

# 건설프로젝트의 품질결함의 발생요인간 상관분석

지성준<sup>1</sup> · 차용운<sup>1</sup> · 한상원\*

<sup>1</sup>서울시립대학교 건축공학과

## A Correlation Analysis of Influence Factors of Nonconformity in Construction Projects

Chi, Sungjoon<sup>1</sup>, Cha, Yongwoon<sup>1</sup>, Han, Sangwon\*

<sup>1</sup>Department of Architectural Engineering, University of Seoul

**Abstract :** Construction defects are major components that result in cost overruns and schedule delays in construction projects. There have been extensive research efforts to investigate the cause of defects. However, little effort has been devoted to analyze correlation among various reasons of construction defects while a defect is not usually an outcome of a single cause, but rather occurs when several interrelated causes combine. Based on this recognition, this paper analyzes 831 nonconformity reports collected from 30 construction projects in Korea from 2011 to 2014. The correlation analysis revealed that a significant portion of construction defects occurred in the procurement and construction phase and as the pattern of function defect and installation defect. Triggered by human error, defective material and faulty method, these defects are treated by concession, repair, rework that can significantly lower the cost and schedule performance. This paper is significant in terms of providing a theoretical basis for analyzing correlation among various reasons of construction defects and quantitative measures for establishing effective defect prevention strategies.

**Keywords :** Nonconformity, Influence Factors, Correlation Analysis, Construction Defects

### 1. 서론

건설 프로젝트의 수행에 있어 공사비의 증가와 공사기간의 지연은 건설 프로젝트의 성능 향상을 위한 그간의 다양한 연구와 노력에도 불구하고 건설 산업 전반에 걸쳐 지속적으로 발생하고 있다(Park and Pena-Mora 2003). 건설 프로젝트의 성능을 저하시키는 많은 요인들이 존재하지만, 이 중에서도 재작업(rework)은 공사비 증가의 52%와 공사기간 지연의 22%를 차지할 만큼 건설프로젝트의 성능을 저하시키는 가장 주된 요인 중 하나로 알려져 있다 (Love and Edward 2004). 미국 건설산업연구원에 따르면 재작업으로 인하여 발생하는 직접적인 비용은 총 공사금액의 약 5%에 이른다고 하며(CII 2005), 재작업으로 인해 발생하게 되는 생산성 저하, 클레임 발생 및 처리 등의 간접적인 비용까지 고려하면 이는 직접적

인 비용의 약 5배까지 달한다고 한다(Love 2002).

재작업은 주로 설계와 시공단계에서 발생하는 결함(defect)으로 인해 발생한다. 설계 및 시공결함을 미연에 방지하여 재작업으로 인한 공기지연 및 공사비초과를 예방하기 위해서는 무엇보다도 설계 및 시공결함을 유발시키는 원인들을 조기에 발견하고 이를 제거하는 것이 필수적이다 (Cooper 1993, Rodrigues and Bowers 1996, Love et al. 2009). 이러한 인식하에 건설프로젝트의 품질결함을 일으키는 원인을 분석하려는 연구들이 그간 해외에서는 다수 수행되었다 (Burati et al. 1992, Chan and Kumaraswamy 1997, Josephson and Hammarlund 1999, Busby and Hughes 2004, Love et al. 2008, Love et al. 2009, Love et al. 2010).

설계 및 시공결함의 원인을 적극적으로 규명해 온 해외와는 달리, 국내에서는 그간 설계 및 시공결함에 대한 연구가 충분히 이루어지지 못했다. 이는 국내 건설 산업의 설계 및 시공능력이 해외 건설산업보다 우수해서라기보다는 결함에 대한 체계적인 자료의 수집 및 기록이 이루어지지 않았기 때문이다(황본강 2007). 이는 건설기업이 프로젝트 수행과정 상에서 발생한 자신들의 실수나 오류가 외부에 공개됨으로

\* Corresponding author: Han, Sangwon, Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

E-mail: swan@uos.ac.kr

Received October 30, 2014; revised January 20, 2015

accepted February 6, 2015

인해 해당 기업의 이미지 실추 및 향후 프로젝트의 수주에 악영향을 끼칠 수도 있다는 부정적인 인식이 만연하였기 때문이기도 하지만, 또 한편으로는 결함의 원인 및 방지대책, 프로젝트 성능에 대한 악영향을 체계적으로 분석할 수 있는 방법론의 부재에 기인한다고 할 수 있다. 실제로 대다수의 설계 및 시공회사들은 그들이 프로젝트 수행과정에서 얼마나 많은 결함들이 어떠한 이유로 발생하는지 효율적으로 측정하고 분석할 만한 방법론을 갖추지 못하고 있으며, 이로 인해 효과적인 설계도서 및 시공성의 검토가 이루어지지 못하고 있다(Rounce 1998, Love et al. 2003). 이러한 이유로 대다수의 프로젝트에서 설계 및 시공결함은 즉각적으로 인식되지 못하고, 비교적 오랜 시간이 지난 후에야 발견되어, 건설프로젝트의 성능에 더욱 큰 악영향을 가져오고 있다.

