

Research Paper

건설현장의 재해사례 분석을 통한 타워크레인 안전성 확보 방안 연구

Study to Secure the Safety of Tower Cranes through Disaster Case Analysis at Construction Sites

손승현¹ · 김지명² · 안성진³ · 나영주⁴ · 김태희^{5*}

Son, Seunghyun¹ · Kim, Ji-Myung² · Ahn, Sungjin³ · Na, Youngju⁴ · Kim, Taehui^{5*}

¹Researcher, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Muan-gun, Jeonnam, 58554, Korea

²Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Muan-gun, Jeonnam, 58554, Korea

³Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, Keimyung University, Dalseo-gu, Daegu, 42601, Korea

⁴Assistant Professor, Department of Architectural Engineering, U1 University, Yeongdong-gun, Chungcheongbuk-do, 29131, Korea

⁵Professor, Department of Architectural Engineering, Mokpo National University, Muan-gun, Jeonnam, 58554, Korea

*Corresponding author

Kim, Taehui

Tel : 82-61-450-2459

E-mail : thkim@mnu.ac.kr

Received : December 8, 2021

Revised : January 11, 2022

Accepted : January 17, 2022

ABSTRACT

Tower cranes have an unstable superstructure, which means that there is a very high risk of accidents. It is necessary to establish preventive measures to ensure the safety of tower cranes at a time when active efforts are being made to reduce safety accidents involving tower cranes. As such, the purpose of this study is to analyze disaster cases to ensure the safety of tower cranes. For this study, 260 cases of tower crane disasters filed with the Korea Occupational Safety and Health Agency from July 2012 to July 2020 were analyzed. Through this analysis, it was found that lifting work was the most common of the work types, at 45.3%; while of the types of disasters, accidents caused by falls were the most common type, at 35.8%. In addition, with regard to the cause of accidents, work method defects was found to be the highest, at 38.8%. In the future, the findings of this study will be used as basic data to guide the establishment of policy to prevent tower crane accidents.

Keywords : tower crane, disaster case, securing safety, construction site

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건축물들은 지속적으로 대형화, 고층화되고 있는 추세이다[1]. 이러한 건설 프로젝트의 추세에 따라 건설양중기계의 효율적 사용이 매우 중요하다. 타워크레인은 고층 아파트 공사뿐만 아니라 건설사업 전반에서 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 특히, 타워크레인은 공사의 초기에 설치되어 마지막까지 사용되며, 공정에 필요한 수많은 자재를 반복적으로 운반하는 역할을 수행한다[2].

그러나 타워크레인은 기초 단면과 비교하여 상대적으로 긴 마스트와 지브, 타워헤드 등이 상부에 설치되어 무게가 가중되는 불안정한 구조이며, 설치, 조립, 상승, 인양, 해체 단계에서의 작업은 사고위험성이 매우 크다[3]. 이러한 타워크레인 작업은 작업자 및 관리자의 실수가 대형사고로 이어질 가능성이 매우 높으며, 최근 사용빈도가 높아짐에 따라 재해발생빈도 또한 증가되고 있다[4].



또한, 기업들의 경영상의 어려움으로 인하여 신규투자가 감소하여 크레인들은 점점 노후화되고 있다. 크레인 등의 대형 장비들은 지속적인 유지보수와 시설투자가 이루어져야 한다. 지속적인 유지보수가 이루어지지 않는다면, 크레인의 안전성을 유지하는데 한계가 있다[5]. 아직까지도 국내 건설현장에서는 노후화가 많이 진행된 국내 회사의 오래된 장비를 중동에 서 국내로 다시 사들여와 표면에 도장만 입혀 현장에 투입되는 경우도 빈번하다. 이러한 열악한 환경 속에서 크레인 안전조치나 관련 제도로는 안전사고를 예방하기에는 많은 어려움과 한계가 있다고 판단된다.

현재 건설현장뿐만 아니라 전반적인 사회의 분위기는 안전에 대한 관심과 욕구가 그 어느 때보다도 높다. 그리고 안전성 확보에 대한 사회적 요구는 지속적으로 높아질 것이다. 이런 시대적 분위기 속에서 크레인 사고로 매년 많은 생명을 잃는 안타까운 현실은 사고 원인을 단순한 설비문제나 작업실수로만 여기기엔 안전적인 측면이나 사회적 요구를 전혀 반영하지 못한다는 것이다. 또한, 줄어들지 않는 크레인 사고와 연이은 대형사고 들은 현재의 안전조치나 관련 제도에 한계가 있음을 보여주고 있다.

국도교통부 통계자료에 따르면, 2021년 국내 건설현장의 타워크레인 설치대수가 약 3,500대를 초과할 것이며, 전년대비 500대 증가로 최근 5년 내 설치대수 최고치를 기록할 것이라 하였다[6]. 이에 따라 타워크레인으로 인한 안전사고가 발생하지 않도록 작업절차 준수와 철저한 장비관리 및 관리·감독 강화지침을 건설 공사현장에 전달하고 있는 실정이다. 이와 같이 현재 타워크레인 안전사고 저감을 위한 노력이 활발히 이루어지는 시점에 타워크레인의 안전성 확보를 위한 예방대책 수립이 반드시 필요하다.

