

Research Paper

건물의 외주길이와 안전관리비의 상관관계 분석에 관한 연구

A Study on the Correlation between the Building Perimeter and Safety Management Cost

한범진*

Han, Bum-Jin*

Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Daejin University, Pocheon-si, Gyeonggi-do, 11159, Korea

*Corresponding author

Han, Bum-Jin

Tel : 82-31-539-2240

E-mail : archism@daejin.ac.kr

Received : June 22, 2022

Revised : July 12, 2022

Accepted : July 19, 2022

ABSTRACT

Despite continuous efforts to reduce on-site safety accidents, the construction industry remains a high-risk sector with a high rate of fatal accidents. Design for Safety(DFS), which manages safety risk factors at the design stage, is being used as a method to lower the construction safety accident rate. However, due to limited knowledge, designers are unaware of the design-results risks during the different of the project lifecycle, including construction, operation, and maintenance. Effective DFS can be conducted if the designer understands the effect of the building shape on the safety accident rate and corresponding safety management cost(SMC). The cost of safety facilities such as fall prevention nets and safety fences will vary depending on the shape of the building. This study analyzes the outer perimeter length's impact on SMC. Following the data collection from 21 projects for this study, an analysis was conducted using the independent variables of the building perimeter(BP), building shape factor(BSF), and building area(BA), the dependent variable of SMC. The correlation R2 was found to be 0.876, 0.801 and 0.792 between the BP and SMC, BSF and SMC, BA and SMC, respectively, indicating that these factors were closely related.

Keywords : building perimeter, building shape factor, building area, safety management cost

1. 서론

본 연구의 결과는 건설현장의 특성을 반영한 안전관리비를 산정하는데 기초로 활용될 것이며, 더 나아가 건설산업의 안전사고율을 낮추는데 기여할 것이다.

현장의 안전사고율을 낮추려는 지속적인 노력에도 불구하고 여전히 건설산업은 치명적인 사고율이 높은 고위험군으로 분류된다[1]. 한국 고용노동부(MOEL, Ministry of Employment and Labor, 2021)의 자료에 따르면, 2019년 10개 산업분야의 재해현황 분석결과, 사고율은 건설업이 25,298명(26.9%)으로 업무상 사고율이 제일 많은 것으로 조사되었고, 다음으로 제조업 23,684명(25.18%), 운수, 창고, 통신업 5,464명(5.8%) 순으로 조사되었다. 산업별 사망률은 건설업이 428명(50.1%)로 압도적으로 많았으며, 다음으로 제조업 206명(24.1%), 기타(서비스업) 118명(13.8%) 순으로 조사되었다. 전세계적으로도 건설현장 사망자수는 심각한 수준이다[2]. OECD 국가들의 건설현장에서 사망한 노동자수를 보면(International Labour Organization, 2016) 10만 명당 이스라엘 24.8명으로 가장 많았으며, 그 다음으로 멕시코 19.5명, 한국 17.6명, 포르투갈 15.6명 순으로 조사되었다. 사망자수가 가장 많은 이스라엘의 건설현장 사망자수는 총 인구수로 계산하면 1년에 2,000명이 넘는 수준이다.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

건설 안전사고율을 낮추기 위한 방법의 하나로, 계획, 설계, 시공, 사업관리 등 건설공사 전 단계에서 위험요소를 관리함으로써 건설사고를 예방하기 위한 안전관리 체계인 DFS(Design for safety) 개념을 활용하고 있다[3-5]. 많은 건설현장의 안전사고는 설계와 관련되며, 설계단계에서 시공난이도에 대한 적절한 고려가 반영되면 사고율을 낮출 수 있다[6-8]. 다양한 형상의 건물을 대상으로 DFS가 진행된다면 안전사고를 줄일 수 있으며, 특히 시공단계의 안전사고를 줄이기 위한 노력이 집중되어야 한다. 그 이유는 시공 단계의 사망사고와 같은 안전사고 발생율이 높기 때문이다. 하지만 설계자는 건설 안전과 현장 환경을 대한 지식이 제한되어 있으며, 건설, 운영 및 유지보수와 같은 건물 시설의 수명 주기 동안 설계가 어떻게 위험을 초래할 수 있는지 식별하지 못하는 경우가 많다[9]. 따라서, DFS 개념을 활용하여 안전관리를 실시하더라도 시공단계의 안전사고율을 낮추는데 한계가 존재한다[10-13]. 건설현장의 안전하고 효율적인 안전관리를 위해서는 건설현장의 특성에 맞는 안전관리비가 투입되어야 한다. 안전관리비중 가장 많은 비중을 차지하는 낙하방지 그물망, 안전 펜스와 같은 안전시설비는 동일 건축면적이라 하더라도 건물의 형상에 따라 달라질 것이다[14].

Tang et al.[15]은 18개의 현장에서 576건의 안전사고를 조사하였으며, 그 결과 건설현장에서 사망사고 등 발생한 사고로 인해 발생한 손실액은 안전사고를 방지하기 위해 사용되는 안전관리비를 초과하는 것으로 조사되었다. Tam et al.[16]은 중국 건설현장의 안전관리 실태를 조사하였으며, 건설현장의 안전에 영향을 미치는 가장 큰 영향요인은 건설현장 특성에 적합한 안전관리비 투입으로 개인보호장비, 정기적 안전회의 및 안전교육 등 안전관리와 관련된 요인들이 제대로 수행되어야 하는 것이라고 하였다. Ahn et al.[17]은 건설산업의 재해율이 높은 이유 가운데 하나로 건설현장의 특성을 반영하지 못한 안전관리비를 지적하였다. 건축물의 형상, 층수, 공사기간 등의 특성을 반영하지 않고 공사비에 따른 비율로 정해진 안전관리비를 산정하는 것은 안전관리를 강화하기 위한 비용을 충당할 수 없다고 하였다.

