

거푸집 붕괴사고 주요 요인별 중요도 분석

Importance Analysis of Major Factors in Formwork Collapse Accident

박 지 영¹

김 광 희^{2*}

Park, Ji-Yeong¹

Kim, Gwang-Hee^{2*}

Bachelor's Course, Kyonggi University, Suwon-Si, Yeongtong-Gu, 16227, Korea¹

Professor, Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon-Si, Yeongtong-Gu, 16227, Korea²

Abstract

Fatal accidents in the construction industry account for a higher proportion than other industries, and in particular, the collapse accident of formwork is likely to lead to a serious accident like death. This study aim to derive the importance ranking of formwork collapse factors using AHP technique for preventing fatal accident. The AHP survey was conducted on field construction engineers, construction project managers, safety managers, and formwork specialist foreman with 10 years on site experience. The results of AHP analysis is that the most importance factor of formwork collapse accident is 'non-compliance with the formwork shoring assembly drawing'. Next it is important in the order of 'poor installation of formwork shoring and accessories', 'formwork shoring is not installed vertically', 'non-compliance with the concrete curing period of the formwork shoring', 'safety supervisor not designated and negligent'. It is necessary to preferentially and intensively manage the high importance factors presented as a result of this research for reducing formwork collapse accident. In addition, it will contribute to reducing construction safety accidents if the factors of the formwork collapse accident suggested in this research are included in the formwork inspection check list and checked step by step in formwork construction.

Keywords : formwork collapse accident, accident factor, importance analysis, AHP analysis

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설업 사고재해자와 사고사망자 수는 감소하고 있는 추세이지만, 타 업종에 비해 여전히 높은 비율을 차지하고 있다. 한국산업안전보건공단(2019)의 발표 자료에 의하면 2019년도 전체 산업재해자 94,047명 중 건설업 사고재해자는 25,298명(16.9%), 사망자 수는 855명 중 428명(50.1%)로 전년대비 재해자는 4.5% 감소하고 사망자는 11.8% 감소하였다[1]. 그러나 전체 산업재해자 중

건설업의 비중이 매우 높으며, 사망자수는 전체 사망자 중 절반을 차지하고 있다.

건설공사 안전관리 종합정보망[2]에 제시된 2020년 공종별 위험요소 도출현황에서 건축공사에서 중 철근콘크리트공사의 위험요소가 281건(31%)으로 타 공정 대비 가장 많았다. 건축공사에서 골조공사는 전체공사에서 전체 공기의 거의 50% 기간[3] 동안 지속되어 상대적으로 중요하고 위험공사에 해당한다고 할 수 있다. 산업안전보건공단에서 제시한 사망재해 다발 작업공종으로 철근콘크리트 공사 외 9개 공종을 제시하였는데, 사망재해 다발 작업공종이 건설업 전체 사망자의 70%를 점유하며, 이 중 철근콘크리트 공사가 17%를 차지하고 있다[4].

거푸집공사에서 발생하는 재해 중 추락(51.2%)은 가장 높은 빈도를 나타냈으며, 다음으로 붕괴(26.5%), 낙하(8.8%), 전도(7.4%), 비례·협착(3.1%), 감전(1.5%)으로 거푸집 추락과 붕괴에 의한 재해가 높은 비율을 차지한다

Received : April 14, 2021

Revision received : May 3, 2021

Accepted : May 3, 2021

* Corresponding author : Kim, Gwang-Hee

[Tel: 82-31-249-9757, E-mail: ghkim@kyonggi.ac.kr]

©2021 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

[5]. 가장 높은 빈도를 나타낸 거푸집공의 추락재해의 경우 거푸집 자체의 문제보다는 안전시설이나 작업자의 행동과 같은 요인도 작용할 수 있지만 붕괴재해는 국내에서의 거푸집 자체의 기술적인 요인이 기인한다고 할 수 있다. 또한 거푸집 붕괴는 중대재해로 연결될 가능성이 크기 때문에 매우 중요하다고 할 수 있다.

건축공사 재해에서 거푸집공사가 차지하는 비중이 매우 크기 때문에 거푸집 공사 재해관련 연구[6-9]가 장기간에 걸쳐 연구되어왔다. 그리고 정부차원에서 거푸집 표준 작업지침 제정[10-14] 등 안전사고 예방을 위해 노력하고 있다. 그러나 거푸집 관련 재해를 예방하기 위해 지속적인 노력에도 불구하고 재해가 줄지 않고 있는 것이 현실이다. 거푸집공사에서 사망사고 등이 최근에도 지속적으로 발생하여 2020년 01월 제주도 아파트 공사장에서 거푸집 설치 작업 중 거푸집이 붕괴되면서 1명이 사망한 재해가 발생하였고[15], 2020년 07월 충남 천안시 주택 신축공사 현장에서 거푸집 철거작업 중 거푸집이 붕괴되어 6명이 부상하는 재해가 발생하였다[16].

