기 위한 구조시스템이 설치된다. 초고층 구조시스템에는 다양한 방식이 있으나 국내의 초고층 주상복합 건축물에서는 일반적으로 아웃리거(Outrigger)가 많이 적용되고 있다. 아웃리거는 주동부에 설치되며, 아웃리거가 설치되는 층의 평면 및 단면은 기준층과는 다른 형태를 갖는다.

그림 2. 초고층 프로젝트의 공기결정 구조

2.1.2 공기초과 원인

공기는 크게 계획공기와 실적공기로 구분할 수 있다. 계획공기는 공정계획 작성과정에서 결정되는 프로젝트의 공기이며, 실적공기는 실제 프로젝트 완료에 소요되는 공기를 의미한다. 공기초과는 계획공기가 초과하거나 실적공기가 초과할 경우 발생한다. 계획공기의 초과는 공정계획의 부정확으로 인해서 발생하며, 실적공기는 프로젝트 관리단계에서 부주의로 인해서 발생한다.

현행 초고층 프로젝트에서 발생하는 공기초과 원인을 도식하면 그림 3과 같다. 초고층 프로젝트에는 새로운 자재, 장비 및 공법이 도입되고 새로운 구조, 설비 시스템이 적용되기 때문에 공정계획 단계에서 경험부족에 따른 오류가 발생하기 쉽다. 계획 단계에서는 공정계획가의 초고층 프로젝트 수행경험 부족과 관련정보의 부재에 따라서 계획공기의 정확도가 낮아진다. 또한 도면에 작업이 어려운 부분이 존재하거나 현장의 특성과 맞지 않는 공법이 적용되면, 공기에 치명적인 손실이 발생하는데 이것은 공정계획이 현장의 특성을 반영하지 못했기 때문에 발생한다. 공정계획 수립 후 수립된 계획의 평가는 실적공기의 초과를 예방할 수 있다.

그림 3. 초고층 프로젝트 공기초과 원인

2.2 HRB Expert의 Framework

공정계획이 부정확하면 시공단계에서의 공정관리에 많은 어려움이 따른다. 부정확한 공정계획으로는 관리기준을 설정할 수 없으며, 미래에 대한 예측도 할 수 없기 때문이다. 또한 공정계획의 잦은 변경으로 인하여 공정관리가 어렵게 되어 공기는 초과된다. 본 연구에서 제안하는 HRB Expert는 부정확한 공정계획으로 인한 공기초과 방지를 위해 초고층 공정계획의 작성과 평가를 지원하는 기능을 수행한다.

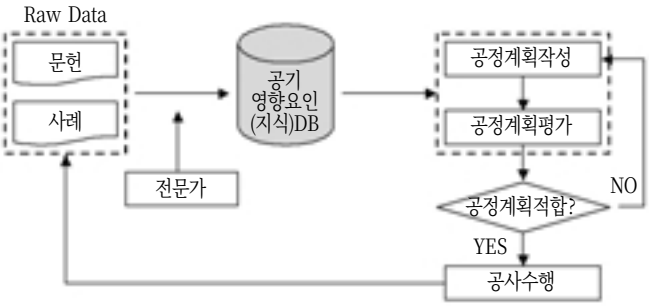

그림 4. HRB Expert Framework

그림 4는 HRB Expert의 Framework를 도식한 것이다. HRB Expert는 초고층 건축물의 공기에 영향을 주는 공기영향요인을 주기적으로 사례 프로젝트 및 문헌을 통해서 수집하여 공기영향요인 DB(Data Base)에 저장한다. 공기영향요인 DB에 저장된 내용은 초고층 공정계획 전문가의 도움을 받아 공정계획에 활용할 수 있는 지식으로 체계화하며 공기영향요인 지식 DB에 저장하고 공정계획 수립에 활용한다. 공기영향요인(계획요인)을 이용하여 작성된 공정계획은 공기영향요인(관리요인)을 이용하여 평가하며 공기초과의 가능성을 저감시킨다. 3장에서는 HRB Expert의 Framework의 내용을 바탕으로 HRB Expert를 구축하기 위해 초고층 공기영향요인을 수집하는 방안에 대해서 고찰하도록 하겠다.

3. 지식의 획득

작업기간을 결정하기 위한 가장 손쉬운 방법 중의 하나는 과거의 실적자료를 토대로 평균작업 기간을 산정하고, 이를 적용하는 방법이다. 하지만 초고층 프로젝트와 같이 새로운 자재, 장비 및 공법이 도입되어 유사한 실적 자료를 구하기 어려울 경우에 작업기간 산정은 식 1을 따른다.(Popescu, 1995)

$$D_{ij} = \{ A_{ij} / (P_{ij} \cdot N_{ij}) \} \cdots\cdots\cdots [식\ 1]$$

D_{ij}: 작업기간

A_{ij}: 작업량, 작업면적

P_{ij}: 생산성

N_{ij}: 자원 투입량

작업기간(D_{ij})을 정확하게 산정하기 위해서는 작업량(A_{ij})과 생산성(P_{ij}), 자원투입량(N_{ij})에 영향을 주는 요인을 고찰하여야 한다. 본 연구에서는 작업량(A_{ij})과 생산성(P_{ij}), 자원투입량(N_{ij})에

영향을 주는 요인을 공기영향요인이라 명명한다.

초고층 건축물의 공기와 일반 건축물의 공기에 차이가 발생하는 것은 초고층 건축물에는 일반 건축물과 다른 공기영향요인이 존재하기 때문이다. 본 연구에서는 초고층 공기영향요인을 문헌조사와 사례조사의 방법으로 수집하였으며 수집한 내용을 초고층 전문가 면담을 통해서 보완하고 수정하였다.

