

FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가

Evaluation of Time-Affecting Factors in High-Rise Building Construction Using FMEA

홍영탁* 유정호** 임경호*** 이현수****
Hong, Young-Tak Yu, Jung-Ho Lim, Gyeong-Ho Lee, Hyun-Soo

Abstract

In recent years, many high-rise buildings are constructed and the number is increasing in Korea. Though high-rise buildings have more stories than non-high-rise buildings, the construction duration of high-rise building is not in proportion to the number of the stories or the height. This means that the construction duration per floor of high-rise buildings is relatively shorter than that of non-high-rise buildings, and consequently, there are more time-overrun risks in high-rise building construction. Further, the Korean construction companies do not have enough experiences and well-structured knowledge on high-rise building construction, which enables them to cope with the time-related risks, due to the relatively short history of high-rise building in Korea. The purpose of this study is to propose a method for the evaluation of time-affecting factors in high-rise buildings construction. This method is to screen the important factors that should draw more attention during the construction process. This method is based on FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) method and devised to be applied at construction planning stage. The usefulness of this method is reviewed through a case study.

키워드 : 초고층 건축물, 공기초과, 공기영향요인, FMEA
Keywords : High-rise building, time-overrun, time-affecting factor, FMEA

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

사회 경제적 요구의 증가로 인하여 국내에서도 50-60층이 넘는 초고층 건축물이 속속 들어서고 있다. 도시의 상징물로 여겨졌던 초고층 건축물이 이제는 일반화 되는 추세에 있으며 도심지 재개발 사업으로 인하여 도심지 초고층 건축물의 출현은 더욱 가속화될 것으로 예상된다.

초고층 건축물에는 일반 건축물과는 다른 구조시스템이 도입되고 높은 층수만큼이나 크고 복잡한 용도를 수행하기위해서 복잡한 설비시스템이 설치된다. 초고층 건축물은 일반 건축물에 비하여 시스템이 복잡해지고 높이가 크게 증가된 반면 전체 공사기간의 증가는 미미하여, 초고층 건축물 시공에는 공기를 준수하기 위해서 일

반 건축물과는 다른 새로운 재료 및 공법이 적용된다.

공기단축을 위한 새로운 자재, 장비 및 공법의 도입에 따라 초고층 건축물에는 일반 건축물과는 다른 공기영향요인 존재한다. 이러한 공기영향요인이 공정계획 시, 검토대상에서 누락되거나 꼼꼼히 검토되지 않는다면 공기초과가 발생할 것이다. 따라서 본 연구에서는 초고층 건축시공의 공기영향요인을 살펴보고, 계획단계에서 공기영향요인을 평가할 수 있는 프로세스를 제안하여, 초고층 프로젝트 공기초과 위험을 저감시키는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 초고층 프로젝트의 전체공기에 영향이 큰 골조공사¹⁾에 집중하였으며 철근콘크리트(Reinforced Concrete)구조²⁾에 한정하였다.

* 서울대학교 대학원 건축학과 석사과정
** 서울대학교 대학원 건축학과 박사과정
*** 포스코건설 건축기술팀 팀장
**** 서울대학교 건축학과 교수, 공학박사
본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 2003년도 건설 핵심기술 연구개발사업 (03산학연 C103A104000-03A0204-00110)에 의한 것임

1) 국내 T 프로젝트의 경우 입주준비 3개월을 제외하고, 전체 36개월의 공사기간이 소요되었다. 공사기간은 크게 4단계로 토공사(4.5개월), 기초공사(2.0개월), 골조공사(15.7개월), 마감공사(13.8개월)로 나뉘며 그중 골조공사는 전체 공기의 44%가 소요되었다.(삼성물산 도곡사업 추진실, 2003)
2) 9.11 테러 이후 뉴욕의 주거용 건물이외의 오피스 빌딩에서도 내

본 연구에서는 공기영향요인을 계획요인과 관리요인으로 구분하고, 전체공기를 준수하기 위해서 초고층 건축시공에서 고려되는 공기영향요인을 국내외 프로젝트의 사례기반 문헌조사를 통하여 도출하였다. 도출한 초고층 공기영향 요인을 평가하기 위해 본 연구에서는 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)를 이용한 방법을 제안하였다.

본 연구의 순서는 다음과 같다.

- (1) 초고층을 정의한다.
- (2) 국내외 초고층 건축물 시공 사례를 조사한다.
- (3) 조사한 국내외 초고층 건축물 시공 사례를 기반으로 공기영향요인을 도출한다.
- (4) 도출한 공기영향요인을 평가하기 위한 프로세스를 제안한다.
- (5) 사례적용을 통해서 평가프로세스의 효용성을 검증한다.

2. 예비적 고찰

2.1 초고층의 정의

계획단계까지만 해도 초고층으로 분류되었던 프로젝트가 완료 후 몇 년 지나지 않아 일반 프로젝트로 간주될 정도로 초고층 기술은 급격한 발전을 이루었다. 기술의 발전 정도나 지역의 특성³⁾에 따라 초고층에 대한 기준이 다르기 때문에 초고층을 높이나 층수로 정의하기는 어려울 것 같다.

초고층 위원회(CTBUH, Council on Tall Building and Urban Habitat)는 초고층 건축물(Tall Building)을 건물의 고층성으로 인하여 어떠한 지역이나 시대에 존재하는 일반적인 건축물의 디자인 및 시공 그리고 사용, 유지관리 측면에서의 보편적인 조건과는 다른 특별한 조건을 유발하는 건축물로 정의하고 있다.(재인용, 여영호, 2001)

미국(ASCE)의 경우 초고층을 건물의 용적률이 그 지역의 평균에 비하여 상대적으로 높으며, 수직교통을 위한 기계설비가 사용되고, 일상적인 저층 건물에서 사용되는 것과는 다른 공법 및 기술이 요구되는 건축물로 정의하고 있다.(재인용, 송도현, 2002)

본 연구에서는 기존 문헌의 내용을 토대로 초고층을 “일상적인 저층 건물에서 사용되는 것과는 다른 공법 및 기술이 적용되어, 저층 건축물과는 다른 공기영향요인이

존재하고 이로 인하여 시공단계에서 공기초과의 잠재적 위험성이 높은 건축물”로 정의한다.

2.2 국내외 초고층 건축물 시공사례

골조공종을 중심으로 조사한 국내외 초고층 건축물 시공 사례는 다음과 같다.

(1) 국내사례⁴⁾

국내 초고층 건축물은 복합적인 용도의 외국 초고층 건축물과 달리 주거용 건축물에 편중되어 있다. 국내에서 시공된 초고층 프로젝트는 철골조 및 철골철근콘크리트 구조⁵⁾이었으나 최근 준공된 프로젝트 및 진행 중인 프로젝트는 철근콘크리트구조⁶⁾ 형식을 취하고 있다.

