

# FMEA 기법을 이용한 초고층 건축시공의 원가 증가요인 평가모델의 개발 방법론 연구

## Developing an Assessment Model for Major Cost-Increasing Factors in Skyscraper Construction Using FMEA

○김 기 국\*  
Kim, Ki-Kook

강 지 선\*\*  
Gang, Ji-Sun

김 한 수\*\*\*  
Kim, Han-Soo

### 요 약

도시가 복합화, 대형화되면서 도시의 수직적 확장에 대한 요구가 제기되었고 이에 따라 1930년대 이후 초고층 건물이 현저하게 증가하였다. 선진국인 미국에서는 뉴욕, 시카고를 중심으로 100층 이상의 초고층 건물이 건설되었고 1980년대부터 홍콩, 중국, 대만, 일본 등 아시아 지역에서도 초고층 빌딩이 건설되기 시작하였다. 국내에서도 초고층 건물에 대한 요구가 증가하면서 초고층 건물과 관련된 많은 연구들이 진행되고 있다. 그러나 초고층 건물에서 원가에 관한 연구는 다른 연구에 비해 많이 다루지지 않고 있다. 초고층 건축시공처럼 대규모 프로젝트일수록 원가를 관리하기 위한 체계적인 기술과 방법이 필요함에도 불구하고 이에 대한 연구가 미흡한 것이 아쉬운 점이다. 이에 본 연구에서는 초고층 건축시공에서의 원가관리를 합리적이고 체계적으로 수행하기 위한 방법의 하나로써 FMEA를 이용하여 원가증가에 영향을 미치는 여러 요인들을 평가하고 측정하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 통해 초고층 건축시공에서 중점적으로 관리해야 할 원가증가에 영향을 미치는 요소를 도출하여 이들을 중점관리하기 위한 발판을 마련하고자 한다.

키워드: 초고층 건축물, 원가 증가요인, FMEA, cost control

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 대도시를 중심으로 초고층 건축시공이 증가하고 있다. 이는 사회적 경제적 요구에 의한 것이며 도심지 재개발 사업으로 인해 더욱 가속화될 것이다.

초고층 건축시공에는 일반 건축시공과는 다른 구조 시스템과 설비 시스템이 요구된다. 또한 일반 건축과는 다른 새로운 재료 및 공법이 적용된다.

동일한 맥락에서 초고층 건축시공에는 이에 적합한 원가 관리(cost control) 방법이 요구된다. 초고층 건물과 같은 대형사업의 건설사업관리에서 원가관리가 차지하는 중요성이 매우 높음에도 불구하고, 기존 연구에서는 공정관리 부문에 비하여 상대적으로 관련 연구가 미흡한 것으로 나타나고 있다.

초고층 건축시공의 효과적인 원가관리를 위해서는 중점 원가관리 항목(Major Cost Control Items)을 도출하고 여

기에 원가관리 노력을 집중하는 것이 중요하다. 중점 원가 관리 항목을 발굴하는 일반적인 방법은 기존의 유사 사업이나 당해 사업의 내역서 분석을 통해 가장 공사비 비중이 높은 항목을 도출하는 것이었다. 이러한 기존 접근방식은 공사비 비중이 높은 항목을 발굴하기에는 유효하지만 공사비 증가 리스크의 관점에서 공사비 항목을 발굴하기에는 한계점을 지니고 있다.

따라서 내역서 분석 방식과 병행하여 공사비 증가 리스크가 높은 원가 증가요인을 평가하는 기법을 병행한다면 보다 현실적인 중점 원가관리 항목을 발굴할 수 있고 결과적으로 보다 효과적인 원가관리가 가능해 진다.

본 연구의 목적은 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) 기법을 이용하여 초고층 건축시공에 있어서의 주요 원가 증가요인을 평가하기 위한 모델의 개발 방법론을 제시하는데 있다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 개발하고자 하는 평가모델은 초고층 건축시공에서 철근 콘크리트 구조의 골조공사를 궁극적인 대상으로 하고 있다.

본 연구의 방법을 요약하면 다음과 같다.

1) 관련 문헌조사 등을 통해 FMEA와 관련 연구를 분석하였다.