이에 본 연구에서는 건설프로젝트의 품질결함을 유발시키는 발생요인을 체계적으로 분석하여 건설품질개선을 위한 방안을 모색하고자 한다. 특히, 품질결함은 하나의 독립적인 원인에 의해서보다는 주로 다수의 서로 상관성이 높은 원인들이 결합되어 발생한다는 점에 의거하여(Love et al. 2009), 건설프로젝트의 품질결함 요인간의 상관관계를 분석하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 국내 S건설에서 2011년부터 2014년까지 시행한 30개의 건설 현장에서 수집된 1,241건의 부적합보고서(Nonconformity Report, 이하 NCR)를 토대로 품질결함 요인간의 상관관계를 분석하고자 한다. 수집된 데이터에 의거해서 분석될 수 있는 상관관계와는 달리 원인과 결과간의 논리적 관계를 입증하는 인과관계분석은 데이터의 통계적 처리만으로는 입증할 수 없다. 즉, 인과관계의 분석에는 수집된 데이터의 배후에 있는 기술적 지식이 요구되므로, 본 연구에서는 데이터의 통계적 처리를 기반으로 한 상관관계에 초점을 두어, 건설품질결함의 발생원인 및 유형을 분석하고자 한다.

## 2. 예비적 고찰

건설품질결함의 발생원인 및 유형을 분석하기에 앞서 선행 연구고찰을 실시하였다. 선행연구는 크게 품질 결함의 발생원인 규명, 건설프로젝트의 품질 결함이 프로젝트의 성능에 미치는 영향 분석, 그리고 품질관리 시스템의 개선방안 등으로 이루어져 왔음을 알 수 있었다.

이상현 외(1996)의 연구에서는 건설공사의 하자분석을 통하여 효과적인 품질관리를 위한 중점항목을 도출하였다. 주로 건설공사의 PDCA 사이클(Plan-Do-Check-Action)을 중심으로 하자 항목을 분석하고, 중요도를 산정하여 중점관리 항목을 제안하였다.

최재원 외(2005)의 연구에서는 인적요인에 따라 품질이 좌우되는 건설프로젝트의 특성을 고려하여 품질관리 방안을 개

선하고자 하였다. 전문가면담 및 설문조사를 통하여 인적자원관리(Human Resource Management)의 관점에서 품질향상을 위한 요소들을 제안하였다.

박용금(2007)은 공동주택프로젝트의 공중별 하자발생에 관한 연구를 진행하였다. 건축, 설비, 전기 공사로 구분하여 각 공중별 하자 유형 및 발생원인 분석결과를 토대로 예방대책을 제안하였다.

Love et al.(2009)의 연구에서는 건설프로젝트에서 발생하는 누락 오류(Omission Error)에 대한 원인 규명을 실시하고 이에 대한 영향을 분석하였다. 이를 기반으로 누락 오류를 유발하는 복잡한 요인간의 인과지도를 작성하고 이를 토대로 누락 오류의 효율적인 관리방안을 제안하였다.

Aljassmi and Han(2013)의 연구에서는 Fault Trees 와 Risk Importance Measures 기법을 사용하여 건설프로젝트의 결함에 대한 원인과 영향을 정량적으로 분석하였다.

Aljassmi and Han(2014)은 건설프로젝트의 결함 발생 메커니즘 분석을 위한 방법론을 제안하였다. 품질결함 원인들간의 인과관계를 분석하여 사회연결망분석(Social Network Analysis)을 사용하여 상호간에 미치는 영향을 정량적으로 제시하였다.

이규선 외(2005)의 연구에서는 중·소규모 건설회사의 품질관리 방법을 개선하고자 하였다. 이에 국내 건설 현장의 품질관리 실태를 분석하고 설문조사를 토대로 개선방안을 제안하였다.

배대권(2005)은 ISO9000에 기반하여 부적합 유형분석을 통해 건설프로젝트의 품질관리개선 방안을 제안하였다. 부적합 활동이 많이 발생하는 PDCA 사이클을 분석하고, 빈도별로 개선방안을 도출하였다.

박형근(2011)은 ISO9000s에 기반하여 품질관리에 소요되는 비용을 측정하고, 이를 기반으로 품질관리 활동을 개선하고자 제안하였다.

## 3. 부적합 현황 분석

### 3.1 사례 프로젝트

본 연구에서는 건설프로젝트에서 발생하는 부적합 발생요인간 상관관계를 도출하기 위하여, S건설에서 2011년부터 2014년까지 시행한 30개의 건설 현장에서 수집된 1,241건의 부적합보고서(Nonconformity Report, 이하 NCR)를 심층분석 하였다(Table 1).

사례 프로젝트의 발주방식은 DBB방식이 15건, D/B 방식 14건, T/K 방식이 1건이었다. 공사비의 규모는 181억에서 7,720억으로 프로젝트별 평균 1,772억이었다. 시설물 별로 구분하면 연구소시설 8건, 공장시설 7건, 문화집회시설 5건, 병원시설 3건, 업무시설 3건, 주거시설 2건, 학교시설 2

건이었다. 공사유형별로 구분을 하면 신축이 25건으로 가장 많았으며, 개보수 2건, 개축, 증축, 변경이 각 1건 이었다. 공사기간은 6개월부터 68개월로 평균 26개월의 공사기간을 보였고, 공사기간은 주로 공사유형별, 시설물별로 상당한 차이를 보여주었다. 예를 들어, 26번 프로젝트는 공사기간이 6개월로 개보수(리모델링) 프로젝트라는 특성상 다른 사례 프로젝트에 비하여 상당히 짧은 공사기간을 갖았으며, 2번과 5번의 문화집회시설 프로젝트는 건물형태 및 구조의 복잡성 등으로 인하여 상대적으로 공사기간이 긴 것으로 나타났다.