국내 초고층 골조공사의 층당공기는 일반적으로 3일에서 6일이며⁷⁾, 초기에는 코아월과 슬래브(slab)는 분리 시공하였으나 현재에는 코아월과 슬래브 동시타설을 적용하는 프로젝트가 증가하고 있다. 철근콘크리트 구조의 코아월과 철골 거더(girder), 빔(beam) 및 후속 슬래브 등의 연결을 위해 각종 인서트(Insert)⁸⁾를 매입하고, 독립적인 구조체로 선 시공되는 코아월의 콘크리트를 타설하기 위해서 CPB(Concrete Placing Boom)을 적용한다.

코아월 선행 공법의 형틀공사를 재래식 공법으로 진행할 경우 타워크레인의 사용에 있어 철근콘크리트작업(거푸집 인양 등)과 철골설치 작업의 간섭현상 발생이 불가피하고 이로 인한 타워크레인 설치 대수 증가가 예상되므로, 국내 대부분의 초고층 프로젝트에는 ACS(Auto Climbing System)를 적용하고 있다.

(2) 미국⁹⁾

미국의 초고층 사례는 크게 뉴욕과 시카고의 사례로 구분할 수 있다.

① 뉴욕¹⁰⁾

초기 초고층 건축물의 구조는 철골구조였으나, 현재 뉴욕지역의 주거용 건축물이나 호텔은 거의 대부분 철근콘크리트구조로 시공되고 있다¹¹⁾. 뉴욕은 전시공 후반양 제도이므로 프로젝트 수익증대를 위해서는 공기단축이 절

3) 화성, 테러위협, 지진, 진동, 소음, 풍하중 등에 유리한 철근콘크리트 구조를 더욱 선호하게 되었다. 철골조의 경우 자재 발주에 장시간이 소요되며, 자재 야적공간을 확보하여야 하기 때문에 도심지공사에서는 철근콘크리트 구조에 비하여 불리할 수 있다.(A사 내부자료, 2003)

4) 유럽의 경우에는 12층 이상일 경우 고층으로 분류되며, 시카고 같은 경우에는 70층에서 100층 정도를 초고층으로 지칭한다. 우리나라의 경우도 명확한 정의가 되어 있지 않고, 내진설계에 의한 구조안전 확인 대상물인 21층 이상의 건물을 하나의 기준으로 볼 수 있겠다. (송도현, 2002)

4) 대림산업(2000), 대우건설(2003), 삼성물산 도곡사업 추진실(2003), 포스코건설(2002), 포스코건설(2004), 한화건설(2004), 현대산업개발(2004) 공사기록지 및 기술자료를 참조하여 정리하였다.

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

6) 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, 2005년 준공 예정), the # 해운대 아델리스(포스코건설, 지상47층, 2006년 준공 예정)

7) 코아월(3일), 골조(4일-6일)

8) 슬래브의 연결은 Dowel box를 사용하며, 철근콘크리트 보의 연결은 Coupler를 사용하고, 철근콘크리트 코아와 철골보의 연결은 Embedded Plate를 사용한다. (대림산업주식회사, 2000)

9) 미국과 캐나다 시공사례는 A사 내부자료(2003) 참조 하였다.

10) 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

11) 초고층 주거건물의 경우, 뉴욕지역에서는 1961년 이후 철골조로 구조설계가 진행된 프로젝트가 한건도 없다.(김종훈, 2000)

대적으로 요구된다. 따라서 뉴욕의 조사대상 현장의 경우 하루는 수직부재(기둥, 옹벽 등)를 타설하고, 다음날은 수평부재(슬래브)를 타설하는 층당 2일 공정을 유지하고 있었다.

조사대상 현장의 경우는 Preshores, Reshores의 개념¹²⁾을 적용하고 있었으며, 거푸집은 일반적으로 합판 거푸집 2.25벌을 운용하며, 동바리는 목재 제품을 사용하며 3벌을 운용하여 공사를 수행하고 있었다. 콘크리트는 버킷(Bucket)을 이용하여 타설하고, 83.3Mpa 강도의 콘크리트도 일반적으로 사용되고 있었다¹³⁾.

국내와 달리 철근 배근시 스페이서(Spacer)와 연결철선에 대한 별다른 규제는 없고, 사례대상 현장에서는 단지 콘크리트 타설시 철근이 움직이거나 밀리지 않도록 설치하였다. 전선관 배관시 천정배관은 없고¹⁴⁾ 벽체에만 배관을 설치하였으며, 바닥 마감은 콘크리트 슬래브에 통상 카펫(Carpet)으로 마감하여 온돌공사가 없는 점이 국내와 달랐다.

② 시카고¹⁵⁾

시카고의 조사대상 현장은 층당 4일 공기를 적용하고 있었으며, 공법은 국내 초고층 사례와 가장 유사하였다. 코아는 기준층 보다 1개층 선행하여 진행하며, 코아에 ACS를 적용하고, 콘크리트는 CPB를 이용하여 타설하였다.

ACS를 설치하는 벽체와 기둥은 선타설하고 슬래브는 후타설하는 L자형 타설¹⁶⁾을 적용하여, 콘크리트 강도차이의 문제점을 해결하고 있었다. 코아월과 슬래브의 이음은 인서트¹⁷⁾를 사용하였다.

조사대상 현장의 전선 배관은 뉴욕과 비슷하며, 모든 현장이 FCU(Fan Coil Unit)를 설치하여 냉난방을 실시하고 바닥에는 난방설비가 들어가지 않는 점이 국내와 달랐다.

(3) 캐나다¹⁸⁾

토론토의 조사대상 현장은 대부분이 벽식구조¹⁹⁾로 테

이블폼(Table Form)²⁰⁾을 적용하여 층당 4일 공기를 준수하고 있었다. 토론토의 고층건물은 거의 대부분 수직수평 분리타설을 실시하고, 외벽과 계단에 PC(Precast Concrete)를 적용한다.

테이블폼 적용시 수직부재와 수평부재간의 간섭으로 공정지연이 발생함으로 조사대상 현장 대부분이 수직·수평분리 타설을 적용하고 있었다. 국내에서는 보통 2 Set의 테이블폼을 운용하나 사례대상 현장에서는 24.5 - 29.4 Mpa 정도의 일반 콘크리트에 조강제를 투입하여 조기 강도를 발현되도록 하여 1 Set의 테이블폼을 운용하고 있었다. 테이블폼을 1 Set으로 운용하면 2 Set 운용시보다 폼 설치·해체에 간섭이 적어 작업이 수월하며, 원가 절감의 효과가 크다. 현장에 따라 약간의 차이는 있으나 콘크리트 타설은 버킷을 이용하여 타설하는 것이 일반적이었다²¹⁾.

3. 초고층 건축시공의 공기영향요인

3.1 초고층 건축공기의 특징

프로젝트는 그림 1과 같이 위계를 갖는다.(Thoma et al., 2002) 프로젝트는 토공사, 골조공사, 커튼월공사, 인테리어공사 등 대공종(Total Process Level)의 조합으로 구성된다. 각 대공종은 소공종(Activity or Task Level)의 조합으로 구성된다. 철근콘크리트 골조공종을 예로 들면, 골조공종은 거푸집작업, 철근작업, 콘크리트작업 등과 같은 소공종의 조합으로 구성된다. 각 소공종은 다양한 작업(Subtask or Method Level)들로 구성된다. 거푸집 소공종의 경우, 해체, 정리, 이동, 설치준비, 설치, 설치후 조정 등의 작업들로 구성된다.