그러나 앞에서 기술한 바와 같이 건설업의 재해는 다소 감소하고 있지만, 사망재해자 수 측면에서 전체 산업 중 건설업이 차지하는 비중이 높기 때문에 안전사고 감소를 위한 노력이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 거푸집 붕괴재해의 요인별 중요도를 도출하여 거푸집관련 재해를 예방하기 위한 우선적으로 고려해야 하는 요소를 제시하고자 한다. 향후 본 연구를 바탕으로 추가적인 연구를 통해 거푸집 붕괴사고 감소에 기여하여 이를 기반으로 건설업에서 발생하는 산업 재해가 감소하기를 기대한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 거푸집 붕괴사고 요인별 중요도와 우선적으로 관리할 요소를 정하기 위해 기존문헌고찰을 통해 요인을 선정하고, 선정된 요인을 전문가들 대상으로 AHP 설문을 진행하고 중요도를 분석하였다. 요인도출은 거푸집 붕괴관련 기존연구에서 모든 요인을 발췌한 후 전문가 대상 예비설문을 하여 선택된 빈도가 높은 것으로 선정하였고, AHP 분석을 위한 전문가는 현장시공관리자, 건설사업관리자, 안전관리자, 그리고 거푸집 전문업체 책임자를 대상으로 설문조사를 실시하였는데, 연구를 진행할 절차는 다음과 같다.

첫째, 기존 문헌을 고찰하여 거푸집 붕괴사고 관련 요

인을 발췌하고 전문가를 대상으로 예비 설문을 통해 거푸집 붕괴사고 요인을 선정한다.

둘째, 선정된 사고요인을 바탕으로 전문가 면담을 통해 그룹화하여 상위요인을 도출한다.

셋째, 현장시공관리자, 건설사업관리자, 안전관리자, 그리고 거푸집전문업체 책임자 등의 전문가를 대상으로 AHP 설문을 실시한다.

넷째, AHP 분석을 실시하여 거푸집 붕괴 사고요인의 중요도 순위를 도출한다.

다섯째, 분석 결과를 바탕으로 재해 예방을 위해 우선 대상 요인을 제시한다.

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구고찰

현재까지 거푸집 붕괴사고에 대한 요인과 방안에 관한 연구가 진행되고 있다. 거푸집 붕괴사고에 대한 선행연구는 Table 1과 같다.

Table 1. Previous researches on formwork collapse accident

| Author | Research topic |
|------------------------|--|
| Kim (1995)[17] | Presenting the collapse causes by analyzing formwork collapse cases in Korea |
| Lee (1995)[18] | Presenting collapse causes by analyzing the cases of overseas formwork collapse |
| Choi (1999)[8] | Suggesting preventive measures and identify the causes of formwork collapse accidents |
| Kim et al. (2003)[19] | Analyzing the collapse causes by investigating the collapse cases of formwork shoring system |
| Park and Lee (2015)[5] | Cases analysis of formwork accident by types of accident, work stage, and causes of accident |
| Kim (2016)[20] | Suggesting preventive measures of collapse based on the analysis of formwork shoring collapse accidents |
| Alan et al. (2018)[21] | Addressing whether safety in modern formwork construction is still a problem and what are the main causes to the injuries and fatalities during formwork construction by analyzing accident data regarding formwork construction |

선행연구에서는 사례 분석을 중심으로 거푸집 붕괴사고 요인을 선정하고 이에 대한 해결방안을 제시하였으며, 기존 연구에서 주요 거푸집 붕괴사고 요인으로 의식문제, 설계문제, 시공문제, 구조문제 등이 제시되었다. 따라서 사례분석에서 나타나지 않은 경우 등에 대한 고려는 다소

미흡한 측면이 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다년간 현장 근무경력 소유자이면서 시공, 사업관리, 그리고 안전관리 측면의 관리자와 작업 실무책임자를 대상으로 거푸집 붕괴요인에 대해 AHP 설문으로 주요 사고 요인을 도출하고 이러한 요인에 대한 해결방안을 모색하고자 한다.

2.2 거푸집 공사 안전

거푸집이란 콘크리트 타설시 유출 방지 및 타설 후 강도를 발현하여 경화하기까지 작용하는 내·외부 환경으로부터 콘크리트를 보호하여 콘크리트의 형상과 치수를 확보하는 가설구조물을 말한다[5,22]. 거푸집은 거푸집널, 장선, 명에, 그리고 동바리로 구성되어 있으나 각 구성요소 간의 연결이 불확실하여 항상 붕괴 등 사고요인을 가지고 있다. 따라서 행정규칙인 콘크리트공사 표준 안전작업지침에서 제시하고 있는 거푸집공사에 고려해야 하는 하중, 재료가 갖추어야 할 조건, 조립 시 준수사항, 점검, 거푸집 존치기간, 그리고 해체 시 준수사항을 규정하고 있다[23].

