

FMEA 기법을 활용한 공동주택 골조공사의 건설실패 핵심관리요인 분석

An Analysis of Critical Management Factors for Construction Failure on the Apartment Structural Framework using FMEA

오 치 돈*
Oh, Chi-Don

박 찬 식**
Park, Chan-Sik

Abstract

Previous construction failure researches were focused on the utilization plan based on failure information and development of failure classification. However, it has limitation to set up the plan for prevention of construction failure due to the lack of the number of on-site staffs. In order to prevent effectively construction failure, a prevention plan should be established through quantitative evaluation of failure causes. The purpose of this study is to suggest the assessment method for selection Critical Management Factor(CMF) and to analyze the CMF on the apartment structural framework using FMEA(Failure Mode and Effective Analysis) which is one of the methods of quantitative evaluation. The element of risk evaluation separated degree of failure risk and prevention respectively. The assessment method for selection of CMF can be utilized for planning proactive solutions on the failure, and it can be also selected critical factors about each project phases, type of facility and construction work.

Keywords : Construction Failure, FMEA Method, Structural Framework, Apartment, Critical Management Factor

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설실패는 단순히 하나의 기술적 원인에 의해 발생하는 것이 아니라, 다양한 원인에 의해 복합적으로 나타나는 것이 일반적이다(전용석 2005). 특히, 건설실패의 90%는 기술적인 측면에서 발생하기보다 프로젝트를 수행하는 과정에서 실패가 발생한다(FitzSimons 1985). 이는 새로운 공법과 기술, 시방서 등의 문

제로 인한 것뿐만 아니라 건설 프로젝트에 참여하는 주체들 간의 역할과 설계 및 사용자재의 변경, 발주자의 요구사항 변경, 내·외적으로 발생하는 정보에 대한 공유 미흡 등 조직적, 관리적 요인에 의해서도 기인된다. 즉, 건설실패는 건설 프로젝트의 전(全) 단계에서 발생할 수 있으며, 단일 형태의 원인보다 다양한 원인이 복합적으로 작용하여 발생하게 된다.

따라서, 건설현장에서도 이러한 건설실패발생에 효율적으로 대응하기 위해 실패를 발생시키는 근본적인 요인을 분석 및 예측하여 실패발생을 억제하거나 최소화하려는 노력이 필요하다.

* 일반회원, 중앙대학교 건축학과 박사과정, chidon@wm.cau.ac.kr

** 중신회원, 중앙대학교 건축학부 교수, 공학박사(교신저자), cpark@cau.ac.kr

1) FitzSimon(1985)은 건설실패의 유형을 안전상의 실패, 기능상의 실패, 기타 실패로 구분하였으며, Technical Council on Forensic Engineering of the ASCE(1989)에서는 잠재적 실패를 추가하여 구분하였다. 이외에도 Kaminetzky(1991)는 construction(시공), service(서비스), maintenance(유지관리)로 Wardhana(2003)는 collapse(붕괴)와 distress(피로)로 유형을 구분하였다. 이를 종합해 볼 때, 건설실패 유형은 실패에 의해 인적·물적 피해를 유발하는 '안전상 실패', 의도된 기능 또는 성능이 미발휘되는 '기능상 실패', 안전상, 기능상 실패를 야기할 수 있는 직접적으로 나타나지 않는 '잠재적 실패'로 구분할 수 있다.

즉, 사업을 수행하는 의사결정자 또는 건설현장의 관리자는 안전상, 기능상, 잠재적 실패²⁾에 대해 품질, 비용 등의 측면에서 사업목표가 저해되는 요인을 사전에 제거할 수 있는 실패관리활동을 수행해야 한다.

그러나, 국내에서는 이러한 건설실패에 대한 개념의 정립 및 중요성에 대한 인식이 다소 미흡했던 것이 사실이다. 이에 박찬식(2003)은 건설실패에 대한 개념을 국내에 최초로 소개하고, 건설실패에 의한 피해를 최소화시키기 위해서는 실패정보의 수집 및 활용이 필요하다고 역설하였다. 이를 위해, 국내·외 다양한 기관에서 제공되는 실패관련 정보의 분류현황을 바탕으로 국내 실정에 맞는 건설실패정보 분류체계를 제시하였다. 이 연구를 시작으로 건설실패정보를 활용해 업무 프로세스를 개선할 수 있는 모델에 관한 연구(전용성 2005)와 실제 발생한 건설실패사례를 수집·분석하여 건설실패발생 메커니즘을 규명하고 체계화된 건설실패 조사시스템을 제안한 연구(김진대 2005) 등이 국내에서 수행되었다. 가장 최근에 박용성(2008)은 체계화된 건설실패정보 분류체계를 활용하여 다양한 시설물에서 발생하는 실패사례를 데이터베이스화 한 ‘웹 기반 건설실패사례 정보 시스템’을 개발하였다. 이는 웹을 통해 지속적으로 실패사례를 축적 및 공유함으로써 건설실패를 유발하는 원인을 사전에 예측하고 대책을 수립할 수 있는 도구로 활용될 수 있으며, 축적된 정보를 교육자료로 활용함으로써 건설실패에 대한 건설기업 및 현장관리자의 인식변화에 기여할 수 있다.

지금까지 수행된 실패관련 연구들은 건설실패정보의 필요성과 활용성에 초점을 맞추고 있다. 그러나, 건설현장의 한정된 관리자가 단순히 정성적 데이터만을 이용해 실패대책을 수립하는 것은 한계가 있다. 따라서, 실패원인에 대한 효율적인 대책을 수립하기 위해서는 실패유발 원인 중 위험성이 높거나 예방효과를 극대화 할 수 있는 원인을 파악하는 등 집중적으로 관리가 필요한 요인을 선정하는 것이 필요하다.

이에 본 연구의 목적은 건설실패를 유발하는 다양한 원인에 대한 효율적 예방활동이 이루어질 수 있도록 정량적 평가방법을 제시하고, 이를 활용한 공동주택 골조공사의 건설실패 핵심관리요인을 분석하는 것으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

건설실패를 유발하는 많은 요인 중, 핵심적으로 관리가 필요한 요인을 선정하기 위해서는 과거 발생한 실패사례의 지속적인 축적이 전제되어야 한다. 그러나 대부분의 국내 건설기업은 기업의 이미지 손상 등 건설실패에 대한 부정적인 인식을 가지고 있어 실패정보공개를 기피하고 있다. 이로 인해 건설현장에서

발생되는 다양한 유형의 건설실패에 대한 모든 원인을 파악하는 것은 한계가 있다.

이에 본 연구는 김진대(2005)의 연구에서 건설현장에서의 실패발생 원인으로 제시한 조직적 원인, 현장원인, 기술적 원인에 포함된 세부요인을 보완하여 평가에 활용하고자 한다.²⁾ 특히, 본 연구는 정량적 평가방법을 제시하고, 공동주택 골조공사를 대상으로 핵심관리요인을 분석하는 것으로 연구범위를 한정하고자 하며, 각각의 원인에 대한 구체적인 예방대책을 제시하는 것은 본 연구의 범위에서 제외하고자 한다. 이러한 본 연구의 절차는 다음과 같으며, 이를 도식화하면 그림 1과 같다.