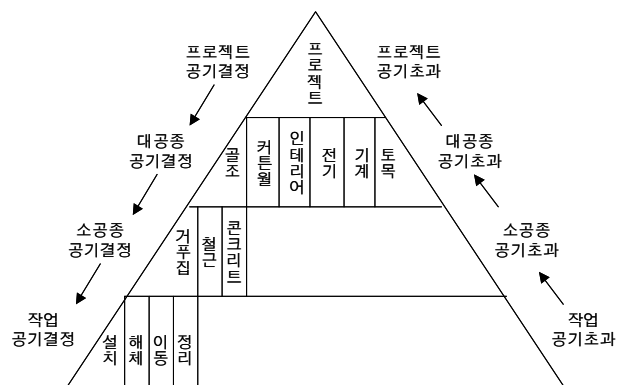


그림 1. 프로젝트의 위계

대부분의 초고층 건축물은 발주자의 사업 계획에 맞추어 프로젝트를 완료하여야 하는 경우가 많다. 따라서 프

12) Preshores(슬래브 거푸집 탈형 전, 임시로 Supporting), Reshores(슬래브 거푸집 탈형 후 28일 강도 발현시까지 두는 Supporting), (재인용, 김종훈, 2000)

13) 슬래브는 약 39.3Mpa이상, 벽 및 기둥은 49Mpa이상의 콘크리트를 사용하였다.

14) 천정은 콘크리트 마감으로 별도의 마감재가 없으며, 조명은 욕실, 복도 등 일부분을 제외하고는 천장 조명이 없고 별도 실내조명을 설치한다.

15) 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

16) L자형 타설은 수직타설 후 타설 부위가 굳지않은 상태에서 수평을 타설하는 방식으로, 수직 부분을 타설하고 양생 후 수평 부분을 타설하는 수직수평 분리타설과는 차이가 있다.

17) Dowel box의 일종인 Halfen box를 이용한다.

18) 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

19) 국내 벽식구조와는 달리 캐나다의 벽식구조는 2면은 철근콘크리트구조로 설치하고, 나머지 2면은 철근콘크리트 벽 완성 후 건식공

법으로 설치한다. 이것은 테이블폼의 설치 및 해체를 아주 용이하게 한다.

20) 캐나다의 Aluma사에서 제작한 테이블 폼을 사용하고 있다.

21) 조기강도를 확보하기 위해 조강제를 투입하고 물시멘트비를 조정하기 때문에 콘크리트 타설 장비의 작업성이 떨어지기 때문인 것으로 보인다.

로젝트를 계획안에서 완수하기 위해서는 공종별 공기를 계획안에서 완수하여야 한다. 공종별 공기를 계획안에서 완수하기 위해서는 대작업의 공기를 계획안에서 완수하여야 하며, 대작업의 공기를 계획안에서 완수하기 위해서는 소작업의 공기를 계획안에서 완수하여야 한다.

초고층 건축물은 구조변위를 제어하기 위해 설치되는 구조층(Outrigger)²²⁾을 제외하면 동일한 평면이 반복되는 특성이 있다. 따라서 한층당 소요되는 작업시간이 전체공기를 좌우한다고 할 수 있다. 본 연구에서는 한 층의 작업을 완성하는데 소요되는 시간을 층당공기라 명명한다. 본 연구에서 층당공기는 대공종별로 한 층을 완성하는데 소요되는 소공종 작업시간의 합을 말한다. 초고층 건축시공의 공기초과를 방지하기 위해서는 층당공기의 적절한 계획 및 관리가 매우 중요하다.

3.2 초고층 건축공기영향요인

초고층 프로젝트의 공기영향요인은 층당공기에 영향을 주는 요인이라 할 수 있다. 층당공기에 따라 초고층 전체공기가 좌우되기 때문이다. 초고층 층당공기 영향요인은 그림 2와 같이 크게 계획요인과 관리요인으로 나눌 수 있다. 계획요인은 층당공기 계획 시, 계획공기를 결정하는 요인이며 관리요인은 층당 계획공기를 준수하기 위해서 관리되어야 하는 요인이다.

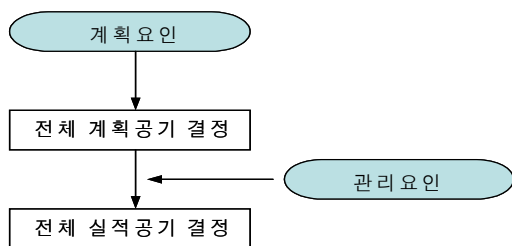


그림 2. 초고층 골조공사의 층당공기 영향요인

(1) 계획 요인

대공종	철근콘크리트				
소공종	측량	거푸집	철근	설비	콘크리트
순서도	벽매김	벽 거푸집 작업	벽 철근 작업	벽 배관 작업	
		바닥 거푸집 작업	바닥 철근 작업	바닥 배관 작업	콘크리트 타설/양생

그림 3. 철근콘크리트 골조공사 대작업 순서도

계획요인은 작업(Activity), 작업기간(Duration), 작업순서(Sequencing)로 구분할 수 있으며²³⁾, 이 세 가지 요소

22) 초고층 구조시스템에는 다양한 방식이 있으나 국내에서는 일반적으로 아웃리거(Outrigger)가 많이 적용되고 있다.

23) PMBOK에서는 Project Time Management를 Activity Definition, Activity Sequencing, Activity duration Estimating, Schedule Development, Schedule Control로 구분하였다. (Project

에 의해서 초고층 프로젝트의 계획공기는 결정된다.

그림 3은 철근콘크리트 골조공사의 소공종 사이클을 도식한 그림이다. 측량, 거푸집, 철근, 콘크리트, 설비작업 등 각 소공종의 단위공기가 층당공기를 결정한다. 소공종 수준에서는 초고층 프로젝트의 건축시공과 일반 프로젝트의 건축시공이 별 차이가 없다²⁴⁾. 하지만 작업 수준에서는 소공종의 단위공기를 줄이기 위해 초고층 건축시공에는 다양한 자재, 장비 및 공법이 적용되고 있다. 표 1²⁵⁾은 국내외 프로젝트 사례를 기반으로 초고층 프로젝트 골조공사에 도입된 자재, 장비 및 공법을 정리한 것이다.