현재까지 타워크레인에 관한 많은 연구들이 수행되었지만, 대부분의 연구들이 장비적인 측면이나 안전장치 개발 등의 기술적인 분야에서 이루어지고 있다[7-10]. 실제 현장의 사고사례를 이용하여 안전관리 측면에서 수행되는 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 재해사례 분석을 통한 타워크레인 안전성 확보 방안 연구이다. 본 연구는 실제 건설현장의 타워크레인 재해사례를 분석하여 자주 발생하는 사고의 유형을 확인하고 사고원인에 대한 방안을 모색하고자 한다. 향후 본 연구의 결과는 학술적으로 타워크레인 사고예방을 위한 정책수립 및 제도개선 의 기초자료로 활용될 수 있으며, 실무적으로 타워 크레인 작업에 관한 안전관리지침서 제시를 위한 기초자료로 활용된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 목적은 실제 재해사례 데이터를 분석하여 타워크레인의 안전성을 확보하는 것이다. 타워크레인의 안전성이라는 기계설비의 결함이나 안전장치의 고장을 최소화하며, 작업 미숙이나 안전 불감증 등으로 인한 위험한 행동을 개선하는 것과 함께 제도적으로 뒷받침함으로써 크레인 사고를 예방하는 것이다. 본 연구에서는 건설현장에서 사용빈도가 가장 높은 고정식 타워크레인으로 범위를 한정한다. 본 연구를 위해 Figure 1과 같이 진행한다.

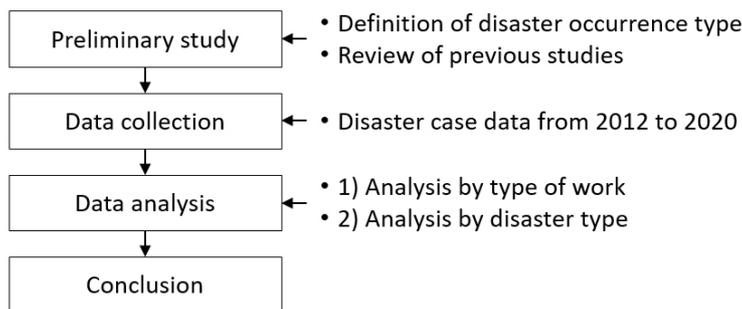


Figure 1. Methodology

첫째, 타워크레인의 안전 및 재해분석 관련 선행연구를 고찰하여 타워크레인의 사고유형 및 원인을 파악한다. 둘째, 타워크레인 관련 재해사례 데이터를 수집한다. 이때, 재해사례 데이터는 2012년 7월부터 2020년 7월까지 한국산업안전보건공단에 접수된 건설 재해사례 중에서 크레인 관련 재해사례 260건을 대상으로 수집하였다. 셋째, 수집된 데이터를 분석한다. 이때, 재해사례 분석은 선행연구를 참고하여, 1) 작업 공종별, 2) 재해 형태별로 구분한다. 넷째, 분석결과에 대한 시사점을 제시한다.

2. 예비적 고찰

2.1 재해발생형태

본 연구에서는 Table 1과 같이 크레인 재해와 밀접한 관계가 있는 재해의 발생형태를 조사하였다[1,11]. 재해 발생형태란 재해 및 질병이 발생된 형태 또는 근로자에게 상해를 입힌 기인물과 관계된 현상을 의미한다[12]. 타워크레인은 동력을 이용하여 중량물을 매달아 상하 및 좌우로 운반하는 것을 목적으로 하는 기계이다. 이 경우, 근로자는 높은 곳에서 작업하거나 중량물 아래에서 작업하는 경우가 많다. 이러한 환경에서 발생할 수 있는 재해형태는 Table 1과 같이 추락, 전도·전복, 충돌·접촉, 낙하·비레, 협착·감김, 붕괴·도괴 등이 있다.

Table 1. Definition of disaster occurrence type

Item	Definition
Fall	When a person falls from a high place such as a building, structure, temporary objects, trees, ladders, etc. due to gravity
Inversion	When a person rolls, falls, or slips on a flat or sloped surface, on stairs, etc
Collision	In case of contact or collision with an object due to the movement of the injured person
Dropping	When an object fixed to a structure, machine, etc. is separated from the fixed part due to gravity, centrifugal force, inertial force, etc. and injures a person
Narrowness	It is caused by movement between two objects, and in the case of stenosis between objects that move linearly, entrapment between the rotating part and the process body, etc.
Collapse	In the case where soil, structures, constructions, etc. are collapsed as a whole or the main part is bent and collapsed.