Table 1. Sample Projects

Project Number	Delivery System			Facility Type	Duration (Month)	Construction Type
	DBB	D/B	T/K			
1	●			Factory	19	Renovation
2		●		Theater	44	New
3	●			Laboratory	37	New
4	●			Laboratory	*	Alteration
5		●		Theater	48	New
6	●			Factory	26	New
7	●			Laboratory	19	New
8		●		Laboratory	25	New
9		●		Theater	38	New
10		●		Office	24	New
11	●			Laboratory	30	New
12			●	Theater	8	New
13		●		Theater	33	New
14		●		School	24	New
15		●		Hospital	30	New
16		●		Office	22	New
17	●			Hospital	68	New
18	●			Housing	18	New
19	●			Hospital	31	New
20	●			Factory	27	New
21		●		Theater	15	New
22	●			Laboratory	15	New
23		●		Office	23	New
24		●		Laboratory	25	New
25	●			Factory	23	Addition
26	●			Housing	6	Renovation
27	●			Sports Complex	12	Reconstruction
28		●		Office	36	New
29		●		Laboratory	6	New
30	●			School	19	New

### 3.2 공종별 부적합사례 현황

본 절에서는 앞에서 설명한 30개 사례 프로젝트에서 발생한 1,241건의 부적합보고서를 분석한다. 1,241건의 부적합보고서는 보다 체계적이고 효과적인 분석을 위하여 건축, 기계설비, 토목, 전기, 조경 등 공종별로 구분하여 심층 분석되었다. 공종별로는 건축공종에서 831건(67%), 기계설비공종에서 211건(17%), 토목공종에서 96건(7.7%), 전기공종에서 88건(7.1%), 조경공종에서 15건(12%)의 부적합보고서가 발생하였다(Table 2).

Table 2. Proportion of NCR Samples

Project	Architecture	Mechanical Equipment	Civil	Electric	Landscape
1	67	115	1	51	0
2	179	37	0	2	4
3	84	5	0	8	0
4	94	0	1	0	0
5	50	0	41	0	2
6	17	13	0	9	0
7	35	0	2	0	0
8	32	0	4	0	0
9	34	0	0	1	0
10	33	2	0	0	0
11	27	3	0	5	0
12	10	23	0	0	0
13	4	0	19	0	9
14	26	1	0	0	0
15	17	0	5	0	0
16	16	3	1	1	0
17	20	0	0	0	0
18	16	1	0	0	0
19	11	0	5	0	0
20	13	0	0	1	0
21	6	3	0	5	0
22	0	0	14	0	0
23	3	4	0	5	0
24	12	0	0	0	0
25	8	1	0	0	0
26	6	0	2	0	0
27	5	0	0	0	0
28	4	0	1	0	0
29	1	0	0	0	0
30	1	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>831</b>	<b>211</b>	<b>96</b>	<b>88</b>	<b>15</b>
<b>Ratio</b>	<b>67%</b>	<b>17%</b>	<b>7.7%</b>	<b>7.1%</b>	<b>1.2%</b>

1번 사례 프로젝트의 경우 기계설비공종에서 115건, 건축공종에서 67건, 전기공종에서 51건의 부적합이 발생되었는데 이는 사례 프로젝트가 공장 개보수 현장이라는 특성상 복잡한 기계설비와 전기설비가 포함되었기 때문이다.

반면 2번 프로젝트에서는 주로 부적합이 건축공종에서 179건, 기계설비공종에서 37건이 발생하였다. 이는 2번 프로젝트가 곡률이 크고, 곡면이 많은 비정형의 문화집회시설로, 다른 사례 프로젝트와는 달리 프로젝트의 복잡성과 난이도가 매우 높았기 때문이다.

4번 사례 프로젝트는 해당 프로젝트에서 발생한 전체 95개 부적합 사례 중 94건의 부적합이 건축공종에서 발생되었다. 이는 공사유형의 변경으로 신축공사와는 다르게 기존의 기계설비를 그대로 유지하며 건축공종만을 변경했기 때문이다.

13번과 22번 프로젝트에서는 토목공종에서 각각 19건, 14건의 부적합이 발생하였는데, 13번 프로젝트는 부지특성으로 인하여 토목공사의 비중이 크며, 14번 프로젝트는 부적합보고서 제출당시 공정상 토공사 진행중으로 인해 토목공종에서 상대적으로 많은 부적합이 발생하였다.

본 논문에서는 제한된 지면으로 인해 전체 1,241건의 부적

합사례 중 67%를 차지하고 있는 건축공중 부적합사례 831건을 집중분석하여 부적합 발생원인들 사이의 상관관계분석을 실시하였다.

### 3.3 부적합보고서의 작성

부적합보고서는 부적합 사례의 발생부터 처리까지의 전반적인 정보를 수집하기 위해 각 사례의 발생 공중, 발생단계, 기인원인, 처리방안 등을 토대로 부적합사례의 구체적인 내용을 기록하고 있다.

부적합보고서는 경험이 풍부한 품질관리자에 의해 정확성(correctness), 완전성(completeness), 명료성(clearness), 그리고 간결성(conciseness)라는 4C의 원칙을 갖고 작성되었다. 정확성(correctness)은 부적합사례에 대한 규정된 요구사항을 분명히 명시하여야 하며, 명시된 요구사항과 벗어난 부적합 내용에 대한 객관적인 비교를 할 수 있도록 작성되어야 함을 의미한다. 완전성(completeness)은 부적합 내용이 반드시 사실(fact)에 근거하여야 하고, 부적합의 객관적 증거가 제시되어야 함을 의미한다. 명료성(clearness)은 각각의 부적합 사례는 육하원칙(5W1H)에 의거하여 그 내용을 명확히 알 수 있도록 기술하여야 함을 의미한다. 마지막으로, 간결성(conciseness)은 부적합 사례의 기록은 내용의 중복 없이 간결하게 작성해야 하는 것을 의미한다.