3.1 문헌조사

국내외 문헌을 통해 공기영향요인을 조사하였으며 표 1과 같이 정리하였다. 문헌조사의 내용은 초고층 프로젝트뿐만 아니라 일반 프로젝트에도 해당되는 내용이므로 초고층 프로젝트의 특성을 반영한 공기영향요인을 도출하기 위해서 국내외 초고층 시공사례를 조사하고 조사한 사례를 토대로 초고층 프로젝트의 공기차이를 유발하는 요인을 도출하였다.

표 1. 공기영향요인 문헌조사 내용

연구자	공기영향요인
Assaf(1995)	• 자재, 노무, 장비, 금융, 변경, 행정관련, 공정계획과 진도관리
Majid(1998)	• 자재, 노무, 장비, 금융, 부적합한 계획, 통제의 부족, 하도급업체, 업무조정 부족, 불충분한 감독, 부적합한 시공방법, 전문기술 인력의 부족, 의사소통 미비
Smith(1999)	• 자연, 설계, 물류, 금융, 법과 규범, 정치, 시공, 환경
Nasir(2003)	• 환경, 지질, 노무, 발주자, 설계, 대지조건, 정치, 도급자
한종관(2003)	• 내부(재료, 노무, 장비, 시공방법, 자금, 관리), 외부(발주자, 설계자/감리자, 제3자)

3.2 사례조사

3.2.1 국내와 국외 초고층 시공사례의 공기차이 원인

국내외 초고층 시공사례를 공기와 적용 기술을 중심으로 조사하였다. 국내 초고층 시공사례는 국내에서 시공되거나 시공 중에 있는 초고층 주상복합 건축물[5]을 대상으로 하였으며 국외 초고층 시공사례는 미국과 캐나다의 사례를 조사하였다[6]. 미국은 초고층 기술이 가장 발전한 국가이지만 캐나다의 사례는 미국의 사례와는 다른 특징을 가지며 원가절감에 있어서 국내 초고층 프로젝트에 시사하는 바가 크다. 미국은 뉴욕과 시카고의 초고층 기술이 명확한 특징이 있으므로 뉴욕의 사례[7]와 시카고의 사례[8]로 구분하였고 캐나다는 토론토 외곽에서 시공되고 있는 초고층 건축물[9]을 주요 조사대상으로 하였다.

그림 5. 국내와 국외 초고층 사례의 공기차이 원인

뉴욕의 사례 현장은 하루는 수직부재(기둥, 옹벽 등)를 타설하고, 다음날은 수평부재(슬래브)를 타설하는 층 당 2일 공정을 유지하고 있었다. 시카고의 조사대상 현장은 층당 4일 공기를 적용하고 있었다. 국내 초고층 사례는 시카고와 비슷한 자재, 장비 및 공법을 적용하였지만 층당공기는 3일에서 6일이며[10] 최근에 와서야 시카고와 같은 층당 4일 공정을 달성할 수 있었다. 캐나다는 국내에 비해서 저렴한 자재 및 장비를 적용하고도 층 당 4일 공기를 달성하였다. 국내에서 시공되는 초고층 철근콘크리트 골조공종의 층당공기와 국외에서 시공되는 골조공종의 층당공기의 차이를 유발하는 요인을 정리하면 그림 5와 같다.

3.2.2 국내 초고층 프로젝트의 공기차이 원인

국내에서 시공되는 초고층 건축물은 서로 같은 자연환경, 사회환경, 경제환경, 법 · 제도환경 속에서 진행되기 때문에 국내 사례 간 공기차이는 적용되는 세부기술에 의해서 발생한다. 골조공사 층당공기를 단축시키기 위해서 초고층 철근콘크리트에 적용되는 기술사항은 다음과 같다.

1) 측량작업

초고층 철근콘크리트 골조공사에서는 골조의 수직도를 확보하고 수직 부재의 부등축소를 보정하기 위한 측량작업이 실시된다. 특히 골조의 수직도 확보는 마감공사 및 설비공사 공기에 큰 영향을 준다.

5) 대림산업(2000), 대우건설(2003), 삼성물산 도곡사업 추진실(2003), 포스코건설(2002), 포스코건설(2004), 한화건설(2004), 현대산업개발(2004)
6) A사 내부자료(2003)를 참조하였다.
7) 2003년 7월 골조공사가 진행중인 Regent Tower(900 8th Avenue, 지상 42층), Trump Place A(240 Riverside Blvd, 지상 31층), Trump Place B(240 Riverside Blu, 지상 52층) 현장
8) 2003년 7월 골조공사가 진행중인 The Heritage at Millennium Park (130 North Garland Court, 지상 57층), 1111 South Wabash(1111 South Wabash street, 지상 34층) 현장
9) 2003년 7월 골조공사가 진행중인 Ovation(토론토 서쪽끝, 30층), Sky Mark(토론토 북부, 32층), Gate City(토론토 북부, 29층), Bell Telecom(토론토 시내, 35층), City Center(토론토 서쪽끝, 40층) 현장
10) 코아월 (3일), 주동부 골조(4일 - 6일)

2) 거푸집작업

전용횟수의 증가에 따라 초고층 거푸집은 설치 해체가 용이하고, 전용횟수의 증가에 따른 콘크리트면의 품질저하가 발생하지 않는 재질의 거푸집이 요구된다. 거푸집의 양중부하를 감소시키기 위한 방안으로 경량 거푸집이 적용되고 있으며, 반복 작업에 의한 학습효과와 생산성을 향상시키기 위한 방안으로 설치 해체의 순서를 일정하게 유지하는 방안이 강구되고 있다.