\* 일반회원, 세종대학교 건축공학과 대학원 석사과정

\*\* 일반회원, 세종대학교 건축공학과 대학원 석사과정

\*\*\* 종신회원, 세종대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(hskim@sejong.ac.kr)

\* 이 연구에 참여한 연구자는 「2단계 BK 21사업」의 지원비를 받았다.

- 2) 관련 문헌조사와 전문가 인터뷰를 통해 원가 증가요인을 발굴하는 방법을 제시하였다. 이때 골조공사 중 타설비용의 원가 증가요인을 샘플로 제시하였다.
- 3) FMEA 기법을 원가 증가요인 평가에 활용하기 위한 모델 개발의 방법론을 제시하였다.
- 4) 관련 문헌조사 등을 통해 발굴된 타설비용의 원가 증가요인을 상기 개발 방법론에 접목하여 예시적으로 타설비용의 원가 증가요인을 평가하였다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 선행연구 검토

초고층 사업의 증가에 따라 관련 연구도 최근 증가하고 있는 추세이다. 초고층과 관련된 계획, 구조, 재료, 시공, 설비 등 다양한 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있으며 특히 시공 및 건설사업관리 분야에서는 공기, 공정, 양중, 공법 등에 관련된 연구들이 진행되어 왔다. 그러나 초고층 사업에서의 원가관리에 대한 연구는 아직 미흡한 것으로 나타나고 있다.

공사비 변경요인과 관련된 연구의 경우, 확정론적 방법과 확률론적 방법을 사용하여 공사비 예측을 목적으로 한 연구가 많았으나<sup>1)</sup> 공사비 변경요인 중 중점관리 요인도출을 목적으로 한 연구는 미흡하였다.

기존의 FMEA와 관련된 연구는 제조업과 관련된 분야에서 주로 수행되었다. 주로 품질 시스템과 고장 분석 등에 대한 연구가 수행되었고 건설분야에서는 건설에서의 FMEA 적용방안 연구<sup>2)</sup>, FMEA를 이용한 공기영향요인 평가<sup>3)</sup>에 대한 연구가 있으나 FMEA를 활용하여 원가와 관련된 연구를 수행한 사례는 없는 것으로 나타나고 있다.

### 2.2 FMEA 기법

제조업 분야에서 활용되기 시작한 FMEA 기법은 위험의 우선순위가 높은 소수의 항목에 관리를 집중함으로써<sup>4)</sup> 실패의 발생을 방지하고, 그 영향을 최소화하는 기법으로써<sup>4)</sup> 고장의 물리적 형태, 고장을 야기시킨 과정과 결과에 중점을 두어 고장을 사전에 예방하고자 하는 기법이다. 다시 말해 FMEA 기법은 발생할 수 있는 가능한 모든 고장의 유형과 메커니즘을 파악하고 발생한 고장이 제품의 성능에 어떤 영향을 끼치는지, 그리고 각각의 고장을 어떻게 알아내고, 어떻게 해서 고장을 사전에 예방할 수 있는지를 연구하는 기법이다.<sup>5)</sup>

1) 김성규, 공동주택의 공사비 예측과 공사비 변동요인의 특성에 관한 연구, 연세대학교 석사학위논문, 2003.  
 2) 김윤성, 건설업에서의 시공FMEA적용 방안 연구, 한국건설관리학회, 2002.  
 3) 홍영탁 외, FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가, 대한건축학회, 2004.  
 4) Pyzdek, T., The Six Sigma Handbook, McGraw-Hill, 2003.  
 5) 안영진, 경영품질론 6시그마와 TQM, 박영사, 2002.

일반적으로 FMEA 기법은 잠재된 위험요인에 대해 발생도(Occurrence), 심각도(Severity), 검출도(Detection)를 평가한다. 발생도는 실패가 발생하는 빈도를 말하며, 심각도는 실패가 발생했을 경우 결과의 치명도를 말한다. 그리고 검출도는 발생된 결함을 고객이 발견할 수 있는 가능성을 말하며 이 세 가지 요인의 곱의 결과로 위험 우선순위(Risk Priority Number, RPN)을 평가한다. 이를 통해 중점 위험요인을 평가 및 발굴하는 것이 FMEA 기법의 핵심이다.

