

유·무인 타워크레인의 사고 사례 비교분석 연구

정경태¹ · 조민제¹ · 김혜인¹ · 이동훈^{1,*}

¹한밭대학교 건축공학과

Comparative Analysis Study on Accidents Cases of Manned and Unmanned Tower cranes

Jeong Kyeongtae¹, Jo Minje¹, Kim Hyein¹, Lee Donghoon^{1,*}

¹Department of Architectural Engineering, Hanbat National University

Abstract : In this study, based on accident cases of manned and unmanned tower cranes, the types and causes of accidents were analyzed and tower crane accident prevention measures were proposed accordingly. As a result, 'lack of communication' was commonly analyzed as the biggest cause of accidents. Therefore, in this study, we investigated domestic and international systems and laws regarding signalmen responsible for communication between tower crane operators and workers and proposed the following three improvement methods. First, the signalman system must be legally and institutionally reestablished. Second, national agencies and private organizations with expertise should create standardized training manuals and distribute them to signalman educators, and create checklists to manage educators. Third, in the case of a site using a tower crane, the employer must mandatorily deploy a signalman with professional qualifications. Lastly, the results of this study are expected to highlight the differences in accident types and causes of manned and unmanned tower cranes and the need for legal and institutional improvement in the signal system.

Keywords : Tower crane accidents, Unmanned tower crane, Manned tower crane

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국도교통부에 따르면 최근 몇 년 사이 타워크레인 사고로 인한 사망자 수가 증가하고 있다. 2013년부터 2017년까지 최근 5년간 타워크레인 사고에 따른 사상자 수는 총 83명으로 사망 39명, 부상 44명이다 (MOLIT, 2019). 또한, 산업안전보건공단에 따르면 2007년부터 2017년까지 약 50건에 달하는 타워크레인 관련한 중대 재해가 발생하였다 (KOSHA, 2014). 타워크레인은 건설 현장에서 자재의 양중

및 이동을 위해 사용되는 필수적인 장비이다 (Son, 2022). 따라서, 타워크레인 관련한 중대 재해가 계속해서 발생하고 있음에도 불구하고 타워크레인은 사용하지 아니할 수 없는 장비이다. 최근, 이러한 타워크레인의 수요가 점점 증가하고 있으며 그에 따라 타워크레인의 등록 대수가 계속해서 증가하고 있다 (Cho, 2022). Table 1은 연도별 타워크레인 등록 대수이다. 2014년도와 비교한 2019년도의 타워크레인 수는 약 2배 가까이 증가한 실정이다.

타워크레인은 유인과 무인으로 나눌 수 있으며 특히, 최근 도심 건설 현장에서는 현장과 인근 건물이 가깝게 접해 있거나 소규모 건축물의 경우 작업에 간섭이 생길 수 있다는

* Corresponding author: Lee, Donghoon, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, Korea
E-mail: donghoon@hanbat.ac.kr
Received January 2, 2024
Revised January 12, 2024
Accepted January 15, 2024

Table 1. Number of tower cranes registered per year (MOLIT, 2019)

Year	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Registered (T/C)	3,033	2,900	3,076	3,171	3,673	5,432	6,162	6,283	6,204