표 1. 초고층 철근콘크리트공사 공기영향요인

대공종	소공종	공기영향 요인		
		자재	장비	공법(방법)
측량	측량	• 벽통 • 벽선	• 레이저 측량 • 광파기 • 레벨기	• 쇼트닝대책 • 수직도관리 • 레벨(Level) 관리
	철근	• 고강도 철근 (SD40,50) • Dowel bar, Coupler, Embedded plate • Spacer(특수형)	• 철근이음장비(가스압접 및 기계식 이음기)	• 배근설계 및 방법 개선 • 철근 선조립 공법 • 철근 이음방법
	설비	• 설비 이중관 배관재 • 전기 배관재 • 매입 Sleeve		• 입상배관 P.F.P • 매입배관최소화(노출배관으로 전환하여 후설치)
거푸집	거푸집	• Table Form • Gang Form • AL Form / AL Wood Form • 기타 System Form • 재래식 Form	• ACS • Rail Bracket • Hanging Type ACS	• Preshore/Reshore • ACS Bracket 지지방식
	콘크리트	• 고강도콘크리트 • 저발열콘크리트 • 고유동화제 • 조강제	• CPB • 고압펌프 • Bucket • Distributor • 열풍기	• 레미콘차량관리 시스템 • 수직수평 분리타설 • L형 타설 • Batch Plant 설치 • 탈형강도계획 • 수평타설구간 작업분할 • 수화열관리 • PC공법 • 철골계단
양중	양중	• 자재반입 Deck	• Tower Crane • Hoist(고속, 저속)	• 장비 운용계획 • 장비 철거계획

초고층에 도입된 다양한 자재, 장비 및 공법은 소공종을 구성하는 작업을 단순화 하거나, 작업 순서 및 작업

Management Institute, 2000)

24) 수직수평 분리타설을 실시할 경우, 작업순서에는 차이가 발생한다.

25) A사의 기술자료와 대림아크로타운(대림산업), 타워팰리스1차(삼성물산), 여의도 대우 트림프월드(대우건설), the # 센텀파크(포스코건설) 공사기록지 및 기술자료를 참조하여 정리하였다.

기간을 조정하여 소공종의 단위공기를 단축시킨다. 따라서 공기초과를 예방하기 위해서는 계획단계에서 계획요인에 영향을 주는 표 1과 같은 요인에 대해 계획공기 준수 가능여부를 평가 하여야 한다.

(2) 관리요인

관리요인은 공사수행단계에서 관리되어야 하지만, 관리의 용이성을 확보하기 위해서는 계획 수립단계에서도 검토되어야 한다. 본 연구에서는 통제가능 정도에 따라 관리요인을 통제가능요인, 통제불가능요인, 중간요인²⁶⁾으로 구분하고, 문헌조사²⁷⁾를 통하여 도출하였다.

① 통제불가능요인

- ◆ 외기변화: 강우일수 증가, 동절기 포함횟수
- ◆ 물가상승
- ◆ 파업 등

② 통제가능요인

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

③ 중간요인

- ◆ 민원
- ◆ 협력업체: 부적격 업체선정, 부도발생 등

4. 총당공기 영향요인 평가

4.1 공기초과

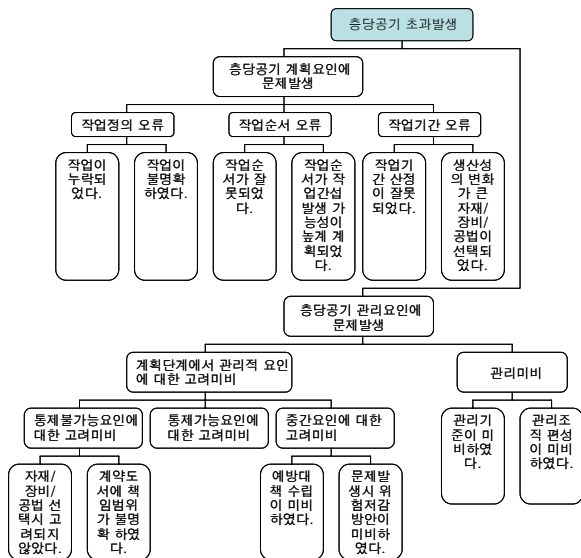


그림 4. 총당공기 초과경로

26) 통제가능요인과 통제불가능요인의 중간 성격을 가지고 있는 요인으로, 관리자의 노력에 따라 어느정도 통제 가능하다.

27) Assaf et al(1995), Elinwa and Joshua(2001), Majid and McCaffer(1998), Mulholland and Christian(1999),

공기는 일반적으로 계획공기와 실적공기로 구분할 수 있다. 공정계획수립 단계에서 계획요인을 반영하여 합리적인 계획을 수립하였다면 공기초과의 위험성을 줄일 수 있다. 하지만 합리적인 계획이 수립되었다고 하더라도 공사수행단계에서 관리요인이 잘 관리되지 않는다면 실적공기는 계획공기를 초과할 것이다.

총당공기의 초과에는 계획요인에 대한 고려가 미흡하여 계획이 부정확하거나 계획이 합리적으로 수립되었다고 하더라도 관리가 부주의하면 발생된다. 그림 4는 총당공기의 초과 경로를 하향식(Top-down)으로 도식한 것이다. 총당공기의 초과 위험을 줄이기 위해서는 그림 4에서 도식한 하위단계 사항에 대한 검토가 수행되어야 한다.

4.2 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA²⁸⁾는 시스템의 구성요소인 프로세스 각각의 요소에서 실패(Failure)가 발생했을 경우 전체 시스템에 미치는 영향 또는 심각성을 평가하는 기법이다.(Stamatis, 1997) FMEA는 프로세스 설계단계에서도 적용이 가능하여 기존의 기법이 프로세스 구축 후 생산된 제품의 검사를 통해서 프로세스의 결함을 발견하였다면 FMEA는 설계단계에서 잠재된 결함을 검사함으로써 시간 및 비용을 절감할 수 있다.(Stamatis, 1997)

FMEA는 품질관리에 있어서 발생 가능성이 있는 하자 형태를 파악하고 고객에게 미칠 고장 발생 요인을, 우선 순위별로 사전에 제거하기 위해 제조업에서 사용하였다. 제조업에서 사용하는 FMEA는 잠재된 위험요인에 의해 실패가 발생할 수 있는 빈도(Occurrence), 실패가 발생했을 경우 발생하는 결과의 치명도(Severity), 고객에게 발생된 실패가 발견될 수 있는 가능성(Detection)²⁹⁾을 평가한 후, 세 요소의 곱에 의해서 위험의 우선순위(Risk Priority Number, 이하 RPN으로 표기)를 평가한다.³⁰⁾ FMEA는 위험의 우선순위가 높은 소수의 항목(Critical few)에 관리를 집중함으로써, 실패의 발생을 방지하고, 그 영향을 최소화한다.(Pyzdek, 2003)

건설업에서도 FMEA를 적용³¹⁾하면 여러 가지 이점³²⁾

28) FMEA는 상향(Bottom-up)적인 신뢰성 분석 방법으로 전체 시스템의 고장을 조사함에 있어 개별 부품의 고장으로부터 검토하는 접근방식에 속한다. 이것은 전체 시스템의 고장현상으로부터 점차 부품 레벨로 조사해 들어가는 하향식(Top-down) 신뢰성 분석 기법인 FTA(Fault Tree Analysis)와는 정반대의 접근방식을 가지고 있다.(김윤성, 2002)

29) 제품에 결함이 발생하여 제품의 성능을 저하시켰지만 발생된 결함을 고객이 발견할 수 있는 확률이 낮다면 우선순위(RPN)가 낮아진다. 일반 제품에 결함이 발생하여 성능의 저하가 발생하였지만 성능 저하를 전문가가 발견할 수 있으나 일반 고객은 발견하지 못하는 경우를 예로 들 수 있다.