건설현장의 안전관리비 계상과 사용에 관련한 연구들은 공통적으로 효율에 의한 산정방식은 안전관리비 집행의 대부분을 차지하는 인건비, 시설비 항목을 충분하게 반영하지 못하기 때문에 반드시 이에 대한 적정성 검토가 필요하며, 건설현장과 건물의 특성이 반영된 안전관리비가 산정되어야 한다고 하였다[18-20].

본 연구의 목적은 아파트(apartment building)를 대상으로 건물의 외주길이와 안전관리비의 상관관계를 분석하는 것이다. 본 연구를 위해 21개의 프로젝트 데이터를 수집한 후 외주길이와 건물형상계수, 건축면적을 독립변수로 안전관리비를 종속변수로 분석한다. 건축면적 또는 층수가 동일한 규모의 건물인 경우라 하더라도 건물의 외주길이에 따라 안전에 미치는 영향이 다르고 이에 따른 안전관리비도 다르게 산정되어야 한다. 건물의 특성을 반영하는 외주길이가 안전관리비에 미치는 영향을 명확히 분석하고 반영한다면, 합리적인 안전관리비를 산정할 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구는 건물의 외주길이가 안전관리비에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Figure 1과 같이 진행한다.

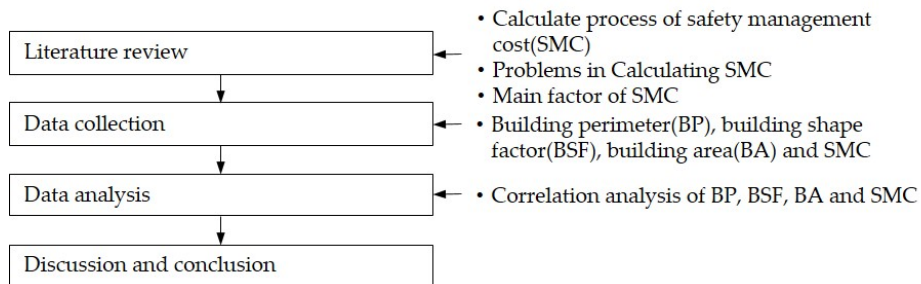


Figure 1. Methodology

2. 예비적 고찰

2.1 안전관리비의 정의 및 산정방법

한국의 건설공사 안전관리비는 고용노동부(MOEL, Ministry of Employment and Labor)의 산업안전보건법에 의해 안전보건관리의 활성화를 목적으로 규정하고 있는 비용이다. 공사 종류에 따라 일정금액을 공사도급계약서에 별도로 계상하도록 하여 발주자 및 시공자가 안전시설비, 안전관계자 인건비, 안전보고장비 등 근로자의 안전을 위해서만 사용해야 한다. 건설공사 원가계산상의 공사원가에 공종별 직접 공사비를 집계한 후 일정 비율(ratio)을 곱하여 간접공사비를 산정하게 된다. 간접공사비 항목 중에 안전관리비 산정기준이 있으며, 안전관리비 계상 기준은 고용노동부(MOEL, Ministry of Employment and Labor) 산업안전보건법 제72조(건설공사 등의 산업안전보건관리비 계상 등) 1항에 근거하여 Table 1과 같이 산정한다[21].

Table 1. Safety management cost appropriation standard

Unit : 1,000 USD

| Division | Under 436 | 436~4,360 | | 4,360 or more |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-------------|---------------|
| | | Ratio(%) | Base amount | |
| General construction(A) | 2.93% | 1.86% | 4.67 | 1.97% |
| General construction(B) | 3.09% | 1.99% | 4.75 | 2.10% |
| Heavy construction | 3.43% | 2.35% | 4.71 | 2.44% |
| New railroad and track construction | 2.45% | 1.57% | 3.85 | 1.66% |
| Special and other constructions | 1.85% | 1.20% | 2.84 | 1.27% |

Note: 1,146 Won = 1 USD as of 2021/07/30(Bank of Korea)

이러한 안전관리비 산정방식의 문제점은 건물의 외주길이, 건물형상 등과 같은 프로젝트 특성이 반영되지 못하고, 동일하게 분류된 프로젝트의 공사비에 동일한 비율(ratio)만이 적용되어 안전관리비를 산정한다는 것이다. 이러한 방법으로 안전관리비가 산정될 경우, 같은 연면적의 공사라 하더라도 건물 형상과 층수에 따라 안전시설물 설치비가 달라지고, 건물 형상이 복잡할수록 공사 기간이 길어져 안전관리자 인건비 또한 증가될 것이다. 현행 제도하에서는 기준에 의해 산정된 안전관리비 외에 증가하는 안전관리비는 건설회사에서 지불해야한다. 국외의 건설현장의 안전관리비 산정 방법을 살펴보면, 일본의 경우 노동성 노동기술기준국에서 전담하며, 국내의 안전관리비 산정방식과 유사하다. 공통 가설비(temporary work cost)에 안전관리비를 포함하며, 사전 안전성평가를 실시하지만 프로젝트의 특성이 반영되지 않는다[22]. 스위스의 경우도 한국과 마찬가지로 총 공사금액을 기준으로 공사종류별 계상 비율에 따라 안전관리비가 책정되며, 프로젝트의 특성은 반영되지 않는다[23]. 영국은 이와 달리 산업안전보건청(Health and Safety Executive, HSE)을 전담기관으로, Construction Design Management(CDM) 제도에 의해 시기별 위험요소를 도출하고 사전에 안전 예방조치를 계획하여 안전관리 금액 및 수량을 별도로 산출한다[24]. 전세계적으로 안전사고 및 사망률이 가장 높은 산업분야인 건설산업분야의 건설현장 안전관리비는 안전사고와 직결되는 매우 중요한 요소이다. 따라서, 건물 형상과 같은 공사 난이도가 반영되지 않고 공사금액의 비율로 통일된 안전관리비를 계상한다면, 안전하고 지속가능한 현장관리가 이루어질 수 없다[25-27].