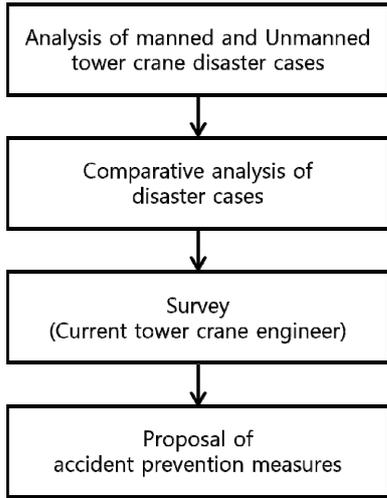


Fig. 1. Research methodology

이유로 무인 타워크레인의 설치가 증가하고 있다. 앞서 언급하였듯이 타워크레인 사고 발생이 계속해서 증가하고 있으며 이 중에는 무인 타워크레인과 유인 타워크레인의 사고가 모두 포함되어 있다. 여기서, 유인 타워크레인과 무인 타워크레인의 사고 원인은 다를 수 있으며 또한, 그에 따른 예방대책이 다를 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 유무인 타워크레인의 사고사례를 비교분석하고 그에 따른 사고 예방대책을 제안한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위 및 방법은 그림 1에 나타난 바와 같다. 본 연구에서는 유인타워크레인과 관련된 재해사례(한국산업 안전보건공단 2007~2014년)와 무인타워크레인과 관련된 재해사례(건설안전정보시스템 2010~2017년)를 비교 분석하여 사고 유형을 분류하고 사고 원인을 분석한다. 이후 설문조사를 통해 현직 타워크레인 기사들이 생각하는 타워크레인의 사고 원인을 도출한다. 마지막으로 타워크레인 관련한 안전사고를 줄이기 위한 예방대책을 제안한다.

2. 이론적 고찰

2.1 타워크레인 구조부

타워크레인은 T형과 L형으로 나눌 수 있으며 각각의 구조부는 다음과 같다. T형 타워 크레인의 구조 명칭은 그림 2, 표 2에 나타난 바와 같으며 L형 타워 크레인의 구조 명칭은 그림3, 표 3에 나타난 바와 같다. 그 밖에 타워크레인의 안전장치로는 권과방지장치, 속도제한장치, 비상정지장치, 혹은 해지장치, 과부하 방지장치 등이 있다.

본 연구에서는 유무인 타워크레인의 사고사례를 분석하기에 앞서 표 4에 나타난 바와 같이 선행연구를 분석하였다. Song(2018)은 타워크레인과 관련된 중대재해사례를 통해 사고의 유형을 파악하였다. 이후, 타워크레인 기사를 대상으로

설문조사를 실시하여 타워크레인의 안전과 작업 실태를 인터뷰하였다. 이를 통해 교육, 계획, 점검 부분에서의 예방을 강조하였으나 법적 제도를 통한 방안은 언급하지 않았다.

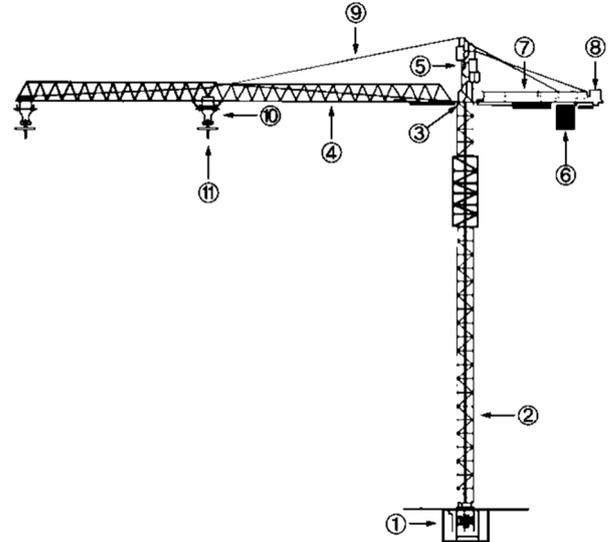


Fig 2. T-type tower crane main structural parts (KOSHA, 2014)

Table 2. T-type tower crane main structural parts (KOSHA, 2014)

No.	Name	No.	Name
1	Basement	7	Counter Jib
2	Mast	8	Elevator
3	Turning Equipment	9	Tie Bar
4	Main Jib	10	Trolley
5	Cat Head	11	Hook Block
6	Counter Weight		