30) FMEA는 위험의 우선순위가 높은 소수의 항목(Critical few)에 관리를 집중함으로써, 실패의 발생을 방지하고, 그 영향을 최소화한다.(Pyzdek, 2003)

31) Layzell J. and Ledbetter S., "FMEA applied to cladding systems-reducing the risk of failure", Building Research and Information, Vol.26, No.6, pp.351-357, 1998

을 기대할 수 있다. 초고층 프로젝트의 경우, 일반 프로젝트보다 동일한 작업의 반복 성격이 강하여, 한 층을 하나의 제품으로 생각한다면, 생산과정이 제조업의 생산 프로세스와 유사하다. 만일 초고층 프로젝트의 한 층을 생산하는 프로세스 구성요소에 결함이 존재하면, 공기초과는 물론, 비용 및 품질에 문제가 발생할 것이다. 따라서 프로젝트 계획단계에서 계획에 잠재된 결함을 FMEA를 이용하여 검사한다면 문제 발생의 가능성을 줄일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 FMEA를 공정계획 수립 후, 층당공기 영향요인에 잠재된 위험을 평가하여 공기초과 위험을 줄이기 위해 사용하였다. 따라서 본 연구에서 우선순위는 잠재된 위험이 발생할 수 있는 가능성(빈도), 잠재된 위험 발생시 예상되는 단위 공정의 공기초과의 정도(치명도), 잠재된 위험 발생 시 후속 공정에 주는 영향 정도(영향도)³²⁾를 곱해서 구한다.

4.3 평가방법 및 평가척도

(1) 평가방법

초고층 프로젝트의 공정계획은 건축물을 생산하는 프로세스를 구축하는 과정이다. 공기초과를 예방하기 위해서는 공정계획 수립 후, 프로젝트 착공전단계에서 층당공기를 구성하는 프로세스의 잠재된 위험을 평가하고, 위험이 높은 프로세스 구성요소에 대해서는 위험 저감을 위한 대책을 수립하여야 한다. 프로젝트가 착수된 후에는 계획된 프로세스 구성요소를 교체 또는 변경하기가 쉽지 않고, 추가비용 및 추가공기가 소요되기 때문이다.

층당공기 영향요인에 대한 평가는 공정계획 담당자가 공정 계획을 수립하고 난 후, 수립한 공정계획(사이클타임)에 잠재된 위험을 프로젝트 관리자와 함께 평가한다. 층당공기를 구성하는 요소에 작은 오류가 발생하여도 누적 반복으로 인한 공기초과의 정도는 아주 크기 때문에 세밀한 부분에 대한 사항은 프로젝트 관리자의 과거경험 또는 지원시스템에 저장된 자료를 참조하여 평가한다.

(2) 평가척도

일반적으로 FMEA에서는 아주낮음(1점), 낮음(2점-3점), 중간(4점-6점), 높음(7점-8점), 아주높음(9점-10점) 척도를 사용한다.(Pillay and Wang, 2003) 층당공기 영향요인에 대한 평가도 빈도, 치명도, 영향도를 10점 척도를 사용하여 평가한다. 본 연구에서 제안하는 공기초과 잠재 위험에 대한 구체적인 평가척도는 다음과 같다.

① 빈도

32) 체계적이고 합리적인 공사 품질관리를 할 수 있으며 공정 개선 조치들 간에 우선순위를 결정하여 효율적인 공사 수행이 가능하다. (김윤성, 2002)

33) 잠재된 위험이 발생하여 같은 양의 공기 초과를 유발하였더라도 주 공정선(Critical Path)에서 발생된 잠재위험이 전체공기 초과를 유발할 가능성이 보다 더 높다.

빈도는 잠재된 위험의 발생 가능성이 얼마나 높은지 평가하는 것이다. 따라서 빈도의 평가 척도는 다음과 같다.

- 발생가능성이 아주 낮다.(1점)
- 발생가능성이 낮다.(2점-3점)
- 발생가능성이 그다지 높지 않다.(4점-6점)
- 발생가능성이 높다.(7점-8점)
- 발생가능성도 아주 높다.(9점-10점)

② 치명도

치명도는 잠재된 위험 발생 시, 예상되는 공기초과의 만회 가능성을 추가비용과 연계하여 평가하는 것이다. 공기초과 정도는 위험이 발생한 단위 작업에만 해당되며, 후속작업의 초과정도는 포함하지 않는다. 치명도의 평가 척도는 다음과 같다.

- 쉽게 만회가능하다.(1점)
- 만회를 위해서 작업시간을 연장하여야 하지만 추가비용은 발생하지 않는다.(2점-3점)
- 만회를 위해서 작업시간 연장과 소규모 추가비용이 요구된다.(4점-6점)
- 만회를 위해서 대규모 작업시간 연장과 대규모 추가비용이 요구된다.(7점-8점)
- 만회가 아주 어렵다.(9점-10점)

③ 영향도

영향도는 잠재 위험 발생 시, 발생된 위험이 후속 공중에 주는 영향 정도를 평가한다. 위험 발생 시, 비록 치명도는 작더라도 전체공기의 진행에 큰 영향을 미치는 요인은 중점 관리되어야 한다. 영향도의 평가척도는 다음과 같다.

- 문제가 발생하여도 후속공중의 진행과 별 관련이 없다.(1점)
- 후속 공중에 미치는 영향이 작다.(2점-3점)
- 후속 공중에 미치는 영향이 크지 않다.(4점-6점)
- 후속 공중에 미치는 영향이 크다.(7점-8점)
- 문제가 해결되지 않으면 후속 공중을 진행할 수 없다.(9점-10점)

④ RPN

RPN은 빈도, 치명도, 영향도 값의 곱이다. 다양한 사례가 수집되면 RPN 값의 정도에 따라 잠재된 위험을 저감하기 위한 대책 마련의 수위를 조절할 수 있다.

4.4 층당공기 영향요인 평가프로세스

그림 5는 본 연구에서 제안하는 층당공기 영향요인 평가프로세스를 도식한 그림이다. 프로젝트 착수 전, 층당공기를 구성하는 작업리스트를 작성하고 작업에 잠재된 위험요인을 도출한다. 도출한 위험요인에 대한 빈도, 치명도, 영향도를 평가한 후, RPN을 평가한다. RPN값이 높은 요인에 대해서는 RPN값을 저감시키기 위해 공정계획을 수정하거나 위험발생 방지를 위한 대책을 수립한다.

프로젝트 착수 후에는 RPN이 높은 항목의 위험요인이 실제로 발생하였는지 확인하고 위험요인이 발생하였다면 사전에 수립한 대책이 효과가 있었는지 평가한다. 만일 평가되지 않은 새로운 위험요인이 발생하였다면 발생한 공기초과 위험요인은 그 특성을 파악하여 차후 유사 프로젝트의 평가에서 누락되지 않도록 한다.