타워크레인의 경우, Table 1과 같은 재해형태들이 한번 발생되면 사망에 이르는 중대재해로 이어질 수 있다. 특히, Shim and Rie[13]은 고층건물을 만들면서 사용되는 타워크레인은 공사착공 전 설치작업, 공사중 상승 및 이동 작업, 공사 완료 후 해체 작업 등 작업마다 불안정한 위치에 있으며, 가설기자재로써 설치·해체가 반복적으로 이루어진다고 하였다. 그는 이러한 과정에서 근로자와 관리자의 실수가 건설현장 내에서 타워크레인 전복 등과 같은 대형 사고로 이어질 수 있다고 하였다.

이와 같이 고 위험성인 타워크레인 작업에 대한 예방대책을 수립하기 위해서는 실제 사고 현장의 데이터를 수집하여 이를 공정 및 재해형태별로 분류하고 원인을 분석할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 한국산업안전보건공단에 접수된 크레인 관련 재해를 조사하여 공정별 및 재해형태별로 분류하여 그 원인을 분석하고자 하였다. 이를 통해 타워크레인의 안전성 확보를 위한 대책을 수립하고자 한다.

2.2 선행연구 고찰

본 연구를 위해 그 동안 수행되었던 타워크레인 관련 논문을 살펴보면 Table 2와 같다. Wang et al.[14]은 건설현장의 타워크레인 재해사례를 이용하여 안전관리 개선방안을 제시하였다. 그들의 연구는 주로 안전장치에 대한 소개를 많이 하였고

안전장치 사용현황 등을 파악하는 것으로 진행하였다. 그러나 크레인 사고 원인이나 예방대책을 제시하지는 못하였고, 기계 구조를 이해하는데 다소 한계가 있었다. Kim et al.[15]은 건설현장의 무인 타워크레인의 사고사례 분석을 통해 문제점 및 개선방안을 도출하고자 하였다. 그러나 한정된 사례 때문에 무인 타워크레인의 사고 예방대책을 언급하는 면에서는 미흡한 점이 있었다.

Table 2. Review of previous studies

Author	Description
Song et al.[14]	Deduction of safety management improvement plan through tower crane disaster analysis at construction site
Kim et al.[15]	Analysis of accident cases of unmanned tower cranes at construction sites
Kwon[16]	Deduction of major causes of tower crane disasters using FMEA technique
Kim and kang[17]	Establishment of safety prevention measures through crane disaster analysis
Park et al.[18]	Risk assessment for tower crane disaster prevention
Ho et al.[19]	Development of simulation model for safety review of mobile cranes
Bae et al.[20]	Deduction of improvement plan for crane safety management checklist
Kim and kim[21]	Analysis of crane disaster status and establishment of preventive measures
Lee[22]	Construction Equipment Safety Management Status Analysis
Kim and Lee[23]	Improvement of work classification system for safety management
Choi et al.[24]	Analysis of causes of accidents using tower crane accident cases

Kwon[16]은 FMEA 기법을 이용한 타워크레인 위험성 평가 방법을 제안하였다. 그들의 연구는 타워크레인의 위험성을 평가하는데 FMEA 기법으로 사용하였다는 것에 큰 의미를 둘 수 있다. 그러나 실제 현장에서의 적용가능성에 대한 검증이 필요한 것으로 사료된다. Kim and Kang[17]은 크레인 재해분석을 통한 안전 대책을 제시하였다. 2005년부터 2007년까지의 크레인 관련 재해를 분석하여 재해원인, 기인물, 작업형태, 불안정한 행동 및 상태, 재해발생 유형 등의 여러 통계 자료를 작성하였지만, 실질적인 대책을 수립하는 것은 미흡하였다.

Park et al.[18]은 타워크레인 재해예방을 위한 위험성 평가에 관한 연구를 진행하였다. 그들은 자체검사를 실시한 내역으로 위험기반검사(RBI)를 통해 개별 설비구간을 구분하여 위험성평가를 실시하였다. 타워크레인 자체검사 지식을 통해 관리적인 요소부터 기술적인 내용을 담아내려고 노력하였다. Ho et al.[19]은 이동식 크레인의 안전성 검토를 위한 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 그러나 이동식 크레인에 한정하였으며, 프로그램 검증이 되지 않아 실제 현장에 적용하기에는 무리가 있다.

그 외에 Bae et al.[20]은 건설공사 안전사고 예방을 위한 안전관리 체크리스트 개선과 공정관리와의 연계 운영 방법을 제시하였다. Kim and Kim[21]은 크레인 재해의 실태를 분석하고 산업재해를 사전에 방지하는 안전대책을 제시하였다. Lee[22]은 건설현장의 중기계(크레인, 지게차, 버킷굴삭기, 승강기, 펌프카)를 대상으로 재해현황, 안전관리 실태를 분석하였다. Kim and Lee[23]은 건설공사의 사고발생을 분류하여 재해정보의 활용이 용이하도록 작업분류체계를 정비하고자 하였다. Choi et al.[24]은 타워크레인 사고사례 중 기초앵커 설치의 오류로 인하여 발생한 재해를 대상으로 사고 원인을 분석하였다.

