

AHP 분석에 의한 무인타워크레인 사고 요인의 중요도 순위

Importance Ranking of Accident Factors of Remote Control Tower Crane by AHP

김 주 용¹

정 영 철²

김 광 희^{3*}

Kim, Ju-Yong¹ Jung, Young-Chul² Kim, Gwang-Hee^{3*}

Master's Course, Graduate School, Kyonggi University, Yeongtong-Gu, Suwon, 16227, Korea ¹

Doctor's Course, Graduate School, Kyonggi University, Yeongtong-Gu, Suwon, 16227, Korea ²

Professor, Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, Yeongtong-Gu, Suwon, 16227, Korea ³

Abstract

In Korea construction industry, researches are being conducted to reduce the disasters related tower crane due to the increase of tower crane's usage and accidents continuously. Although the usage amount of remote control tower crane has been increasing recently, the research on remote-control tower crane is insufficient. In this study, the importance ranking of remote control tower crane's accident factors derived by AHP analysis. AHP questionnaire was conducted to engineers (or operators) like construction site engineer, construction manager, safety engineer, and tower crane operator, who have more than 10 years career. The results of AHP analysis reveal that top ranking factor of remote control tower crane's accident is lifting work for materials. Therefore, the high importance factors should be managed, and taken the priority measures for reducing the tower crane accidents by using the results of this research.

Keywords : tower crane, remote control tower crane, analytic hierarchy process, importance ranking, accident factors

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건설현장 타워크레인 사용은 1980년대 국내 도입 이후 현재까지 사용량이 지속적으로 증가하고 있다. 국토교통부의 건설기계 현황 통계 자료에 따르면 2015년 기준 3톤 미만 소형 크레인(무인타워크레인 포함) 272대에서 2019년 기준 소형크레인 1,845대로 대형크레인은 22%, 소형크레인은 85% 이상 증가하였다[1]. 이와 같이 건설현장에서 타워크레인 사용 대수가 점점 증가하고 있으며, 장비 자체의 위험과 타워크레인의 설치·상승·해체 작업과 양중작업 시 다양한 위

험요소를 내재하고 있기 때문에 관련사고 발생 시 중대재해로 발전될 가능성이 매우 높다[2].

매년 건설현장 타워크레인 관련 사고는 지속적으로 발생하고 있다. 타워크레인 중대재해는 2016년 9건, 2017년 7건, 2018년 6건, 2019년 8건으로 지속적으로 발생하고 있다[3]. 2020년 1분기 동안 공식적으로 발표된 타워크레인 사고는 대형크레인 4건 무인크레인 1건으로 총 5명의 사상자가 발생하였다.

타워크레인 관련 재해를 저감하기 위해 정부와 학계 등이 다각도로 노력하고 있다. 정부에서는 타워크레인 재해발생 저감을 목적으로 2019년 10월부터 건설기계관리법 시행규칙을 개정하여 건설기계 조종사 안전교육은 19종으로 세분화시켰으며, 무인타워크레인 면허 보유자의 교육주기를 3년으로 단축시켰다[3]. 학계의 무인타워크레인 재해 저감을 위한 연구에서 무인타워크레인의 설치작업자의 작업설명서 숙지 부족, 고정용 와이어로프 확인 미흡, 작업 중 웹 카메라 동시 확인 미흡, 중량물의 제원 확인 미흡 등이 제시되었다[4]. 선행

Received : November 2, 2020

Revision received : November 23, 2020

Accepted : November 29, 2020

* Corresponding author : Kim, Gwang-Hee

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

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

연구들에서 중대형 유인타워크레인에 대해 분석하여 재해를 예방하려는 노력이 많았지만 최근 건설현장에서 사용이 증가하는 무인타워크레인에 대한 연구는 부족하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 무인타워크레인의 재해위험 요인을 선정하고, 요인의 중요도를 산정하여 중요도 순위를 도출하고자 한다. 연구 결과는 무인타워크레인 재해예방을 위한 계획이나 안전관리 활동 시 우선 고려항목을 파악하는데 활용한다면 궁극적으로 건설재해 예방에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 최근 건설현장에서 사용이 증가하고 있는 소형 무인타워크레인의 위험요인별 중요도 순위를 도출하고자 한다. 무인타워크레인 재해요인별 중요도 도출을 위해 AHP분석을 사용하였는데 그 이유는 건설현장 관련 분야별 전문가의 경험을 바탕으로 분석하였기 때문이다, AHP분석을 위한 설문은 건설현장관리 또는 타워크레인 관련 경력 10년 이상 현장시공관리자, 건설사업관리자, 안전관리자, 타워크레인 기사를 대상으로 하였으며 본 연구 진행은 다음과 같다.