2.2 안전관리비 산정의 영향요인

안전관리비의 산정 및 영향 요인에 관한 연구를 살펴보면, Guha and Biswas[28]은 건설산업분야의 안전관리비는 실제 필요한 예산보다 대부분 낮게 책정되며, 안전관리를 위한 예산은 한정되어 있기 때문에 합리적인 기준에 의한 안전관리비가

계상되어야 한다고 하였다.

Okoye and Okolie[29]는 안전관리비의 대배분은 안전시설비와 인건비라고 하였다. 건설현장의 안전 성과(safety performance)를 위해서는 반드시 현장 특성에 맞는 안전관리비가 우선적으로 할당되어야 한다고 주장하였다. 그러나 소규모 건설회사일수록 안전관리비는 필요 예산 보다 낮게 책정되며, 이로 인해 시간과 노력면에서 그 이상의 투자가 필요하다고 언급하였다.

Jin[30]은 안전관리비의 가장 중요한 요인은 안전관리 인건비라고 하였다. 건설공사가 장기화될 경우 안전관리자의 인건비 부담이 확대되어 안전관리비는 부족하게 된다고 하였다. 이 경우 추락 등에 따른 사고예방을 위한 안전망(safety net) 등 안전시설 설치비용이 부족하게 된다고 기술하였다.

Smallwood[31]는 건설현장의 안전사고에 대한 설계자의 영향력을 언급하였으며, 건물의 디자인에 따라 건설현장의 안전사고율이 달라질 수 있다고 하였다. 설계자는 건설현장의 안전사고율을 낮추기 위한 안전관리에 직접 또는 간접적으로 영향을 미치는 중요한 요인이며, 설계 및 조달 단계에서 현실적인 안전관리를 위한 개선이 가능하다고 하였다.

Choi et al.[32]는 안전관리비가 안전장비(personal protective equipment)보다도 안전인력(safety manager)의 운영에 더 많은 비용이 사용되고 있어 사고로부터 근로자를 충분히 보호하지 못하는 경향이 있다고 지적하였다. 즉, 한정된 안전관리비 안에서 강화된 규정에 의해 비용을 할당하므로 균형 있는 예산배분이 어렵고, 이로 인해 균형 있는 안전관리가 이루어지지 못한다.

Hamid[33]는 건설현장의 안전관리에 대한 중요성 및 개선점을 조사하기 위해 말레이시아 산업안전보건부(Department of Occupational Safety and Health, DOSH)의 건설현장 사고 사례 data를 수집 분석하였다. 건설현장에서 발생하는 안전사고의 주요 원인으로 열악한 안전관리비로부터 발생하는 체계적이지 못한 안전관리와 허술한 안전 시설 및 장비를 지적하였다. 건설현장의 안전사고로 인해 지출되는 비용은 안전관리비의 10배이며, 합리적이지 못한 안전관리비로 더 많은 지출을 초래한다고 하였다.

Ahn et al.[17]은 23개의 high-rise residential building 사례현장을 대상으로 건물 형상, 층수, 공사기간 등이 반영된 실제 집행된 안전관리비를 조사 분석하여, 건설현장의 특성이 반영된 안전관리비 산정모델을 제시하였다. 사례현장의 실제 집행된 안전관리비 분석결과 누적비율이 80% 이상을 만족하는 항목은 시설비와 인건비였으며, 시설비 항목중 가장 높은 비율을 차지하는 항목은 안전망 설치비용으로 분석되었다.

이와 같이 대부분의 연구들은 안전관리비 산정을 위한 영향요인으로, 안전관련 시설비, 인건비, 설계자의 영향력 등을 언급하였다. 그러나 건물의 외주길이와 안전관리비의 직접적인 상관관계를 분석한 연구는 없다. 건물의 외주길이와 안전관리비의 상관관계가 검증된다면, 건물의 외주길이에 따라 달라지는 정확하고 합리적인 안전관리비 산정이 가능하다. 또한, 건설현장의 특성이 반영된 정확하고 합리적인 안전관리비 산정이 가능해지면, 안전시설 추가투입 또는 안전관리 인력의 추가 배치 등 안전관리비의 효율적 집행이 가능할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 21개 아파트(apartment building) 현장의 실제 집행된 안전관리비 데이터를 수집하고 분석하여 건물 외주길이와 안전관리비의 상관관계를 분석하고자 한다.

3. 데이터 수집

3.1 Case projects 개요

본 연구는 한국에서 준공이 완료된 33개 아파트(apartment building) 건설현장을 대상으로 실제 집행된 안전관리비 데이터와 건물 형상 요인 데이터를 수집하였다. 조사기간은 2020년 7월부터 13개월간 진행되었다. 수집된 자료의 검토 결과 12개 현장은 안전투입인력, 안전망 물량 등의 데이터를 신뢰할 수 없어 제외하였으며 최종적으로 Table 2와 같이 21개 현장을

대상으로 분석하였다. 선정된 21개 프로젝트는 공사기간(duration)이 평균 33개월이며, 평균 8개 동(buildings), 평균 연면적은 174,467m², 평균 건축면적은 9,866m², 평균 층수는 18층의 아파트 빌딩(apartment building)으로 공사기간은 대부분 2016년 착공하여 2020년에 준공하였다.

본 연구에서는 Table 2의 사례프로젝트별 실제 집행된 안전관리비를 조사하고, 건물 형상에 영향을 미치는 요인과 안전관리비의 상관관계를 분석한다. 건물의 형상에 대한 요인은 3.2장에서 자세하게 설명한다.