An and Song[24]의 연구에서 거푸집작업의 안전위험성 평가결과 인적손실, 발생빈도, 그리고 검출도를 곱하여 산출한 위험우선순위는 거푸집 자재의 반입·운반이 가장 높고, 다음으로 인양, 해체 조립 순이었다. 그리고 발생빈도, 검출도, 인적손실, 물적손실, 공사비추가 정도, 공기변동, 그리고 영향정도 등을 곱하여 산출한 위험우선순위는 조립과정이 가장 높고, 다음으로 반입·운반, 해체, 인양 등의 순으로 나타났다.

2.3 거푸집 붕괴사고 현황

거푸집 붕괴사고에 대해 국내외에서 거푸집 붕괴사고에 관한 연구가 진행되고 있지만 재해가 과거부터 현재까지도 지속적으로 발생하고 있다. 거푸집 붕괴사고는 다수가 부상당하거나 사망하는 중대재해로 이어진다.

2.3.1 국내 사례

Table 2는 2015년 이후 국내에서 발생한 거푸집 붕괴 사고 현황을 사고발생 시점에 따라 거푸집 조립/설치 중, 콘크리트 타설작업 중, 거푸집 해체 중으로 분류하여 나타낸 것이다.

Table 2. Korean formwork collapse accidents

| Working stage | Date of accident | Project | No. of injured workers |
|---------------------------------|------------------|---|--|
| Formwork assembly/ installation | 2016.12. | Apartment construction project, Busan City | 3 workers were injured |
| | 2018.10. | Food factory construction project, Daejeon city | 6 workers were injured |
| Concrete pouring | 2019.03. | Complex town construction project, Andong city | 3 workers died |
| | 2019.07. | Elementary school construction project, Gimhae city | 3 workers were injured |
| Formwork dismantling | 2015.03. | Road construction project, Yongin city | 1 worker died & 8 workers were injured |
| | 2019.12. | Bridge construction project, Jecheon city | 1 worker died & 1 worker was injured |
| | 2020.06. | Apartment construction project, Sejong city | 1 worker died |

Table 3. Overseas formwork collapse accidents

| Working stage | Date of accident | Project | No. of injured workers |
|----------------------------------|------------------|--|---|
| Formwork assembly / installation | 2014.12. | Ampang LRT extension project, Subang Jaya, Malaysia | 2 workers died |
| | 2015.03. | Steel Complex Port Pier construction project, Vietnam | 14 workers died & 30 workers were injured |
| Concrete pouring | 2014.05. | BGG warehouse construction project, Welshpool, Australia | 6 workers were injured |
| | 2020.02. | Rottnest Hotel renovations project, Rottnest Island, Australia | 3 workers were injured |
| Formwork dismantling | 2017.05. | Building construction project, Oakland, California | 12 workers were injured |

2.3.2 국외 사례

국외에서도 거푸집 붕괴사고에 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있지만 재해가 지속적으로 발생하고 있다. Table 3은 국외에서 발생한 거푸집 붕괴사고 현황을 분류하여 나타낸 것이다.

3. 거푸집 붕괴사고 주요 요인 중요도 분석

3.1 거푸집 붕괴사고 주요 요인 도출

거푸집 붕괴사고 요인에 대한 여러 선행연구를 바탕으로 기존 연구에서 다루어진 요인을 중심으로 21개의 하위 요인을 추출하였다. 관련 전문가 면담을 통하여 거푸집 붕괴요인 중 상위요인을 관리요인, 설계요인, 시공요인으로 구분하였고, 기존 연구에서 추출한 21개 요인을 상위요인으로 각각 분류하였다(Table 4 참조).