이와 같이 지금까지 수행된 연구들은 건설현장의 전반적인 안전사고를 다루거나 크레인과 관련된 사고유형을 한정하여 진행되었다. 또한, 구체적인 목표를 설정하지 않고 단순히 건설업에서 일어나는 전반적인 안전사고를 다루는 연구들도 많아 보다 구체적인 대상을 목표로 한 연구 진행이 필요하다. 따라서 실제 건설현장의 사고 데이터를 대상으로 타워크레인을 중심으로 진행된 본 연구는 실제 현장에서 활용도가 높을 것으로 예상된다.

3. 데이터 수집 및 분석

3.1 데이터 수집

본 연구에서는 한국산업안전보건공단에 접수된 건설 재해사례 중에서 크레인 관련 재해사례를 조사하였다. 수집된 데이터는 2012년 7월부터 2020년 7월까지 8년간 발생한 타워크레인 사고 260건을 대상으로 수집되었다. 수집된 데이터를 다각적으로 분석하여 작업공정별, 재해형태별 중요도를 파악하는 것을 목적으로 한다. 다음 장에서 수집된 데이터들의 작업공정별, 재해형태별 분석을 수행한다.

3.2 데이터 분석

3.2.1 작업 공종별 분석 결과

타워크레인은 기초 양카 설치부터 완성검사에 이르기까지 많은 작업공종이 있다[25]. 이러한 많은 작업공종에 따른 안전성에 대한 위험요인 또한 다양하다[26]. 이러한 위험요인으로부터 재해를 예방하기 위해서는 작업단계별 위험요인 및 중점 관리사항을 수립할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 앞서 설명한 바와 같이 한국산업안전보건공단에 접수된 2012년 7월부터 2020년 7월까지 8년간 발생한 타워크레인 사고 260건을 대상으로 작업공종별 재해사례를 분석하였다. Figure 2와 Table 3는 2012년 7월부터 2020년 7월까지 8년간 발생한 사고 사례의 작업 공종별 분석 결과이다.

Table 3. Results of analysis by type of work of tower cranes

Item	Installation	Rising	Lifting	Maintenance	Dismantle	Total
Number of disasters	33	56	117	16	38	260
Ratio(%)	12.3	21.2	45.4	6.3	14.8	100

Table 3과 같이 재해사례의 작업 공종별 분석결과는 인양 117건(45.4%), 상승 56건(21.2%), 해체 38건(14.8%), 설치 33건(12.3%), 보수 16건(6.2%) 순으로 나타났다. 재해가 가장 많이 발생하는 공종은 인양작업으로 피재자는 타워크레인 운전원 및 타워크레인 작업 반경 내 근접 근로자인 것으로 확인된다. 즉, 운전원 및 타 공종 근로자에 대한 안전대책도 시급한 것으로 나타난다. 특히, 타워크레인으로 인양되는 자재는 대부분 중량물로 인양작업 중에 발생하는 충돌, 낙하 등과 같은 사고는 사망에 이르는 중대재해로 직결되는 특징을 보여준다. 이러한 타워크레인의 인양작업에 대한 사고원인을 보다 자세히 분석하면 Table 4와 같다.

Table 4. Causes of accidents in lifting work

Item	Lack of management of lifting objects	Defective equipment	Signal error	Error in sling rope work	Total
Number of disasters	35	32	30	18	117
Ratio(%)	30.5	28.2	25.8	15.6	100

Table 4와 같이 인양작업시 사고원인 분석결과는 인양물 관리불량 35건(30.5%), 장비결합 32건(28.2%), 신호 불량 30건(25.8%), 줄걸이 불량 18건(15.6%) 순으로 나타났다. 주요 재해원인으로는 인양물 관리불량, 장비결합, 신호불량에 기인한

사고가 타워크레인 관련 사고의 대다수를 차지하고 있는 것으로 확인된다. 인양작업 중 사고의 원인과 연관지어 보면 운전자의 실수보다는 주변의 작업자와 신호수에 의해 사고가 많은 것으로 판단되며 이에 철저한 관리감독이 필요한 것으로 사료된다. 특히, 타워크레인 작업 시 주변통제는 신호수에 의해 관리된다. 그러나 신호수의 통제 불량으로 인하여 하부작업자와 신호수까지 재해를 당한 것으로 조사되었다.

그 외에 Table 3에서 설명한 설치·상승·해체작업은 전문작업자가 반복 시행하는 공종임에도 불구하고 많은 사고가 발생되었다. 이는 반복작업으로 인한 안전 불감증으로 판단되며 지속적인 교육이 필요할 것으로 사료된다. 특히, 사고 예방을 위해서는 설치·해체 팀원들의 안전수칙 미준수 및 작업공정 미준수 등 불안전행동을 원천적으로 차단하는 등 설치·해체 팀원들의 사고예방을 위한 안전보건활동이 매우 중요한 것으로 분석되었다.