외벽 작업에는 고소작업에 따른 안전을 확보하고 거푸집의 설치 및 해체에 소요되는 작업시간을 단축하기 위해서 시스템거푸집의 적용이 증가하고 있다. 특히 양중부하를 줄여주기 위해 국내 대부분의 현장에서는 자립식 거푸집(Aucto Climbing System Form, 이하 ACS로 표기)이 적용되고 있다.

3) 철근작업

초고층 건축물의 철근작업 특징으로 고강도 철근 사용, 굵은 철근의 증가, 기계식 이음 적용, 철근 선조립 적용 등을 들 수 있다. 고강도 콘크리트의 적용에 따라 초고층 건축물에는 대구경 철근의 사용량이 증가하였고 철근 배근이 일반 건축물에 비해서 복잡해졌다. 철근 직경의 증가와 철근량의 증가에 따라 철근 작업량 및 작업 난이도가 크게 증가하였다. 이에 따라 철근 간격의 확보 및 콘크리트 타설의 용이성을 확보하기 위해서 고강도 철근의 도입과 철근 이음방법의 개선 노력이 이루어지고 있으며, 더 나아가서는 철근 선조립을 통한 작업시간 단축을 시도하고 있다.

4) 콘크리트작업

전용횟수 증가에 의한 거푸집 재료비를 절감하고 거푸집의 조기 탈형을 통한 공기단축을 위해서 고강도콘크리트가 적용된다. 기초 콘크리트에 발생하는 수화열을 저감시키기 위한 방안으로는 일반적으로 매스콘크리트가 적용되고 있으며 분할 타설을 통한 수화열 저감방안과 내 · 외부 과도한 온도차에 의한 균열 발생을 저감시키기 위한 쿨링 시스템(Cooling system)도 함께 검토되고 있다.

5) 양중작업

초고층 건축물은 일반건축물에 비해서 양중거리와 양중물량이 크게 증가함에 따라 자재 및 장비를 효율적으로 수송하기 위한 방안이 마련되어야 한다. 인원 및 자재의 효율적인 운반을 위해서는 무엇보다도 적합한 양중장비의 선정이 중요하다. 표 2는 골조공사 층당공기가 일반 공동주택에 적용되는 8일에서 초고층 주상복합에 적용되는 6일, 4일, 3일, 2일로 단축되기 위해서 적용되는 사항을 정리한 표이다.

표 2. 초고층 층당공기의 변화와 적용 기술의 변화

구분	골조공종 층당공기		
	8 Day → 6 Day	6 Day → 4 Day	3 Day
거푸집	• Gang form + Euro form → ACS + Gang form + Aluminum form	• ACS + Gang form + Aluminum form → ACS + Table form	• ACS
철근	• 선조립 적용	• 선조립 적용 : 가공-운반-설치 → 가공 및 선조립-운반-이음	• 선조립부분적용
콘크리트	• 강도변경 : 수직부재(21~24MPa → 40~42Mpa), 수평부재(21~24MPa→ 24~27MPa)	• 강도변경 : 수직부재 (40~42MPa → 40~45MPa), 수평부재(24~27MPa → 36MPa) • ACS의 적용으로 인한 거푸집 탈형강도 증가 : 8Mpa(일반 Gang Form 적용시) → 10Mpa(ACS Form 적용시)	• 강도변경 ; 수직부재(40~50MPa), 수평부재(24~27MPa)

3.3 전문가 면담

전문가로부터 지식을 추출하는 기법은 직접기법, 간접기법, 자동화도구의 세 가지 기법으로 분류할 수 있다. 보편적으로 가장 많이 사용하는 접근방법은 전문가와 인터뷰하는 직접기법이다[11]. 본 연구에서는 문헌조사와 사례조사의 내용을 정리하고 이를 전문가 면담을 통해서 누락부분과 잘못된 부분을 수정하였다.

4. 지식의 분류

표 3. 공기영향요인의 분류

분류기준	분류내용
프로젝트단계	• 설계단계, 조달단계, 시공단계[12]
책임 소재	• 내부(재료, 노무, 장비, 시공방법, 자금, 관리), 외부(발주자, 설계자/감리자, 제3자)[13]
예측	• 예측가능, 예측불가능
통제	• 통제가능, 통제불가능
발생 빈도	• 일회성, 다회성[14]
발생 분포	• 일반적, 국부적[15]
정량화 특성	• 정성적, 정량적
발생 특성	• 독립적, 의존적

공기영향요인은 그 활용 목적에 따라서 표 3과 같이 다양하게 분류할 수 있다. 시공단계에서 공기지연 발생을 방지하기 위해서는 프로젝트의 각 단계별로 공기영향요인을 관리하여야 효과

11) 박흥국, 전기정 공저, 의사결정지원시스템, 경문사, 2004, pp.314
12) Mulholland, 1999
13) 한종관, 2003
14) 한번 발생하면 다시 발생하지 않는 요인(일회성), 재발하는 요인(다회성)
15) 모든 공종에 걸쳐 발생(General), 특정 공종에 발생(Specific)

적이기 때문에 본 연구에서는 프로젝트를 기획단계(Programming phase) 계획단계(Planning phase), 시공단계(Construction phase)로 나누고 각 단계별로 결정되는 공기영향요인을 기획요인, 계획요인, 관리요인이라 명명하였다.