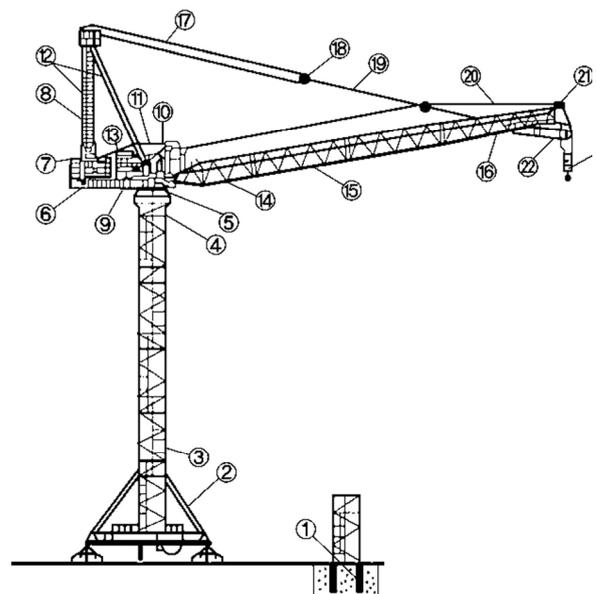


Fig 3. Luffing (L-type) tower crane major structural parts (KOSHA, 2014)

Table 3. Luffing (L-type) tower crane major structural parts (KOSHA, 2014)

No.	Name	No.	Name
1	Base Anker	13	Pressure Rods
2	Under Carriage	14	Jib Fibutt Section
3	Tower Section	15	Middle Jib Section
4	Join Slip Ring and Slowing Ring Support	16	Jib Head Section
5	Ball Slowing Ring	17	Luffing Rope
6	Machine Platform	18	Pulley Block
7	Counter Balast	19	Jib Guy Rope
8	Luffing Gear	20	Hoisting Rope
9	Hoisting Gear	21	Measurement Axes for Overload Protection
10	Slowing Gear	22	Rope Tangle Preventer
11	Fall-back Gaurd Strut	23	Hook Block
12	Jib Retaining Frame and Support Rods		

2.2 선행 연구 고찰

다음으로 Yun(2019)은 타워크레인 관련 사고의 주된 원인을 신호수에 대한 관리로 선정하여 연구를 수행하였다. Yun은 국내외 신호수 관리체계를 분석하고 국내 신호수를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 이를 통해 법규 및 제도, 신호체계 등의 필요성을 강조하였다. 하지만, 타워크레인의 사고를 단순히 신호수에 관한 문제만을 강조하였다는 한계가 있다. 반면 Kim(2020)은 타워크레인 붕괴사고 발생을 예방하고자 개선사항을 도출하였다. 이를 위해 붕괴 사고 사례를 바탕으로 위험요인을 도출하였으며 전문가 중심의 설문조사를 수행하였다. 또한, 붕괴사고 안전관리 개선방안을 3단계로 계층화하였으며 항목별 중요도 평가를 수행하였다. 마지막으로 Lim(2022)은 10년간 발생한 재해사례와 국외의 신호수 관리체계를 분석하였다. 또한, 타워크레인 기사와 신호수의 인터뷰를 통해 문제점 및 개선항목을 도출하였다. 이후, AHP 분석을 통해 항목별 중요도를 도출하였으며 신호수 관련한 법제도적 측면의 개선을 강조하였다. 상술한 바와 같이 타워크레인 안전사고에 관한 기존 연구에서는 유인과 무인 타워크레인을 구분하지 않고 재해요인, 개선방안 등을 도출하였다. 또한, 단순히 신호수에 관한 문제로 규정한 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 유무인