Table 4. Factors of formwork collapse accident extracted from previous research

| First level factors | Second level factors |
|--|---|
| Management factors | Loose management/supervision (Inadequate inspection, poor access control, No supervisor) |
| | No legal safety training |
| | Safety supervisor not designated and negligent (Insufficient safety training, Inadequate use of signaling methods) |
| | Formwork shoring used is not adequate to legal No safety measures for evacuation of workers |
| Design factors | Non-compliance with the concrete curing period of the formwork shoring (Collapse due to dismantling formwork shoring before complete curing of the concrete) |
| | Work plan not prepared |
| | Inadequate formwork structural review |
| | Formwork shoring assembly drawing not prepared |
| Construction factors | Formwork shoring structural review not implemented(Use 'steel pipe support+steel pipe support', 'steel pipe scaffold+steel pipe support) |
| | Safety assessment is not implemented |
| | Not considered horizontal impact load |
| | Poor concrete pouring method (Lateral and eccentricity load occurred) |
| Construction factors | Non-compliance with the formwork shoring assembly drawing |
| | Poor installation of formwork shoring and accessories |
| | Mixed use of formwork shoring materials |
| | Poor fixing of head and base of formwork shoring |
| | Poor connection between formwork shorings |
| | Formwork shoring is not installed vertically. |
| Poor installation of formwork buttress | |
| | The formwork and the formwork shoring were not perfectly fixed. |

AHP분석을 위한 하위요인 선정은 거푸집공사 경험이 있는 관련 전문가 현장시공관리자, 건설사업관리자, 안전

관리자, 거푸집 전문업체 책임자 등 4개 그룹을 대상으로 예비설문을 실시하였는데, 그 이유는 현장시공관리자, 건설사업관리자, 안전관리자 등은 실질적으로 현장의 안전 사항을 관리·감독하는 기술자들이고, 거푸집 전문업체 책임자는 거푸집 설치작업을 하는 작업자에게 작업지시와 작업자의 작업을 감독을 하는 실무 책임자이기 때문이다. 이 4개 그룹 총 32명을 대상으로 21개 하위요인 중 주요 요인을 선정하는 예비설문을 실시하였다. 설문결과 하위요인 중 관련 전문가 설문에서 10%이상의 선택비율을 얻은 11개 하위요인을 선정하였다(Table 5 참조). 10%이상 선택비율을 하위요인 선정 기준으로 한 것은 관련 전문가 면담 시 경험에 의해 제시되는 거푸집 붕괴요인들이 10% 이상 선택비율을 받은 경우 모두 포함할 수 있었기 때문에 하위요인 선정의 기준으로 하였다.

AHP 분석을 위한 거푸집 붕괴사고 요인(Table 5)을 계층화한 계층 분석 모형은 Figure 1과 같다.

Table 5. Factors of formwork collapse accident in AHP model

| First level factors | Second level factors |
|--------------------------|---|
| Management factors (A) | A1 Loose management/supervision |
| | A2 Safety supervisor not designated and negligent |
| | A3 Formwork shoring used is not adequate to legal |
| | A4 Non-compliance with the concrete curing period of the formwork shoring |
| Design factors (B) | B1 Inadequate formwork structural review |
| | B2 Formwork shoring structural review not implemented |
| | B3 Formwork shoring assembly drawing not prepared |
| | B4 Safety assessment is not implemented |
| Construction factors (C) | C1 Poor installation of formwork shoring and accessories |
| | C2 Formwork shoring is not installed vertically. |
| | C3 Non-compliance with the formwork shoring assembly drawing |

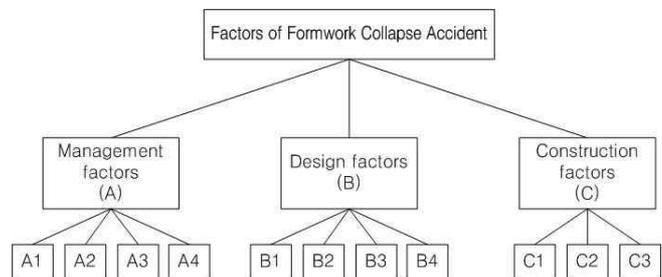


Figure 1. AHP model of formwork collapse accident factors

3.2 AHP 설문조사

예비 설문조사를 통하여 선정한 상위요인 3개와 각각의 하위요인을 가지고, 현장에 종사하고 있는 경력이 10년 이상인 전문가 현장시공관리자, 건설사업관리자, 안전관리자, 거푸집 전문업체 책임자를 대상으로 설문을 진행하였다(Table 6 참조).¹⁾ 설문조사는 상위요인 간의 상대적 중요도 비교와 상위요인 내 각각의 하위요인 간의 상대적 중요도를 비교하였다. 설문은 전문가의 정확한 의견을 수렴하기 위하여 9점 리커트 척도의 쌍대비교를 하여 상대적 가중치를 결정하였다.