첫째, 문헌고찰을 통해 타워크레인관련 사고 현황, 타워크레인의 구조, AHP기법 등에 대하여 예비고찰을 실시하였다.

둘째, 기존고찰 등 문헌고찰을 통해 추출한 무인타워크레인 재해요인을 관련 전문가에게 예비설문을 실시하여 AHP설문을 위한 재해요인을 선정하였다.

셋째, 현장관련 경력이 10년 이상인 현장시공관리자, 건설사업관리자, 안전관리자, 타워크레인기사 등을 대상으로 AHP 설문을 실시하여 중요도를 분석하였다.

넷째, 무인타워크레인 재해예방을 위한 재해요인별 중요도 순위를 도출하여 향후 재해예방에 활용할 수 있도록 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 기존연구고찰

타워크레인의 안전사고와 관련된 다양한 연구들이 수행되었고, 주요내용을 요약하면 Table 1과 같다.

기존 선행연구에서는 유인타워크레인에 대한 연구를 집중적으로 이루어졌으나, 최근 국내의 건축현장에서 중소규모 현장이 많아지며 무인타워크레인의 사용빈도가 높아 무인타워크레인 모두 재해발생 저감을 위한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

Table 1. Literature review related to tower crane accidents

Author	Major research subject
Aneziris et al. (2008)[5]	Risk analysis of the results of tower crane accidents using WORM (Workgroup Occupational Risk Model)
Kwon (2015)[6]	Suggest priority management targets through analysis using the tower crane accidents status and FMEA technique by types
Richard et al. (2001)[7]	Suggest a plan to prevent safety accidents by analyzing cases of tower crane safety accidents and safety procedures
Aviad et al. (2009)[8]	Propose the safety management plans through analysis using the importance and priority of each accident factor through AHP analysis
Cho (2017)[9]	Safety management data derived through analysis using the importance and priority of each accident factor through AHP analysis
Song (2018)[10]	Present the measures to improve safety management by identifying and analyzing types of accidents using tower crane major disaster case analysis and survey
Chi et al. (2010)[11]	Propose the efficient operation of remote control tower crane
Kim and Kim(2020)[12]	Analysis the importance ranking by accident factor of the cab-control tower crane has been presented by AHP analysis.
Kim (2018)[4]	Identify and analyze problems based on accident cases of remote control tower crane and propose improvement plans

2.2 계층 분석적 의사결정 방법(AHP)

계층 분석적 의사결정방법(Analytic Hierarchy Process: 이하 AHP)은 1970년대 초반 T. Saaty에 의하여 개발된 새로운 의사결정방법론으로서 의사결정의 계층구조의 구성요소 간 쌍대비교를 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착한다. AHP는 이론의 특징으로는 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이 있다[13].

AHP는 상위계층에 있는 요소를 기준으로 하위계층에 있는 각 요소의 가중치를 바탕으로 상위계층 요소의 각 하위요소가 다른 하위요소에 비하여 우수함을 나타내는 수치를 바탕으로 쌍대비교행렬을 작성하며, 이 행렬로부터 고유치 방법을 이용하여 계층의 각 층별 정규화한 하나의 우선순위를 산출한다. 마지막으로 계층의 최상위에 위치한 의사결정의 목적을 달성할 수 있도록 해주는 최하위 단계에 있는 대안들의 상대적인 우선순위를 나타내 주는 전체 계층에 대한 하나의 복합 우선순위를 도출하여 계층의 최상위 의사결정의 목적을 달성하게 된다[14].