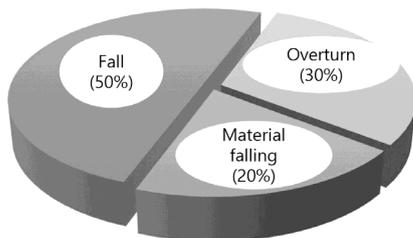


Fig 4. Types of manned tower crane accidents

Table 4. Review of previous studies

Author	Description
Song (2018)	Song(2018) analyzed serious accidents involving tower cranes to identify the types of accidents, and conducted surveys and interviews with tower crane operators to investigate the safety of tower cranes and their work. However, there is a limitation in that it mentions the need to attach safety devices to tower cranes, but does not emphasize enforcement through the legal system.
Yun (2019)	Yun(2019) compared the management system of tower cranes in Korea with overseas countries and identifies the operation status and problems of tower cranes in Korea through a survey on tower crane signals. However, there is a limitation in that it only emphasized the need to improve the management system of signal towers.
Kim (2020)	Kim(2020) identified improvements to prevent tower crane collapse accidents. Risk factors were analyzed through the analysis of collapse accident cases, and an expert-centered survey was conducted. However, there is a limitation that the survey emphasized the possibility and necessity of tower crane maintenance rather than the exact solution.
Lim (2022)	Lim(2022) mentions the limitation that only equipment management is being carried out as a safety management measure for tower cranes. This study examines the management system of signalmen in other countries based on the results of analyzing disaster cases that have occurred over the past 10 years. The results emphasized the need to improve the system of the Professional Signalman's Law, suggesting the need to foster professional signalmen. However, there is a limitation that it emphasizes the importance of the management of signalmen and does not present the exact application method.

타워크레인의 사고사례를 비교 분석하며 그에 따른 재해예방 대책을 제안한다.

3. 타워크레인 사고의 유형 및 원인

3.1 타워크레인 사고유형 및 원인분석

3.1.1

한국 산업안전보건공단에서 발표한 유인타워크레인의 사고 사례 10건(2007~2014)을 분석한 결과, 사고유형은 추락과 전도, 낙하 크게 3가지로 분류된다. 사고 원인은 크게 작업자의 안전 미숙과 운전자와 작업자 간의 소통 미흡 그리고 타워크레인 장비의 결함 세 가지로 나뉘었다. Figure 4, 5는 유인 타워크레인의 사고유형 및 원인을 나타낸 그림이다.

3.1.2

건설안전 정보시스템에서 발표한 무인 타워크레인 사고 사례(2010-2017) 10건을 분석한 결과, 사고유형은 유인 타워크레인인과 같이 추락과 전도, 낙하로 크게 3가지로 분류된다. 하지만 사고 원인은 다르게 나타났다. 무인 타워크레인의 사고 원인은 크게 운전자와 작업자 간의 소통 부족과 무인 타워크레인 기사의 조작 미숙 그리고 타워크레인 장비 자체

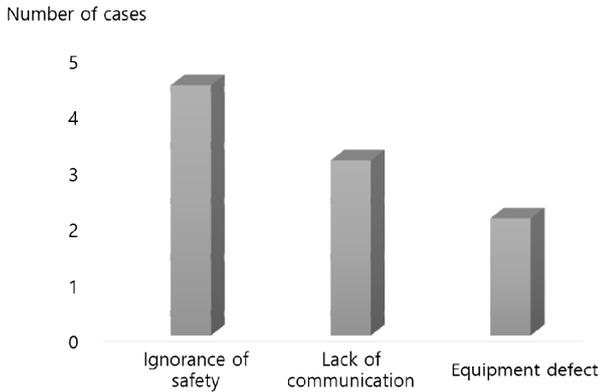


Fig 5. Causes of Manned tower crane accidents

의 결함 세 가지로 나뉘었다. 아래 Figure 6, 7은 무인 타워 크레인 사고 유형과 그에 따른 사고 원인이다.

3.2 설문조사

본 연구에서는 현직 타워기사 10명을 대상으로 하여 설문 조사를 실시했다. 경력 5년 이상에 2명이 응답했고 10년 이상에 8명이 응답했다. 현재 운전하는 타워 크레인의 종류에 대해서는 각각 50%로 나타났다. 유인 타워 크레인 기사 중 70%는 무인 타워 크레인을 운전해 본 경험이 있다고 답했다. 70%의