Table 6. AHP survey respondents

| Occupation | Frequency (persons) | Ratio(%) |
|------------------------------|---------------------|----------|
| Field construction engineer | 8 | 25 |
| Construction manager | 8 | 25 |
| Safety manager | 8 | 25 |
| Formwork specialist foreman | 8 | 25 |
| 10 years ≤ career < 20 years | 20 | 62.5 |
| career ≤ 20 years | 12 | 37.5 |

4. 설문 결과

4.1 상위요인 가중치

Table 7에 제시된 바와 같이 상위요인의 상대적 가중치를 분석한 결과 현장시공관리자, 건설사업관리자, 그리고 안전관리자는 시공요인을 가장 큰 가중치를 부여하였고, 거푸집 전문업체 책임자의 경우 설계요인에 대한 상대적 가중치가 가장 큰 것으로 나타났다. 설문 응답자 전체를 종합한 상위요인의 상대적 가중치는 시공요인, 관리요인, 설계요인 순이었다.

4.2 거푸집 붕괴사고 주요요인 중요도

4.2.1 직종별 설문결과

Table 8에 제시된 것과 같이 현장시공관리자와 건설사업관리자의 경우 시공요인에 해당하는 거푸집 동바리 조립도 미준수, 수직도 불량, 그리고 거푸집 동바리 및 가설기자재 설치 상태 불량 순으로 중요한 한 것으로 나왔고, 안전관리자의 경우도 시공요인의 하위요인이 중요도가 높

게 나왔으며, 순위는 거푸집 동바리 및 가설기자재 설치 상태 불량, 거푸집 동바리 조립도 미준수, 그리고 수직도 불량 순으로 나타났다. 그러나 거푸집 전문업체 책임자의 경우 가장 중요한 요인은 관리요인 중 거푸집 동바리 존치기간 미준수이고 다음으로 설계요인의 거푸집 동바리 조립도 미작성, 그리고 구조계산 부적합 순으로 나타났다.

4.2.2 전체응답자 설문결과

거푸집 붕괴사고 요인에 대한 전체 응답자의 설문결과는 상위요인에서 시공요인, 관리요인, 설계요인 순으로 상대적 가중치가 높은 것으로 나타났으며, 하위요인에서 거푸집 동바리 조립도 미준수, 거푸집 동바리 및 가설기자재 설치 상태 불량, 수직도 불량, 거푸집 동바리 존치기간 미준수, 안전담당자 미지정 및 직무소홀이 중요도 상위 5개 요인으로 나타났다(Table 7, 8 참조).

5. 결과 논의

거푸집 붕괴요인으로 관리요인, 설계요인, 시공요인 등 상위요인의 가중치 중 시공요인이 가장 큰 것은 거푸집조립의 붕괴를 방지하기 위해 안전조치를 중점적으로 하여야 하는 단계가 시공단계라고 할 수 있다. 이것은 관리측면 또는 설계측면으로 안전조치가 제대로 이행되었다 할지라도 시공단계에 이것을 제대로 이행하지 않는다면 안전사고가 발생할 수 있을 것이다. 다른 관점으로 관리측면 요소나 설계측면 요소의 위험요인이 혹시 해소되지 않았다 할지라도 시공단계에 요인을 제거할 수 있는 기회가 있으나, 시공단계의 경우 곧바로 안전사고로 이어질 수 있을 것이다.

거푸집 붕괴사고 요인 중 관리요인의 상대적 가중치 순위를 살펴보면 거푸집 존치기간의 미준수는 거푸집 전문업체 책임자에서 여타 요인대비 가장 가중치가 높게 나왔고, 관련 전문가 전체의 설문결과 4위를 차지하고 있다. 이것은 거푸집 전문업체 책임자는 골조공사 진행 중에 거푸집 전용을 위해 무리하게 거푸집을 해체하여 거푸집이 붕괴하는 결과에 이르게 된다고 생각하고 있으며, 다른 관련 전문가들도 이 부분을 중요한 요인으로 생각하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 거푸집 존치기간을 확보하기 위해 거푸집 전용 계획 및 골조공사 공정계획을 반드시 안전을 고려해 수립하

1) Lee[25]의 저서에 의하면, AHP 특성상 전문가 집단의 성질이 동일할 때 평가 참여자의 수가 10명 이내여도 신뢰성을 나타낼 수 있다.

Table 7. Weight of the first level factor in AHP model

| First level factor | Field construction engineer | | Construction manager | | Safety manager | | Formwork specialist foreman | | Total | |
|----------------------|-----------------------------|---------|----------------------|---------|----------------|---------|-----------------------------|---------|--------|---------|
| | Weight | Ranking | Weight | Ranking | Weight | Ranking | Weight | Ranking | Weight | Ranking |
| Management factors | 0.410 | 2 | 0.239 | 3 | 0.213 | 3 | 0.278 | 2 | 0.300 | 2 |
| Design factors | 0.108 | 3 | 0.244 | 2 | 0.236 | 2 | 0.521 | 1 | 0.233 | 3 |
| Construction factors | 0.482 | 1 | 0.517 | 1 | 0.550 | 1 | 0.202 | 3 | 0.467 | 1 |