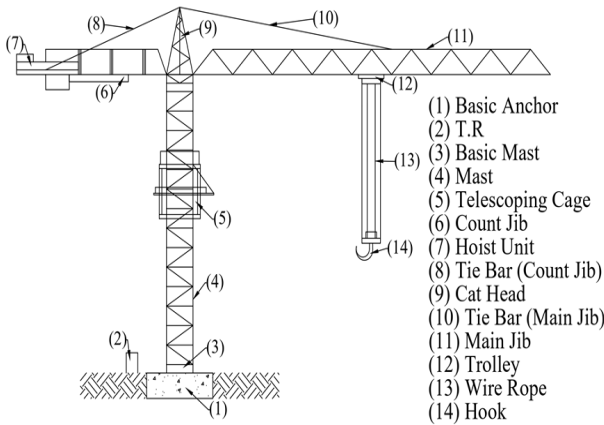


Figure 1. Major parts of remote-control tower crane

2.3 건설현장 타워크레인

2.3.1 타워크레인 구성

Figure 1과 같이 소형 무인타워크레인의 구성은 크게 마스트, 메인지브 그리고 카운터 지브로 구성되어있다. 기초부 기초앵커 상부에 타워크레인을 지지하는 가동의 역할을 수행하는 강재구조물인 마스트가 기초 구조체와 연결된 베이직 마스트 상부로 이루어져 있다. 그 위로 마스트 연장, 해체 작업을 위한 텔레스코픽 케이지가 설치되며 케이지 하부에 메인케이 블과 턴테이블 및 탑 헤드가 있다. 마스트에서 수평방향으로 외팔보 형태의 카운터 지브와 메인지브가 있고, 트롤리 주행을 위한 와이어로프와 권상용 와이어로프가 설치된다.

2.3.2 타워크레인 종류

T형 타워크레인인 Luffing형 타워크레인이 있으며, 타워크레인 기초의 형태에 따라 고정식, 상승식 및 주행식으로 분류된다. 타워크레인의 양중능력에 따라 3ton이상은 대형, 3ton미만은 소형으로 구분되고, 운전원이 운전실 캐빈에 위치하여 조종하는 경우 유인타워크레인, 운전원이 타워크레인에서 분리되어 원격으로 조종하는 무인타워크레인으로 구분할 수 있다. 유인타워크레인의 경우 자격을 보유한 전담 운전원 1명이 조종을 하고, 무인타워크레인의 경우 소정의 교육을 이수한 공중별 운전원이 조종을 하는 경우가 대부분이다[15].

2.4 타워크레인 사고 요인별 사례

2.4.1 설치 및 상승 단계

설치단계 안전사고 발생은 설치 작업 지침 미준수로 인해

사고가 발생하며, 텔레스코픽, 마스트 등의 고정이 완벽하지 않은 상태에서 타워크레인 작동으로 인해 편심이 발생하여 붕괴되는 사고가 주로 발생한다. 설치단계 안전사고 발생 원인으로 텔레스코픽 작업 중 턴테이블 하부와 텔레스코픽 케이지 상부핀을 체결하지 않고 미체결된 상태에서 텔레스코픽 마스트를 권상, 이동 중 지브의 균형이 붕괴되며 상단부가 붕괴되었다[16]. 상승 작업 중 지브의 양방향 균형을 위한 밸런스 웨이트 미사용으로 인하여 불균형한 지브의 상태에서 마스트 상부에 장착된 유압 실린더가 작동하여, 텔레스코픽 케이지의 좌굴이 발생하며 붕괴된 사고가 있다[17].

2.4.2 해체 단계

해체단계 안전사고 발생은 해체 작업 시 주어진 작업 지침을 준수하지 않고 무리하게 부재 해체를 진행하여 사고가 발생하며, 그 과정에서 마스트가 균형을 잃거나 기초부 기초앵커 등이 파손되며 주로 사고가 발생하게 된다. 해체작업 시 안전사고 사례로는 해체를 위한 마스트를 끼워 놓은 채 불일치된 핀 구멍을 맞추고자 크레인을 운용하여 균형을 잃고 붕괴되는 사고가 발생하였다. 케이지의 롤러와 마스트 간 편차가 발생하였으며, 운전조작이 불가능하게 인터록된 것을 해체하고 수동으로 조작하여 사고가 발생하였다[16]. 또한 타워크레인 메인 지브 해체 작업 중 표준 인양위치 선정이 부적정하여 지브 연결부가 파단되어 사고가 발생하였다. 해체된 마스트의 인양 작업에서 부재 운반을 위한 이동식 크레인의 부적절한 위치 선정으로 인해 메인지브의 연결부위에 과도한 하중이 발생하였으며, 해체 작업 중 매뉴얼에 따른 작업절차 미준수 및 관리감독 소홀로 인해 사고가 발생하였다고 할 수 있다[16].