4.1 기획요인

기획요인은 프로젝트의 타당성검토 및 기본설계 단계에서 결정되는 공기영향요인이다.

1) 층수

초고층 건축물에 있어서 층수는 초고층 건축물의 특성을 가장 명확히 구분하는 기준이다. 층수의 증가에 따라 설계단계에서는 건물 내 거주성을 향상시키기 위한 새로운 구조시스템 및 설비시스템이 도입되고 시공단계에서는 공기단축을 위한 새로운 장비 및 공법이 도입된다.

2) 구조시스템

적용되는 구조시스템에 따라서 거푸집 및 철근 작업의 용이성이 달라진다. 플랫플레이트의 경우는 라멘구조에 비해서 바닥 거푸집 및 철근 설치 작업이 용이하여 공기단축이 가능하다.

3) 평면

벽과 기둥의 배치와 같은 평면요소 또한 작업기간에 큰 영향을 준다. 작업 공간이 협소하여 작업이 어려운 부분이 반복되면 공기초과가 발생되므로 이를 방지하기 검토가 수행되어야 한다.

4) 계약형식

계약에 있어서도 공기단축이 용이한 형식이 있고 그렇지 못한 형식이 있다. 설계시공일괄계약은 설계시공분리계약에 비해서 설계단계에서 시공성을 반영하기 용이하기 때문에 공기단축의 가능성이 높다. 계약형식 이외에 계약 조항에 공기단축에 대한 보상 여부도 공기단축에 큰 영향을 준다.

5) 기타

초고층 건축물에 적용되는 파격적인 입면 디자인과 새로운 설비시스템, 방재시스템의 도입 또한 일반 건축물과는 다른 공기영향요인이기 때문에 검토되어야 한다.

4.2 계획요인

계획요인은 공정계획 단계에서 공정을 구성하는 작업의 종류, 순서, 기간을 결정하는 요인이다. 철근콘크리트 골조공종은 측량작업, 거푸집작업, 철근작업, 설비작업, 콘크리트작업과 같은 소공종으로 구성된다. 각 소공종에 적용되는 자재, 장비 및 공법과 같은 계획요인은 작업의 종류, 순서 및 기간을 결정한다. 계획요인은 작업을 단순화하거나, 작업을 자동화하여 층당공기를 단축시킨다. 본 연구에서는 국내외 문헌조사 및 시공사례 조사를 통하여 철근콘크리트 골조공종의 계획요인을 수집하고 전문가[18] 면담을 통하여 표 4와 같이 정리하였다.

표 4. 초고층 철근콘크리트공사 계획요인

소공종	계획요인		
	자재	장비	공법(방법)
측량	• 먹통 • 먹선	• 레이져 측량 • 광파기 • 레벨기	• 수직도관리 • 레벨(Level) 관리 • 수직부재 축소 관리
철근	• 고강도철근 (SD40,50) • Dowel bar, Embedded plate • Spacer (특수형)	• 철근이음장비(가스압접 및 기계식 이음기)	• 배근설계 및 방법 개선 • 철근 선조립 공법 • 철근 이음방법(용접, Coupler)
설비	• 설비 이중관 배관재 • 전기 배관재 • 매입 Sleeve	• 크레인	• 입상배관 P.F.P • 매입배관최소화(노출배관으로 전환하여 후설치)
거푸집	• Table form • Gang form • Aluminum form / Aluminum wood form • 기타 System Form • 재래식 거푸집	• ACS • Rail bracket • Hanging type ACS[16]	• Preshore/Reshore • ACS Bracket 지지방식
콘크리트	• 고강도콘크리트 • 저발열콘크리트 • 고유동화제 • 한중콘크리트 • 조강제	• CPB • 고압펌프 • Bucket • Distributor • 열풍기 • 레미콘차량관리 시스템	• Batch plant 설치 • 수직/수평 분리타설 • L형 타설[17] • 탈형강도계획 • 수평타설구간 작업분할 • 수화열관리 • PC공법 • 철골계단 • 동절기 타설계획
양중	• 자재반입 Deck	• 타워크레인 • 호이스트(고속. 중속, 저속)	• 장비 운용계획 • 장비 철거계획

4.3 관리요인

관리요인은 주로 시공단계에서 공기에 영향을 주는 요인이다. 공정계획 수립단계에서 계획요인만 고려하여 공정계획(계획공기)을 수립한다면 그림 6과 같이 실적공기는 계획공기를 초과할

16) ACS bracket 반대 측 거푸집을 현수로 달아매어 양측면 거푸집을 동시에 작동시킬 수 있는 System

17) L형 타설은 수직타설 후 타설 부위가 굳지 않은 상태에서 수평을 타설하는 방식으로, 수직 부분을 타설하고 양생 후 수평 부분을 타설하는 수직수평 분리타설과는 차이가 있다.

18) 실무경력 20년 이상으로 초고층 프로젝트의 기술검토 업무 및 공정관련 업무를 수행하였다.

것이다. 본 연구에서는 표 2의 문헌조사 내용을 토대로 관리요인을 통제가능 정도에 따라 통제가능요인, 통제불가능요인, 중간요인으로 구분하였다.