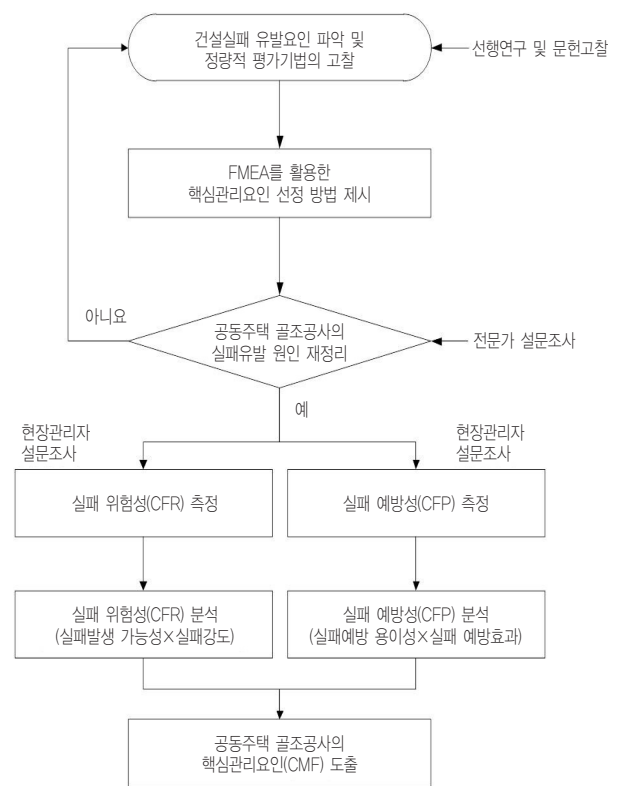


그림 1. 연구의 흐름

(1) 건설실패 및 정량적 평가 관련 연구 고찰

국내에서 수행된 기존 건설실패 관련 연구와 정량적 평가 관련 연구의 고찰을 통해 기존연구에서 제시 및 활용된 건설실패 발생의 원인과 정량적 평가기법에 대해 파악한다.

2) 김진대(2005)는 정확한 실패정보를 파악하기 위한 건설실패조사시스템을 개발하는데 있어 작업상황, 실패상황, 실패원인 및 대책 등의 항목이 포함되어야 함을 주장하였다. 특히, 실제 실패사례에 대한 분석을 통해 실패원인을 파악하고, 원인들 간에 상호관계를 규명하고자 노력하였다. 이를 통해, 실패원인을 간접적 원인(조직적 원인, 현장원인)과 직접적 원인(기술적 원인)으로 분류하고, 각 원인에 포함된 세부요인을 제시하였다.

(2) 핵심관리요인 선정방법 제시

기존연구 고찰을 통해 선정된 정량적 평가기법인 FMEA 기법에 대해 서술하고, 건설실패 핵심관리요인 선정방법에 대해 제시한다. 또한, 정량적 평가를 위해 본 연구에서 활용하고자 하는 용어에 대해 설명하고, 정량적 수치의 산출방법에 대해 서술한다.

(3) 공동주택 골조공사의 핵심관리요인 분석

본 연구에서 제시한 건설실패 핵심관리요인 선정방법에 대한 활용성을 검증하기 위해 공동주택 골조공사의 현장관리자를 대상으로 1차 전문가 조사를 실시하여 기존 연구의 실패요인을 재정리하고, 2차 설문조사를 통해 위험성과 예방성을 평가하여 핵심관리요인을 선정한다.

2. 선행연구 고찰 및 FMEA의 개요

2.1 정량적 평가 관련 연구

표 1은 정량적 평가와 관련한 기존연구를 정리한 것으로서, 정량화를 통한 핵심관리요인 도출은 대부분 리스크 요인, 안전사고 요인 등에 대한 위험도 평가와 관련한 연구가 수행되었으며, AHP(Analytic Hierarchy Process)기법 또는 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)기법 등을 활용하였다.

표 1. 정량적 평가 관련 기존연구

저자(연도)	주요내용
강인석 외 2인 (2001)	설문조사를 통한 공사단계별 리스크 인자들에 대한 중요도 현황 파악
신규호 외 1인 (2002)	국내개발사업 사전기획단계를 중심으로 리스크 인자를 추출하고 5점 척도 응답방식으로 중요도 산출
고성석 외 2인 (2004)	실제 발생한 재해사례를 분석하여 건설공사 공종별 재해발생확률을 산정하고, 공종별 소요인력에 대한 위험지수를 산출
유정호 외 2인 (2008)	중점적으로 관리해야 할 안전관리 항목 도출을 위해 FMEA를 활용한 '안전관리 FMEA시트' 제시
이현철 외 3인 (2009)	건설경영 전반에 걸친 내·외부 리스크 인자를 추출하고, FMEA 기법을 활용한 정량적 위험도 제시
김기호 외 1인 (2011)	u-City 사업의 계획단계에서의 리스크 요인을 식별하고 설문조사를 통한 리스크 요인을 정량화하여 핵심리스크 요인 도출

AHP 기법은 주어진 의사결정문제를 계층화한 후, 상위 계층에 있는 한 요소(또는 기준)의 관점에서 하위계층에 있는 요소들의 쌍대비교를 통해 상대적 중요도 또는 가중치를 구하여 최하위 계층에 있는 대안의 우선순위를 구하는 것이다(고성석

2005). 반면, FMEA 기법은 시스템의 구성요소인 프로세스 각각의 요소에서 실패(Failure)가 발생했을 경우 전체 시스템에 미치는 영향 또는 심각성을 평가하는 기법이다(Stamatis, 1997). 본 연구는 건설실패를 유발하는 각각의 요인이 계층적인 관계보다 실패가 발생했을 경우 전체 프로젝트에 영향을 미치는 것으로 판단하여 FMEA 기법을 활용한 핵심관리요인 선정방법을 제시하고자 한다.

2.2 FMEA 기법의 개요

FMEA 기법은 현장 엔지니어들의 직접적인 경험을 체계적으로 정리할 수 있는 방법을 제시하고자 하는데 목적이 있다. 이 기법은 주로 제조공정에서 고객의 요구사항을 만족하는데 걸림돌이 될 수 있는 고장(불량)의 형태를 모두 명시하여 영향도를 평가하고, 특정한 원인에 대한 위험요소를 추정하여 고장 발생의 원인을 제거하기 위한 관리방법이다. 또한, 공정의 개선을 위해 조치 내용의 우선순위를 정하고, 지속적으로 유지관리를 위해 관리항목을 도출하여 관리 한다(정지덕 2011). 이러한 FMEA 기법은 건설분야에서 리스크가 발생할 수 있는 빈도 및 가능성(발생빈도)과 리스크로 인한 피해정도(영향도)의 범위를 파악함으로써 분석 및 적용이 가능하다(이현철 2009). 또한, 품질, 공정, 공사비 등의 관리를 위한 수단으로 활용될 수 있는데, 효율적인 공사수행을 위한 핵심적인 개선조치를 실행할 수 있는 요인의 파악이 가능하고, 프로젝트를 수행하기 이전에 내재된 위험요소에 대한 평가를 통해 비용상승, 공기초과의 가능성을 감소시킬 수 있다(김유성 2002, 홍영탁 2004).

따라서, FMEA 기법은 건설실패를 야기하는 다양한 원인에 대한 실패 위험성을 실패발생빈도와 실패영향도로 구분하여 정량적 평가가 가능하며, 이를 통해 건설실패를 유발하는 핵심관리요인의 선정이 가능하다.