Table 2. Brief description of case projects

| No. | Duration (months) | No. of Buildings | Highest floor | Average floor | Total floor area (m ²) | Building area (m ²) | Total const. cost (1,000 USD) |
|------|-------------------|------------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 30 | 12 | 22 | 18 | 53,717 | 3,025 | 62,553 |
| 2 | 29 | 5 | 23 | 21 | 63,423 | 2,951 | 69,736 |
| 3 | 35 | 2 | 37 | 11 | 50,410 | 4,581 | 72,412 |
| 4 | 27 | 1 | 15 | 7 | 56,358 | 7,828 | 76,584 |
| 5 | 27 | 8 | 24 | 17 | 75,483 | 4,554 | 78,361 |
| 6 | 27 | 7 | 27 | 20 | 102,252 | 5,129 | 92,144 |
| 7 | 35 | 8 | 27 | 20 | 106,107 | 5,356 | 92,301 |
| 8 | 42 | 2 | 49 | 16 | 91,274 | 5,573 | 93,729 |
| 9 | 31 | 6 | 29 | 20 | 211,532 | 10,467 | 97,781 |
| 10 | 29 | 6 | 29 | 20 | 125,849 | 6,325 | 120,475 |
| 11 | 29 | 7 | 22 | 17 | 143,044 | 8,668 | 149,576 |
| 12 | 27 | 12 | 24 | 19 | 157,213 | 8,436 | 153,364 |
| 13 | 41 | 5 | 49 | 18 | 146,552 | 8,348 | 176,647 |
| 14 | 33 | 8 | 37 | 23 | 160,901 | 7,127 | 184,028 |
| 15 | 32 | 18 | 20 | 13 | 241,068 | 18,242 | 205,560 |
| 16 | 31 | 1 | 15 | 14 | 270,406 | 19,536 | 214,903 |
| 17 | 33 | 10 | 35 | 22 | 195,603 | 8,773 | 224,600 |
| 18 | 28 | 15 | 25 | 19 | 261,783 | 13,831 | 231,663 |
| 19 | 31 | 16 | 25 | 20 | 77,278 | 3,936 | 240,964 |
| 20 | 36 | 12 | 43 | 25 | 293,555 | 11,653 | 283,148 |
| 21 | 36 | 17 | 35 | 19 | 811,619 | 42,902 | 377,505 |
| Avg. | 33 | 8 | 30 | 18 | 174,467 | 9,866 | 157,133 |

Note: 1,146 Won = 1 USD as of 2021/07/30(Bank of Korea)

3.2 Data collection for case projects

건물의 형상과 안전관리비의 상관관계를 분석하기 위하여 21개 건설현장의 apartment building의 외주길이(building perimeter, BP), 건축면적(building area, BA)과 안전관리비를 조사하였으며, 추가로 조사된 자료를 바탕으로 형상계수를 산정하였다. Ahn et al.(2021)의 연구를 참고하면, 동일한 건축면적일 경우 건물의 형상에 따른 외주길이의 변화에 대해 형상계수를 활용하여 설명하였다. 건물형상(building shape)의 복잡도를 나타내는 건물형상계수(building shape factor)는 식 (1)과 같이 산정된다[17].

$$BSF = BP \div (\sqrt{BA} \times 4) \tag{1}$$

BSF: building shape factor

BP: building perimeter

BA: building area

형상계수는 식 (1)과 같이 사례 건물의 외주길이(building perimeter)를 정방형일 경우의 외주길이를 나누어 산정된다. 즉, 사례건물의 건물형상계수(building shape factor)는 정방형 건물의 형상계수를 1로 정하였을 때 해당 건물의 상대적 비율로 정한다.

건물의 외주길이는 Figure 2와 같이 정방형(square type) 건물 대비 장방형(rectangular type) 건물이 약 25%, 다각형(polygonal type) 건물은 약 67%가 증가한다. 사례 현장의 유사 건축면적(building area) 대비 외주길이(building perimeter)의 차이를 보면 Figure 2와 같다. Case A와 B의 건축면적은 1,050m²와 1,000m²로 유사하다. 그러나 Case A의 외주길이는 170m, Case B의 외주길이는 130m로 약 24%의 차이가 발생한다. 즉, 동일한 건축면적일 경우, 정방형 건물대비 외주길이 길면, 낙하방지 그물망, 안전 펜스 추가 설치 및 이에 따른 인건비 증가 등 안전관리비는 증가한다. 따라서, 건물의 외주길이는 공사특성을 반영하는 매우 중요한 요인이다.

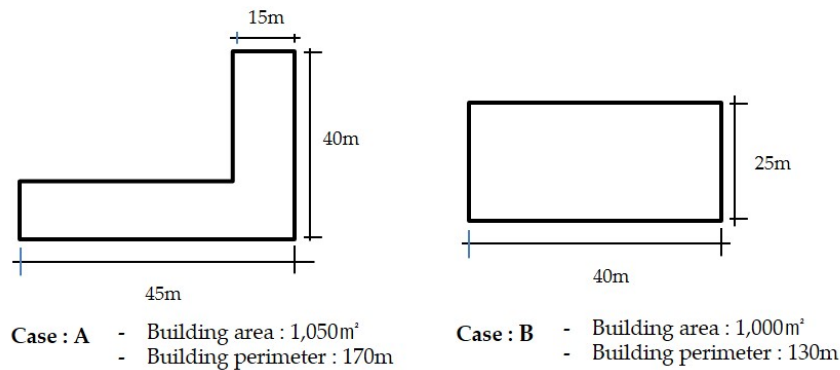


Figure 2. Comparison of building perimeter with building area

외주길이는 사례현장별 동 전체의 외주길이의 합이며, 안전관리비(Safety management cost, SMC)는 안전관리자의 인건비, 안전시설비, 개인 보호장비비, 안전점검비, 안전교육비, 근로자 건강관리비, 건설재해예방 지도비, 본사 간접비로 총 8개 비용의 합으로 계산된다. 21개 현장의 안전관리비 집행내역을 보면, Table 3과 같이 대부분의 현장에서 발주자로부터 계상, 지급받는 법적인 안전관리비보다 8,000~293,000 dollars 초과되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 공사계약 당시 계상되는 안전관리비가 적정하지 못하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 건물의 외주길이(BP)와 건물형상계수(BSF), 건축면적(BA)을 main factor로 선정하고, 이들과 사례프로젝트의 실제 안전관리비와의 상관관계를 분석한다. 이를 통해 건물의 외주길이(BP)와 건물형상계수(BSF)가 안전관리비에 미치는 영향을 확인하고자 한다. 프로젝트별 외주길이, 형상계수, 건축면적과 안전관리비는 Table 4와 같다.