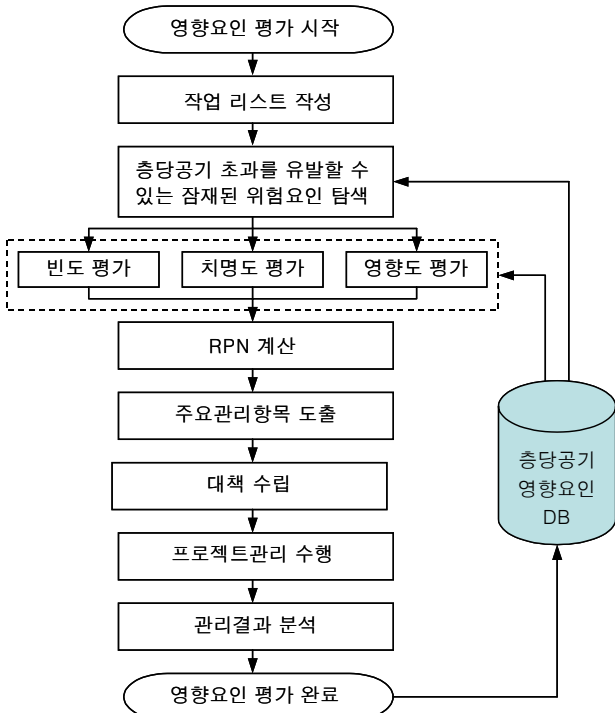


그림 5. 충당공기 영향요인 평가프로세스

본 연구에서 제안하는 충당공기 영향요인 평가프로세스를 보다 효율적으로 수행하기 위해서 그림 5의 충당공기 영향요인 DB(Data Base)³⁴를 구축하여 활용한다면 본 연구에서 제안하는 평가프로세스를 보다 정확하고 용이하게 수행할 수 있을 것이다.

5. 사례연구

5.1 사례연구

본 사례연구의 목적은 FMEA를 실제 초고층 프로젝트에 적용하여 공기영향요인을 평가하고 평가한 내용의 효용성을 검증하는데 있다. 본 사례연구의 순서 및 방법은 다음과 같다.

- (1) 사례연구 프로젝트의 착공전 단계에서 수립한

34) 충당공기 영향요인 DB는 계획요인과 관리요인에 대해 수집한 지식을 저장하는 DB와 계획요인에 따른 관리요인의 관리 용이성을 평가한 지식을 저장하는 DB로 구성된다.

충당공기 영향요인 DB를 구축한다면 표 1의 자재, 장비, 공법별로, 관련된 관리요인의 종류와 관리 용이성 정도를 평가하여 초고층 공정계획 수립 시, 현장의 여건에 보다 적합한 자재, 장비 및 공법의 적용을 가능하게 하여 공기초과를 미연에 방지할 수 있으며, 프로젝트 착수 후에는 적용된 자재, 장비 및 공법의 취약 요인을 선별하여 관리를 집중함으로써 공기초과의 발생 가능성을 줄일 수 있다.

골조 공정계획을 토대로 충당공기 작업리스트를 작성한다.

- (2) 작성한 작업리스트에 잠재된 공기위험요인을 도출한다.
- (3) 잠재된 공기위험요인의 빈도, 치명도, 영향도를 평가한다.
- (4) RPN을 평가한 후, RPN값이 높은 항목이 실제 공기초과를 유발하였는지 설문조사를 실시하여 확인한다.

5.2 프로젝트 개요

사례연구를 실시한 프로젝트의 개요는 다음과 같다.

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

5.3 FMEA를 이용한 공기영향요인 평가

- (1) 작업리스트 작성

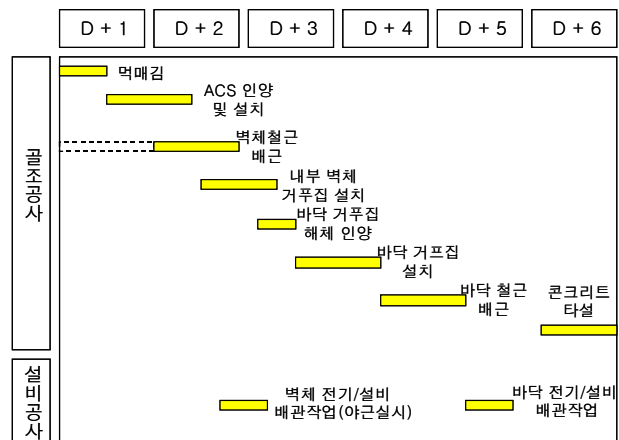


그림 6. 골조 공정표

그림 6은 사례연구 현장의 충당 6일 공기의 골조 공정표이다. 사례연구 현장의 적용 장비 및 공법은 2장에서 서술한 국내 초고층 사례와 유사하다. 콘크리트는 최고 40.8Mpa 강도의 콘크리트를 사용하였으며, 거푸집은 외벽에는 ACS를 적용하였고, 내벽에는 알루미늄 거푸집을 적용하였다. 콘크리트 타설은 CPB를 적용하였다. 공기영향요인에 대한 평가를 실시하기 위해 그림 6의 공정표를 참조하여 작업리스트를 작성하였다.

- (2) 잠재된 위험 도출

작업리스트를 작성하고, 각 작업에 적용된 자재, 장비 및 공법을 표 2와 같이 정리하였다. 각 작업에 적용된 자재, 장비 및 공법의 관리요인의 특성에 따라 잠재된 위험의 종류 및 정도는 달라진다. 잠재된 위험은 충당공기의

표 2. 철근콘크리트공사 총당공기 영향요인 FMEA 쉬트(sheet)