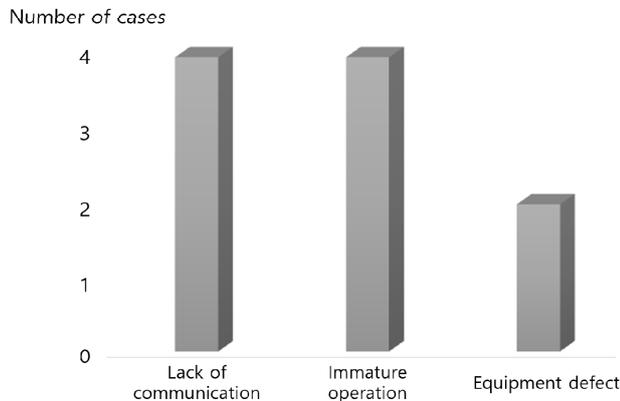


Fig 7. Causes of unmanned tower crane accidents

유인 타워 크레인 기사들은 무인 타워 크레인이 증가하고 있는 추세여서 직업의 안정화를 위해 무인 타워 크레인을 운전한다고 답했다. 조사대상자들은 타워 크레인의 사고 원인을 안전 규칙 미준수 40%, 운전수와 신호수간의 소통 부족 30%, 불법 개조 20%, 장비 결함 10%로 생각했다. 타워 크레인의 사고를 줄이기 위한 대책으로는 안전관리 교육 강화, 유능한 신호수 배치로 인한 원활한 소통, 불법 개조 및 노후된 타워 크레인 사용 금지가 있었다.

4. 타워 크레인 사고 예방 대책

본 연구에서는 '3. 타워 크레인 사고의 유형 및 원인'에서

가장 많이 도출된 '소통 미흡'에 대한 해결 방안을 제안한다. 건설 현장에서 타워 크레인 운전자와 작업자 간의 소통을 담당하는 신호수에 대한 국내외 체계와 법령을 조사하고 미흡하다고 생각하는 부분을 찾아 개선 방법을 제안한다.

4.1 국내 신호수 관리제도

타워 크레인 신호수는 타워 크레인을 사용하여 신호의 업무를 맡은 사람으로서 정해진 신호 방법에 따라 타워 크레인 양중 작업 반경 밖에서 양중물을 목적인 장소로 안전하게 유도하는 임무를 맡은 자라고 정의한다. 국내 타워 크레인 신호수의 자격 및 교육에 대해서는 산업안전보건법 시행규칙 제 50조에서 해당 기계 등을 조작하는 사람에게 연락 및 신호

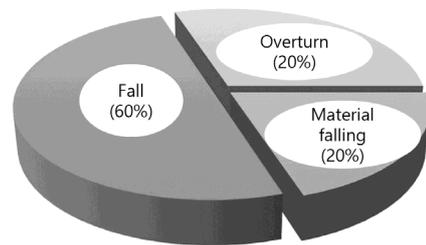


Fig 6. Types of unmanned tower crane accidents

방법을 주지시키도록 하고 있다. 2018년 3월 30일 개정된 동법 별표 8 "산업안전, 보건 관련 교육과정별 교육 시간"에는 타워 크레인 신호 작업에 종사하는 일용근로자는 8시간 이상의 특별안전교육을 이수 후 타워 크레인 신호 업무를 할 수 있도록 규정하고 있다. 또한, 동법 별표 8의2에서는 "타워 크레인을 사용하는 작업 시 신호 업무를 하는 작업"을 하는 작업 전 타워 크레인의 기계적 특성 및 방호장치 등에 관한 사항, 화물의 취급 및 안전 작업 방법에 관한 사항, 신호 방법 및 요령에 관한 사항 등에 대해 교육을 받도록 하고 있다.

4.2 해외 신호수 관리제도

미국, 영국, 일본 등 주요 국가에서는 크레인 작업 시 소정의 자격 조건을 갖춘 인력에 한하여 양중 및 신호 작업을 하도록 하고 있다. 미국의 경우, 건설업 안전관련 연방법규인 29 CFR 1926 Subpart CC (Cranes & Derricks in Construction)에서는 제 3평가원(Third party qualified evaluator)에서 자격을 갖춘 신호수에 한하여 크레인의 조립 및 해체 작업을 할 수 있도록 하고 있으며, 각 기관별 자체시험을 실시하여 신호수 능력을 갖추고 있는지 검증하고 있다. 영국의 경우, 줄걸이 및 신호수 관련 작업에 대한 세부적인 내용은 양중작업 및 양중장비 규정(The Lifting Operations and Lifting Equipment Regulations 1998)의 제8장 리프팅 작업의 구성(Organization of lifting operations)에 일정 자격을 갖춘 근로자가 줄걸이 작업 계획을 작성하도록 하고 있다. 마지막으로 일본의 경우에는 노동안전위생법 제61조(취업의 제한), 크레인 안전규칙 제22조