Table 3. Comparison between PSMC and SMC

Unit: 1,000 USD

| No. | PSMC ¹⁾ (a) | SMC ²⁾ (b) | (a) - (b) | (%) |
|-----|------------------------|-----------------------|-----------|-------|
| 1 | 1,054.6 | 1,089.1 | -35 | -3.2 |
| 2 | 1,140.5 | 1,333.5 | -193 | -14.5 |
| 3 | 998.6 | 1,095.1 | -97 | -8.8 |
| 4 | 916.5 | 939.1 | -23 | -2.4 |
| 5 | 1,191.1 | 1,200.6 | -10 | -0.8 |
| 6 | 1,268.4 | 1,527.2 | -259 | -16.9 |
| 7 | 1,289.4 | 1,338.3 | -49 | -3.7 |
| 8 | 1,306.3 | 1,521.0 | -215 | -14.1 |
| 9 | 1,253.9 | 1,261.7 | -8 | -0.6 |
| 10 | 1,773.5 | 2,044.6 | -271 | -13.3 |
| 11 | 2,023.8 | 2,064.3 | -41 | -2.0 |
| 12 | 1,965.1 | 2,032.4 | -67 | -3.3 |
| 13 | 2,444.1 | 2,482.8 | -39 | -1.6 |
| 14 | 2,852.3 | 2,877.9 | -26 | -0.9 |
| 15 | 3,093.7 | 3,217.3 | -124 | -3.8 |
| 16 | 2,710.5 | 2,726.2 | -16 | -0.6 |
| 17 | 2,745.2 | 2,761.6 | -16 | -0.6 |
| 18 | 3,231.7 | 3,451.3 | -220 | -6.4 |
| 19 | 2,747.1 | 3,040.5 | -293 | -9.7 |
| 20 | 3,555.6 | 3,627.9 | -72 | -2.0 |
| 21 | 5,241.7 | 5,373.0 | -131 | -2.4 |

Note: 1) Planned Safety management cost, 2) Safety management cost. Exchange rate is 1,146 Won/USD as of 30 July 2021(Bank of Korea)

Table 4. Actual BP, BSF, BA and SMC of case projects

Unit: 1,000 USD

| No. | BP ¹⁾ (m) | BSF ²⁾ | BA ³⁾ (m ²) | SMC ⁴⁾ |
|-----|----------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | 3,759.2 | 17.1 | 3,025 | 1,089.1 |
| 2 | 5,188.5 | 23.9 | 2,951 | 1,333.5 |
| 3 | 3,291.8 | 12.2 | 4,581 | 1,095.1 |
| 4 | 916.0 | 2.6 | 7,828 | 939.1 |
| 5 | 5,766.0 | 21.4 | 4,554 | 1,200.6 |
| 6 | 7,262.8 | 25.4 | 5,129 | 1,527.2 |
| 7 | 8,528.0 | 29.1 | 5,356 | 1,338.3 |
| 8 | 1,263.1 | 4.2 | 5,573 | 1,521.0 |
| 9 | 5,795.2 | 14.2 | 10,467 | 1,261.7 |
| 10 | 10,157.4 | 31.9 | 6,325 | 2,044.6 |
| 11 | 4,459.9 | 11.9 | 8,668 | 2,064.3 |
| 12 | 8,129.7 | 22.2 | 8,390 | 2,032.4 |
| 13 | 9,748.0 | 26.7 | 8,348 | 2,482.8 |
| 14 | 7,379.6 | 21.9 | 7,127 | 2,877.9 |
| 15 | 16,441.7 | 30.4 | 18,242 | 3,217.3 |
| 16 | 9,397.9 | 16.8 | 19,536 | 2,726.2 |
| 17 | 17,305.3 | 46.2 | 8,773 | 2,761.6 |
| 18 | 23,590.7 | 50.2 | 13,831 | 3,451.3 |
| 19 | 18,879.0 | 75.2 | 3,936 | 3,040.5 |
| 20 | 21,525.7 | 49.9 | 11,653 | 3,627.9 |
| 21 | 23,284.0 | 80.0 | 42,902 | 5,373.0 |

Note: 1) Building perimeter, 2) Building shape factor, 3) Building area, 4) Safety management cost. Exchange rate is 1,146 Won/USD as of 30 July 2021 (Bank of Korea)

4. 데이터 분석

사례현장의 수집된 데이터를 이용하여 안전관리비(SMC)와 주요 요인 간의 상관관계를 분석하면, Table 5와 같이 안전관리비와 외주길이(BP), 형상계수(BSF), 건축면적(BA) 간의 상관계수(correlation coefficient)는 각기 0.876, 0.801, 0.792로 비교적 높게 나타났다. 유의확률은 0.05이하로 통계적으로 유의미하다. 안전관리비와 가장 밀접한 관계가 있는 것은 외주길이(BP)이며, 형상계수(BSF), 건축면적(BA) 순으로 나타난다. 특히, 안전관리비와 외주길이 간의 상관성이 높게 나타났다는 것은 건물의 외주길이가 안전관리비에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