작업 번호	작업명	기간 (일)	공기영향요인	잠재된 위험	빈도	치명 도	영향 도	RPN	위험 순위
C1	벽매김	0.5	<ul style="list-style-type: none"> 레이저측량(수직도) 광파기(내부) 	• 측량 부정확으로 인한 문제발생	3	6	3	54	19
				• 슬래브 타설 후, 다음층 자재의 조기인양으로 측량작업에 간섭발생	6	3	5	90	13
				• 양생작업과의 간섭발생	9	4	7	252	7
C2	외벽 거푸집 인양 및 설치	0.5	<ul style="list-style-type: none"> ACS 	• ACS 인양에 필요한 조기강보 확보 지연	8	7	8	504	2
				• 구조층(Outtrigger)등 평면이 변하는 부분 ACS 설치(Setting)에 추가 작업시간 소요	7	5	6	210	8
				• ACS 고정용 철물 매립위치 불량으로 추가작업시간 소요	3	6	4	72	15
C3	벽체철근 배근	1.0	<ul style="list-style-type: none"> 철근 선조립 공법 철근이음(Coupler) 고강도 철근(SD40) 	• 철근재 수급 불안정으로 인한 자재조달 지연	2	4	7	56	18
				• 철근공 수급의 어려움	2	2	4	16	25
				• 타워크레인 과부하로 인한 자재양중 지연	3	3	5	45	20
				• 배근량 증가에 따른 작업량 증가와 배근 작업이 복잡해져 추가시간 소요	7	6	8	336	6
				• 개구부 철근배근에 추가시간 소요 (위치잡기, 보강근)	5	2	2	20	23
				• 공장제작 철근의 종류가 증가하여, 철근이 섞여서 찾기 어렵고, 제고물량 확인이 어려움	7	6	5	210	8
				• 공장제작 철근에 운송 중 변형이 발생하여 현장설치 전 추가작업 요구	3	3	3	27	21
• 철근 배근에 굵은 철근이 증가하여 철근 이음에 추가시간 소요	8	8	8	512	1				
C4	벽체 전기/기계 설비 배관설치	0.7		• 철근 배근간격이 조밀하여 배관설치 작업이 어려움	7	3	4	84	14
C5	내벽 거푸집 설치	0.7	<ul style="list-style-type: none"> AL Form AL Wood Form 	• 형틀공 수급이 어려움	3	2	3	18	24
				• 타워크레인 과부하로 인한 자재양중 지연	6	3	5	90	13
				• 개구부 거푸집 설치에 추가작업시간 소요	5	6	7	210	8
				• 거푸집 전용횡수의 증가에 따라, 변형이 발생한 거푸집 사용으로 인한 추가작업 소요	9	6	8	432	3
C6	바닥 거푸집 해체 인양	0.5	<ul style="list-style-type: none"> AL Form AL Wood Form 	• 부정확한 거푸집 설치에 따른 조정 작업에 추가시간 소요	5	3	8	120	8
				• 타워크레인 과부하로 인한 자재양중 지연	5	3	4	60	17
				• 자재 반입대>Loading Deck) 설치에 추가 작업시간 소요	4	2	3	24	22
C7	바닥 거푸집 설치	0.8	<ul style="list-style-type: none"> AL Form AL Wood Form 	• 동바리 붕괴 등 안전사고 발생	1	5	4	20	23
				• 형틀공 수급의 어려움	3	2	3	18	24
				• 슬리브(Sleeve) 등 개구부 거푸집 설치에 추가시간 소요	6	1	3	18	24
C8	바닥 철근 배근	1.0	<ul style="list-style-type: none"> 고강도 철근(SD40) Dowel bar 	• 바닥에 단차가 있을 시 추가작업 소요	6	3	3	54	19
				• 철근재 수급 불안정으로 인한 자재조달 지연	2	4	7	56	18
				• 철근공 수급의 어려움	2	2	4	16	25
				• 타워크레인 과부하로 인한 자재양중 지연	3	3	5	45	20
				• 배근량 증가에 따른 작업량 증가와 배근 작업이 복잡해져 추가시간 소요	7	6	8	336	6
				• 개구부의 철근배근에 추가시간이 소요 (위치잡기, 보강근)	5	2	2	20	23
				• 공장제작 철근의 종류가 증가하여, 철근이 섞여서 찾기 어렵고, 제고물량 확인이 어려움	7	6	5	210	8
• 공장제작 철근에 운송 중 변형이 발생하여 현장설치 전 추가작업 요구	2	2	3	12	26				
• 설비 작업자가 철근을 밟아서 철근 변형에 따른 추가작업 발생	9	3	2	54	19				
C9	바닥 전기/기계 설비 배관설치	0.5		• 철근 배근간격이 조밀하여 배관설치작업이 어려움	7	3	4	84	14
C10	콘크리트 타설	1.0	<ul style="list-style-type: none"> CPB 고압펌프 레미콘 배차시간 관리시스템 고강도 콘크리트 	• 레미콘 자재조달 불안정	9	3	7	189	9
				• 교통체증에 따른 레미콘 도달시간 지연	8	2	1	16	25
				• 콘크리트공 인력수급의 어려움	2	2	3	12	26
				• 조기강도 발현이 지연되어 후속작업의 조속한 시행이 어려움	9	6	8	432	3
				• 수화열 관리에 따른 양생시간 추가 소요	4	2	2	16	25
				• 철근 배근량 증가에 따른 콘크리트 타설의 어려움	9	5	4	180	10
				• 물시멘트비 저하에 따른 콘크리트 작업성 저하	10	6	6	360	5
				• 동절기 콘크리트 작업의 어려움	8	5	4	160	11
• 타설장비의 고장으로 인한 작업지연	7	3	3	63	16				
• 고층부 작업시 타설장비의 작업능력 저하	9	6	7	378	4				
• 췌사 사용에 따라 타설배관 내부의 마모증가에 따른 배관 파손	7	6	6	252	7				

초과를 유발할 수 있는 요인으로 그림 4를 참고하여 작성하였다. FMEA는 프로세스 하위단계에서 일어날 수 있는 위험을 통해서 전체 프로세스의 실패를 분석하는 상향식(bottom-up)분석방법이다. 하지만 그림 4는 전체 프로세스의 실패를 유발하는 하위단계의 요인을 찾아가는 하향식(top-down) 방법으로 그림 4의 방식을 동시에 적용하여 위험요인을 검토한다면 위험요인의 누락을 방지할 수 있을 것이다.

(3) 잠재된 위험에 대한 평가

잠재된 위험에 대한 빈도, 치명도, 영향도를 4.3 평가척도를 토대로 표 2와 같이 평가하고, RPN을 평가하였다. RPN의 평가는 착공전 단계에서 프로젝트 계획에 참여하였던 실무경력 20년 이상의 전문가의 도움을 받아 수행하였다.

5.4 사례 현장의 공기영향요인 설문조사

RPN값이 높은 것으로 평가된 잠재된 위험요인이 실제 발생하여 골조공조의 층당공기를 초과시켰는지 여부를 확인하기 위해 사례연구 현장의 직원, 협력업체, 감리 및 CM 관계자 들을 대상으로 층당공기에 관한 설문을 실시하였다.³⁵⁾

(1) 층당공기 지연

사례연구 현장의 골조 사이클에 대한 질문에 6일 이상 소요된 경우가 많았다는 응답이 많았다. 하지만 대부분의 응답자가 야간작업과 추가작업으로 인하여 전체공기의 초과를 발생하지 않았다고 응답하였다. 현행 골조공정에서 시간이 가장 많이 소요되는 작업은 ‘철근작업’과 ‘거푸집 작업’이라는 답변이 가장 많았으며, 개선의 여지가 있는 작업은 ‘철근작업’, ‘거푸집 작업’, ‘양중작업’을 들었다. 설문 응답자들은 이러한 부분의 개선이 이루어지면 골조 사이클은 5일에서 4일까지 단축 가능할 것 이라고 답변하였다.

표3. 공기 지연이 발생하는 소공종

응답자	철근	거푸집	설비	콘크리트	자재양중
A		1		2	
B	2	1	3	4	
C	1	2	3		
D	1				
E	1				

표 3은 당초 계획에 비하여 공기가 지연된다고 생각하는 소공종에 대한 질문 답변을 정리한 표이다. 표 3의 숫자는 공기지연이 발생하는 소공종의 우선순위를 표시한 것이다. 가령 작업이 지연된다고 생각되는 소공정이 4개가 있으면, 1은 그중에서 층당공기 지연의 가장 중요한 원인이 되는 소공종이다.