이와 같이 작업 공종별 분석 결과를 살펴보면, 대부분의 사고가 자재의 인양작업에서 발생하는 것으로 확인된다. 이러한 결과는 타워크레인 작업시 작업자들이 지속적인 반복작업으로 인하여 안전에 대한 인식수준 결함에서 발생하는 것으로 판단된다. 따라서 타워크레인 작업시 근로자들은 안전수칙을 준수하여 안전에 더욱 심혈을 기울여야 할 것이며, 관리자들은 작업자들의 불안정한 행동이 발생되지 않도록 보다 체계적인 관리가 필요할 것이라 사료된다.

3.2.2 재해 형태별 분석 결과

본 장에서는 국산업안전보건공단에 접수된 2012년 7월부터 2020년 7월까지 8년간 발생한 타워크레인 사고 260건을 대상으로 재해 형태별 재해사례를 분석하였다. 타워크레인 관련 재해형태별 분석결과는 Table 5와 같다.

재해사례의 재해 형태별 분석결과는 추락 93건(35.8%), 낙하 60건(23.1%), 전도 50건(19.2%), 붕괴 43건(16.5%), 협착 14건(5.4%) 순으로 나타났다. 그 결과, 타워크레인의 구조·성능·안전·품질 등의 타워크레인의 불안전 상태에 기인한 사고보다는 추락 등 설치·해체 근로자 및 운전원들의 불안전 행동에 기인한 추락 93건(35.8%) 재해가 발생한 것으로 나타났다.

또한, 추락에 의한 사고는 대부분이 작업방법의 불량에 의해 발생하는 것으로 확인된다. 특히, 설치·조립·해체작업은 고소작업으로 인하여 추락위험이 높고, 인양작업은 낙하/비레 위험이 높은 작업이므로, 작업특성을 반영하여 안전관리에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

Table 5. Results of analysis by disaster type

Item	Fall	Dropping	Inversion	Narrowness	Collapse	Total
Number of disasters	93	60	50	14	43	260
Ratio(%)	35.8	23.1	19.2	5.4	16.5	100

Table 5와 같이 재해 형태별 분석은 추락과 낙하·비레가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이러한 이유는 타워크레인의 작업의 특성인 고소작업의 결과인 것으로 확인된다. 특히, 타워크레인 운전원 및 작업자들의 불안전행동을 예방 할 수 있는 교육 및 안전감독 등의 안전보건 활동이 필요한 것으로 사료된다. 또한, 타워크레인의 구조, 성능, 기계, 안전장치 등의 결함에 의해 발생하는 사고는 타워크레인 지속적인 안전점검을 통해 장비결함의 부적합 사항을 도출하여 제거해야 할 것이다. 이와 같이 본 장에서는 수집된 데이터를 재해형태별로 분석하여 타워크레인 안전사고에 대한 특성을 도출하였다. 다음 장에서 재해사례 발생원인을 분석하여 최종적으로 타워크레인 안전성 확보를 위한 예방 대책을 제시하고자 한다.

3.2.3 재해사례 발생원인 분석결과

Table 6은 2012년 7월부터 2020년 7월까지 8년간 발생한 재해사례의 발생원인 분석 결과이다. Table 6과 같이 재해사례의 발생원인 분석결과는 작업방법 불량 101건(38.8%), 기계장비 불량 45건(16.5%), 방호장치 불량 31건(11.9%), 관리감독

소홀 25건(9.6%), 감전방지장치 불량 20건(7.7%), 출입금지조치 미흡 17건(6.5%), 전도방지장치 미흡 12건 (4.6%), 운전조작 불량 6건(2.3%), 자재 불량 4건(1.5%), 기타 1건(0.4%) 순으로 나타났다.

특히, 근로자의 작업방법 불량이 가장 높은 비중을 차지한다. 이는 크레인 작업자가 위험공간에서 작업 하거나 잘못된 줄걸이 작업방법, 잘못된 크레인 탑승작업 등에서 발생된 것으로 확인된다. 또한, 기계장비 불량의 경우, 크레인 안전장치 고장이나, 구조부나 구동장치 손상, 권상 와이어로프나 체인, 줄걸이 용구의 손상이 있는 상태에서 크레인 작업을 진행하여 발생된 것으로 확인된다.

Table 6. Results of analysis by disaster type

Rank	Content	The number of accidents	Ratio(%)
1	Error in the working method	101	38.8
2	Defects in mechanical equipment	43	16.5
3	Defects in the protection system	31	11.9
4	Error in the management director	25	9.6
5	Defect of the electrical shock prevention device	20	7.7
6	Defects in the prohibition of entry	17	6.5
7	Defect of the conduction prevention device	12	4.6
8	Error in driving and manipulation	6	2.3
9	Material defect	4	1.5
10	Others	1	0.4
Total		260	100

크레인 사고에 대한 정확한 원인분석은 크레인 안전성 확보방안을 제시하기 위한 중요한 절차이다. 크레인 사고에는 여러 원인들이 있을 수 있지만, 사고가 발생하는 과정과 상황을 종합적으로 살펴보고 사고를 일으킨 주요 원인을 찾아내는 노력을 해야 할 것이다. 이와 같이 본 연구에서는 타워크레인 안전성 확보를 위하여 실제 사고사례를 이용하여 공종별, 재해형태별 사고원인을 분석하였다. 향후, 본 연구의 결과는 타워트레인 안전사고 저감을 위한 대책수립에 활용된다.