2.4.3 관리 요인

관리 측면 안전사고 발생 원인으로서는 주로 작업절차에 대한 관리감독 소홀, 장비의 이력 및 안전점검 미실시 등이 사고 발생의 원인으로 작용한다. 안전사고 사례로는 비계공이 타워크레인 수직부재 조립을 진행하고 이동식크레인으로 지브를 연결 후 부속 장치 설치를 진행하는 도중 지브의 편하중과 작업하중을 견디지 못한 타워크레인의 본체와 기초부가 함께 전도되며 발생한 사고이다. 사고의 원인으로 타워크레인 기종에 따른 설계검사 도면 준수 여부, 주요 구조부의 구조, 치수, 형식 등에 대한 안전인증이 필요하나 현장 여건 등의 이유로 관련 구조검토 및 안전점검을 확인하지 않고 작업을 진행하여 사고가 발생하였다[16].

3. 안전사고 요인 계층분석 모델 구축

3.1 안전사고 요인 선정

현재까지 타워크레인 안전사고 요인에 대한 다양한 국내외 선행연구가 진행되고 있으며, 기존 연구에서 제시된 요인들은 Table 2와 같다. 기존연구에서 제시된 상위요인 16개를 바탕으로 유사한 요인들을 묶는 과정을 통해 선정된 11개 요인은 Table 2에 제시된 추출요인이다. 다음으로 추출된 11개의 상위요인을 10년 이상 현장 경력이 있는 전문가와 설문과 면담을 통해 타워크레인 안전사고 중요도 관련 상위 요인 5개를 선정하였다(Table 3참조).

Table 2. Extracting major factors of tower crane's accidents

Major factors in previous study	Author (Year)[Ref]	Factors
	Kwon (2015)[6]	Lifting work/Installation work/Dismantling work/Climb work /Others work
	Choi (2017)[9]	Machine factor/Management factor/Installation·Dismantling·Climb factor/Operation factor
	Song, (2018)[10]	Installation work/Climbing work/Dismantling work/Common
	Kim (2018)[4]	Installation work/Climb work/Tower crane operation
Extraction factor		Lifting work/Installation work/Dismantling work/ Climb work/Others work/On-site conditions/Process and construction period/Machine factor/Management factor/Tower crane operation/Other

Table 3. Major factors selected of tower crane's accident

No.	First level factor of AHP structure for tower crane's accident
F1	Dismantling work
F2	Lifting work
F3	Installation work
F4	Prime contractor's management
F5	T/C machine

선정된 5개의 상위 요인별로 기존 선행연구를 바탕으로 25개의 하위 요인을 추출하였으며, 추출한 요인을 대상으로 10년 이상 현장 경력이 있는 전문가에게 하위 요인에 대한 예비설문을 실시하였다. 설문결과 많이 선택된 요인을 기준으로 하위요인을 선정하였고 그 결과는 Table 4와 같다. 상위요인 5개(F1~F5)와 하위요인 15개(F11~F53)로 구성된 AHP 계층도는 Figure 2와 같다.

Table 4. Second level factors of AHP structure

First level factor	Second level(sub) factors of AHP structure for tower crane's accident	
	remote control tower crane	
Dismantling work(F1)	F11	Poor understanding of risk factors during dismantling process
	F12	Bad tightening of bolts
	F13	Low skill level of dismantling workers
Lifting work(F2)	F21	Poor management of lifting objects and control of surroundings
	F22	Operator unable to check the weight and specifications of the lifting objects
	F23	Operator cannot be checked wire and sling rope
Installation work(F3)	F31	Bad bolting brace/mast/telescopic,
	F32	Failure to comply with safety rules and work guidelines for installation work,
	F33	Insufficient skill in worker installation work
Prime contractor's management (F4)	F41	Inappropriate personnel and equipment placement,
	F42	Poor subcontracting technology management by process,
	F45	Insufficient safety management of equipment and personnel
T/C machine(F5)	F51	Equipment aging,
	F52	Crane operation error or failure,
	F53	Problems of overseas parts procurement