Table 8. The importance weight and ranking of the factors of formwork collapse accident

| First level factors | Second level factors | Field construction manager | | Construction manager | | Safety manager | | Formwork specialist foreman | | Total | |
|---------------------|--|----------------------------|----|----------------------|----|----------------|----|-----------------------------|----|-------|----|
| | | Wt | R | Wt | R | Wt | R | Wt | R | Wt | R |
| Management factor | Loose management/supervision | 0.114 | 4 | 0.039 | 10 | 0.044 | 10 | 0.041 | 10 | 0.066 | 7 |
| | Safety supervisor not designated and negligent | 0.097 | 6 | 0.104 | 4 | 0.038 | 11 | 0.057 | 9 | 0.079 | 5 |
| | Formwork shoring used is not adequate to legal | 0.092 | 7 | 0.029 | 11 | 0.081 | 4 | 0.022 | 11 | 0.057 | 9 |
| | Non-compliance with the concrete curing period of the formwork shoring | 0.108 | 5 | 0.068 | 7 | 0.051 | 8 | 0.158 | 1 | 0.098 | 4 |
| Design factor | Inadequate formwork structural review | 0.018 | 11 | 0.069 | 6 | 0.050 | 9 | 0.137 | 3 | 0.052 | 11 |
| | Formwork shoring structural review not implemented | 0.023 | 10 | 0.064 | 8 | 0.063 | 6 | 0.112 | 5 | 0.054 | 10 |
| | Formwork shoring assembly drawing not prepared | 0.028 | 9 | 0.041 | 9 | 0.059 | 7 | 0.151 | 2 | 0.059 | 8 |
| | Safety assessment is not implemented | 0.039 | 8 | 0.070 | 5 | 0.065 | 5 | 0.120 | 4 | 0.069 | 6 |
| Construction factor | Poor installation of formwork shoring and accessories | 0.138 | 3 | 0.128 | 3 | 0.265 | 1 | 0.074 | 6 | 0.150 | 2 |
| | Formwork shoring is not installed vertically. | 0.154 | 2 | 0.151 | 2 | 0.124 | 3 | 0.068 | 7 | 0.142 | 3 |
| | Non-compliance with the formwork shoring assembly drawing | 0.190 | 1 | 0.238 | 1 | 0.162 | 2 | 0.060 | 8 | 0.175 | 1 |

여야 한다고 할 수 있다.

붕괴요인 중 설계요인의 경우 거푸집 전문업체 책임자 응답결과에서 거푸집 동바리 조립도 미작성, 구조 계산 부적합, 안전성평가 미실시, 거푸집 동바리 구조 검토 미실시가 2,3,4, 그리고 5위에 위치하고 있지만 전체 전문가 설문결과에서 안전평가 미실시와 거푸집 조립 상세도 미작성이 6위와 8위에 위치하고 있다. 이와 같은 결과는 거푸집 구조검토 관련 내용을 유해위험방지계획서 작성 대상 건설공사의 경우 유해위험방지계획서에 포함돼 있으나 이 내용이 전문건설업체까지 공유되지 않은 결과가 아닐까하는 추측을 할 수 있다. 따라서 거푸집 전문업체 책임자가 느끼고 있는 설계요인의 경우는 설계요인과 관리요인 두가 요인을 동

시에 가지고 있기 때문에 각종 계획서가 전문업체와 작업자 등에 확실하게 전달돼 관리기준으로 활용될 수 있도록 하여야 할 것이다.

시공요인에 의한 거푸집 붕괴사고 요인으로 현장시공관리자와 건설사업관리자의 경우 거푸집 조립도 미준수, 수직도 불량, 그리고 거푸집 동바리 및 가설기자재 설치 불량량이 상위 1, 2, 3위이었고, 안전관리자의 경우 거푸집 동바리 및 가설기자재 설치 불량, 거푸집 조립도 미준수, 수직도 불량량이 1, 2, 3위이었다. 거푸집 전문업체 책임자는 실질적 시공책임자로서 시공요인의 상대적 가중치가 낮게 나타났지만 전체 전문가 설문 결과는 순서만 바뀌었을 뿐 거푸집 조립도 미준수, 거푸집 동바리 및 가설기자재 설치 불량수직도 불량, 그리고 수직도 불량 순으로 가중치

값이 큰 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 현장에서 거푸집관련 각종 검토가 건설현장에서 실제로 지켜지지 않는다는 것을 알 수 있다. 각종 법이나 규정에 의해 계획을 수립하지만 이를 실제 작업에서 준수가 되지 않아 안전사고가 발생하므로 거푸집설치 관련 계획을 준수할 수 있는 방안이 강구될 필요가 있다.