### 2.3 FMEA의 적용의의 및 기대효과

건설사업관리 분야에서 FMEA 기법을 적용할 경우 나타나는 기대효과는 다양한 것으로 나타나고 있다. 품질관리의 경우, 핵심 개선조치 실행을 통해 효율적인 공사 수행이 가능하고, 체계적이고 합리적인 공사품질관리가 가능하다.<sup>6)</sup>

공정관리의 경우, 공기에 있어서 프로젝트 착공 전(前)단계에서 잠재된 위험을 평가하고, 위험이 높은 프로세스 구성요소에 대해서 위험 저감을 위한 대책을 수립을 통해 공기초과의 가능성을 줄일 수 있다.<sup>7)</sup>

본 논문에서 주목하고 있는 원가관리의 경우에도 FMEA 활용을 통해 다음과 기대효과를 기대할 수 있다. 초고층 건축시공에서 원가에 영향을 미치는 요인은 셀 수 없이 많이 존재한다. 이 모든 영향요인을 관리하는 것은 사실상 불가능하다고 말할 수 있다. 따라서 파레토의 법칙<sup>8)</sup>에서 알 수 있듯이 공사원가에 영향을 미치는 요인 중 영향도가 큰 소수의 영향요인에 관리를 집중하여야 할 필요가 있으며 FMEA 기법을 통해 원가증가의 위험이 큰 소수의 요인들을 도출하여 이를 집중 관리함으로써 원가초과 방지를 위한 원가관리를 효과적으로 실시할 수 있다.

이상과 같이 원가증가에 미치는 영향이 큰 영향요인을 집중 관리함으로써, 단순히 공사비 비중이 큰 항목을 관리하는 원가관리 방법을 보완하여 원가관리를 수행하는데 필요한 의사결정의 질을 높일 수 있다.

## 3. 초고층 건축시공의 원가 증가요인 도출방법

### 3.1 초고층 건축시공 원가의 특징

초고층 건축 원가의 특징은 곧 일반건축과 초고층 건축간의 차이점을 바탕으로 논할 수 있다. 일반건축과 비교할 수 있는 초고층 건축의 원가특징은 주로 기초공사, 골조공사, 커튼월 공사, 양중시스템에서 나타난다.

6) 김윤성, 건설업에서의 시공FMEA적용 방안 연구, 한국건설관리학회, 2002.  
 7) 홍영탁 외, FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가, 대한건축학회, 2004.  
 8) 이탈리아 경제학자인 빌프레도 파레토가 1906년 이탈리아 토지의 80%를 이탈리아 인구의 20%가 소유하고 있다는 사실을 알아내고, 이 80%와 20%의 상관관계를 다른 여러 분야에 적용하기 시작한 것으로, 우리 주변에서 일어나는 많은 현상의 80%는 20%의 원인 때문에 발생한다는 것이다.

기초공사의 경우 초고층에 의한 큰 하중을 견딜 수 있기 위해 매트기초가 주로 사용되며 이에 따른 재료비의 상승을 특징으로 들 수 있다.

초고층 골조공사의 경우 일반건물에 비해 기준층의 반복이 많아 구조변위를 제어하기 위한 구조층을 제외하면 기준층에서 나타나는 기본적인 공정이 반복되는 특성을 가지고 있다. 이에 따라 거푸집 전용횟수의 증가에 따른 원가부담 절감, 거푸집 시스템화를 위한 원가증가 등이 특징적으로 나타난다.

초고층 건물의 외장재는 외부풍압과 자체중량을 감당하는 커튼월 적용이 일반화<sup>9)</sup>되었고 초고층의 외부면적은 일반건물에 비해 월등히 넓다. 이에 따라 커튼월 적용에 따른 재료비 증가가 특징으로 나타난다.

양중시스템의 경우 초고층의 양중량이 증가하고 양중횟수가 많아짐에 따라 양중장비 증가에 따른 원가도 증가한다. 또한 초고층 엘리베이터 설치에 따른 원가증가도 초고층 원가의 특징으로 볼 수 있다.