3. FMEA 활용 및 핵심관리요인 선정방법

3.1 FMEA 활용방법

제조업에서 FMEA 기법은 발생도(Occurrence), 심각도(Severity), 검출도(Detection)를 평가하고 세 요소의 곱을 통해 위험도(Risk Priority Number: RPN)를 산출한다. 발생도는 실패의 발생빈도를 의미하며, 심각도는 실패가 발생했을 경우의 영향(치명)정도를, 그리고 검출도는 발생된 결함을 발견할 수 있는 가능성을 의미한다. 그러나, 건설실패를 유발하는 핵심관리요인의 선정 목적이 발생된 실패의 발견 가능성을 파악하기보

다, 빈도와 영향도를 고려한다는 측면에서 검출도를 평가하는 것은 큰 의미가 없어 이를 제외하고자 한다.

또한, 어떠한 원인에 대한 예방대책의 수립은 예방활동의 절차, 방법 등에 따라 다소 상이한 실패발생의 억제효과가 나타날 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 그림 2와 같이, 위험성을 '실패 발생 가능성(발생빈도)' 과 '실패강도(영향도)' 로 평가하고, 이와 상충되는 의미의 실패 예방성을 '실패예방 용이성' 과 '실패예방 효과' 로 구분하여 정량적 평가를 실시하고자 한다.



그림 2. 본 연구에서의 FMEA 활용방법

그림 2의 실패위험성과 예방성의 평가에 활용하고자 하는 실패발생 가능성, 실패강도, 실패예방 용이성, 실패예방 효과에 대한 용어는 다음과 같이 정의하고자 한다.

- ① 실패발생 가능성(F_d)
골조공사의 세부작업 내에서 각각의 실패요인에 의해 실패가 발생할 수 있는 빈도 또는 가능성
- ② 실패강도(F_i)
실패가 발생했을 경우, 비용, 공기, 기능 측면에 미치는 영향정도
- ③ 실패 위험성(CFR)
실패를 유발할 수 있는 가능성과 그 결과에 의한 실패강도를 조합한 것
- ④ 실패예방 용이성(F_p)
실패예방대책을 수립하는데 있어 쉽고 어려움에 대한 난이도를 의미
- ⑤ 실패예방 효과(F_e)
실패를 유발하는 다양한 원인의 예방활동을 통해 얻을 수 있는 효과를 의미
- ⑥ 실패 예방성(CFP)
건설현장에서 발생하는 실패요인을 제거하기 위해 현장 관리자 또는 본사 관리자가 수행하는 예방활동의 난이도와 예방활동에 의한 효과의 조합
- ⑦ 핵심관리요인(Critical Management Factor: CMF)

실패 위험성과 예방성의 정량적인 평가를 통해 실패를 유발하는 다양한 원인들 중, 사업을 수행하는 동안 지속적으로 관리·감독할 필요가 있는 원인

3.2 핵심관리요인 선정 방법

본 연구에서는 (식 1)과 (식 2)의 산출식을 활용하여 실패 위험성 및 예방성을 평가하고자 한다. 우선, 건설현장의 현장관리자를 대상으로 실패발생 가능성(F_d)과 실패강도(F_i)를 평가하도록 한 후, 두 요인을 조합한 실패 위험성(CFR)을 산출한다. 또한, 실패예방 용이성(F_p)과 실패 예방효과(F_e)도 동일한 방법을 사용하여 두 요인 평가하여 실패 예방성(CFP)을 산출한다.

$$\begin{aligned}
 &\text{실패 위험성}(CFR) \\
 &= \text{실패발생 가능성}(F_d) * \text{실패강도}(F_i) \\
 &= (\text{발생가능성 점수} / \text{설문응답자수}) * (\text{실패강도 점수} / \text{설문응답자수}) \quad \text{식(1)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{실패 예방성}(CFP) \\
 &= \text{실패예방 용이성}(F_p) * \text{실패예방 효과}(F_e) \\
 &= (\text{실패예방 용이성 점수} / \text{설문응답자수}) * (\text{실패예방 효과 점수} / \text{설문응답자수}) \quad \text{식(2)}
 \end{aligned}$$

이렇게 산출된 실패 위험성과 예방성의 정량적 수치를 조합하여 핵심관리요인을 선정할 수 있으며, 실패원인은 그림 3에 타넨 바와 같이 4개의 영역으로 구분될 수 있다.

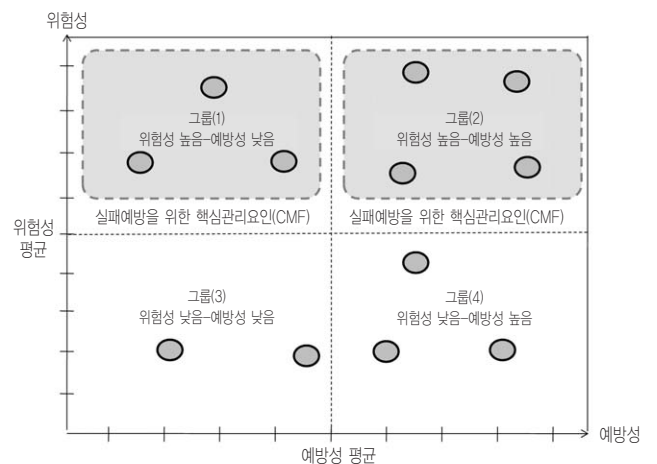


그림 3. 핵심관리요인 영역

그룹(1)은 실패 위험성이 높지만 예방성이 낮은 실패요인 항목

이 포함된 영역으로써, 이 영역에 포함된 세부실패요인은 실패 발생 가능성이 높을 뿐만 아니라, 발생 시 비용, 공기 등에 미치는 영향이 큰 것을 의미한다. 또한, 실패예방 용이성 즉, 실패를 예방하기 위한 활동이 어렵고 예방효과가 낮은 요인들이 포함될 수 있다.

그룹(2)는 실패 위험성과 실패 예방성이 모두 높은 요인이 속한 그룹을 의미하는 것으로서, 실패발생 가능성과 실패강도가 높지만 적절한 실패예방활동을 하게 되면 안전상, 기능상, 잠재적 실패에 대한 억제효과가 높은 요인들이 속한 그룹이다.

그룹(3)은 위험성과 예방성이 모두 낮은 그룹을 의미하며, 그룹(4)은 위험성은 낮지만 예방성이 높은 그룹을 의미한다.

핵심관리요인을 선정하는데 있어 가장 중요한 것은 위험성이 높은 요인을 제거하는 것이다. 건설실패의 관리목적이 위험요인을 제거하는 측면이 강하므로 위험성이 높은 영역에 대한 관리가 중점적으로 이뤄져야 할 것이다. 따라서, 이를 고려하였을 경우, 그룹(1)과 그룹(2)는 건설실패를 유발하는 요인에 대한 지속적인 관리·감독이 요구되는 핵심관리요인이 되는 그룹이라 할 수 있다.