김곤목 외 3인[19]의 연구에서 관리결함이 가장 큰 발생률을 나타내고 다음으로 설계결함, 시공결함 순이었다. 시간상 큰 차이가 있지만 기존 연구의 순위와 차이를 보이고 있는 것은 우리나라 건설현장의 관리가 상당히 강화되었고, 관리를 위한 절차서 등이 상당히 고도화돼 관리요인은 설계나 시공요인보다 순위가 낮은 것으로 사료되거나 상대적으로 시공요인은 위험요인의 가중치가 상당히 높게 나타났다. 이 이유는 건물이 과거보다 상당히 고층화가 되었고, 작업자의 연령층이 고령화가 상당히 진행되고, 외국인 근로자의 비중이 높아지는 등 시공요인이 상대적으로 중요하게 된 것으로 판단된다.

6. 결 론

건설공사의 사망재해자 수는 타 산업대비 상당히 높은 비중을 차지하고 있는데, 건설공사의 사망재해자 수를 줄이기 위해 재해발생 시 상대적으로 사망재해가 발생할 가능성이 큰 거푸집공사를 대상으로 위험요인을 파악하고자 하였다. 특히 거푸집공사의 붕괴는 곧바로 사망재해로 연결될 가능성이 커서 건설공사의 사망자 수를 줄이기 위해 거푸집 붕괴사고에 대한 요인을 파악하고 요인을 제거하거나 최소화하는 것이 필요하다.

거푸집 붕괴사고의 요인을 평가하기 위해 기존 문헌고찰을 통해 요인을 추출하고 관련 전문가를 대상으로 AHP 설문조사를 실시하고 각 요인의 상대적 가중치를 산정하였다. 그 결과 시공요인, 관리요인, 설계요인 순으로 가중치가 크게 나왔고, 세부요인에서는 거푸집 동바리 조립도 미준수, 거푸집 동바리 및 가설기자재 설치 불량, 수직도 불량, 거푸집 동바리 존치기간 미준수, 안전담당자 미지정 및 직무소홀이 1위~5위를 차지하는 요인으로 도출되었다.

따라서 거푸집 붕괴사고를 방지하기 위해서 본 연구에서 도출된 각 요인별 가중치가 높은 요인을 대상으로 우선적으로 관리 포인트로 설정하고 집중적으로 확인하는

작업이 필요할 것으로 사료된다. 또한 거푸집 공사에서 점검을 위한 점검표를 만들 경우도 본 연구에서 도출된 요인을 점검항목에 반드시 넣어서 단계별로 점검을 실시한다면 거푸집 붕괴사고를 예방하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 거푸집 공사관련 전문가를 대상으로 AHP설문을 실시하여 가중치를 계산한 결과이다. 그러므로 향후 거푸집 작업을 하는 작업자를 대상으로 설문을 실시하고, 붕괴사고를 직접 경험한 관리자와 작업자를 대상으로 설문을 실시하는 등 좀 더 세부적으로 분류하여 붕괴요인을 도출하고, 가중치를 산정한다면 좀 더 실제 상황과 근접한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 향후 건물 유형별로 그리고 거푸집 종류별로 세분하여 추가적인 연구를 실시한다면 거푸집 붕괴사고 등 거푸집관련 안전사고를 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

건축공사 재해 중 거푸집공사 비중이 매우 크다. 거푸집 공사 재해 예방을 위해 관련 연구가 장기간 걸쳐 진행되고 있지만 지속적인 노력에도 불구하고 재해가 줄지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 AHP 기법을 활용하여 거푸집 붕괴사고 요인별 중요도 분석을 하고 관리할 우선요소를 정하고자 한다. 분석 결과 시공요인, 관리요인, 설계요인 순으로 가중치가 높게 나타났다. 따라서 시공요인을 우선적으로 관리하면 거푸집 붕괴 재해를 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 거푸집, 거푸집 붕괴 사고, 사고요인, 중요도 분석, 의사결정 계층분석