Table 5. AHP questionnaire respondents

	Distribution	Frequency (person)	(%)
Profession	Construction engineer	14	31
	Construction manager(CMr)	10	23
	Safety engineer	10	23
	Tower crane operator	10	23
Careers	10 years ~ 20 years	25	57
	more than 20 years	19	43

3.2 AHP 설문조사

예비 설문을 통해 선정된 유인·무인 타워크레인의 상위요인 5개와 각각 3개의 하위요인, 즉 종류별 각 15개 요인에 대한 AHP 설문을 진행하였다. Table 5에 제시된 바와 같이 경력 10년 이상의 전문가에게 총 44부¹⁾의 설문 결과를 AHP 분석을 실시하였다. 설문조사는 2020년도 3월부터 당해 5월 까지 진행하였으며, 요인 간 쌍대비교를 통한 정량화하기 위해 9점 척도를 사용하여 설문을 진행하였다. AHP설문에서

1) Lee HC의 저서에서 AHP의 특성으로 전문가 집단이 동질적일 때 평가 참여자의 수가 10명 이내로도 신뢰성을 나타낼 수 있는 것으로 제시 됨[18]

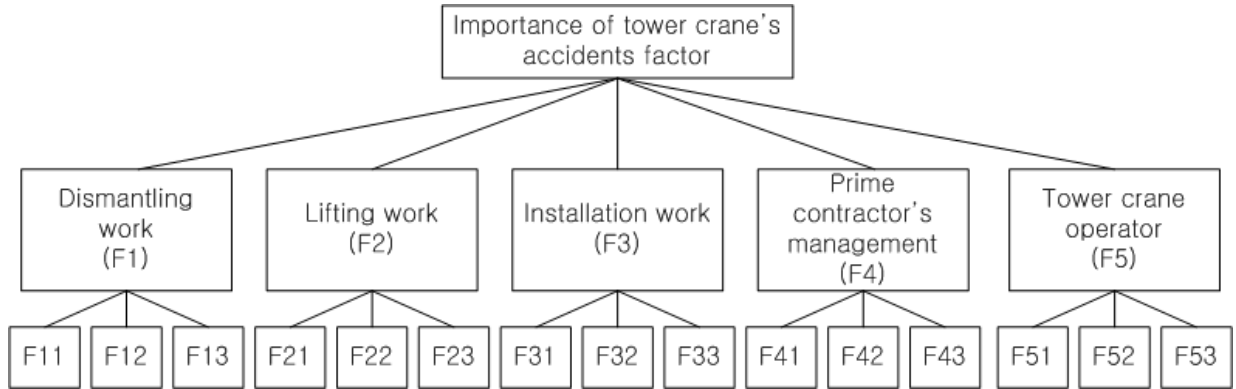


Figure 2. AHP structure for tower crane's accidents

Table 6. Importance ranking of first level(major) factors

Main factor	Construction engineer		Construction manager		Safety engineer		Tower crane operator		Total	
	Weight	Ranking	Weight	Ranking	Weight	Ranking	Weight	Ranking	Weight	Ranking
Dismantling work	0.390	1	0.116	4	0.123	3	0.050	5	0.170	3
Lifting work	0.296	2	0.094	5	0.577	1	0.091	4	0.264	1
Installation work	0.155	3	0.279	2	0.181	2	0.399	1	0.254	2
Prime contractor's management	0.086	4	0.219	3	0.092	4	0.185	3	0.146	5
T/C machine	0.073	5	0.292	1	0.027	5	0.275	2	0.167	4

설문 응답자의 일관성이 중요하므로 설문 분석 전에 일관성 비율(CR) 값이 0.1 이하인 설문지만을 대상으로 분석하여 일관성을 확보하였다.

3.3 상위요인 중요도 분석

3.3.1 직종별 상위요인 중요도

무인타워크레인과 유인타워크레인의 안전사고 발생 상위요인에 대해 14명의 현장시공관리자에게 AHP설문 결과 무인타워크레인의 경우 중요도 분석한 결과 해체작업 요인에 대해 0.390로 가장 중요도가 높았고, 인양작업 요인(0.296), 설치작업 요인(0.155), 원청 관리 요인(0.086) 순이었다. T/C 기계 요인의 경우 0.073으로 가장 낮았다. 건설사업관리자, 안전관리자, 타워크레인기사에 결과는 Table 6과 같다.