### 3.2 초고층 건축시공의 원가 증가요인 도출 방법

기존의 연구<sup>10)</sup>에서는 일반건물의 원가영향요인을 항목수준(Level)별로 분류하고 공종별, 비목별 원가영향요인을 도출하여 원가를 왜곡시키는 영향요인 탐색의 정확도를 높였다. 또한 원가를 왜곡시키는 요인의 특성에 따라 초과되는 원가도 특색을 띠는다고 판단하고 초과된 원가를 분석하여, 원가초과를 유발한 원가왜곡요인을 진단하는 프로세스를 제안하였다.

초고층 건물 역시 초고층 건축시공에서 특징적으로 나타나는 원가 증가항목을 분석한다면 원가증가를 유도한 원가 증가요인을 도출할 수 있을 것이다.

표 1. 초고층 건축의 원가 증가요인

공종	원가증가항목	원가 증가요인
골조공사	· 타설비용 증가	· 시멘트 및 기타자재 발주물량 오산 · 작업일정과 맞지 않는 자재발주로 인한 관리비용 증가 · 시멘트 및 기타자재 관리소홀로 인한 추가 발주 · 기상악화로 인한 타설작업 효율저하 · 설계변경으로 인한 재시공

<표 1>은 초고층 골조공사에서 나타나는 타설비용 증가라는 원가증가를 바탕으로 하여 이에 대한 원가 증가요인을 일부 도출한 것이다. 이와 같은 방법을 통해 타설비용 증가 외에도 골조공사에서 나타나는 다른 원가증가를 분석하여 그에 대한 원가 증가요인을 도출할 수 있으며 골조공사 외 다른 공종에서도 원가증가요인 도출이 가능하다.

## 4. FMEA 기법을 이용한 초고층 건축시공의 원가 증가요인 평가 방법

9) 삼성중공업건설, 초고층 요소기술, 기문당, 2002.

10) 홍영탁 외, 건설프로젝트에서 원가초과 예방을 위한 원가진단 프로세스, 대한건축학회, 2004.

### 4.1 초고층 건축시공의 원가 증가요인 평가 모델개발 및 활용 프로세스

원가 증가요인은 원가관리자(현장소장, 공사·공무 담당자)가 FMEA 기법을 이용하여 평가하게 된다. 평가 시 원가관리자의 경험 및 지식을 바탕으로 평가하며 축적된 데이터를 참조하여 평가할 수도 있다.

본 연구에서는 사용하는 FMEA 기법의 평가척도는 발생도(잠재 위험이 발생할 수 있는 가능성), 심각도(잠재 위험 발생 시 해당항목의 원가증가 정도), 영향도(잠재 위험 발생 시 기타항목의 원가증가에 영향을 미치는 정도)의 세 가지를 사용하며, 이 세 가지 평가척도는 기존의 FMEA 기법의 평가척도를 원가 증가요인 평가에 적합하도록 수정·보완한 것이다. RPN은 기존의 FMEA 기법의 평가방식과 동일하게 세 가지 척도의 곱으로 위험 우선순위를 평가하며 값이 높을수록 원가증가에 미치는 영향이 큰 요인으로 평가된다.