(특별교육), 안전위생교육에 관한 안전위생교육지침(공시 제4호)에 따라 신호수는 의무적으로 줄걸이 작업 안전교육을 받아야 하며, 크레인 운전자격을 가져도 1톤 이상의 크레인에서 줄걸이 작업을 하려면 반드시 기능 강습교육을 수료해야 한다. 또한 신호수는 필기 및 실기 시험을 통해 관련 자격을 취득해야 한다.

4.3 국내 신호수 제도 개선 방안

본 연구에서는 신호수 역량을 향상시키기 위한 법, 제도적 보완이 필요하다고 판단된다. 우리나라의 타워크레인 신호수는 현장 작업 전 특별안전교육 8시간을 받도록 하고 있으나, 신호수의 전문성이 부족하여 관련 사고가 감소하지 않고 있다. 반면, 해외는 신호수 자격제도, 전문교육기관 운영 등 체계적인 관리를 통하여 신호수의 역량 검증 후 작업이 가능하도록 제도화 되어 있다.

첫째, 제도적으로 보완하여 신호수 체계를 성립해야 한다. 우리나라는 타워크레인 신호수가 작업 전 현장별로 특별안전교육 8시간을 받도록 하고 있지만, 능력을 검증하는데 있어서 분명한 한계가 있다. 그러므로 신호수 국가 자격증화 도입이 필요하다. 위의 해외 사례와 같이 제도 도입과 전문기관의 교육을 통하여 신호수의 능력 단위를 검증한 후 작업을 할 수 있도록 제도화하여야 한다.

둘째, 국가기관과 전문성을 갖춘 민간단체들이 표준화된 교육 매뉴얼을 만들어 신호수 교육자들에게 배포하고, 체크리스트를 만들어 교육자들을 관리하도록 한다. 현장에서 이루어지는 현장 단위의 교육에 앞서, 전문성 있는 체계화된 신호수 교육이 필요하다. 이론으로만 이루어지는 교육이 아닌 신호수 교육 영상을 제작하여 형식적인 교육을 제공하지 않도록 해야 한다.

셋째, 타워크레인을 사용하는 현장일 경우 사업주가 전문 자격을 갖춘 신호수를 의무적으로 배치하도록 한다. 또한, 전문 신호수의 자격과 신호 체계 및 방법 등을 법령으로 정하여 따르도록 할 필요가 있다. 전문 자격이 갖추어진 신호수를 배치한다면, 운전자와 작업자 간의 원활한 소통을 가능하게 하고 안전 대비에 더욱 주의를 기울여 타워크레인의 사고를 예방할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 유무인 타워크레인의 사고 사례를 바탕으로 사고의 유형 및 원인을 분석하고 그에 따른 타워크레인 사고 예방 대책을 제안하였다. 이를 위해 유무인 타워크레인의 사고 사례를 각각 10건씩 분석하였다. 또한, 현직 타워크레인 기사를 대상으로 설문조사를 실시하여 사고 원인을 도출하였다. 그 결과, 공통적으로 '소통 미흡'이 가장 큰 사고의 원인으로 분석되었다. 따라서, 본 연구에서는 타워크레인