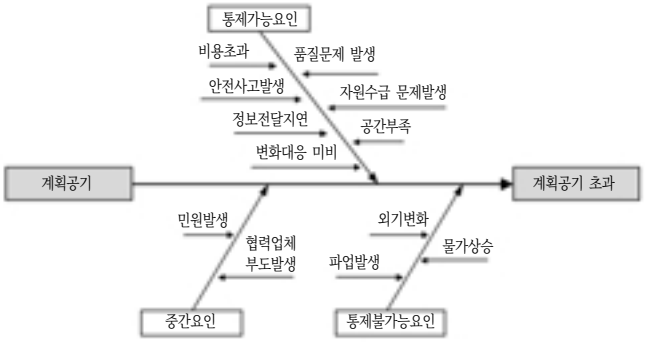

그림 6. 관리요인에 의한 공기초과

1) 통제불가능요인
- 자연요인: 외기와 같은 기후조건, 지리조건
- 경제요인: 물가상승 등
- 사회요인: 파업, 분쟁발생 등

2) 통제가능요인
- 비용: 노무/장비의 생산성 저하, 학습효과 저하
- 품질: 재작업,
- 안전: 안전사고 발생
- 자원: 자재/노무/장비 조달지연,
- 정보: 설계도서 출도 지연, 의사결정 지연
- 공간: 작업공간, 야적공간 부족
- 변화: 계약/설계/시공계획의 변경

3) 중간요인
- 민원
- 협력업체: 부적격 업체선정, 부도발생 등

초고층 프로젝트는 대부분이 도심지에서 진행되기 때문에 작업공간과 야적공간의 중요성이 높다. 작업공간과 야적공간은 적용공법 및 양중장비의 운영과도 밀접한 관련이 있다[19]. 작업공간, 야적공간 이외에 학습효과, 의사결정 지연[20] 등도 일반 프로젝트에 비해서 초고층 프로젝트의 공기에 큰 영향을 주는 요소이다.

19) 뉴욕에서는 야적공간 확보의 어려움으로 인해서 대형시스템 거푸집의 적용이 어려우며 재래식 목재 거푸집을 적용하고 있다.

20) 초고층 프로젝트에는 다수의 인원이 참여하기 때문에 조직이 비대해져서 일반 프로젝트의 조직에 비해서 정보의 전달 속도가 늦어질 수 있다. 초고층 건축물은 층당공기가 짧기 때문에 의사결정의 지연 및 작업지시 지연은 공기지연을 유발하게 된다.

5.지식의 활용

5장에서는 지금까지 고찰한 초고층 공기영향요인을 초고층 공정계획의 작성을 지원하고, 작성된 공정계획을 평가하며, 공정계획 평가 후 미비한 점을 보완하는데 활용하는 방안에 대해서 고찰하도록 하겠다.

5.1 공정계획 작성

초고층 프로젝트의 공기는 그림 7과 같이 사업일정이 확정되면 그 일정에 맞추어서 결정된다. 일반적으로 프로젝트 준공 후 얻을 수 있는 기대수익이 클수록 프로젝트의 사업일정은 단축되고, 고가의 자재 및 장비를 적용해서라도 공기를 단축시키게 된다. 프로젝트의 공기가 결정되면 대공종, 소공종, 작업 기간이 결정되며 이를 준수하기 위한 기획요인, 계획요인 결정되고 관리요인이 검토된다. 초고층 프로젝트는 동일 작업이 반복되므로 전체 공사기간을 준수하기 위해서는 층당공기를 준수할 수 있도록 공정계획을 작성하여야 한다.

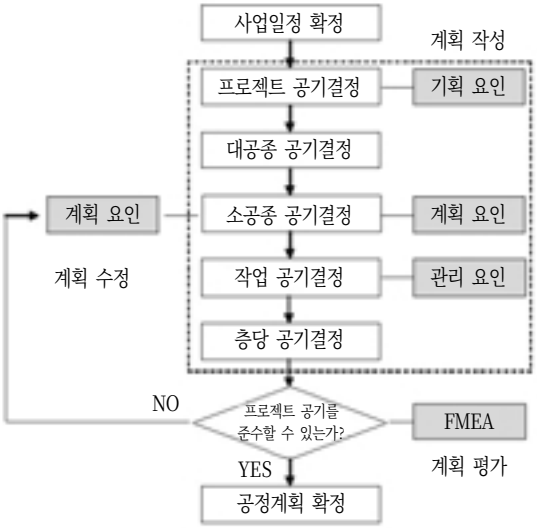

그림 7. 초고층 공정계획 단계에서 공기결정 프로세스

표 5는 국내 초고층 철근콘크리트 골조공종의 층당공기와 적용기술을 토대로 골조공종 층당공기에 따라 적용되는 계획요인을 정리한 표이다[21]. 공정계획 단계에서 층당공기를 준수하기 위한 계획을 작성하기 위해서는 적합한 자재, 장비 및 공법을 공정계획에 반영하여야 한다. 표 5는 층당공기에 따른 계획요인의 개략적인 내용을 도식한 것이지만 HRB Expert를 구축하여 더욱 많은 사례를 수집하고 세분화하여 활용한다면, 초고층 공정계획의 경험이 다소 부족한 계획가라 하더라도 골조공종의 층당

21) B사의 내부 문건을 참조하였다.

공기 계획을 작성할 수 있을 것이다.