4. 건설실패 핵심관리요인

4.1 조사개요

본 연구에서 제시한 핵심관리요인 선정방법을 검증하기 위해 공동주택 골조공사 유경험자를 대상으로 설문조사를 실시하여 핵심관리요인을 선정하였다. 설문은 서울·경기 등 수도권 지역을 중심으로 시공능력순위 20위 내의 기업 15개 건설현장과 본사에 근무하는 관리자 140명을 대상으로 조사하였다. 전체 설문지 중, 성의가 없거나 누락된 항목이 있는 설문지를 제외하여 총 115부의 유효 설문지를 분석하였다.³⁾

설문내용은 실패요인에 대해 본사 근무자와 현장 관리자를 대상으로 조사를 실시하여 위험성과 예방성을 평가할 수 있도록 하였다. 또한, 현재 국내 건설현장에 근무하는 관리자가 건설실패에 대한 인식이 다소 부족하다고 판단되어 건설실패에 대한 개념과 다양한 실패원인에 내포되어 있는 의미를 설명하여 골조공사에서 발생할 수 있는 다양한 실패원인에 대해 평가할 수 있도록 하였다. 특히, 위험성과 예방성은 표 2에 나타난 바와 같이, 리커트(Likert) 7점 척도를 활용하였다. 발생 가능성, 실패강

도, 예방효과는 높은 점수로 평가 될수록 자주 발생되고 사업의 실패에 악영향을 미치는 정도가 크며, 예방효과가 크다는 것을 의미하며, 예방 용이성의 경우는 높은 점수가 예방을 위한 자원 투입, 업무개선 등의 활동이 쉽다는 것을 의미한다.

표 2. 설문조사지 예

구분		발생가능성/실패강도/예방 용이성/예방효과 낮음(어려움) → 높음(쉬움)						
		1	2	3	4	5	6	7
조직적/ 현장/ 기술적 원인	세부 실패요인							
	세부 실패요인							

4.2 평가요인

골조공사에서 발생할 수 있는 실패원인은 선행연구 및 문헌고찰을 통해 1차적으로 조직적 원인, 현장 원인, 기술적 원인으로 분류하여 정리하였다. 또한, 정리된 원인별 세부요인에 대해 골조공사 유경험자를 대상으로 전문가 조사를 실시하여 최종적인 세부요인을 선정하였으며, 표 3은 각 원인에 대한 세부실패요인을 정리한 것이다.⁴⁾

조직적 원인은 업무를 수행하는 조직의 관리체계와 조직 구성원의 작업관리상 결함을 의미한다. 이는 조직을 구성하는 구성원 개별에 의한 실패가 아닌 조직이 수행하는 업무 또는 활동에 의한 실패를 의미한다.

현장원인은 관리자 또는 작업자가 업무내용을 잘못 이해하는 등의 결함과 관리자 또는 작업자의 의지와 상관없이 외부원인에 의해 발생하는 결함을 의미한다. 현장원인은 조직적 원인과 다소 유사한 의미로 이해할 수 있으나, 가장 큰 차이점은 다양한 업무를 수행하는 조직에 대한 실패가 아닌 구성원 개인 자체에 대한 능력부족 또는 실수에 의해 발생할 수 있는 원인이라는 것이다.

기술적 원인은 직접적인 실패를 야기하는 원인이므로, 설계와

4) 건설실패에 대한 연구는 다수의 연구자(Bell, 1985; Thorton, 1985; Hadpriono, 1985; Carper, 1987; Kaminetzky, 1991;)에 의해 수행되었으며, 이들이 수행한 연구에 의하면 건설실패는 물리적 원인에 해당하는 기술적 원인, 인간의 실수에 의해 발생하는 관리적 원인에 의해 발생되고 있다. 그러나, 이러한 원인에 포함될 세부요인을 모두 나열하는 것은 한계가 있다. 김진대(2005)는 이러한 연구들을 바탕으로 실패유발 원인을 기술적 원인, 현장원인, 조직적 원인으로 구분하고, 건설현장에서 발생된 31개의 건설실패 자료를 수집·분석하여 각각의 원인에 포함될 세부요인을 파악 및 상호관계를 통계적 방법으로 규명하였다. 이러한 세부요인은 공동주택 골조공사에서 발생하는 실패의 일반적인 원인이라고 판단하기에는 다소 한계가 있다. 이에 본 연구는 실무 관리자들을 대상으로 조사를 실시하여 요인을 수정 및 보완하였으며, 향후 이러한 내용을 바탕으로 실패원인에 대한 각종 사례를 지속적으로 수집하여 더욱 구체적인 세부요인을 데이터베이스화 하고자 한다.

3) 건설실패원인에 대한 평가는 조사대상자의 경험적 지식에 근거하여 과거 경험했던 실패를 토대로 다양한 실패원인에 의한 실패발생 가능성을 판단할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 조사되는 대상자는 건설현장의 종사 경력 5년 이상의 실무자들을 대상으로 조사하여 신뢰도를 높이고자 하였다.

시공 자체에 대한 결함을 의미한다. 특히, 기술적 원인은 조직적 원인과 현장원인이 복합적으로 작용하여 발생할 수 있는데, 예를 들어 구조계산 오류(T1), 견적오류 및 누락(T12) 등은 공사를 수행하기 이전에 구조계산과 견적을 담당하는 조직 또는 담당자의 의사소통, 능력부족 등에 의해 발생할 수 있다.

표 3. 골조공사의 세부실패요인

구분	변수명	세부실패요인
조직적원인 (Organization Factors: O)	O1	부정확한 업무(작업) 정보
	O2	직무교육 프로그램 부족
	O3	의사소통 미흡
	O4	열악한 현장관리 도구
	O5	표준 업무절차의 미흡
	O6	부적절한 조직(작업) 구조
	O7	설계도서의 미확인
	O8	장비조달 지연
	O9	자재조달 지연
	O10	관리자/시공사 조직의 능력(기능) 부족
	O11	하도급 관리문제
	O12	작업자의 책임감 부족(불성실)
	O13	안전시설/장비 관리 미흡
	O14	안전관리 교육 및 의식 미흡
	O15	작업자의 동기부여 부족
현장 원인 (Site Factors: S)	S1	잘못된 기술교육
	S2	시공지식의 부족
	S3	업무절차 변경의 미인지
	S4	전산 시스템에 대한 과신
	S5	설계지식의 부족
	S6	설계변경의 미인지
	S7	설계조건과 상이한 현장여건
	S8	작업 중 민원/클레임 및 분쟁발생
	S9	장비/설비 임대료 상승
기술적 원인 (Technical Factors: T)	T1	구조계산 오류
	T2	시공성을 무시한 설계
	T3	하중 예리
	T4	자재의 결함
	T5	공정간섭 발생
	T6	과다한 설계변경
	T7	불합리한 공법 선정
	T8	불합리한 장비 선정
	T9	시공오류 및 부실시공
	T10	시방서의 정밀도 및 정확도 부족
	T11	설계도서 미흡
	T12	견적오류 및 누락

4.3 실패 위험성 측정

골조공사는 크게 거푸집 공사, 철근공사, 콘크리트 공사로 구분하며 거푸집 공사는 다시 '동바리 작업'과 '갱 폼 등 다양한 거푸집 작업'으로 분류할 수 있다. 위험성에 대한 분석은 동바리 작업, 갱폼 등 거푸집 작업, 철근작업, 콘크리트 작업으로 구분하여 위험성을 분석한다. 위험성은 실패발생 가능성과 실패강도

를 정량적으로 평가하여 도식화하고, 실패발생 가능성과 실패강도 전체 평균을 초과하는 요인이 무엇인지 파악한다.