4. 타워크레인 안전성 확보 방안

본 연구에서는 타워크레인 안전성 확보를 위하여 실제 사고사례를 이용하여 공종별, 재해형태별 사고원인을 분석하였다. 분석된 결과를 바탕으로 본 장에서는 타워크레인의 안전성 확보 방안을 제시한다. 우선, 위험이 되는 요소를 완벽히 제거하는 것이 가장 좋은 안전성 확보방안이다. 그러나 그것은 크레인을 사용하지 않는 것이기 때문에 불가능하다. 결국 크레인을 사용하면서 위험이 되는 요소를 관리할 수 있는 수준으로 낮추는 것이 최선의 방법일 것이다. 따라서 사고 원인분석 자료를 바탕으로 크레인 안전성의 실제적 방안을 Figure 2와 같이 세 가지 관점에서 바라봐야 한다.

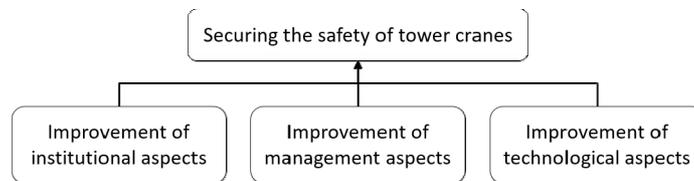


Figure 2. Securing the safety of tower cranes

첫째, 타워크레인의 안전성 확보를 위한 제도적 측면에서의 개선이 필요하다. 크레인을 제작·설치 시 안전기준을 강화하여 설비적 결함을 최소화하고 작업환경을 개선한다. 또한, 작업자의 자격요건을 강화하여 작업 방법의 문제점을 최소화함으로써 크레인 안전성을 확보하는 것이다. 예를 들면, 타워크레인 연식에 비례한 관리 강화 및 철저한 검사를 통해 안전한 장비만 사용하도록 제도적으로 개선해야 한다. 연식에 비례하여 검사내용과 검사주기 등 안전성 검사를 강화하고, 20년 이상의 크레인은 원칙적으로 사용 제한을 두는 등의 조치를 시행하여 안전성을 확보한다.

둘째, 타워크레인의 안전성 확보를 위한 관리적 측면에서의 개선이 필요하다. 크레인 사고의 70% 이상이 부적절한 작업 방법으로 발생하기 때문에 작업자의 안전작업방법 준수와 관리자의 역할강화 등을 통해 크레인 안전성을 확보하는 것이다. 예를 들면, 원청, 임대업체, 설치·해체 업체에 대해 주체별로 안전관리 책임을 강화하고, 설치·해체 작업은 공동의 노력으로 관리하여 안전성을 확보할 수 있도록 해야 한다. 원청은 작업 전반에 대한 안전관리 총괄 의무를 강화해야 하고, 임대업체는 장비 안전성 확보 의무 및 현장 안전관리 의무를 강화해야 한다. 또한, 설치·해체 업체는 설치·해체 작업자의 적절한 자격관리와 안전수칙 미준수로 사고가 발생되면 제재를 가하는 등의 엄격한 사후관리 시스템을 갖추어야 할 것이다.

셋째, 타워크레인의 안전성 확보를 위한 기술적 측면에서의 개선이 필요하다. 제도적 또는 관리적 방안으로 크레인 사고를 예방하는데 한계가 있는 경우 설비개선 등 기술적 방안으로 안전성을 확보하는 것이다. 예를 들면, 앞서 Table 4에서 설명한 바와 같이 인양작업 시 가장 높은 빈도로 발생하는 사고원인은 인양물 관리불량(30.5%)이다. 건축 자재, 파이프 등을 크레인에 매단 경우 고정되지 않은 부재들이 낙하하거나 슬링벨트 등이 중량물의 날카로운 면에 손상되어 사고가 발생된다. 이러한 사고를 예방하기 위해 철판부재나 묶음 다발의 자재를 안전하게 운반할 수 있는 지그를 작업여건에 맞게 다양하게 개발할 필요가 있다. 이와 같이 기술적 측면에서의 개선을 통해 타워크레인 작업의 안전성을 확보한다. 본 연구에서는 타워크레인 안전성 확보를 위하여 실제 사고사례를 이용하여 공종별, 재해형태별 사고원인을 분석하였으며, 그에 따른 안전성 확보방안을 제시하였다. 향후, 안전성 확보방안의 추가적인 연구를 진행하여 실무 적용 가능한 대안을 제시할 것이다. 본 연구의 결과는 궁극적으로 타워크레인 안전사고 예방을 위한 위험도 지수 개발에 활용될 것이다. 향후 연구에서 작업공종별, 재해형태별, 사고원인별 리스크 요인에 따른 위험도 지수를 개발하여 타워크레인 안전성 확보를 위한 리스크 정량화 모델을 완성할 예정이다. 이와 같이 본 연구의 결과는 학술적으로 타워크레인 사고예방을 위한 정책수립 및 제도개선의 기초자료로 활용될 수 있으며, 실무적으로 타워 크레인 작업에 관한 안전관리지침서 제시를 위한 기초자료로 활용된다.