표 5. 초고층 철근콘크리트공사 층당공기와 계획요인

공종	계획요인	철근콘크리트 골조공사 층당공기			
		8일	6일	4일	3일
거푸집	외벽거푸집	• Gang form(Tower Crane 양중)	• Gang form+ACS	• ACS	• 해당없음
	Core거푸집	• Euro form	• Aluminum form/합판 거푸집	• ACS	• ACS
	바닥거푸집	• 합판	• Aluminum form/합판	• Table form	• Deck plate
철근	철근조립	• 현장조립	• 현장조립	• 선조립	• 선조립
	철근규격	• SD 40(D19)	• SD40(D32)	• SD40(D41)	• SD(40)(D32)
콘크리트	콘크리트강도(MPa)	• 수직재 (21-24) • 수평재 (21-24)	• 수직재 (40-42) • 수평재 (24-27)	• 수직재 (40-50) • 수평재(36)	• 수직재 (40-80) • 수평재 (24-27)
	콘크리트슬럼프	• 15cm 내외	• 20cm 내외	• 20cm 내외	• 20cm 내외
	벽거푸집/탈형강도	• Gang form • 8MPa	• Gang form • 8MPa	• ACS MPa	• ACS • 10MPa
	타설공법	• 동시타설	• 동시타설	• 코아 선행 공법	• 코아 선행 공법

5.2 공정계획 평가

표 5와 같이 계획요인을 반영하여 공정계획을 작성하였더라도 공정계획에 초고층 시공과정의 특성 및 현장의 특수성이 반영되지 않으면 층당공기는 초과할 것이다. 본 연구에서는 계획요인에 잠재된 공기초과 가능성을 평가하기 위해 FMEA(Failure Mode Effect Analysis)의 활용을 제안한다.

5.2.1 공기영향요인 평가 프로세스

FMEA(Failure Mode Effect Analysis)는 제조업에서 단위생산과정의 결함을 최소화하여 생산되는 제품의 결함을 줄이고자 하는 목적으로 사용되었다. 본 연구에서는 층당공기를 평가하기 위한 목적으로 FMEA를 활용하였다. 초고층 주동부의 시공은 동일한 작업이 반복되므로 시공과정에서 작은 지연이 발생하여도 전체 공기에는 커다란 손실이 발생하기 때문이다.

본 연구의 FMEA는 공기초과를 유발할 수 있는 관리요인이 발생할 수 있는 빈도(Occurrence), 관리요인이 발생했을 경우 해당 공정에 주는 공기초과의 치명성(Severity), 관리요인이 후속 공정에 주는 공기초과의 영향도를 10점 척도를 이용하여 평가한 후, 세 요소의 곱에 의해서 위험의 우선순위(Risk Priority Number, 이하 RPN으로 표기)를 평가한다. FMEA를 이용한 공정계획 평가과정은 그림 8과 같다.

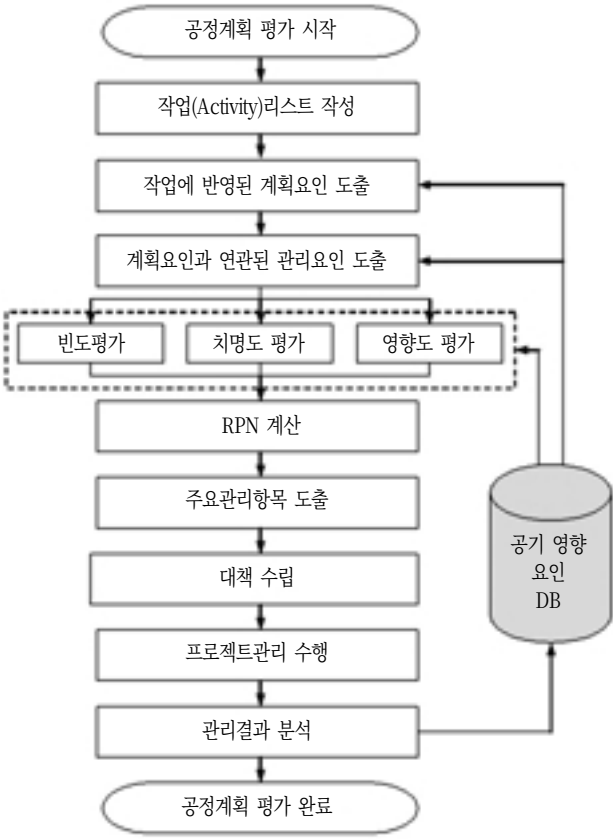

그림 8. 초고층 공기영향요인 평가 프로세스

5.2.2 FMEA를 이용한 공기영향요인 평가

표 6은 국내 초고층 공동주택[22] 골조공종을 대상으로 FMEA를 이용해서 공기영향요인을 평가한 것이다. 본 논문에는 일부의 내용을 수록하였지만[23] FMEA를 이용하여 공정계획을 평가하고 RPN이 높은 소수의 항목(Critical few)에 관리를 집중한다면 공기초과의 발생을 방지하고, 그 영향을 최소화할 수 있다. 표 6은 전문가의 도움을 받아 평가하였지만 HRB Expert를 구축하여 공기영향요인 DB를 활용한다면, 그림 8의 공기영향요인 평가 프로세스를 보다 정확하고 용이하게 수행할 수 있을 것이다.

22) (1) 공사명: XXXX 아파트 신축공사
(2) 현장위치: 부산시 해운대구
(3) 공사기간: 2002.05 ~ 2005.11
(4) 공사종류: 공동주택
(5) 구조시스템: RC 벽식구조, 전단벽+Outrigger+Beltwall
(6) 층수: 51층, 43층, 30층

23) 홍영탁(2004)의 논문을 정리하였다.