4.3.1 동바리 작업

동바리 작업은 동바리의 반입, 가공 및 운반, 조립, 해체, 인양 등 5가지 작업으로 분류할 수 있으며, 이들 작업에 대한 실패 위험성을 분석한 결과는 그림 4에 나타난 바와 같다.

각 세부실패요인은 실패발생 가능성 평균 3.78과 실패강도 평균 3.83 보다 높은 요인을 선정한 것으로서, 조직적 원인에 포함된 세부요인은 O1, O3, O7, O10, O11, O12, O14 등 7가지가 포함되었으며, 현장원인은 S2, S7 2가지, 기술적 원인은 T2, T6, T7, T9, T10 5가지가 포함되었다. 동바리 작업에서 실패발생 가능성과 실패강도가 가장 높게 나타난 것은 실패발생 가능성 4.55, 실패강도 4.65로 나타난 '작업자의 책임감 부족(O12)'이며, 다음으로 4.41과 4.53으로 나타난 '관리자/시공자의 능력(기능) 부족(O10)'으로 나타났다. 이는 동바리 작업의 후속작업인 콘크리트 공사와 동바리 공사에 투입되는 인력이 동일하지 않아 상호작업에 대한 시공성 배려가 되지 않기 때문인 것으로 사료된다. 실제 면담조사 결과, 건설현장에서 작업자들은 자신이 수행하는 공사와 후속공사에 대한 연계성을 고려하지 않고 있는 것으로 나타났다

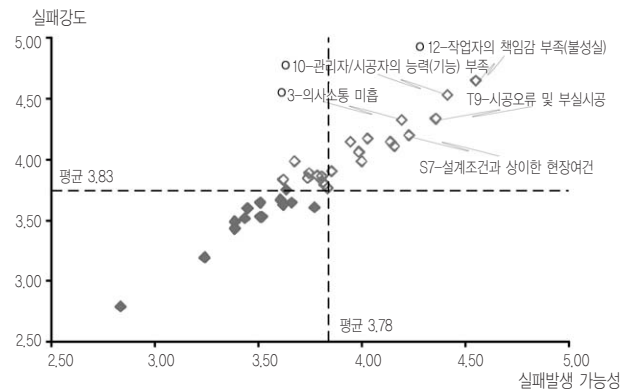


그림 4. 동바리 작업의 실패 위험성 분석

4.3.2 갱 폼 등 거푸집 작업

거푸집 공사에 포함되는 갱 폼 및 다양한 거푸집의 설치, 조립, 해체 작업에 대한 실패 위험성을 분석한 결과는 그림 5에 나타난 바와 같다.

동바리 작업에서 도출된 요인과 거의 동일한 세부요인이 선정되었으나, 실패강도가 가장 높게 나타난 실패요인은 동바리 작업과 달리 '관리자/시공자의 능력(기능)부족(O10)'인 것으로 분석되었다. 이는 거푸집 작업이 동바리 작업과 달리 콘크리트의

측압이 직접 전달되는 거푸집의 특성상 다양한 연결재 등이 사용됨으로써, 공사의 정밀성이 요구되기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 동바리 작업에서는 크게 부각되지 않았던 '시공성을 무시한 설계(T2)'가 실패발생 가능성 4.03, 실패강도가 4.34로 높게 나타났다.

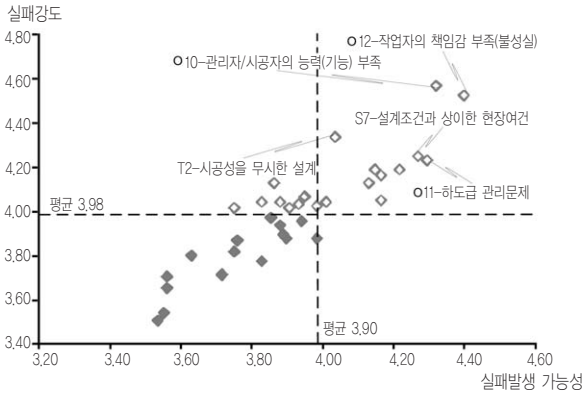


그림 5. 갯품 등 다양한 거푸집 작업의 실패 위험성 분석

4.3.3 철근작업

철근공사에 대한 실패 위험성을 분석한 결과는 그림 6에 나타난 바와 같다. 실패발생 가능성 평균 3.71과 실패강도 평균 3.91보다 높게 평가된 세부실패요인은 조직적 원인의 세부요인 O7, O10, O12 3개와 S2, S6, S7 등 현장요인 3개, T1, T2, T3, T5, T6, T7, T9, T10, T11 등 기술적 요인 9가지이다.

철근공사에서 실패발생 가능성이 높고 실패강도가 높은 것에 해당되는 요인들은 조직적 원인에 포함된 세부실패요인이 다수 선정된 거푸집 공사와 달리 '시공오류 및 부실시공(T9)', '시공성을 무시한 설계(T2)' 등 기술적 원인에 포함된 세부실패요인이 가장 실패 위험성이 높은 것으로 분석되었다. 이러한 결과가 나온 이유는 철근공사가 구조체를 구성하는 중요한 공사이기 때문에 단순한 설계도면의 오류나 적합하지 않은 공법이 공사전체에 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 이러한 기술적 원인 외에 조직적 원인에 포함된 세부실패요인 중 '작업자의 책임감 부족(O12)', '관리자/시공자의 능력(기능) 부족(O10)'이 포함된 것도 같은 맥락으로서, 철근공사를 수행하는 주체 대부분이 기능인력으로 구성되어 있어 이들의 능력에 따라 공사의 품질 등이 좌우되기 때문에 이에 대한 실패 위험성이 포함된 것으로 판단된다.

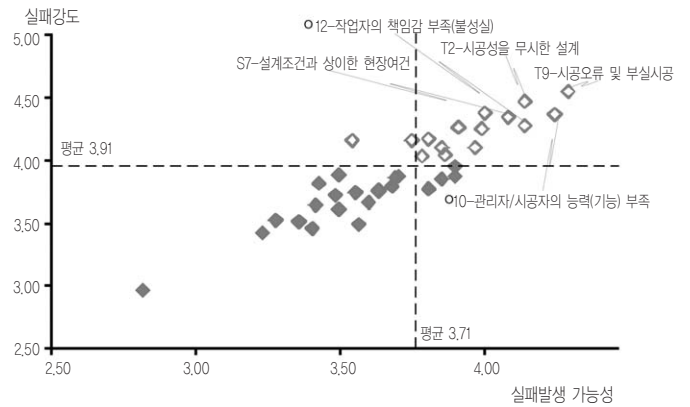


그림 6. 철근공사의 실패 위험성 분석

4.3.4 콘크리트 작업

콘크리트 공사의 실패 위험성을 분석한 결과는 그림 7에 나타난 바와 같이, 평균을 상회하는 세부요인이 조직적 원인에서는 O8, O10, O11, O12, O14, O15 6가지, 현장원인에서는 S2, S7, S8, S9 4가지, 기술적 원인에서는 T2, T5, T7, T8, T9 5가지가 선정되었다.