Table 5. Result of correlation analysis

| Description | BP | BSF | BA |
|------------------------------------|-------|-------|-------|
| Pearson Correlation Coefficient | 0.876 | 0.801 | 0.792 |
| SMC Significance Probability(both) | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| N | 21 | 21 | 21 |

** . The correlation coefficient is significant at a 0.01 level(both sides).

또한, 회귀분석 결과, Figure 3(a)와 같이 안전관리비와 외주길이 간에는 강한 양의 상관관계가 성립되며, Table 6과 같이 회귀모형은 R²값 0.768로 높은 설명력(적합도)을 가진다. 이것은 건물의 외주길이에 비례하여 안전관리비가 증가된다는 것을 나타낸다. Figure 3(b)와 같이 안전관리비와 형상계수 간에는 강한 양의 상관관계가 성립된다. Table 6과 같이 R²값 0.642로 비교적 높은 설명력(적합도)을 가진다. 이것은 형상계수 또한 안전관리비 증가에 영향을 미친다는 것을 나타낸다. Figure 3(c)와 같이 안전관리비와 건축면적 간에는 강한 양의 상관관계가 성립되며, Table 6과 같이 회귀모형은 R²값 0.627로 높은 설명력(적합도)을 가진다. 이것은 건축면적에 비례하여 안전관리비가 증가된다는 것을 나타낸다. 그 결과는 Table 6과 같다.

그러나 현재 공사금액 대비 법적으로 정해진 비율로 산정하는 안전관리비는 이러한 특성을 반영하지 못하고 있다. 따라서, 건설회사들은 법적으로 정해진 안전관리비 외에 안전시설비, 안전관리자 인건비 등 추가적으로 회사가 지불하고 있다. 강화되는 안전관리 기준을 충족하기 위해서는 더욱 현장의 특성을 반영한 안전관리비가 산정되어야 한다.

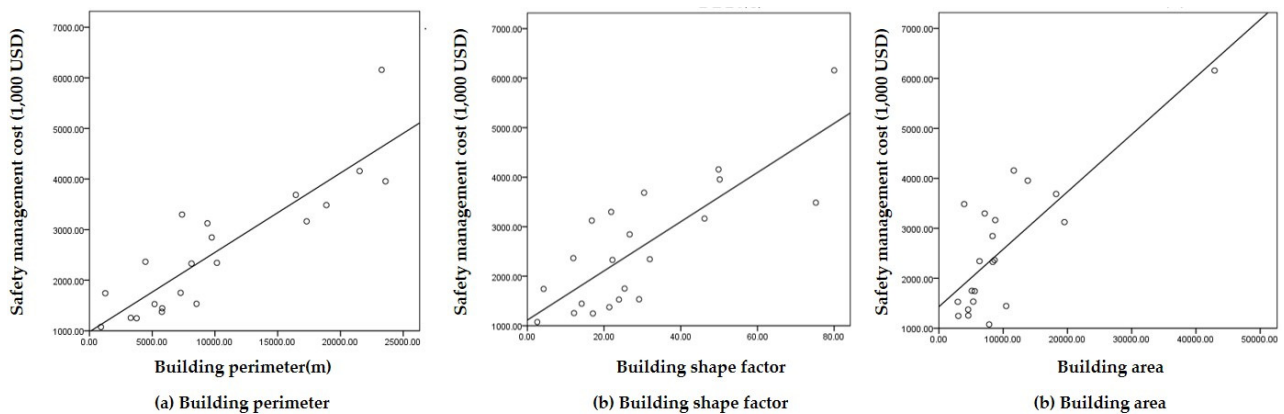


Figure 3. Scatter diagram of SMC and influence factors

Table 6. Results of regression analysis

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. | R ² |
|-------|----------|-----------------------------|------------|---------------------------|-------|-------|----------------|
| | | B | Std. Error | Beta | | | |
| 1 | Constant | 980.030 | 242.905 | | 4.035 | 0.001 | 0.768 |
| | BP | 0.157 | 0.020 | 0.876 | 7.927 | 0.000 | |
| 2 | Constant | 1,114.804 | 301.717 | | 3.695 | 0.002 | 0.642 |
| | BSF | 49.654 | 8.505 | 0.801 | 5.838 | 0.000 | |
| 3 | Constant | 1,430.657 | 266.193 | | 5.375 | 0.000 | 0.627 |
| | BA | 0.115 | 0.020 | 0.792 | 5.651 | 0.000 | |

5. 결론

본 연구에서 기존 안전관리비 산정의 문제점에 대한 개선방안을 제시하기 위하여 21개 아파트 건설현장의 actual data를 활용하여 건물의 외주길이, 형상계수, 건축면적과 안전관리비의 상관관계를 분석하였다.

현재 한국의 안전관리비 산정 기준은 건설공사 원가계산상의 공사원가에 공종별 직접 공사비를 집계한 후 일정 비율(ratio)을 곱하여 간접공사비를 산정하게 된다. 간접공사비 항목 중에 안전관리비 산정기준이 있으며, 고용노동부(MOEL, Ministry of Employment and Labor)에서 고시한 기준에 따라 공사비의 일정 비율로 산정한다. DFS 개념을 활용하여 안전관리를 실시하더라도 시공단계의 안전사고율을 낮추는데 한계가 존재한다. 건설현장의 안전하고 효율적인 안전관리를 위해서는 건설현장의 특성에 맞는 안전관리비가 투입되어야 한다. 안전관리비중 가장 많은 비중을 차지하는 낙하방지 그물망, 안전 펜스와 같은 안전시설비는 동일 건축면적이라 하더라도 건물의 형상에 따라 달라질 것이다. 따라서, 안전관리비는 공사비의 비율이 아닌, 건설현장의 특성에 맞게 산정되어야 한다.