발생공중은 해당 부적합 사례가 발생한 공중으로 건축, 기계설비, 토목, 전기, 조경으로 분류된다. 앞서 언급한 바와 같이, 30개의 사례 프로젝트를 통하여 1,241건의 부적합 사례가 발생하였고, 지면의 제약으로 인해 831건의 건축공중 부적합 사례를 심층분석 하였다.

발생단계는 해당 부적합 사례가 발생한 단계로 설계, 조달, 시공, 시험 및 검사로 분류된다. 건축공중 831건의 부적합 사례는 설계단계에서 35건(4.2%), 조달단계에서 107건(12.9%), 시공단계에서 640건(77%), 그리고 시험 및 검사단계에서 49건(5.9%)이 발생하여 시공단계에서 가장 많은 부적합 사례가 발생하였고, 설계단계에서 가장 적은 부적합 사례가 발생함을 알 수 있다. 이는 결함이 발생하는 여러 단계(Layer) 중에서 가장 직접적인 원인을 나타낸 결과로, 설계단계에 발생하는 결함의 원인에 대해 추가적인 원인구명이 필요하다.

기인원인은 해당 부적합 사례가 발생된 원인으로 사람(Man), 자재(Material), 방법(Method), 장비(Machine), 환경(Environment)으로 분류하고 이를 총칭하여 4M1E라 부른다. 건축공중 831건의 부적합 사례는 사람 485건(58.3%), 자재 133건(16%), 방법 206건(24.8%), 장비 7건(0.8%), 환경 0건으로 구성되었다. 이는 부적합의 발생이 주로 사람이나 공법에 의해 발생함을 의미하고, 이는 제조업에 비해 기계화나 자동화의 비율이 낮은 건설업의 품질이 조악한 이유와 청년층의 건설업 기피현상으로 인한 숙련공 부족 및 작업자 고령

화 등의 이유를 뒷받침 해준다고 할 수 있다.

처리방안은 해당 부적합 사례에 대한 처리방안으로, 특채(Concession), 수리(Repair), 재작업(Rework), 재등급부여(Regrade), 폐기(Scrap), 반송(Return)으로 분류된다. 특채(Concession)는 규정된 요구사항에 적합하지 않은 제품을 사용하거나 불출하는 것에 대한 서면 승인을 의미한다. 수리(Repair)는 원래의 규정된 요구사항에는 적합하지 않지만 사용상의 요구사항을 충족하기 위하여 부적합 제품에 대하여 취하는 조치를 말한다. 재작업(Rework)은 규정된 요구사항을 충족시키기 위하여 부적합 제품에 취해지는 조치를 말한다. 재등급부여(Regrade)는 최초 요구사항과 다른 요구사항에 적합하도록 부적합 제품에 대한 등급을 변경하는 것을 말한다. 폐기(Scrap)는 부적합 제품에 대해 원래의 의도된 용도로 쓰이지 않도록 취하는 조치이다. 반송(Return)은 현장에 반입된 제품이 요구조건과 상이하여 현장에서 납품업체로 반출시키는 경우를 말한다.

건축공중 831건의 부적합 사례는 특채처리가 15건(1.8%), 수리가 347건(41.7%), 재작업이 402건(48.3%), 재등급부여가 1건(0.1%), 폐기처리가 57건(6.8%), 반송처리가 9건(1%)으로 구성되었다. 이는 현장에서 부적합 사례가 발생하면 주로 재작업이나 수리 등을 통해 처리되어 부적합의 발생으로 인해 상당한 양의 추가적인 비용과 시간이 소요됨을 알 수 있었다.

## 4. 부적합 영향 요인간 상관관계 분석

본 장에서는 건설품질결함의 발생 원인 및 유형을 분석하기 위해 앞서 조사한 831건의 건축공중 부적합 사례를 토대로 발생단계, 발생현상, 기인원인(4M1E), 처리방안들 간 상관관계를 분석하고자 한다.

### 4.1 상관분석

상관분석은 두 변수가 어느 정도 밀접한 관계를 가지고 있는지를 정량적으로 측정하는 분석방법이다. 예를 들어,  $x$ 와  $y$ 라는 2개의 변수가 있을 때  $x$ 의 변화에 따른  $y$ 의 변화정도를 상관관계라고 한다. 이 때,  $x$ 가 증가하면  $y$ 도 증가하는 관계를 양(+의 상관관계),  $x$ 가 증가하면  $y$ 는 감소하는 관계를 음(-의 상관관계)이라고 한다. 어느 쪽의 관계도 보이지 않을 경우 무상관이라고 한다.

$x$ 와  $y$ 의 2개 변수 사이에 상관관계를 정량적으로 측정하기 위하여 상관계수가 활용된다. 상관관계는 통상  $r$ 이라는 기호로 표기되고, 다음 식을 이용하여 계산된다.