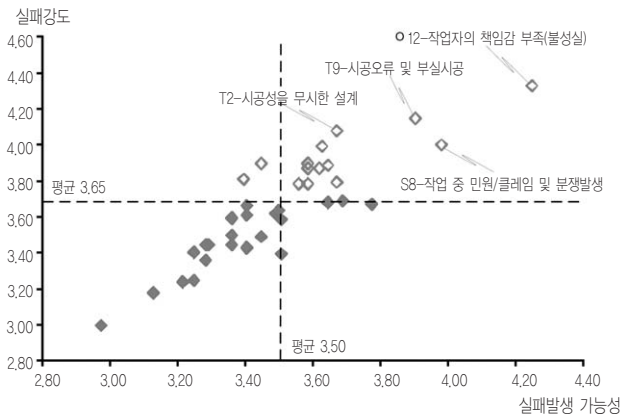


그림 7. 콘크리트 공사의 실패 위험성 분석

4.4 실패 예방성 측정

4.4.1 동바리 작업

그림 8은 동바리 작업에 대한 실패예방 용이성과 실패 예방효과를 평가하여 실패 예방성을 분석한 결과이다. 실패 예방 용이성 평균 3.78과 실패 예방효과 평균 3.83을 넘는 세부실패요인은 조직적 원인에 포함된 세부요인 중 '작업자의 책임감 부족(O14)'과 '표준 업무절차 미흡(O5)'이 선정되었다.

그림 8의 (a) 영역은 실패예방활동이 어려우나 예방에 의한 효과가 높은 요인에 해당되는 것으로서, 실패발생 가능성과 실패강도 등 실패 위험성이 높은 세부요인으로 선정된 항목들이 다수 포함되어 있다. 이는 실패 위험성이 높은 요인은 상대적으로 실패예방을 위한 활동이 다소 어렵다는 것을 의미한다. 따라서, 동바리 작업 시 이에 포함된 세부요인의 철저한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

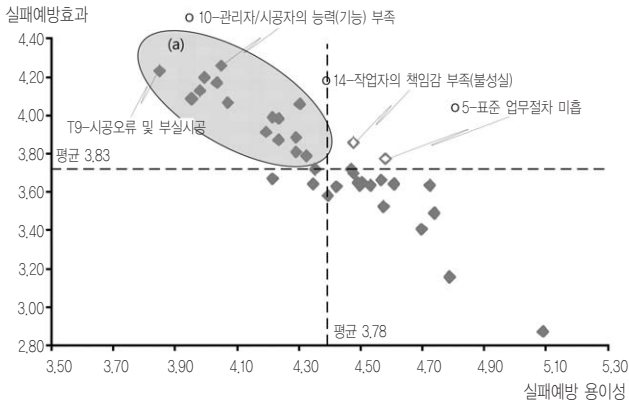


그림 8. 동바리 작업의 실패 예방성 분석

4.4.2 갱 품 등 거푸집 작업

그림 9는 갱 품 등 다양한 거푸집 작업에 대한 실패 예방성을 평가한 것으로서, 실패예방 용이성 평균 4.16과 실패 예방효과 평균 3.94를 넘는 세부실패요인은 ‘열악한 현장관리도구(O4)’, ‘자재조달 지연(O9)’, ‘잘못된 기술교육(S1)’ 3가지 선정되었다.

또한, 동바리 작업과 마찬가지로 예방활동이 어렵지만 예방효과가 큰 세부요인 (a)영역에 포함된 것과 같이, ‘관리자/시공자의 능력(기능) 부족(O10)’ 과 ‘작업자의 책임감 부족(O12)’ 이 선정되었다. 이들 세부실패요인은 그림 5에 나타난 동일한 작업의 실패 위험성 평가결과에서 가장 높은 위험성 항목으로 도출된 요인이다.

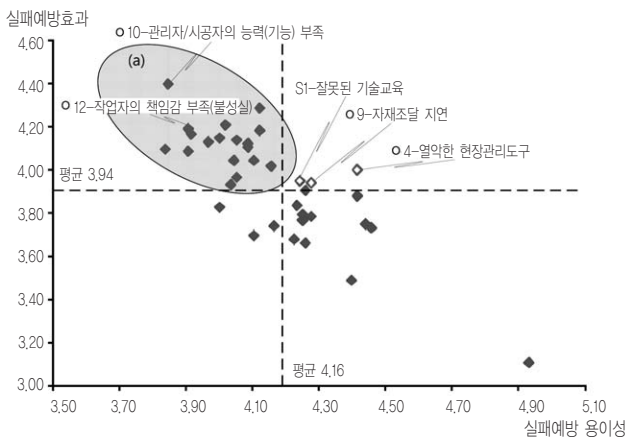


그림 9. 갱 품 등 거푸집 작업의 실패 예방성 분석

4.4.3 철근작업

철근작업에 대한 실패 예방성을 분석한 결과는 그림 10에 나타난 바와 같다. 이를 살펴보면, 실패예방 용이성 평균 4.29, 실패 예방효과 평균 3.81 보다 높은 항목은 조직적 원인에서 O1, O3, O9 등 2가지 요인, 기술적 원인 T5 1개의 요인이 포함되는 것으로 분석되었다. 또한, (a)영역에 포함된 세부실패요인을 살펴보면, 조직적 원인의 ‘관리자/시공자의 능력(기능) 부족(O10)’ 이 실패예방 용이성이 어렵지만 예방효과가 가장 높은 요인으로 선정되었으며, ‘시방서의 정밀도 및 정확도 부족(T10)’, ‘시공오류 및 부실시공(T9)’ 도 실패 예방의 용이성에 비해 효과가 높은 요인으로 선정되었다.

이러한 결과는 철근공사를 수행함에 있어 관리자 및 시공자, 그리고 기능인력의 능력수준에 따라 공사의 품질, 비용, 공기 등에 긍정적 또는 부정적 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서, 철근공사의 경우, 관리자 또는 작업자의 능력에 대한 지속적인 관리·감독과 이를 향상시킬 수 있는 방법을 모색하여 실패발생에 대한 위험성을 사전에 억제하여 예방효과를 극대화 할 필요가 있다.

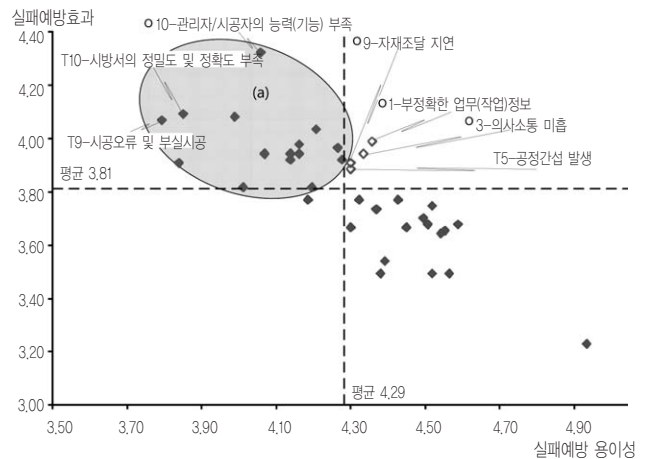


그림 10. 철근작업의 실패 예방성 분석

4.4.4 콘크리트 작업

콘크리트 작업에 대한 실패 예방성을 분석한 결과는 그림 11에 나타난 바와 같다. 먼저, 실패예방 용이성이 높고 실패 예방효과가 큰 영역을 살펴보면, 거푸집 공사의 동바리 작업, 갱 품 등 다양한 거푸집 작업, 철근작업에 비해 많은 요인이 포함되어 있는 것으로 분석되었다.