5. 결론

본 연구에서는 최근 크레인 안전성 확보에 관련하여 중요성과 관심이 높아지는 상황에서 재해사례 분석을 통한 사고원인을 파악하였다. 본 연구에서는 2012년 7월부터 2020년 7월까지 한국산업안전보건공단에 접수된 건설 재해사례 중에서 크레인 관련 재해사례 260건을 대상으로 데이터를 분석하였다. 이때, 재해사례 분석은 작업 공종별, 재해 형태별로 구분하여 진행하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 작업공종별 분석결과, 인양 117건(45.4%), 상승 56건(21.2%), 해체 38건(14.8%), 설치 33건(12.3%), 보수 16건(6.2%) 순으로 나타났다. 인양작업이 45.4%로 가장 높게 나타났으며, 인양작업시 사고원인은 인양물 관리불량 35건(30.5%), 장비결합 32건(28.2%), 신호 불량 30건(25.8%), 줄걸이 불량 18건(15.6%) 순으로 나타났다.

둘째, 재해 형태별 분석결과는 추락 93건(35.8%), 낙하 60건(23.1%), 전도 50건(19.2%), 붕괴 43건(16.5%), 협착 14건(5.4%) 순으로 나타났다. 재해 형태 중에서는 추락에 의한 사고가 35.8%로 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 추락에 의한 사고는 대부분이 작업방법의 불량에 의해 발생하는 것으로 확인된다. 특히, 설치·조립·해체작업은 고소작업으로 인하여 추락위험이 높고, 인양작업은 낙하/비레 위험이 높은 작업이므로, 작업특성을 반영하여 안전관리에 주의를 기울여야 할 것이다.

셋째, 타워크레인 안전성 확보방안을 제시하였다. 제도적 측면에서는 안전기준을 강화하여 설비적 결함을 최소화하고 작업환경을 개선하며, 작업자의 자격요건을 강화하여 작업 방법의 문제점을 최소화함으로써 크레인 안전성을 확보한다. 관리적 측면에서는 작업자의 안전작업방법 준수와 관리자의 역할강화 등을 통해 크레인 안전성을 확보한다. 기술적 측면에서는 설비개선 등 기술적 방안으로 안전성을 확보한다.

본 연구의 결과는 학술적으로 타워크레인 사고예방을 위한 정책수립 및 제도개선의 기초자료로 활용될 수 있으며, 실무적으로 타워 크레인 작업에 관한 안전관리지침서 제시를 위한 기초자료로 활용된다.

요약

타워크레인은 기초 단면과 비교하여 상대적으로 불안정한 상부구조를 가지고 있어 사고위험성이 매우 크다. 현재 타워크레인 안전사고 저감을 위한 노력이 활발히 이루어지는 시점에 타워크레인의 안전성 확보를 위한 예방대책 수립이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 타워크레인 안전성 확보를 위한 재해사례 분석 연구이다. 본 연구를 위해 2012년 7월부터 2020년 7월까지 한국산업안전보건공단에 접수된 타워 크레인 재해사례 260건을 대상으로 분석하였다. 그 결과, 작업 공종 중에서는 인양작업이 45.3%로 가장 높게 나타났으며, 재해 형태 중에서는 추락에 의한 사고가 35.8%로 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 사고 발생원인은 작업방법 불량인 38.8%로 가장 높은 것으로 확인되었다. 향후 본 연구의 결과는 타워크레인 사고예방을 위한 정책수립에 기초자료로 활용될 것이다.

키워드 : 타워크레인, 재해사례, 안전성 확보, 건설현장

Funding

This research was supported by a grant (NRF-2019R1A2C1009398) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

This research was supported by a grant (NRF-2021R1C1C2091677) from the National Research Foundation of Korea by Ministry of Science, ICT and Future Planning.

ORCID

Seunghyun Son, <https://orcid.org/0000-0003-1349-5586>

Ji-Myung Kim, <https://orcid.org/0000-0002-1907-4291>

Sungjin Ahn, <https://orcid.org/0000-0002-3419-8639>

Youngju Na, <https://orcid.org/0000-0002-0452-0527>

Taehui Kim, <https://orcid.org/0000-0003-0694-8559>

References

1. Kim HH, Lee G. An analysis of the accident types and causes of construction cranes. Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference; 2007 Apr 2; Gyeongju-si, Korea. Seoul (Korea): the Korean Institute of Building Construction; 2007. p. 109-12.