표 6. 초고층 공기영향요인 FMEA 평가 쉬트

작업명	작업기간(일)	계획요인	관리요인	빈도	치명도	영향도	RPN
내벽거푸집설치	0.7	• Aluminum form • Aluminum wood form	• 형틀공 수급이 어려움	3	2	3	18
			• 타워크레인 과부하로 인한 자재양중 지연	6	3	5	90
			• 개구부 거푸집 설치에 추가작업시간 소요	5	6	7	210
			• 거푸집 전용횟수의 증가에 따라, 변형이 발생된 거푸집 사용으로 인한 추가작업 소요	9	6	8	432
			• 부정확한 거푸집 설치에 따른 조정 작업에 추가시간 소요	5	3	8	120

5.3 공정계획 수정

표 6과 같이 공정계획 평가 후, 공기초과 발생을 방지하기 위해서는 RPN이 높은 계획요인은 수정 교체하여야 한다. RPN이 높은 계획요인을 교체하기 위해서는 계획요인의 관리적 특성을 파악하고 있어야 한다. 본 연구에서는 내벽 거푸집을 사례로 하여 공정계획 수정을 위한 대안제시 기능을 고찰하였다.

사례연구를 위해서 현재 초고층 건축물에 적용되는 내벽 거푸집의 계획요인과 관리요인을 수집하고, 전문가[24] 면담을 통해 5점 척도를 이용하여 각 거푸집의 관리 용이성을 표 7과 같이 평가하였다. 1점과 5점은 해당 관리요인에 가장 유리한 거푸집과 가장 불리한 거푸집을 나타내며 사이 값은 1점 또는 5점을 받은 거푸집을 기준으로 한 비교 대상이 되는 거푸집의 관리요인의 정도를 나타낸다.

표 6을 보면 공기초과 유발 가능성(RPN)이 가장 높은 내벽 거푸집의 관리요인은 ' 거푸집 전용횟수의 증가에 따른 거푸집의 변형발생과 그에 따른 추가작업 발생 '임을 알 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안을 표 7을 이용하여 도출하면 Aluminum form이나 Aluminum wood form 보다 전용횟수 증가에도 변형발생 가능성이 적은 System form을 적용하는 것이 될 수 있다.

본 연구에서는 전문가 면담을 통해서 표 8의 내벽 거푸집 관리요인 정도를 평가하였지만 HRB Expert를 구축한다면, 공기영향요인 DB와 RPN값을 활용하여 각 계획요인의 관리요인 정도를 평가할 수 있을 것이다. 공기영향요인 DB로부터 계획요인을 추출하고, 계획요인과 관련 있는 관리요인을 도출하며, RPN을 평가한 과거 사례를 이용하여 관리 용이성을 판단할 수 있게 된다.

6. 결론

최근 초고층 건축물 시공의 증가로 인하여 공정관리의 중요성이 증대되고 있으며 공정관리가 프로젝트의 성패를 좌우하는 관리요소가 되었다. 본 연구는 공정계획가의 초고층 경험부족으로 인한 공정계획의 부정확과 이로 인한 공기초과 발생을 방지하기 위한 방안으로 HRB Expert를 제안하였다. 본 연구에서 제안한 HRB Expert는 초고층 공기영향 요인을 이용하여 공정계획의 작성을 지원하고, 공정계획을 평가하며, 공기초과의 가능성이 높은 부분에 대해서는 대안제시의 기능을 수행한다. 본 연구는 주요성과는 다음과 같다.

1) 일반 건축물과는 다른 초고층 건축물의 공기영향요인을 도출하였다.
2) 초고층 공기영향요인을 이용하여 공정계획을 지원하는 HRB Expert의 개념을 제시하고 Framework를 제안하였다.
3) HRB Expert를 구축하기 위한 지식의 획득, 지식의 분류, 지식의 활용 방안을 제안하였다.

본 연구에서 제안한 초고층 공기영향요인은 많은 국내외 초고층 시공사례와 문헌조사 내용을 토대로 도출하였고 초고층 전문가 면담을 통해서 검증하였기 때문에 그 활용 가능성이 높다 본 연구에서는 몇몇의 가시적인 성과를 보였지만 본 연구에서 제안

표 7. 내벽/기둥 거푸집 관리요인 평가표

년도	내벽/기둥 거푸집				
	재래식	Euro form	Aluminum form	Aluminum wood form	System form
• 부재수, 부속재, 수직수평 보강재(공기단축)	공기단축 불리(1)	다소 불리(2)	가능(3)	가능(3)	공기단축 유리(5)
• 거푸집 중량(양중부하 감소)	양중부하 증가(1)	양중부하 증가(2)	양중부하 보통(3)	양중부하 보통(3)	양중부하 적음(5)
• 수평 이동, 층간 이동	경량으로 자유롭다(5)	자유로운 편이다(4)	수월함(3)	수월함(3)	장비 필요(1)
• 조립 단순화(기능인력 필요 유무)	복잡(1)	번거로움(2)	보통(3)	보통(3)	단순(5)
• 부정확한 설치에 따른 재작업 발생	발생 가능성 크다(1)	발생 가능성 높다(2)	발생 가능성 적다(3)	발생 가능성 적다(3)	발생 가능성이 낮다(5)
• 거푸집 재질(면 평활도 확보 용이성)	불량(1)	보통(2)	양호(3)	양호(3)	우수함(5)
• 조인트 부 시공 정밀도	정밀도 불량(5)	정밀도 부족(2)	보통(4)	보통(3)	정밀도 양호(5)
• 폐자재 발생	많이 발생(1)	발생(2)	거의 없음(4)	거의 없음(4)	없음(5)
• 전용 회수(전용회수 증가에 따른 거푸집 변형발생 최소화)	전용성 열악(1)	전용성 부족(2)	전용성 좋음(4)	전용성 양호(3)	전용성 우수(5)
• 야적장 필요 유무	제작 시 가공장소 필요(2)	야적장만 필요(5)	가공장 불필요(4)	가공장 불필요(4)	초기 조립 및 전용하여 사용 시 필요(1)
• 구조층(Outrigger) 거푸집 설치 용이성	쉽게 설치(5)	설치 용이(4)	설치 어려움(2)	설치 다소 용이함(3)	설치 불리(1)
• 현장 가공성	용이함(5)	유리(4)	공장 가공(1)	다소 불리(3)	매우 어려움(1)
• 수직/수평 분리타설 공법 적용 시 적합성	적합하지 않음(1)	자립 보강이 어려움(2)	보강 필요(3)	보강 필요(3)	적합(5)
• 수직/수평 동시타설 공법 적용 시 적합성	해체 설치 작업량이 많아 불리(2)	작업량이 많아불리(3)	설치 해체 작업성이 우수하여 유리(5)	설치 해체 작업성이 우수하여 유리(5)	탈형 후 상층부 인양작업매우 불리(1)
• 원가 경쟁력	저렴(5)	유리(4)	전용회수 많을 경우 경쟁력 있음(3)	전용회수 많을 경우 경쟁력 있음(3)	고가(1)