세부요인으로는 ‘자재의 결함(T4)’, ‘작업 중 민원/클레임 및 분쟁발생(S8)’, ‘장비조달 지연(O8)’ 이 포함되어 있다. 또한, (a) 영역에 포함된 세부요인을 살펴보면, 조직적 원인 중, ‘관리자/

시공자의 능력(기능) 부족(O10), '하도급 관리문제(O11)', '작업자의 책임감 부족(O12)' 등 3가지 항목이 포함되어 있으며, 현장원인에 속한 '시공지식의 부족(S2)', 그리고 기술적 원인의 '시공성을 무시한 설계(T2)', '공정간섭 발생(T5)', '불합리한 공법 선정(T7)', '불합리한 장비 선정(T8)', '시공오류 및 부실시공(T9)' 등이 모두 포함된 것으로 분석되었다. 특히, 이러한 세부요인은 모두 실패발생 가능성과 실패강도 등 실패 위험성이 높은 영역에 속한 요인들이 포함된 것으로서, 이는 실패 위험성이 높은 요인에 대한 예방활동이 어렵지만 예방으로 인한 공기, 공사비, 품질에 대한 효과가 높다는 것을 의미한다.

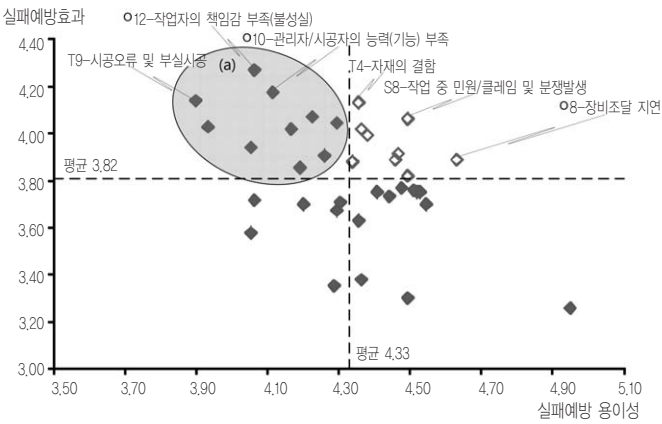


그림 11. 콘크리트 작업의 실패 예방성 분석

4.5 핵심관리요인

거푸집 공사, 철근공사, 콘크리트 공사 등 골조공사 전체에 대해 4.3와 4.4에 서술한 각 작업의 위험성과 예방성을 종합하여 그림 3에 제시한 영역별 관리요인을 도출한 결과는 표 4와 같다.

특히, 핵심관리요인에 해당하는 그룹(1)과 (2)에 대해 구체적으로 서술하면, 먼저 그룹(1)은 기술적 원인에 해당하는 세부실패요인이 가장 많이 포함된 것으로 나타났으며, 대부분 설계와 관련된 원인인 것으로 분석되었다. 이와 같이, 설계와 관련된 실패요인이 위험성이 높은 이유는 설계오류 및 시공성을 고려하지 않은 설계가 빈번하게 발생되고, 이로 인한 공기지연, 비용상승 등의 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 예방성이 낮은 이유는 시공자가 직접 설계와 관련된 업무를 관리하지 못해 이에 대한 대책수립이 어렵기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 그룹(1)에 포함된 실패요인을 제거하기 위해서는 설계자와 시공자 사이에 원활하고 긴밀한 협조가 이루어질 수 있도록 업무체계를 구축할 필요가 있다.

다음으로 그룹(2)는 위험성이 높지만, 예방 용이성과 예방효

과도 역시 높은 그룹으로써, 조직적 원인에 포함된 세부실패요인이 6가지로 가장 많은 것으로 나타났다. 김진대(2005)가 규명한 실패발생 메커니즘에서 조직적 원인은 모든 실패발생의 근본적인 원인이 된다. 이러한 측면에서 조직적 원인은 실패를 예방할 수 있는 가장 중요한 관리요인이 되므로, 이에 대한 관리가 철저히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

표 4. 골조공사의 핵심관리요인

구분	변수명	세부요인	
그룹(1) 위험성 ↑ 예방성 ↓	O7	설계도서의 미확인	
	S7	설계조건과 상이한 현장여건	
	T2	시공성을 무시한 설계	
	T6	과다한 설계변경	
	T7	불합리한 공법 선정	
	T9	시공오류 및 부실시공	
	T10	시방서의 정밀도 및 정확도 부족	
그룹(2) 위험성 ↑ 예방성 ↑	O1	부정확한 업무(작업) 정보	
	O3	의사소통 미흡	
	O10	관리자/시공자 조직의 능력(기능) 부족	
	O11	하도급 관리문제	
	O12	작업자의 책임감 부족(불성실)	
	O14	안전관리 교육 및 인식 미흡	
	S2	시공지식의 부족	
	S8	작업 중 민원/클레임 및 분쟁발생	
	T3	하중애러	
	T5	공정간섭 발생	
	T8	불합리한 장비선정	
	그룹(3) 위험성 ↓ 예방성 ↓	O13	안전시설/장비 관리 미흡
S4		전산시스템에 대한 과신	
S5		설계지식의 부족	
S6		설계변경의 미인지	
S9		장비/설비 임대료 상승	
T1		구조계산 오류	
T11		설계도서 미흡	
T12		건축오류 및 누락	
그룹(4) 위험성 ↓ 예방성 ↑		O2	직무교육 프로그램 부족
		O4	열악한 현장관리 도구
		O5	표준 업무절차의 미흡
		O6	부적절한 조직(작업) 구조
	O8	장비조달 지연	
	O9	자재조달 지연	
	O15	작업자의 동기부여 부족	
	S1	잘못된 기술교육	
	S3	업무절차 변경의 미인지	
	T4	자재의 결함	

5. 결론

건설현장의 한정된 관리자가 건설실패를 유발하는 다양한 원인에 대한 예방대책을 수립하는 것은 한계가 있다. 따라서, 효율적인 건설실패 예방활동이 이루어지기 위해서는 많은 실패원인에 대한 정량적 평가를 통해 우선순위를 정하여 효율적인 예방대책

참고문헌

이 수립되어야 한다. 이에 본 연구는 건설실패를 유발하는 다양한 요인들의 정량적 평가를 통해 핵심관리요인을 선정할 수 있는 방법을 제시하고, 이를 활용한 공동주택 골조공사의 핵심관리요인 분석을 목적으로 하였다. 이를 위해 기존연구에서 이용한 정량적 평가기법 중 FMEA 기법을 활용한 평가방법을 제시하였다.

제조업 분야에서 활용되고 있는 FMEA 기법은 건축분야의 위험성을 평가하는데 충분히 활용가치가 있으며, 발생도와 심각도, 검출도를 평가하여 위험도를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 위험도를 실패 위험성, 그리고 위험성과 상충되는 의미의 실패 예방성으로 분류하여 하였으며, 발생도를 실패발생 가능성과 실패예방 용이성으로, 심각도를 실패강도와 실패예방 효과로 각각 구분하여 평가할 수 있는 방법론을 제시하였다. 또한, 실패 위험성과 함께 예방성을 고려한 관리영역을 그룹(1)~(4)까지 4가지 영역으로 구분하여 제시하였으며, 그룹(1)과 (2)에 포함된 공동주택 골조공사의 핵심관리요인을 도출하였다.