35) A(원가관리, 공사관리 경력 11년), B(공사관리 경력 3년) C(설계관리, 공사관리 경력 16년), D(공사관리 경력 5년), E(공정관리 경력 13년)

(2) 층당공기 지연원인

설문을 실시한 결과, 대부분의 설문 응답자들은 FMEA Sheet에서 공기초과 위험이 높은 것으로 간주한 요인들에 대해서 작업 지연요인으로 간주하였다. 다만 똑같은 문제에 대해서 응답자에 따라 현상을 보느냐, 원인을 보느냐, 대책을 보느냐에 따라 답변에 조금씩 차이가 있었다.

사례현장에서는 콘크리트 강도 증가에 따라 철근 배근량 및 철근 강도가 증가하였고, 철근의 두께가 증가하여 철근작업이 일반 건축물에 비해서 어려웠다. 따라서 철근 작업을 정해진 기간 안에 완수하기 위해서는 철근 선조립에 대한 현실성 있는 대책이 요구되었다.

철근 작업의 지연에 대한 설문결과 “철근배근에 굵은 철근이 증가하여 철근 이음에 추가시간이 요구된다”는 답변과 “철근 선조립에 대한 고려가 부족하였다”는 답변이 있었는데 현상과 원인, 대책간의 관계를 고려한다면, 그것은 같은 답변이 된다. 이러한 문제는 잠재된 위험에 대한 현상, 원인, 대책을 구분하여 기술함으로서 충분히 해결 가능하다.³⁶⁾ 표 4는 설문자가 실제 발생한 층당공기 지연 원인이라 답한 내용을 관련된 FMEA 스위트 내용과 비교한 표이다.

표4. 공기 지연 원인

응답자	주요원인	위험순위 ³⁷⁾
A	• 거푸집 존치기간 • 레미콘 자재 수급	3(C10) 9(C10)
B	• 거푸집 경량화 • 철근 선조립	3(C5),13(C5) 6(C3,8)
C	• 철근 선조립 • 내벽 거푸집 선택	1(C3), 6(C3,8) 3(C5), 8(C5)
D	• 철근 선조립	1(C3), 6(C3,8) 8(C3,8)
E	• 철근 선조립	1(C3), 6(C3,8)

5.5 사례연구 결과

표 2의 전체 46개의 항목 중 대체적으로 위험순위 10위 안에 포함되는 항목은 설문조사에 있어서도 응답자들이 층당공기 초과요인으로 간주하였다. 따라서 본 연구에서 제안한 기법을 이용하여 RPN이 높은 소수의 항목(critical few)에 관리를 집중한다면 공기초과 발생을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 기법을 적용함에 있어서 현장의 특성을 반영하여 평가한다면 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다. 사례현장은 초고층 건축물로서 국내에서 보기 드물게 벽식구조를 채택하고 있었다. 따라서 벽량의 증가에 따라 거푸집과 철근의 문제가 다른 프로젝트에 비하여 상대적으로 중요하게 부각되었다. 이와 같이 평가단계에서 프로젝트의 내재적 특성 및 주변여건을 반영한다면 보다 정확하게 위험요인을 도출할 수 있을 것이다.

36) 본래 FMEA에서는 현상, 원인, 대책을 구분하여 기술한다.
37) 표 2의 위험순위(표 2의 작업번호); 3(C10)은 작업번호가 C10이고 위험순위가 3인 ‘조기강도 발현이 지연되어 후속작업의 조속한 시행이 어려움’을 나타낸다.

6. 결 론

본 연구는 초고층 프로젝트의 공기단축 및 공기초과 방지를 위한 목적으로 수행되었다. 본 연구에서는 초고층 골조공중의 층당공기 영향요인을 도출하였고, FMEA를 이용한 평가프로세스를 제안하였다. 본 연구에서는 층당공기 영향요인 평가를 골조공중에 집중하여 수행하였지만 본 연구에서 제안한 기법은 골조공중 이외의 타 공중에서도 적용 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 공기영향요인 평가프로세스는 사례 연구에서와 같이 프로젝트 계획단계에서 공기초과의 잠재된 위험을 평가하고, 위험이 높은 요인에 대해서는 위험저감을 위한 대책을 수립하고 관리를 집중함으로써, 공기초과의 가능성을 줄일 수 있을 것이다.

본 연구의 한계로는 평가자의 능력에 따라 RPN의 우선순위가 달라질 수 있다는 점을 들 수 있다. 이는 평가 척도에 대한 구체적인 기준을 마련하고, 유사 프로젝트 자료 활용 및 그림 5의 층당공기 영향요인 DB를 구축 활용하면 보완될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안한 층당공기 영향요인 평가프로세스를 보완하여 초고층 전체공기를 평가할 수 있는 방안을 연구중에 있으며, 아울러 평가 프로세스를 보다 정확하고 용이하게 수행하기 위해서, 그림 5의 공기영향요인 DB를 기반으로 하는 전산화된 평가 시스템에 관한 연구도 수행할 예정이다.

참고문헌

[1] 김운성, "건설업에서의 시공FMEA적용 방안 연구", 한국 건설학회 학술발표대회 논문집 제3호, pp.271-274, 2002
 [2] 김종훈, "건설 공기 혁신에 관한 소고: 1층당 2Day Cycle 골조 공기 사례를 중심으로", 콘크리트학회지 제12권 6호, pp.109-116, 2000
 [3] 대림산업주식회사, 대림아크로타운 건설기록지, 대림산업주식회사, pp.169, 2000
 [4] 대우건설, 여의도 대우 트럼프월드 신축공사 공사지, 대우건설, 2003
 [5] 삼성물산 도곡사업 추진실, 타워팰리스 1차 공사지, 삼성물산, pp.305, 2003
 [6] 송도현, 초고층건축 시공, 기문당, 2002,
 [7] 심현택, 김창덕 옮김, "6시그마 팀 필드북", 도서출판 물푸레, 2002
 [8] 여영호, 국내외 초고층 건축의 추세, 초고층 건설기술 국제 세미나, 2001
 [9] 포스코건설, the # 센텀파크 기술검토 리스트, 포스코건설, 2002
 [10] 포스코건설, the # 해운대 아텔리스 공사소개서, 포스코건설, 2004
 [11] 한화건설, 갤러리아 팰리스 공사자료, 한화건설, 2004
 [12] 현대산업개발, I'PARK 삼성동 신축공사 보고자료, 현대

산업개발, 2004
 [13] 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
 [14] Elinwa, A. U. and Joshua M., "Time-Overrun Factors in Nigerian Construction Industry", Journal of Construction Engineering and Management, Vol.127, No.5, pp419-425, 2001
 [15] 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
 [16] Mulholland, B. and Christian, J., "Risk Assessment in Construction Schedule", Journal of Construction Engineering and Management, Vol.125, No.1, pp8-15, 1999
 [17] Pillay, A. and Wang, J., "Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning", Reliability Engineering & System Safety, 79, pp65-85, 2003
 [18] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project Management Institute, pp.65, 2000 Edition
 [19] Pyzdek, T., The Six Sigma Handbook, pp.590-600, McGraw-Hill, 2003
 [20] Stamatis, D. H., TQM Engineering Handbook, pp247-263, Marcel Dekker, Inc., 1997
 [21] 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

(接受: 2004. 8. 4)