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{Var(X)} \sqrt{Var(Y)}} \quad (1)$$

- \*  $\sigma_x$  : X의 표준편차(Standard Deviation)
- \*  $\sigma_y$  : Y의 표준편차(Standard Deviation)
- \*  $\sigma_{xy}$  : X, Y의 공분산(Covariance)

상관계수 r은 -1에서 1까지의 값을 취하며, 두 변수간의 상관도는 상관계수의 절대값  $|\gamma|$ 로 평가하며, 1에 가까울수록 두 변수간의 상관관계가 강하다는 것을 의미한다. 상관관계의 강약을 판단하는 기준은 다음 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} 0.8 \leq |\gamma| & : \text{강한상관관계} \\ 0.6 \leq |\gamma| \leq 0.8 & : \text{상관관계있음} \\ 0.4 \leq |\gamma| \leq 0.6 & : \text{약한상관관계} \\ |\gamma| \leq 0.4 & : \text{상관관계없음} \end{aligned} \quad (2)$$

## 4.2 건축공종 상관분석

앞서 분석한 부적합보고서를 토대로 건축공종에서 발생한 부적합 사례의 발생단계, 발생현상, 4M1E, 처리방안에 대한 상관분석을 실시하였다(Table 3).

우선 발생단계 간 상관계수를 살펴보면 조달단계와 시공단계가 0.81의 강한 상관이 있으며, 설계단계와 조달단계가 0.63, 설계단계와 시공단계가 0.61로 나타났다. 이러한 결과는 조달단계에서 발생한 자재의 결함이 시공단계의 결함으로 이어질 수 있음을 시사하고 있다. 또한 설계단계에서 자재의 요구사항 부정확, 설계오류, 설계결함 등이 발생할 경우 조달단계와 시공단계로 이어져 결함이 발생될 수 있음을 나타낸다.

다음으로 발생현상 간 상관계수를 살펴보면 기능결함과 시공결함이 0.87로 가장 높은 상관성을 나타내고 있다. 이러한 이유는 시공 시 발생하는 결함으로 인하여 요구된 기능을 충족시키지 못 하여 결함이 지속적으로 발생되어 하자로 전이될 수 있음을 나타낸다. 또한 마감손상, 외관변형, 기능결함, 시공결함의 상관계수는 0.66~0.79로 비교적 높게 나타났다. 이는 하나의 결함이 발생할 경우 또 다른 결함으로 이어질 수 있어, 포괄적이고 종합적인 품질관리의 중요성을 시사하고 있다고 할 수 있다.

기인원인인 4M1E 간 상관계수를 살펴보면 사람과 자재는 0.83, 사람과 방법은 0.84의 상관도가 있는 것으로 분석되었다. 이는 건설업의 특성상 사람이 자재를 활용하여 특정한 공법에 따라 시공을 하는 과정과 사람이 자재를 제작하는 과정에서 많은 결함이 발생하는 것으로 볼 수 있다. 이는 자동화나 기계화의 정도가 상대적으로 낮은 건설업의 품질이 조악한 이유와 청년층의 건설업 기피현상으로 인한 숙련공 부족 및 작업자 고령화 등의 이유를 뒷받침 해준다고 할 수 있으며, 결함을 줄이기 위하여 사람(노무자)에 대한 관리의 중요성을 시사한다고 볼 수 있다. 또한 자재와 방법은 0.8의 상관도가 있는 것으로 분석되었는데, 이 또한 양질의 자재의 조달

에 문제가 발생할 경우 시공방법의 변경 또는 설계변경 등으로 인한 자재, 공법 등이 변경됨에 따라 결함이 발생할 수 있음을 보여준다.

부적합 처리방안 간 상관분석결과 특채와 수리가 0.8, 재등급부여와 반송이 0.88로 높은 상관도를 나타냈다. 규정된 요구조건에 적합하지 않은 사항에 대하여 특채를 통하여 승인하고, 이에 대한 조치를 취하는 것이 수리로 정의됨에 따라 부적합 발생시 비용과 시간을 줄일 수 있는 가장 빠른 처리방안을 선택적으로 활용되고 있다고 볼 수 있다. 재등급부여는 최초 요구사항에 적합하도록 등급을 변경하는 것으로 등급변경을 통하여 부적합이 해결이 되지 않을 경우 반송을 하게 됨에 따라 높은 상관도가 나타나는 것으로 분석되었다.

다음 항에서는 발생단계, 발생현상, 4M1E, 처리방안 간의 상관관계에 대하여 심층 분석을 실시한다.

### 4.2.1 발생단계와 발생현상간의 상관분석

발생단계와 발생현상의 상관분석 결과는 조달단계와 시공결함이 0.91, 시공단계와 시공결함이 0.97의 상관도가 있는 것으로 분석되었다. 이는 조달단계에서 자재조달의 지연, 자재의 부적합, 자재의 파손, 미승인 자재 사용 등으로 인해 시공결함이 발생할 수 있음을 시사한다.

시공단계와 기능결함은 0.92로 높은 상관도를 보이고 있는데, 역시 시공단계에서 가장 많은 결함이 발생됨을 시사하고 있다. 현장에서는 조달, 시공단계에서 결함을 줄이기 위한 노력을 하고 있으나, 발생 원인들에 대한 인과관계를 명확하게 규명하지 못 하여 지속적으로 결함이 발생된다고 볼 수 있다. 따라서 조달단계, 시공단계에서 발생한 결함들을 분석하고, 이를 유발시키는 원인들의 인과관계를 분석하여 사전에 결함을 줄일 수 있는 방안을 모색하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

다음으로 시험 및 검사 단계는 외관변형 발생과 0.93의 상관도를 보이고 있다. 이는 외부 마감 등에 대한 시험 및 검사를 실시하면서 눈에 보이는 결함들을 찾아내고 이에 대한 조치를 취하면서 발생하는 것으로 볼 수 있다.