운전자와 작업자 간의 소통을 담당하는 신호수에 대한 국내외 체계와 법령을 조사하고 아래와 같이 3가지의 개선 방법을 제안하였다. 첫째, 신호수 체계를 법, 제도적으로 재정립해야 한다. 둘째, 국가기관과 전문성을 갖춘 민간단체들이 표준화된 교육 매뉴얼을 만들어 신호수 교육자들에게 배포하고, 체크리스트를 만들어 교육자들을 관리하도록 한다. 셋째, 타워크레인을 사용하는 현장일 경우 사업주가 전문 자격을 갖춘 신호수를 의무적으로 배치하도록 한다. 하지만 위와 같은 개선방안은 법, 제도, 매뉴얼 등의 변화를 의미한다. 이러한 변화는 관련 분야의 다양한 전문가들과의 협의를 통해 이루어져야 하며 그에 따라 상당한 시간이 소요될 수밖에 없다. 따라서, 법, 제도, 매뉴얼 등의 측면에서의 변화와 더불어 타워크레인 사고를 예방하기 위한 기술적 측면의 연구 또한 활발히 수행되어야 한다. 일례로, 최근 drone, AR/VR, IT 기술 등 스마트 건설기술을 활용하여 건설 안전관리 분야에 적용하는 연구가 수행되고 있다. 타워크레인 관련 분야 또한 이러한 스마트 건설기술을 활용하여 안전사고를 예방할 수 있는 기술 개발 연구가 충분히 가능할 것으로 사료된다. 끝으로, 본 연구의 결과를 통해 유무인 타워크레인의 사고유형 및 원인에 대한 차이와 신호수 체계의 법, 제도적 개선의 필요성을 강조할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국 연구재단(과제번호: 2020R1C2C2012600)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사드립니다.

References

Son, S., Kim, J. M., Ahn, J. M., Na, Y., Kim, T. (2022) "Study to Secure the Safety of Tower Cranes through Disaster Case Analysis at Construction Sites." *Journal of The Korea Institute of Building Construction*, 22(1), pp. 57-67.

Cho, C. (2022) "Study on Solutions to the Heavy Work of Safety Managers at Construction Sites." *Journal of Korea Institute of Construction Safety*, 5(1), pp. 1-8.

Kim, J. Y., Jung, Y. C., Kim, G. H. (2020) "Importance Ranking of Accident Factors of Remote Control Tower Crane by AHP." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 20(6), pp. 497-504.

Youn, D. H. (2019) "Accident Prevention by Improving Signalman Management System of Tower Crane in Construction Site." Master's thesis, *Seoul National University of Science and Technology*, pp. 1-79.

Song, P. Y. (2018) "A study on ways to improve safety management through analysis of tower crane disasters at construction sites." Master's thesis, *Pukyong National University*, pp. 1-91.

Lim, H. M., Kim, S. H. (2022) "A Study on the Efficient operating

System of Signalmen dedicated to Tower Crane.” *Korean Journal of Safety Culture*, 5(18), pp. 163-178.
Ministry of Land., (2019) “Construction Equipment Status Statistics.”

Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). (2014) “2007-2014 Manned Tower Lane Accident Case.”
Construction Safety Information System. (2017) “2010-2017 Unmanned Tower Lane Accident Case.”

요약 : 본 연구에서는 유무인 타워크레인의 사고 사례를 바탕으로 사고의 유형 및 원인을 분석하고 그에 따른 타워크레인 사고 예방 대책을 제안하였다. 이를 위해 유무인 타워크레인의 사고 사례를 각각 10건씩 분석하였다. 또한, 현직 타워크레인 기사를 대상으로 설문조사를 실시하여 사고원인을 도출하였다. 그 결과, 공통적으로 ‘소통 미흡’이 가장 큰 사고의 원인으로 분석되었다. 따라서, 본 연구에서는 타워크레인 운전자와 작업자 간의 소통을 담당하는 신호수에 대한 국내외 체계와 법령을 조사하고 다음과 같은 3가지의 개선 방법을 제안하였다. 첫째, 신호수 체계를 법, 제도적으로 재정립해야 한다. 둘째, 국가기관과 전문성을 갖춘 민간단체들이 표준화된 교육 매뉴얼을 만들어 신호수 교육자들에게 배포하고, 체크리스트를 만들어 교육자들을 관리하도록 한다. 셋째, 타워크레인을 사용하는 현장일 경우 사업주가 전문 자격을 갖춘 신호수를 의무적으로 배치하도록 한다. 끝으로, 본 연구의 결과를 통해 유무인 타워크레인의 사고유형 및 원인에 대한 차이와 신호수 체계의 법, 제도적 개선의 필요성을 강조할 수 있을 것으로 기대한다.

키워드 : 타워크레인 사고, 유인 타워크레인, 무인 타워크레인