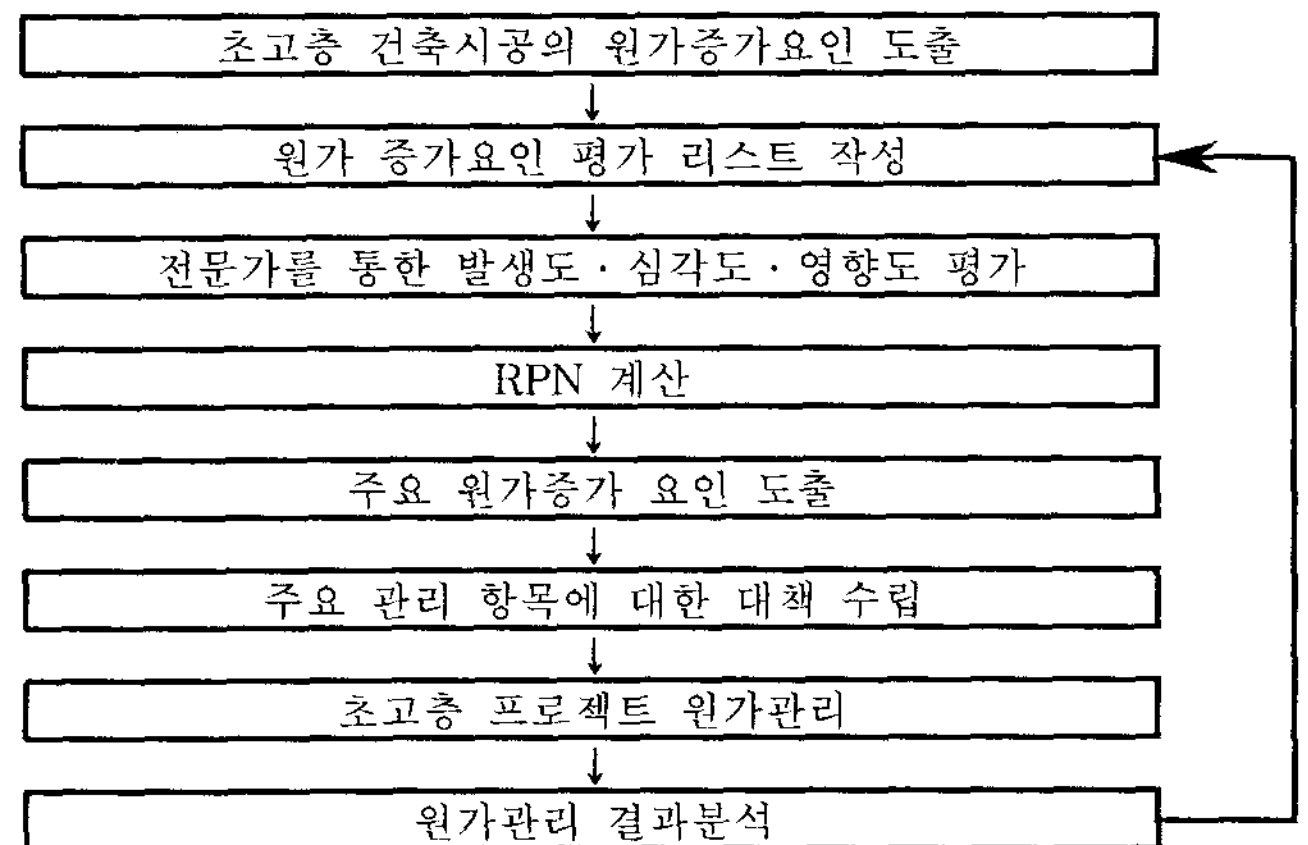


그림 1. 초고층 건축의 원가 증가요인 평가 프로세스

### 4.2 FMEA 평가척도 및 평가예시

FMEA 기법에서 평가척도는 일반적으로 10점 척도를 사용한다. 본 연구에서 제안하는 원가 증가요인에 대해서도 10점 척도로 평가할 것을 제안한다.

#### (1) 발생도

발생도는 원가 증가요인이 발생할 수 있는 가능성이 얼마나 높은지 평가하는 것으로 평가척도는 다음과 같다.

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

#### (2) 심각도

심각도는 원가 증가요인 발생 시, 해당항목에 대해 예상되는 원가증가의 정도를 평가하는 것으로 평가척도는 다음과 같다.

- 원가 증가요인 발생 시 원가증가의 정도가 아주 적다.(1점)

- 원가 증가요인 발생 시 원가증가의 정도가 적다.(2점~3점)
- 원가 증가요인 발생 시 원가증가의 정도가 그다지 크지 않다.(4점~6점)
- 원가 증가요인 발생 시 원가증가의 정도가 크다.(7점~8점)
- 원가 증가요인 발생 시 원가증가의 정도가 매우 크다.(9점~10점)

(3) 영향도

영향도는 원가 증가요인 발생 시 기타항목의 원가증가에 영향을 미치는 정도를 평가하는 것으로 평가척도는 다음과 같다.

- 원가 증가요인 발생 시 기타항목의 원가증가에 미치는 영향정도가 아주 적다.(1점)
- 원가 증가요인 발생 시 기타항목의 원가증가에 미치는 영향정도가 적다.(2점~3점)
- 원가 증가요인 발생 시 기타항목의 원가증가에 미치는 영향정도가 그다지 크지 않다.(4점~6점)
- 원가 증가요인 발생 시 기타항목의 원가증가에 미치는 영향정도가 크다.(7점~8점)
- 원가 증가요인 발생 시 기타항목의 원가증가에 미치는 영향정도가 매우 크다.(9점~10점)

(4) RPN

RPN은 발생도, 심각도, 치명도의 곱으로 잠재위험의 위험도 순위를 도출할 수 있고 순위에 따른 대책마련의 기초자료가 될 수 있다.