Funding

Not applicable

ORCID

Ji-Yeong Park, <https://orcid.org/0000-0002-4078-2284>

Gwang-Hee Kim, <https://orcid.org/0000-0002-7715-9469>

References

1. Korea Occupational Safety and Health Agency. Industrial accidents in 2019. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2019. p. 1-27.
2. Construction Safety Management Integrated Information. Status of risk factors derived by engineering type(Architecture) [Internet]. Jinju (Korea): Construction Safety Management Integrated Information; 2020-[cited 2020 Nov 13]. Available from: <https://www.csi.go.kr/index.do>
3. Heo YK, Kim DY, Ji SH, Oh JH, Seol DK. A study on the Standard for Determining the Optimal Air in Construction Projects. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2016. p. 1-154.
4. Korea Occupational Safety and Health Agency. Death disaster prevention guide(construction Industry, manufacturing). Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2012. p. 2-11.
5. Park SJ, Lee CS. An accident case analysis for formworks. Korea Institute of Construction Engineering and Management National University Student Conference; 2015 Nov 7; Suwon, Korea. Seoul (Korea): Institute of Construction Engineering and Management; 2018. 136 p.
6. Lee CH. A study on the causes of grave accidents occurring in moulding work and the improvement plans [master's thesis]. [Busan (Korea)]: Donga University; 2006. 77 p.
7. Kim JO, Kim TH, Cho HH, Kang KI. Quantitative analysis of the cause of fatal accidents related to form work using the FMEA method. Korea Institute of Construction Engineering and Management National University Student Conference; 2008 Nov 7-8; Seoul, Korea. Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Engineering and Management; 2008. p. 107-10.
8. Choi SJ. Preventive measures and causes analysis on the accident of collapse in form works. Magazine of the Korea Concrete Institute. 1999 Jul;11(3): 26-36. <http://dx.doi.org/10.22636/MKCI.1999.11.3.26>
9. Kim EJ, Yang YH, Kim MH, Kim MK, Lee SJ. A study on the prevention of collapse disasters of form supports-horizontal linked material. Korea Institute of Construction Engineering and Management National University Student Conference; 2018 Nov 10; Seoul, Korea. Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Engineering and Management; 2018. p. 72-5.
10. Korea Occupational Safety and Health Agency. Safety design guidelines for integrated work plate formwork. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2011. p. 1-14.
11. Korea Occupational Safety and Health Agency. Guidelines for safety work of formwork for small-scale reinforced concrete bridge construction. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2011. p. 1-11.
12. Korea Occupational Safety and Health Agency. Guidelines for safety of work trucks for demolition of bridge slab form. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2011. p. 1-14.
13. Korea Occupational Safety and Health Agency. Guidelines for safety and health work of steel beam-to-column bar(Deck plate method). Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2012. p. 1-23.
14. Korea Occupational Safety and Health Agency. Structural review and guidelines for safety and health work in formwork. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2015. p. 1-16.
15. Hwang MK. A 40-year-old worker dies after a collapse of a construction site in an apartment building in Jeju [Internet]. Seoul (Korea): Chosun Ilbo; 2020-[cited 2020 Nov 13]. Available from: https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2020/01/15/2020011501812.html?utm_source=naver&utm_medium=original&utm_campaign=news
16. Lee EJ. 6 people were injured when the formation of a new housing construction site in Cheonan hit workers [Internet]. Seoul (Korea): Yonhap News Agency; 2020-[cited 2020 Nov 13]. Available from: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20200731122900063?input=1195m>
17. Kim YJ. Collapse cases of formwork in domestic sites. Magazine of the Korea Concrete Institute; 1995 Aug;7(4):50-5. <http://dx.doi.org/10.22636/MKCI.1995.7.4.50>
18. Lee CD. Formwork failures in foreign countries. Magazine of the Korea Concrete Institute; 1995 Aug;7(4):35-43. <http://dx.doi.org/10.22636/MKCI.1995.7.4.35>
19. Kim GM, Kim HS, Jung SJ, Kwak SS. Collapse situation investigation and cause analysis in form-shore system. Architectural Institute of Korea Spring Annual Conference(Structural world); 2003 Apr 26; Yongsin, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2003. 360 p.
20. Kim HJ. A study on the case analysis of collapse disasters of form supports and their preventative measures [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Seoul National University of Science and Technology; 2016. 86 p.
21. Haduong A, Kim JJ, Balali V. Statistical results on incidents for formwork safety in concrete structures. Construction Research Congress 2018; 2018 Apr 2-4; New Orleans, Louisiana, United States of America. Reston, VA (United States of America): ASCE; 2018. p. 645-55. <https://doi.org/10.1061/9780784481288.063>
22. Construction Technology Information System. Formwork guide from Planning to Construction. Goyang (Korea): Construction Technology Information System. 2008. p. 1-546.
23. National Legal Information Center. Administrative Rules-Standard Safety Work Guidelines for Concrete Construction [Internet]. Sejong (Korea): National Legal Information Center; 2020-[cited 2020 Nov 13]. Available from: <https://www.law.go.kr/>
24. An SJ, Song SH. Integrated safety risk assessment and response preparation on construction site formwork using FMECA method. Journal of Korea Safety Management and Science. 2012 Sep;14(3):39-48. <http://dx.doi.org/10.12812/ksms.2012.14.3.039>
25. Lee HC. Collective decision making. Seoul (Korea): Sejong; 2000. 186 p.