3.3.2 전체 전문가 상위요인 중요도

설문에 응답한 전문가 AHP설문 결과 무인타워크레인의

경우 인양작업 요인이 0.264로 가장 중요도가 높게 나왔으며, 설치작업 요인(0.254), 해체작업 요인(0.170), T/C 기계 요인(0.167) 순이었다. 원청 관리 요인이 0.146으로 가장 낮았다.

3.4 하위요인 중요도 분석

3.4.1 직종 별 하위요인 중요도

무인타워크레인의 AHP설문 결과 해체작업 시 위험 요인 숙지 미흡, 인양물의 관리 및 주변 통제 불량, 근로자 해체작업 숙련도 부족 순으로 나타났다. 건설사업관리자, 안전관리자, 타워크레인기사의 안전사고 발생 요인에 대한 AHP분석 결과는 Table 7에 제시된 바와 같다.

3.4.2 전체 전문가 하위요인 중요도

타워크레인 안전사고 발생요인에 대한 전체 전문가의 의견을 종합한 중요도 값은 무인 타워크레인의 경우 인양물의 관

Table 7. Importance ranking of tower crane's accident factors

First level	Second level(sub factor)	Construction engineer		Construction manager		Safety engineer		Tower crane operator		Total		
		Wt	R	Wt	R	Wt	R	Wt	R	Wt	R	
Dismantling work	Poor understanding of risk factors during dismantling process	0.186	1	0.015	15	0.039	9	0.009	14	0.047	12	
	Bad tightening of bolts	0.082	4	0.044	11	0.032	10	0.007	15	0.042	13	
	Low skill level of dismantling workers	0.122	3	0.057	5	0.051	7	0.034	10	0.081	7	
Lifting work	Poor management of lifting objects and control of surroundings	0.178	2	0.033	13	0.311	1	0.010	13	0.105	1	
	Operator unable to check the weight and specifications of the lifting objects	0.062	6	0.040	12	0.082	3	0.071	5	0.103	2	
	Operator cannot be checked wire and sling rope	0.057	7	0.022	14	0.185	2	0.011	12	0.057	9	
Remote control tower crane	Installation work	Bad bolting brace/mast/telescopic,	0.080	5	0.107	4	0.048	8	0.061	6	0.084	5
		Failure to comply with safety rules and work guidelines for installation work,	0.039	8	0.127	3	0.058	5	0.134	3	0.086	3
		Insufficient skill in worker installation work	0.036	10	0.046	6	0.075	4	0.204	1	0.084	4
Prime contractor's management	Inappropriate personnel and equipment placement,	0.019	14	0.045	9	0.020	11	0.037	9	0.031	15	
	Poor subcontracting technology management by process,	0.036	11	0.045	10	0.052	6	0.111	4	0.065	8	
	Insufficient safety management of equipment and personnel	0.031	12	0.130	2	0.020	12	0.037	8	0.050	11	
T/C machine	Equipment aging	0.010	15	0.200	1	0.005	14	0.061	7	0.052	10	
	Crane operation error or failure	0.024	13	0.046	7	0.005	15	0.025	11	0.032	14	
	Problems of overseas parts procurement	0.039	9	0.046	8	0.017	13	0.189	2	0.083	6	

리 및 주변 통제 불량, 슬라잉로프 작업 불량, 설치 작업 시 안전수칙 및 작업지침 미준수, 근로자 설치 작업 숙련도 부족, 브레이크/마스트/텔레스코픽 고정 불량, 해외 부품 조달 문제 순으로 중요한 것으로 나타났다.