본 연구는 21개 아파트 건설현장의 actual data를 활용하여 건물의 외주길이, 형상계수, 건축면적과 안전관리비의 상관관계를 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 수집된 자료를 대상으로 안전관리비와 건물의 외주길이, 형상계수 및 건축면적과 상관관계 분석을 하였다. 3가지 main factor와 안전관리비 간의 상관분석 결과, Pearson 상관계수가 외주길이(0.876), 형상계수(0.801), 건축면적(0.792)로 강한 양의 상관관계가 성립하는 것으로 나타났다. 유의확률은 0.05이하로 통계적으로 유의미하다. 안전관리비와 가장 밀접한 관계가 있는 것은 외주길이(BP)이며, 형상계수(BSF), 건축면적(BA) 순으로 나타난다. 특히, 안전관리비와 외주길이 간의 상관성이 높게 나타났다는 것은 건물의 외주길이 안전관리비에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

둘째, 회귀분석 결과, 안전관리비와 외주길이 간에는 강한 양의 상관관계가 성립되며, 회귀모형은 R²값 0.768로 높은 설명력(적합도)을 가지는 것으로 분석되었다. 이것은 건물의 외주길이에 비례하여 안전관리비가 증가된다는 것을 나타낸다. 안전관리비와 형상계수 간에는 강한 양의 상관관계가 성립되는 것으로 분석되었으며, R²값은 0.642로 높은 설명력(적합도)을 가진다. 이것은 형상계수 또한 안전관리비 증가에 영향을 미친다는 것을 나타낸다. 마지막으로, 안전관리비와 건축면적 간에는 강한 양의 상관관계가 성립되며, 회귀모형은 R²값 0.627로 높은 설명력(적합도)을 가진다. 이것은 건축면적에 비례하여 안전관리비가 증가된다는 것을 나타낸다.

이와 같이 건설현장의 안전관리비는 건물의 외주길이, 형상계수 및 건축면적 등 건설현장의 특성이 반영되어 산정해야 한다. 사례 프로젝트와 같이 유사한 residential building 일지라도 건물의 형상계수와 외주길이는 대부분 다르다. 그럼에도 불구하고 현행 제도하의 안전관리비 산정 방식은 법에 의해 동일한 비율이 적용된다. 이러한 기존 방식은 안전관리비의 부족과 동시에 안전관리자 또는 안전시설과 같은 안전자원들을 현장 특성에 맞게 투입할 수 없는 상황을 만들 수 있으므로, 안

전관리비 산정방법의 개선이 시급하다.

본 연구의 결과는 건설현장의 특성을 반영한 안전관리비를 산정하는데 기초로 활용될 것이며, 더 나아가 건설산업의 안전사고율을 낮추는데 기여할 것이다. 본 연구를 발전시키기 위해서는 아파트와 더불어 다양한 건물의 외주길이, 형상계수, 건물 층수 및 공사기간 등과 같은 영향요인과 안전관리비의 상관관계를 분석하고, 다중회귀분석을 통한 안전관리비 계상식을 도출할 수 있는 후속 연구가 필요하다. 이러한 후속 연구가 진행된다면, 연구의 신뢰도는 더욱 높아질 것이며, 안전관리비 산정방법 변경의 필요성에 대한 근거자료로 활용할 수 있을 것이다.

요약


현장의 안전사고율을 낮추려는 지속적인 노력에도 불구하고 여전히 건설산업은 치명적인 사고율이 높은 고위험군으로 분류된다. 건설 안전사고율을 낮추기 위한 방법 중 하나로 설계 단계에서 안전위해요소를 관리하는 DFS(Design for safety)를 적용하고 있다. 그러나 설계자의 제한된 지식 때문에 설계 결과가 건설, 운영 및 유지보수와 같은 project lifecycle 동안 어떤 위험을 초래하는지 설계자는 인식하지 못하는 경우가 많다. 만일 설계자가 건물의 형상이 안전사고율에 미치는 영향과 이에 대응하는 안전관리비에 미치는 영향을 이해한다면, 효과적인 DFS를 진행할 수 있다. 안전관리비중 가장 많은 비중을 차지하는 낙하방지 그물망, 안전 펜스와 같은 안전시설비는 동일 건축면적이라 하더라도 건물의 형상에 따라 달라질 것이다. 본 연구의 목적은 건물의 외주길이가 안전관리비에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 아파트(apartment building)를 대상으로 건물의 외주길이가 안전관리비에 미치는 영향을 분석한다. 본 연구를 위해 21개의 프로젝트 데이터를 수집한 후 외주길이와 건물형상계수, 건축면적을 독립변수로 안전관리비를 종속변수로 분석한다. 그 결과 외주길이와 안전관리비의 상관관계는 R^2 가 0.876, 형상계수와 안전관리비의 상관관계는 R^2 가 0.801, 건축면적과 안전관리비의 상관관계는 R^2 가 0.792로 매우 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다.

키워드 : 건물 외주길이, 건물 형상계수, 건축면적, 안전관리비

Funding

This research was supported by a grant(NRF- 2021R1F1A1046321) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

ORCID

Bum-Jin Han,  <https://orcid.org/0000-0003-1197-0048>

References

1. Lingard H, Rowlinson S. Occupational health and safety in construction project management. 1st ed. London: Routledge; 2005. 460 p. <https://doi.org/10.4324/9780203507919>
2. Analysis of industrial accident status in 2019 [Internet]. Seoul (Korea): Ministry of Employment and Labor; 2021 Jan 21. Available from: <https://www.moel.go.kr/skin/doc.html?fn=202101211340521f831ff7a60043c49f4b6353a3078bfe.hwp&rs=/viewer/BBS/2021/>