### 4.2.2 발생단계와 기인원인간의 상관분석

먼저 조달단계와 사람의 상관도는 0.83, 시공단계와 사람의 상관도는 0.98로 아주 높은 상관관계를 보였다. 이는 노동 집약적인 건설업의 특성상 많은 결함이 사람에 의해서 발생하고 있음을 나타내고 있다. 또한 공사의 연속성으로 인하여 조달단계와 시공단계에서 지속적으로 사람에 의한 결함이 발생한다고 볼 수 있다.

조달단계와 자재는 0.85, 시공단계와 자재는 0.83, 시험 및 검사단계와 자재는 0.85로 설계단계를 제외한 모든 단계에서 자재에 의한 결함이 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

자재에 의한 결함의 발생은 요구 성능미달, 자재조달지연,

자재의 파손 등에 따라 발생된다고 볼 수 있다. 하지만 설계 단계와 자재의 상관도는 0.61으로 다른 단계에 비하여 상대적으로 낮은 상관도를 보이고 있다. 그러나, 설계단계에서 정해지는 자재의 스펙에 의해 결함이 발생 할 수 있기 때문에, 설계단계에서부터 결함을 줄이기 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 시공단계와 방법의 상관도는 0.92로 높은 상관관계가 있다. 이는 시공단계에서 발생하는 자재의 변경, 설계 변경에 의한 공법의 변경, 시공 시 노동자의 절차서 미 준수, 경험에 의한 습관적 시공 등의 영향으로 결함이 발생된다고 볼 수 있다.

4.2.3 발생단계와 처리방안간의 상관분석

조달단계와 처리방안의 상관분석 결과 특채 0.85 , 수리 0.77, 재작업 0.87, 재등급 부여 0.87, 반송0.8의 상관도로 상관도가 높음을 볼 수 있다. 이는 조달단계에서 부적합 발생 시 처리할 수 있는 대안들이 다양함을 시사한다. 따라서 시공 단계로 넘어가기 전에 자재, 장비 등에 대한 결함에 대해 사전에 분석하고 이에 대한 비용, 시간을 고려하여 처리방안을 결정하여야 할 것으로 판단된다.

시공단계는 특채 0.81, 수리 0.94, 재작업 0.9로 나타났다. 시공단계에서의 처리방안은 조달단계와는 다르게 특채, 수리, 재작업으로 재등급 부여, 반송은 상대적으로 낮은 상관도를 보이고 있다. 이는 시공단계에서 할 수 있는 처리방안은 주로 많은 비용과 오랜 시간이 소요되는 수리와 재작업에 국한되고 있어 시공단계에서의 결함발생이 프로젝트의 성능에 상당한 수준의 악영향을 미치는 것을 의미한다. 따라서, 시공 단계의 수리 및 재작업에 기인하는 결함의 위험(Risk)을 정확히 측정하고 분석하여 적기에 조치가 되어 프로젝트 성능에

대한 악영향을 최소화 하고 사전에 예방할 수 있는 방지대책 수립이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 시험 및 검사단계에서는 폐기와의 상관도가 0.99로 매우 높게 나타났다. 이는 주로 시험 및 검사단계에서 결함 발생 시 폐기를 한다고 볼 수 있으며, 시험 및 검사단계에서 발생현상 중 외관변형과 0.93의 상관도를 보였다. 외관 변형의 경우 수리나 교체도 처리방안으로 될 수 있으나, 사례 프로젝트의 특성상 품질결함의 보다 확실한 처리를 위하여 폐기를 주로 선택하였다.

4.2.4 발생현상과 기인원인간의 상관분석

외관변형과 재료와의 상관도는 0.81로 분석되었다. 이는 외관변형의 경우 자재의 허용오차 초과 및 파손 등의 결함으로 볼 수 있다. 특히 시험 및 검사단계가 외관변형과의 높은 상관도(0.93)를 보이지만 시공 단계 역시 상당한 상관도(0.75)를 보이는데 이는 현장에 반입되는 자재가 공장 Inspection 자재와 현장 Inspection 자재로 나뉘어 있음을 알 수 있고, 자재에 발생된 외관변형의 결함은 시험 및 검사단계와 시공단계를 거쳐 하자로 전이 될 수 있음을 나타낸다.

기능결함과 사람은 0.88, 방법은 0.91의 상관도가 있는 것으로 분석되었으며, 시공결함은 사람과 0.96, 자재와 0.88, 방법과 0.89로 분석되었다. 특히 발생단계와 기인원인과의 상관분석 결과와 유사하게 사람, 재료, 방법에 의하여 결함이 발생됨을 볼 수 있다. 이는 기능결함 및 시공결함을 발생시키는 주요한 원인이 공통적으로 사람의 실수, 공법의 변경, 절차서 미 준수, 도면과 다른 시공 등의 원인이 있었기 때문이다. 따라서 향후 연구를 통해 4M1E의 측면에서 결함을 발생시키는 다양한 원인에 대해서 규명하고, 규명한 원인들 사이의 인과관계를 추가분석 할 필요가 있다고 판단된다.