4. 결과 논의

타워크레인 사고를 줄이기 위한 각 분야의 노력에도 불구하고 중대재해는 줄지 않고 있다. 또한 3ton 미만의 무인타워 크레인의 사용이 증가하면서 사고발생도 증가하고 있는 추세를 보이고 있다. 따라서 무인타워크레인의 재해위험 요인과 각 요인별 중요도를 도출하여 재해예방에 활용함으로써 타워 크레인 관련 재해를 예방하고자 연구를 진행하였다. 무인타워 크레인의 경우 인양물의 관리 및 주변 통제 불량, 운전원의 자재 중량 및 양중 제한 확인 불가, 그리고 안전수칙 및 작업지

침 미준수 등이 상위 순위로 분석되었다. 특히 인양물의 관리 및 주변 통제 불량의 경우 각 공종별로 소정의 교육을 이수한 운전원이 동일 공정의 타 작업자와 타워크레인을 운용하기 때문에 이를 적절하게 통제하고 관리하는 기능에 문제가 있는 것으로 사료된다. 따라서 이를 통제할 수 있는 별도의 관리자의 감독 하에 작업을 할 수 있도록 하는 것이 중요할 것으로 사료된다. 두 번째 순위의 요인에 해당하는 자재중량 및 양중 제한 확인 불가도 유인타워크레인과의 동일하게 인양물을 지상에 있는 운전원이 직접 확인하는 것이 불가능하기 때문에 카메라 등을 활용하여 작업 중 운용자가 직접 모니터링을 통해 판단과 운용을 할 수 있도록 할 필요가 있다. 안전수칙 및 작업지침을 준수 할 수 있는 지속적인 교육과 관리가 필요하다고 할 수 있다.

대부분의 요인들은 타워크레인을 사용하여 인양작업 중 상황과 주변 관리, 그리고 설치, 해체, 인양작업 등에 대한 작업

지침과 매뉴얼이 현실을 반영하고, 이를 준수하며 작업하도록 하는 관리에 대한 사항이 대부분을 차지한다.

따라서 타워크레인에 대해 충분한 경력과 지식수준을 갖춘 전담 관리자 지정을 통해 각종 지침과 매뉴얼을 수정·보완 및 관리뿐만 아니라 타워크레인 운전원, 작업자, 그리고 관리 감독자 등에 대하여 교육을 담당할 수 있도록 하여야 할 것이다. 또한 전담관리자는 타워크레인 설치, 상승, 인양작업 등에 대한 실질적인 통제 권한을 통한 일관성 있고 안전을 고려한 관리를 통해 사고 감소에 충분한 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 무인타워크레인의 경우 운용 자격 취득이 간편해짐에 따라 미흡한 교육에 대한 방안이 마련되어야 한다. 현장에서는 설치·해체·운용 중 안전 수칙에 대한 강화된 교육 방안 수립이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 현재 연구 진행이 미비한 무인 타워크레인의 안전사고 요인 중요도를 전문가를 대상으로 AHP 설문문을 통해 평가하였다. 건설현장에서 거의 필수적으로 사용되는 타워크레인 사고를 방지하기 위해 무인타워크레인에 대한 재해요인 별로 관련 전문가들이 중요도가 높은 순위를 도출하였다. 따라서 건설현장에서 타워크레인 안전관리에서 본 연구에서 도출한 높은 중요도를 보인 요인에 대해 우선적인 조치와 관리가 하여야 할 것이다. 그렇지만 중요도 순위가 낮다고 하여 재해 발생 가능성이 없는 것이 아니므로 전체적으로 관리하면서 동시에 핵심요소를 관리하는 유연성도 있어야 타워크레인 관련 재해를 좀 더 저감할 수 있을 것이다.

또한 현장에서 타워크레인 관련 지침이나 매뉴얼을 작성·보완 등을 할 경우에 본 연구결과에서 제시된 중요도가 높은 재해요인들을 우선적으로 고려할 수 있도록 본 연구결과를 반영하여 작성된다면 좀 더 효과적인 안전관리가 가능하여 건설안전사고를 저감하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구결과는 현장관리자, 건설사업관리자, 안전관리자, 그리고 타워크레인 기사 등을 대상으로 AHP 설문 결과를 통해 도출된 결과이다. 그렇지만 타워크레인을 직접 사용하여 작업을 수행하는 작업자들의 의견을 반영한 추가적인 연구가 필요하며, 본 연구에서 관련분야 10년 이상 경력을 소유한 전문가를 대상으로 AHP설문을 진행하였으나 타워크레인에 대해 관심을 가지고, 실질적으로 재해 저감을 위한 노력을 해 본 전문가인지에 대한 검증이 없으므로 이 부분은 본 연구

의 한계에 해당할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 타워크레인을 직접 사용하는 작업자 그리고 타워크레인에 대해 잘 알고 있는 전문가로 AHP설문 대상으로 범위를 좁혀 추가적인 연구를 수행한다면 좀 더 현실이 많이 반영된 연구가 될 것으로 사료된다.