2. Kee D, Kim WK. Status of fatal crane accidents and their safety measures. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2005 Mar;20(1):137-42.
3. Lee MG, Ro ML. Structural analysis for the collapse accident of tower crane. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2001 Dec;16(4):147-52.
4. Ahn SJ, Kim TH, Kim JM. An analysis of factors affecting the safety of tower crane in construction site. *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*; 2019 Nov 31-Nov 1; Chungju-si, Korea. Seoul (Korea): the Korean Institute of Building Construction. 2019. p. 44-5.
5. Kim YS, Cho JK, Kim MJ, Cho KM, Hyun CT. A productivity analysis of tower crane installation progress based on simulation technique. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2010 Apr;10(2):33-40. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2010.10.2.033>
6. Korea Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Strengthening construction site management supervision to prevent tower crane accidents. 2021 - [cited 2021 October 7] Available from: http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95085821
7. Yun DH, Park JY, Kee JH. Measures to reduce tower crane accidents during operation by improving signal system and education for signalmen. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2019 Aug;34(4):68-75. <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2019.34.4.68>
8. Lee EJ, Shin SW. Field survey on suitable in-service wind speed limit for tower crane operation. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2018 Feb;33(1):103-8. <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2018.33.1.103>
9. Kim DY. A fundamental study on safety management for high-rise building tower crane operators - survey and analysis on tower crane operators' current work condition. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2013 Feb;29(2):59-66.
10. Tam VW, Fung IW. Tower crane safety in the construction industry: A hong kong study. *Safety science*. 2011 Feb;49(2):208-15. <https://doi.org/10.1016/J.ssci.2010.08.001>
11. Kook DH, Kim AY, Seo JM, Kim SK. Analysis of the construction crane accidents according to the accident case study. *Proceedings of the Korean Institute of Construction Engineering and Management Conference*; 2007 Nov 9-10; Busan, Korea. Seoul (Korea): the Korean Institute of Construction Engineering and Management. 2007. p. 436-40.
12. Kim YS, Koo KH, Choe SW, Kwon OJ. Estimation of occupational accident rate about start-up establishment and analysis of characteristics about occurrence. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2012 Aug;27(4):83-9. <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2012.27.4.083>
13. Shim KH, Rie DH. A quantitative risk analysis of related to tower crane using the fmea. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2010 Dec;25(6):34-9.
14. Qing Y, Li HZ, Jing JH, Zeng FY, Rui R. Dynamic behavior analysis and its application in tower crane structure damage identification. *Advanced Materials Research*. 2012 Oct;368-373:2478-82. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.368-373.2478>
15. Kim JD, Jung JW, Lee SH, Son JW. Significance analysis of major accident factors of remote control tower crane using AHP technique. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2019 Dec;2(2):76-81. <https://doi.org/10.20931/JKICS.2019.2.2.076>
16. Kwon GM. Deduction of accident cause for tower-crane using FMEA method [dissertation]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2015. 120 p.
17. Kim DS, Kang KS. A study for safety countermeasures of crane working. *Journal of the Korea Safety Management & Science*. 1999 Dec;1(1):171-81.
18. Park JH, Park TJ, Seo DW, Yang DD, Lim HK, Seo YH. Ergonomic design guideline for cranes to prevent industrial accidents. *Proceedings of the Ergonomics Society of Korea Conference*; 2006 May 12-13; Seoul, Korea. Seoul (Korea): the Ergonomics

Society of Korea. 2006. p. 146-150.

19. Ho JK, Kim SK, Kook DH. A system for the selection of the optimum tower cranes(Opt-TC). *Journal of the Korean Institute of Construction Engineering and Management*. 2007 Dec;8(6):216-26.
20. Bae JH, Kim KH, Lee DH. Efficiency analysis of tower crane lifting work for project management of construction. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2019 Dec;2(2):63-9. <https://doi.org/10.20931/JKICS.2019.2.2.063>
21. Kim DH, Kim HJ. A plan of the accident classification system for the analysis of disaster information in construction projects. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*. 2001 Nov;17(11):139-45.
22. Lee JW. Key management POINT shown in the analysis of construction disaster status. *Journal of the Korea Construction Safety Engineering Association*. 1997;25:64-8.
23. Kim YR, Lee IY. A study on alternative budget classification for disaster and safety management. *Journal of the Korean Society and Public Administration*. 2018Feb;28(4):139-69. <https://doi.org/10.53865/KSPA.2018.02.28.4.139>
24. Choi SY, Cho KH, Park DH, Choi BG. A study on the work environment and accident exposure status of Tower Crane workers. *Journal of the Korea Safety Management and Science*. 2015 Sep;17(3):115-23. <https://doi.org/10.12812/ksms.2015.17.3.115>
25. Lee MK, No MR. Analysis of causes of tower crane accidents due to poor construction of foundation anchors. *Proceedings of the Korean Society of Safety conference*. 2000 Feb; Seou, Korea. Seoul (Korea): the Korean Society of Safety conference. 2000. p. 411-6.
26. Woo, BM, Park JM, Lee JW, Chung NH. A study on economical analysis of yarding operation by cable crane. *Journal of Korean Society of Forest Science*. 1990 Dec;79(4):413-8.