Table 3. Correlation Analysis

Architecture	Phase				Occurrence Pattern					4M1E					Disposition					
	Design	Procurement	Construction	Testing and Inspection	Finishing	Appearance	Function	Installation	Etc	Man	Material	Method	Machine	Environment	Concession	Repair	Rework	Regrade	Scrap	Return
Phase	Design																			
	Procurement	0.63																		
	Construction	0.61	0.81																	
	Testing and Inspection	0.40	0.46	0.64																
Occurrence Pattern	Finishing	0.39	0.52	0.75	0.69															
	Appearance	0.41	0.48	0.75	0.93	0.79														
	Function	0.62	0.69	0.92	0.65	0.70	0.70													
	Installation	0.67	0.91	0.97	0.62	0.66	0.68	0.87												
	Etc	0.32	0.65	0.55	0.06	0.35	0.23	0.45	0.56											
4M1E	Man	0.60	0.83	0.98	0.61	0.75	0.73	0.88	0.96	0.57										
	Material	0.61	0.85	0.83	0.85	0.69	0.81	0.77	0.88	0.44	0.83									
	Method	0.64	0.70	0.92	0.70	0.66	0.74	0.91	0.89	0.39	0.84	0.80								
	Machine	0.33	0.39	0.48	-0.02	0.40	0.19	0.42	0.42	0.69	0.52	0.22	0.26							
	Environment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
Disposal Plan	Concession	0.54	0.85	0.81	0.64	0.54	0.61	0.82	0.87	0.46	0.81	0.85	0.76	0.28	0.00					
	Repair	0.55	0.77	0.94	0.74	0.76	0.77	0.86	0.93	0.34	0.94	0.85	0.85	0.38	0.00	0.80				
	Rework	0.68	0.87	0.90	0.38	0.56	0.52	0.80	0.91	0.76	0.88	0.73	0.82	0.52	0.00	0.76	0.72			
	Regrade	0.44	0.87	0.50	0.12	0.16	0.10	0.39	0.66	0.70	0.55	0.59	0.37	0.30	0.00	0.70	0.41	0.72		
	Scrap	0.35	0.36	0.60	0.99	0.70	0.94	0.62	0.56	0.02	0.56	0.79	0.67	-0.02	0.00	0.55	0.70	0.31	-0.01	
	Return	0.46	0.80	0.48	0.08	0.25	0.13	0.39	0.59	0.76	0.52	0.53	0.36	0.44	0.00	0.60	0.34	0.73	0.88	-0.02

#### 4.2.5 발생현상과 처리방안간의 상관분석

외관변형과 처리방안의 상관관계 중 폐기가 가장 높은 0.94의 상관도를 나타냈다. 사례 프로젝트에서 외관변형 발생 시 주로 폐기를 통하여 처리했다고 볼 수 있다. 또한 시험 및 검사단계와 폐기도 상관도(0.99)가 매우 높은 것으로 분석되었다.

기능결함과 특채는 0.82, 수리는 0.86, 재작업은 0.8의 상관도가 있는 것으로 나타났으며, 시공결함과 특채는 0.87, 수리는 0.94, 재작업은 0.91로 분석되었다. 분석결과 우선 기능결함이 시공결함보다는 발생빈도가 적다고 볼 수 있다. 이는 많은 부분의 건축공정이 노동집약적인 특성으로 인해 사람에 의한 결함이 많이 발생함을 나타낸다. 하지만 두 결함 모두 시공단계와 상관도가 높은 결함으로 특채, 수리, 재작업을 통하여 결함을 처리 한다고 볼 수 있다. 따라서 상관도가 높은 만큼 수리나 재작업을 통하여 추가비용, 추가시간을 투입하게 됨을 시사한다.

#### 4.2.6 기인원인과 처리방안간의 상관분석

사람과 처리방안의 상관관계를 분석한 결과 특채 0.81, 수리 0.94, 재작업 0.88의 상관도가 있는 것으로 분석되었다. 이는 사람에 의하여 발생한 결함을 다시 사람이 수리 또는 재작업을 해야 하며, 이에 따른 추가비용과 시간이 소요된다고 볼 수 있다.

다음으로 자재와 특채, 수리는 0.85로 동일한 상관도가 있는 것으로 나타났다. 이는 자재가 최초 요구사항에 적합하진 않았으나 특채를 통하여 사용가능하도록 승인하고, 수리를 통해 조치를 취하여 공정상의 지연을 최소화시키고자 했기 때문으로 분석되었다.

방법은 수리와 0.85, 재작업과 0.82의 비교적 높은 상관도를 보였는데, 이는 시공단계에서 수리, 재작업이 많이 발생한 것과 유사한 이유라고 판단된다.

### 5. 결론

건설프로젝트에서 발생하는 품질 결함은 하나의 독립적인 원인보다는 다양한 상호연관된 원인들이 결합할 때 발생하게 된다. 그간 결함을 유발시키는 원인들을 규명하기 위한 연구는 다수 있었으나, 원인들 간의 상관관계를 분석한 연구는 충분히 이루어지지 않았다.

이에 본 논문에서는 건설품질결함의 발생원인 및 유형을 분석하고 이들 간의 상관관계를 분석하기 위하여, 30개의 프로젝트에서 발생한 1,241건의 부적합 사례 중 831건의 건축공중 부적합 사례를 토대로 발생단계, 발생현상, 기인원인(4MIE), 처리방안들 간 상관관계 분석을 실시하였다.