<표 2>는 <표 1>에서 발굴된 타설비용 원가 증가요인을 상기에 제시된 평가모델에 활용된 예시를 제시한 것이다.

표 3. 골조공사 원가 증가요인 FMEA sheet(예시)

공종	원가증가 항목	원가 증가요인	발생도	심각도	영향도	RPN	위험도 순위
골조공사	타설비용 증가	• 시멘트 및 기타자재 발주물량 오산	3	6	4	72	4
		• 작업일정과 맞지 않는 자재 발주로 인한 관리비용 증가	4	6	4	96	1
		• 시멘트 및 기타자재 관리소홀로 인한 추가발주	3	6	3	54	5
		• 기상악화로 인한 작업효율 저하	6	3	5	90	2
		• 설계변경으로 인한 재시공	4	5	4	80	3

이와 같은 FMEA sheet를 작성함으로써 원가 증가요인 중 집중관리 대상인 주요 원가 증가요인을 도출할 수 있으며 <표 2>의 경우는 “작업일정과 맞지 않는 자재발주로 인한 관리비용 증가”가 가장 위험도 순위가 높은 원가 증

가요인으로 나타났다.

초고층 건축시공에서 원가관리를 실시함에 있어 모든 요소를 관리하는 것은 매우 어려운 작업이다. 따라서 이와 같은 방법으로 통해 선별된 위험관리 요인에 대한 집중적인 관리가 실시된다면 효율적인 원가관리의 한 방법이 될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 초고층 건축시공에서 원가관리의 한 방법으로써, FMEA 기법을 원가 증가요인 평가에 활용하기 위한 모델 개발의 방법론 제시를 목적으로 하였다. 본 연구에서는 관련문헌조사 등을 통해 초고층 건축시공에서의 원가 증가요인을 발굴하는 방법을 제시하였고 그 예로 초고층 건축시공 중 철골공종에서의 타설비용 원가 증가요인을 샘플로 제시하였다. 이를 바탕으로 타설비용의 주요 원가 증가요인을 발굴하기 위해 FMEA 기법을 활용하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서 제안한 방법론을 통해 초고층 프로젝트의 원가 증가요인을 평가하고, 이를 통해 도출된 주요 원가 증가요인에 대해서는 해당 항목의 원가증가를 방지하기 위한 집중적인 관리대책을 수립할 수 있을 것이다. 이를 통해서 초고층 건축시공에서의 원가증가 가능성을 최소화할 수 있다.

향후 본 연구에서 제안한 방법론을 기초로 하여 전문가 인터뷰 및 검증 등을 통해 골조공사의 전(全) 작업을 대상으로 원가 증가요인을 평가할 수 있는 모델 개발연구를 지속할 계획이다.

참고문헌

1. 김성규, “공동주택의 공사비 예측과 공사비 변동요인의 특성에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문, 2003.
2. 김운성, “건설업에서의 시공FMEA 적용 방안 연구”, 한국 건설관리학회, 2002.
3. 홍영탁 외, “건설프로젝트에서 원가초과 예방을 위한 원가진단 프로세스”, 대한건축학회, 2004.
4. 홍영탁 외, “FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가”, 대한건축학회, 2004.
5. 삼성중공업건설, “초고층 요소기술”, 기문당, 2002.
6. 송도현, “초고층건축 시공”, 기문당, 2002.
7. 안영진, “경영품질론 6시그마와 TQM”, 박영사, 2002.
8. Pyzdek, T., “The Six Sigma Handbook”, McGraw-Hill, 2003.

Abstract

Recently, the skyscrapers are increasing. There are major cost-increasing factors to management in the skyscraper construction. The more projects are large like the skyscraper construction, the more systematic methods and tools are needed for cost control. This study proposes an assessment model for major cost-increasing factors in skyscraper construction using FMEA.

Keywords : skyscraper, cost-increasing factors, FMEA, cost control