3. Goh YM, Chua S. Knowledge, attitude and practices for design for safety: A study on civil & structural engineers. *Accident Analysis & Prevention*. 2016 Aug;93:260-6. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.023>
4. Hadikusumo BHW, Rowlinson S. Capturing safety knowledge using design-for-safety-process tool. *Journal of construction engineering and management*. 2004 Apr;130(2):281-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:2\(281\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:2(281))
5. Hadikusumo BHW, Rowlinson S. Integration of virtually real construction model and design-for-safety-process database. *Automation in Construction*. 2002 Aug;11(5):501-9. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(01\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(01)00061-9)
6. Atkinson AR, Westall R. The relationship between integrated design and construction and safety on construction projects. *Construction Management and Economics*. 2010 Sep;28(9):1007-17. <https://doi.org/10.1080/01446193.2010.504214>
7. Dewlaney KS, Hallowell M. Prevention through design and construction safety management strategies for high performance sustainable building construction. *Construction Management and Economics*. 2012 Feb;30(2):165-77. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.654232>
8. Ghaderi R, Kasirossafar M. Construction safety in design process. *Architectural Engineering Conference (AEI) 2011*; 2011 Mar 30-Apr 2; Oakland, CA. Reston (VA): American Society of Civil Engineers; 2012. p. 464-71. [https://doi.org/10.1061/41168\(399\)54](https://doi.org/10.1061/41168(399)54)
9. Hossain MA, Abbott EL, Chua DK, Nguyen TQ, Goh YM. Design-for-safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. *Automation in Construction*. 2018 Oct;94:290-302. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010>
10. Fonseca ED, Lima FP, Duarte F. From construction site to design: The different accident prevention levels in the building industry. *Safety Science*. 2014 Dec;70:406-18. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.07.006>
11. Zhou W, Whyte J, Sacks R. Construction safety and digital design: A review. *Automation in Construction*. 2012 Mar;22:102-11. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.07.005>
12. Hinze J, Wiegand F. Role of designers in construction worker safety. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1992 Dwc;118(4):677-84. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1992\)118:4\(677\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:4(677))
13. Toole TM. Increasing engineers' role in construction safety: Opportunities and barriers. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. 2005 Jul;131(3):199-207. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(2005\)131:3\(199\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2005)131:3(199))
14. Alkaissy M, Arashpour M, Ashuri B, Bai Y, Hosseini R. Safety management in construction: 20 years of risk modeling. *Safety Science*. 2020 Sep;129:104805. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104805>
15. Tang SL, Lee HK, Wong K. Safety cost optimization of building projects in Hong Kong. *Construction Management and Economics*. 1997 May;15(2):177-86. <https://doi.org/10.1080/01446199700000005>
16. Tam CM, Zeng SX, Deng ZM. Identifying elements of poor construction safety management in China. *Safety Science*. 2004 Aug;42(7):569-86. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2003.09.001>
17. Ahn HS, Son SH, Park KH, Kim SK. Cost assessment model for sustainable health and safety management of high-rise residential buildings in Korea. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2021 Mar;21(3):1-12. <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1902334>
18. Jo S, Kang K. A study on the proper distribution of safety control cost in apartment construction. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 1998 Jul;14(3):353-62.
19. Kim B. The appropriation and the use scheme of safety control for reducing severity rate of injury on construction. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 2008 May;28(3D):383-90.
20. Oh SW, Kim YS, Choi SH, Choi JW. A study on the estimation of occupational safety and health expense rate by safety environment change in construction industry. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*. 2013 Jul;14(4):97-107. <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2013.14.4.097>
21. Occupation Safety and Health Acts [Internet]. Ministry of Employment and Labor. 2019 Dec 13. Available from: <http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=206708#J30:0>

22. Horie S. Occupational Health Policies on Risk Assessment in Japan. *Safety and Health at Work*. 2010 Sep;1(1):19-28. <https://doi.org/10.5491/SHAW.2010.1.1.19>
23. Reinhardt UE. The Swiss Health System: Regulated Competition without Managed Care. *Jama*. 2004 Sep;292(10):1227-31. <https://doi.org/10.1001/jama.292.10.1227>
24. Cameron I, Hare B. Planning tools for integrating health and safety in construction. *Construction Management and Economics*. 2008 Oct;26(9):899-909. <https://doi.org/10.1080/01446190802175660>
25. Buica G, Antonov AE, Beiu C, Pasculescu D, Remus D. Occupational health and safety management in construction sector-the cost of work accidents. *Calitatea*. 2017 Jan;18(S1):35-40.
26. Bianchini A, Donini F, Pellegrini M, Saccani C. An innovative methodology for measuring the effective implementation of an occupational health and safety management system in the european union. *Safety Science*. 2017 Feb;92:26-33. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.012>
27. Choi GH, Loh BG. Control of industrial safety based on dynamic characteristics of a safety budget-industrial accident rate model in republic of korea. *Safety and Health at Work*. 2017 Jun;8(2):189-97. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2016.11.002>
28. Guha H, Biswas PP. Measuring construction site safety in kolkata, India. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 2013 May;4(5):2138-43.
29. Okoye PU, Okolie KC. Exploratory study of the cost of health and safety performance of building contractors in South-East Nigeria. *British Journal of Environmental Sciences*. 2014 Mar;2(1):21-33.
30. Jin BG. A Study on the Optimal Allocation of Occupational Safety and Health Expenses according to a Construction Type of Apartment Houses [masters dissertation]. [Gwangju (Korea)]: Chonnam National University; 2011. 67 p.
31. Smallwood JJ. The influence of engineering designers on health and safety during construction. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*. 2004 Jan;46(1):2-8. <https://hdl.handle.net/10520/EJC26951>
32. Choi SH, Oh SW, Kim YS. Development of enforcement rate for occupational safety and health management expense by construction project types and the percentage of completion. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2014 Jul;30(7):105-14. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2014.30.7.105
33. Hamid ARA, Abd Majid MZ, Singh B. Causes of accidents at construction sites. *Malaysian Journal of Civil Engineering*. 2008 May;20(2):242-59.