분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 건설품질결함을 발생단계 측면에서 살펴보면 주로 조달 및 시공단계에서 발생함을 알 수 있다. 이는 쉽게 예상될 수 있는 결과이지만, 설계단계에서 발생하는 설계 오류, 재료의 사양표기 오류, 요구사항 불충족 등의 결함들이 다시 조달 및 시공단계의 결함으로 이어질 수 있다는 점을 고려할 때, 향후연구를 통해 설계단계에서 발생하는 결함의 원인에 대해 추가적인 원인규명이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

둘째, 건설품질결함을 발생현상 측면에서 살펴보면 기능결함, 시공결함이 주를 이루고 있다. 상관분석 결과와 같이 조달, 시공단계에서 많은 결함이 발생하는 만큼 기능결함, 시공결함이 상관도가 높게 나타난다고 볼 수 있다. 또한 기능결함과 시공결함과의 상관도 역시 높게 나타났고 이들은 하자로 전이될 가능성이 높아 향후 연구에서는 현상에 따른 결함에 대한 원인을 보다 세분화 하여 심층분석 할 필요가 있다고 판단된다.

셋째, 건설품질결함을 기인원인(4MIE) 측면에서 살펴보면 사람, 재료, 방법이 상관도가 높은 기인원인으로 분석되었다. 앞서 설명한 바와 같이 건설생산과정은 인력에 의한 의존도가 높기 때문에, 투입인력의 기능수준에 따라 품질이 크게 좌우 된다고 볼 수 있다. 또한, 조달되어지는 재료의 품질에 결함 발생이 밀접한 관련을 갖고 있음이 분석되었다. 방법의 경우 잦은 설계변경, 공법 변경 등에 의한 작업자의 숙련도, 공사의 난이도, 복잡도에 따라 결함이 발생할 수 있고 공정 압박으로 인한 무분별한 자원(Resource) 투입은 생산성과 품질 저하의 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 하지만 상관분석의 분석적 특성상 결함의 기인원인을 확정시키는 데에는 무리가 있다. 특히 결함을 발생시키는 원인에 대한 명확한 규명이 없이는 결함을 줄이기 위한 노력이 한계가 있으므로 향후연구를 통해 기인원인을 더욱 구체화하여 결함 발생 원인에 대한 규명이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

넷째, 처리방안에서는 특채, 수리, 재작업이 주를 이루었다. 폐기나 반송은 일부 단계에서 나타나긴 했으나 자주 취해지는 조치는 아닌 것으로 분석되었다. 처리방안에 있어 빈도가 높은 수리, 재작업의 경우 추가적인 비용과 시간을 투입하여 보다 확실성이 높은 처리방안을 선택하였기 때문으로 분석되었다.

30개 사례 프로젝트에서 건축공중에서 발생한 831건의 부적합 사례를 정량적으로 분석한 본 논문은 품질결함 요인간의 상관관계를 분석하여 향후 품질결함의 발생과정을 규명하고 효율적인 품질결함 방지대책을 수립하는 데에 있어 중요한 이론적 배경과 정량적 자료를 제공했다는 데 그 의의가 있다고 할 수 있다.

추후에는 품질 결함을 발생시키는 원인들을 규명하고, 이 원인들 사이의 인과관계 분석을 통하여 품질결함을 효과적으

로 줄일 수 있는 건설품질향상에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2013년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.

## References

Bae, D., Kim, K., and Kim, J. (2005). "A Cluster Analysis of the Audit Result on Quality Management System in Architectural Design and Engineering Firms", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 6(2), pp. 120-128.

Choi, J., Kim, S., Kim, K., and Kang, K. (2005). "A Study on Correlation between Human Factors and Construction Quality Management", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, 21(4), pp. 141-148.

Lee, K., Yoon, Y., and Yang, K. (2005). "Development of Quality Management in Small and Medium Construction Company", *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, KIC, 5(3), pp. 117-224.

Lee, S., Lee, H., and Kim, M. (1996). "A Method for Selecting Principal Items of Quality Management through the Defect Analysis in the Construction Process", *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, AIK, 12(4), pp. 301-309.

Park, H., and Park, Y. (2011). "Strategies for Developing the Appropriation Method of the Construction Quality Cost", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 12(3), pp. 101-111.

Song, S., Lee, H., and Park, M. (2006). "Quality Performance Management System for Construction Projects Using Quality Performance Indicators", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 7(3), pp. 76-85.

---

**요약 :** 공사비 증가와 공기 지연 등 건설프로젝트에 악영향을 미치는 건설품질결함은 지속적으로 발생하고 있다. 그간 결함을 유발시키는 원인들을 규명하기 위한 연구는 다수 있었으나, 원인들 간의 상관관계를 분석한 연구는 충분히 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 국내 30개 프로젝트에서 발생한 1,241건의 부적합 사례 중 831건의 건축공종 부적합 사례를 토대로 건설품질결함의 발생요인을 발생단계, 발생현상, 기인원인, 처리방안으로 나누어 이들 간의 상관관계를 분석하고자 한다. 상관분석을 통해 부적합은 주로 조달 및 시공단계에서 기능결함 및 시공결함의 형태로 발생함을 알 수 있었다. 주로 작업자의 실수, 조악한 품질의 자재사용, 그리고 잘못된 시공방법에 의해 발생하는 품질결함은 주로 특채, 수리, 재작업의 방법으로 처리되어 공사비 증가 및 공기 지연을 가져옴을 알 수 있었다. 본 논문은 향후 품질결함의 발생과정을 규명하고 효율적인 품질결함 방지대책을 수립하는 데에 있어 중요한 이론적 배경과 정량적 지표를 제공했다는 데 그 의의가 있다.

**키워드 :** 부적합, 영향요인, 상관분석, 건설품질결함

---