요 약

국내 건설 현장 타워크레인의 사용량 증가에 따른 재해 감소를 위한 연구가 진행되고 있지만 무인타워크레인에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 타워크레인 유형별 사고 요인의 중요도 순위를 AHP 분석을 통해 도출하여 제시하고자 한다. 분석 결과 무인타워크레인에서 인양 작업이 가장 높은 중요도를 보였다. 본 연구 결과를 바탕으로 중요도가 높은 요인을 우선적으로 관리하여 타워크레인 사고 저감을 위한 조치가 필요할 것으로 사료된다.

키워드 : 타워크레인, 무인타워크레인, 의사결정 계층분석, 사고요인, 중요도 순위

Funding

Not applicable

ORCID

Ju-Yong Kim, <http://orcid.org/0000-0003-4630-4387>

Young-Chul Jung, <http://orcid.org/0000-0002-8526-4907>

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

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Internet]. Seoul (Korea): Korea Statistical Information Service; 2020-[cited 2020 Jul 27]. Available from: <http://kosis.kr>
2. Choi CH. A study on the risk analysis and measures of reduction through tower crane accidents cases [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2017. 57 p.
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Internet]. Seoul (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2020-[cited 2020 Jul 27]. Available from: <http://www.molit.go.kr>
4. Kim YU. Problems and improvement schemes for unmanned

- tower crane accident through case analysis at construction site [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Chung-Ang University; 2018. 124 p.
5. Aneziris ON, Papazoglou IA, Mud ML, Damen M, Kuiper J, Baksteen H, Ale BJ, Bellamy LJ, Hale AR, Bloemhoff A, Post JG, Oh J. Towards risk assessment for crane activities. *Safety Science*. 2008 Jun;46(6):872-84. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.11.012>
 6. Kwon OM. Deduction of accident cause for tower-crane using fmea method [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 2015. 60 p.
 7. Neitzel RL, Seixas NS, Ren KK. A review of crane safety in the construction industry. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2001 Nov;16(12):1106-17.
 8. Shapira A, Simcha M. AHP-based weighting of factors affecting safety on construction sites with tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2009 Apr;135(4):307-18. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:4\(307\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:4(307))
 9. Cho YR. Importance evaluation of the safety accident factors of tower crane using analytic hierarchy process [master's thesis]. [Suwon (Korea)]: Kyonggi University; 2017. 95 p.
 10. Song PY. A study on improvement of safety management through analysis of tower crane disaster at construction site [master's thesis]. [Busan (Korea)]: Pukyong University; 2018. 104 p.
 11. Chi HL, Chen YC, Kang SC, Hsieh SH. Development of user interface for tele-operated cranes. *Advanced Engineering Informatics*. 2012 Nov;26(3):641-52. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.05.001>
 12. Kim JY, Kim GH. Importance ranking of accident factors of construction tower crane by AHP technique. *Journal of Building Construction and Planning Research*. 2020 Dec;8(4):237-44. <https://doi.org/10.4236/jbcpr.2020.84015>
 13. Cho GT, Cho YG, Kang HS. The analytic hierarchy process. Seoul (Korea): Donghun; 2003. 311 p.
 14. Kim YG. Importance rankings of prospective owners' selection factors on the each room's finishing for minus option of apartment by ahp [master's thesis]. [Suwon (Korea)]: Kyonggi University; 2020. 69 p.
 15. Korea Occupational Safety and Health Agency. Technical guidelines for the installation, assembly and dismantling of tower cranes. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2011. p. 1-19.
 16. Korea Occupational Safety and Health Agency [Internet]. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency; 2020-[cited 2020 Jul 27]. Available from: <http://www.kosha.or.kr/kosha/data/construction.do>
 17. Korea Occupational Safety and Health Agency. Safety work guide to prevent death of construction machinery and equipment. Ulsan (Korea): Korea Occupational Safety and Health Agency. 2018. p. 1-97.
 18. Lee HC. Collective decision making. Seoul (Korea): Sejong; 2000. 186 p.