24) 실무경력 20년 이상으로 초고층 프로젝트의 기술검토 업무 및 공정관련 업무를 수행하였다.

한 HRB Expert는 아직까지는 개념적이다. 따라서 향후에는 본 연구를 보완하기 위해서 다음과 같은 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

1) 초고층 공기영향요인을 공정계획에 보다 효율적으로 활용하기 위해서 공기영향요인(지식) DB를 구축할 수 있도록 DB를 구성하는 테이블(Table)과 필드(Field)에 관한 연구가 수행되어야 한다.
2) HRB Expert의 Prototype을 프로그래밍 언어로 구축하고 그 효과를 검증하는 연구가 수행되어야 한다.

참고문헌

1. 대림산업주식회사, 대림아크로타운 건설기록지, 대림산업주식회사, 2000
2. 대우건설, 여의도 대우 트럼프월드 신축공사 공사지, 대우건설, 2003
3. 삼성물산 도곡사업 추진실, 타워팰리스 1차 공사지, 삼성물산, pp.305, 2003
4. 서상욱, 공사비 측면에서 고찰한 건축공사의 최적화 공정계획에 관한 연구, 서울대학교 박사논문, pp.5, 1992
5. 신현식, 김문한, 김무한, 신동우, 현창택, 이현수, 박찬식“ 건축시공학 ”, 기문당, pp. 476, 1998
6. 포스코건설, the # 센텀파크 기술검토 리스트, 포스코건설, 2002
7. 포스코건설, the # 해운대 아델리스 공사소개서, 포스코건설, 2004
8. 한종관, 진상윤, 김예상,“ 시공자 중심의 주요 공종별 공기지연 원인분석에 관한 연구 -공동주택을 중심으로- ”, 대한건축학회논문집 구조계, 19권, 3호, pp.163-170, 2003
9. 한화건설, 갤러리아 팰리스 공사자료, 한화건설, 2004
10. 현대산업개발, I'PARK 삼성동 신축공사 보고자료, 현대산업개발, 2004
11. 홍영탁, 유정호, 임경호, 이현수,“ FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가 ”대한건축학회논문집 구조계 20권 10호, pp.183-192, 2004
12. Assaf, S. A., Al-Khalil, M., and Al-Hazmi, M., "Cause of Delay in Large Building Construction Projects", Journal of Management in Engineering, Vol.11, No.2, pp45-50, 1995
13. Majid, M .Z. A. and McCaffer, R., "Factors of Non-Excusable Delays that Influence Contractors'Performance", Journal of Management in Engineering, Vol.14, No.3, pp42-49, 1998
14. Mulholland, B. and Christian, J., "Risk Assessment in Construction Schedule", Journal of Construction Engineering and Management, Vol.125, No.1, pp8-15, 1999
15. Nasir, D., McCabe, B., and Hartono, L., "Evaluation Risk in Construction-Schedule Model(ERIC-S): Construction Schedule Risk Model", Journal of construction Engineering and Management, Vol.129, No.5, pp.518-527, 2003
16. Popescu C. M., and Charoenngam, C., "Project Plannning, Scheduling, and control in construction, John Wiley&Sons, Inc., 1995,
17. Smith, G. R., and Bohn, C. M., "Small to Medium Contractor Contingency and Assumption of Risk", Journal of Construction Engineering and Management, Vol.125, No.2, pp.101-108, 1999
18. Thomas H. R., Horman, M. J., Souza, U. E. L., and Zavrski, I., "Reducing Variability to Improve Performance as a Lean Construction Principle", Journal of Construction Engineering and Management, Vol.128, No.2, pp144-154, 2002

Abstract

The duration of highrise building projects is more shorter than its increasing of the numbers of floors. The project is liable to overrun of the time in which the project must be complete. AS highrise buildings are increased, time management has been reorganized as critical success factor. To improve time management, time management softwares are introduced and the software's education is made lively in construction company. However a large amount of time management works still have been based on not the software but scheduler's experience. We often can find the time overrun risk of highrise building because of the shortage of scheduler's experience. To diminish the mistake of the scheduler who does not have much experience, we suggested HRB Expert which uses expert's knowledge to make the time plan of highrise building. We made an example of knowledge acquiring and knowledge usage which cased on reinforced concrete work of highrise building by literature review and interview with scheduling expert. The precision of time plan will be enhanced and time overrun will be prevented on condition that HRB Expert is constructed and used

Keywords : Highrise building, Expert, Knowledge, Time plan, HRB Expert