본 연구에서 제시한 건설실패 핵심관리요인 평가방법은 다양한 시설 및 공종을 대상으로 실패를 유발하는 많은 요인 중 핵심적으로 관리가 필요한 요인을 파악하는데 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 본 연구와 유사한 연구를 통해 건설 프로젝트의 생애주기동안 발생하는 실패의 원인을 정량적으로 평가할 수 있는 도구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 위험요인을 정량적으로 평가하여 주요 위험요소를 도출해 낸 기존 연구와 달리 예방의 용이성과 예방효과를 동시에 고려하여 실패예방을 위한 핵심관리요인을 도출했다는 점에서 차별화된다. 그러나, 본 연구는 건설실패가 다양한 건설사업의 모든 업무수행단계에서 발생된다는 점을 고려할 때, 극히 일부분에 대한 내용을 다룬 것으로서, 향후 사업의 특성별, 단계별, 공종별, 지역별 등 실패에 영향을 주는 요인들을 더욱 구체적이고 명확하게 규명하여 정량적인 평가를 할 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 공동주택 골조공사의 핵심관리요인 분석은 전문가들의 의견을 종합하여 제시한 것으로서, 향후 실패사례에 대한 DB 구축 및 통계적 방법을 활용한 정량적 평가 방법 제시를 통해 건설산업에서의 지속적인 활용이 가능한 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0018054)

- 강인석·김창학·곽중민 (2001). “건설공사단계별 리스크 인자 중요도에 관한 현황분석.” 대한건축학회논문집, 제17권 제8호, pp.103~110
- 고성석·송혁·이한민 (2005). “재해사례와 위험도 지수를 활용한 건축공사 안전정보 시스템 개발.” 대한건축학회논문집, 제21권 제6호, pp.113~120
- 김용성 (2002). “건설업에서의 시공FMEA적용 방안 연구”, 한국건설관리학회 정기학술발표대회논문집, pp.271~274
- 김진대 (2005). 실패 매커니즘 분석을 활용한 건설실패 조사시스템 구축에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위 논문
- 김호기 (2011). “U-City 사업 계획단계에서의 핵심 리스크 요인 도출.” 한국건설관리학회 논문집, 제12권 제4호, pp.139~148
- 박용성·오치돈·전용석·박찬식 (2008). “사례기반추론을 이용한 웹 기반 건설실패사례 정보시스템.” 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제6호, pp.257~267
- 박찬식·전용석·신영환·장내천 (2003). “건설실패정보 분류체계 구축에 관한 연구.” 한국건설관리학회 논문집, 제4권 제1호, pp.97~105
- 박창욱 (2007). 구조체 공사의 실패사례 분석을 통한 지속적인 시공 프로세스 개선방안, 중앙대학교 석사학위논문
- 유정호·송지원·김창덕 (2008). “FMEA를 활용한 중점안전관리 항목 도출방안.” 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제6호, pp.185~193
- 신규호·김재준 (2002). “국내개발사업 사전기획단계에서의 효율적 리스크 관리를 위한 리스크 인자 중요도에 관한 연구.” 한국건설관리학회 논문집, 제3권 제2호, pp.75~86
- 이현철·신석배·홍주현·고성석 (2009). “VE기반 공동주택 개발사업 리스크 평가에 관한 연구.” 한국건설관리학회 논문집, 제10권 제4호, pp.14~25
- 이현철·이진·여상구·고성석 (2009). “위험도 기반 건설경영 리스크 평가에 관한 연구.” 한국건설관리학회 논문집, 제10권 제3호, pp.82~91
- 장내천(2002). 건설실패 정보시스템 구축에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문
- 전용석·김진대·박찬식 (2005). “건설실패의 발생원인 분석에 관한 연구.” 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제25권 제1호, pp.507~510
- 전용석·박찬식 (2005). “건설실패정보를 활용한 프로세스의 지속적 개선모델의 개념적 틀에 관한 연구.” 한국건설관리학회

논문집, 제6권 제1호, pp.195~204

정지덕 (2011), FMEA 기법을 이용한 병원프로젝트 설계변경 주요 요인 위험도 분석, 중앙대학교 석사학위논문

홍영탁 (2004), “FMEA를 이용한 초고층 건축시공의 공기영향요인 평가”, 대한건축학회논문집, 제20권 제10호, pp.183~192

Bell, Glenn R (1985). “Failure Information Needs in Civil Engineering.” Reducing Failures of Engineered Facilities, ASCE, pp.44~65

Carper, Kenneth L (1987). “Structural Failures during Construction.” Journal of Performance of Construction Facilities, ASCE, 1(3), pp.132~144

FitzSimon, Neal (1985). “Notes on Statistics of Failures of Constructed Works.” Reducing Failures of Engineered Facilities, ASCE, pp.11~13, 1985

FitzSimon, Neal (1986). “Facing Failures: Alleged or Actual.” Management Lessons from Engineering Failures, ASCE, pp.1~5

Hadpriono, Fabin (1985). “Analysis of Events in Recent Structural Failures.” Journal of Structural Engineering, ASCE, 111(7), pp.1468~1481

Kaminetzky, D (1991). Design and Construction Failures—Lessons from Forensic Investigations, McGraw-Hill

Stamatis, D. H. (1997). TQM Engineering Handbook, McGraw-Hill, pp.590~600

Thornton, C, H (1985). “Failures Statistics Categorized by Cause and Generic Class.” Reducing Failures of Engineered Facilities, ASCE, pp. 14~23

The Technical Council on Forensic Engineering of ASCE (1989). Guidelines for Failure Investigation, ASCE

Wardhana, Fabin (2003). “Study of Recent Building Failures in the United States.” Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, 17(3), pp.151~158

중앙대학교 건설실패연구회(<http://www.contil.org>)

논문제출일: 2011.12.19
 논문심사일: 2011.12.23
 심사완료일: 2012.02.02

요 약

국내의 건설실패 관련 연구는 체계화된 실패정보 분류체계 및 실패정보의 활용을 위한 방안을 제시하는 것에 초점을 맞추고 있다. 그러나, 건설현장의 한정된 관리자가 건설실패를 유발하는 다양한 원인에 대한 예방대책을 수립하는 것은 한계가 있다. 따라서, 효율적인 건설실패 예방활동이 이루어지기 위해서는 많은 실패원인에 대한 정량적 평가를 통해 우선순위를 정하여 효율적인 예방대책이 수립되어야 한다. 이에 본 연구는 정량적인 평가를 통해 실패를 유발하는 핵심관리요인을 도출할 수 있도록 FMEA(Failure Mode and Effect Analysis) 기법을 활용한 건설실패 핵심관리요인 선정방법을 제시하고, 공동주택 골조공사를 대상으로 핵심관리요인을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 FMEA 기법의 위험도를 실패 위험성과 예방성으로 구분하여 평가할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제시한 핵심관리요인 평가방법은 건설실패의 사전예방대책을 효율적으로 수립하는데 활용될 수 있으며, 향후 유사한 연구를 통해 프로젝트 수행 단계별 혹은 다양한 시설 및 공종에 대한 핵심관리요인을 도출하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 건설실패, FMEA기법, 골조공사, 공동주택, 핵심관리요인