

AHP 분석을 통한 건설현장 타워크레인 안전사고 요인별 중요도에 관한 연구

조예림¹, 강성원², 신윤석^{2*}

¹아이티엠코퍼레이션건축사사무소 공공사업본부, ²경기대학교 건축공학과

A Study on the Importance of Tower Crane Safety Accident Factors at Construction Sites by AHP Analysis

Yerim Cho¹, Sungwon Kang², Yoonseok Shin^{2*}

¹Department of Public Works, ITM Corporation

²Department of Architectural Engineering, Kyonggi University

요약 건설현장의 규모가 대형화됨에 따라 대형 건설기계의 사용이 증가하고 있다. 특히, 타워크레인은 고층, 초고층 건축물을 짓기 위해 사용하고 있는 대표적인 건설기계이다. 이처럼 타워크레인이 건설현장 내에서 유용하게 활용되고 있지만 크기, 중량 때문에 다양한 위험요소를 내재하고 있다. 2021년 발생한 타워크레인 사고로 인해 작업자가 사망하는 중대재해가 발생하곤 했다. 기존에는 타워크레인 안전사고에 대한 보편적, 정성적 분석만을 하였다. 하지만 본 연구는 AHP 기법을 이용해 정성적, 정량적으로 분석하여 요인별 중요도를 평가하고자 한다. AHP 계층 분석 모델을 수립하기 위해 국내외 타워크레인 안전사고 사례 및 기존 문헌을 이용하여 요인을 도출하였다. 모델 수립 후 요인들 간의 쌍대 비교 설문한 후 AHP 기법을 적용하였다. 타워크레인 안전사고 요인의 중요도를 평가한 결과 상위 요인 중 설치·해체·상승 요인(0.3082)이 가장 높은 수치를 기록하여 해당 작업이 가장 중요도가 높은 것으로 나타났다. 또한, 전체 요인의 중요도를 분석한 결과 설치·해체·상승 작업 시 근로자의 숙련도 부족이 가장 중요한 요인인 것으로 분석되었다. 따라서 타워크레인 설치, 해체 및 상승 작업 시 작업에 관한 교육을 반드시 이수하고 충분히 숙련된 작업자를 투입하도록 지도하여야 할 것이다. 본 연구의 결과는 타워크레인 안전사고를 포함하여 건설 산업 재해의 저감에 기여할 수 있도록 안전 관리를 위한 기초자료로 활용되기를 기대한다.

Abstract As the size of a construction site increases, the use of large construction machines increases. In particular, a tower crane is a representative construction machine used to build high-rise buildings. However, tower cranes have various risk factors associated with their use due to their size and weight. For example, a tower crane accident in 2021 caused serious damage, and several workers died in it. However, previously, only universal and qualitative analyses of tower crane accidents were conducted by researchers. So, this study aimed to evaluate the importance of each factor in this accident by analyzing the accidents qualitatively and quantitatively using the AHP technique. So, for the AHP class analysis model of the accidents, the factors were derived using data on South Korean and foreign tower crane accidents and existing literature. Subsequently, the AHP technique was used to analyze the model after a dual comparison questionnaire between the factors. As a result, installation, dismantling, and rising of tower cranes (0.3082) were the factors of the highest importance, indicating that the careful operation of the cranes was the most important aspect of their usage. In addition, the lack of skill of the respective workers was the most important factor affecting the installation, dismantling, and ascending of the tower cranes negatively. In effect, this study is expected to be used as a basis for tower crane safety management to contribute to the reduction of tower crane-related accidents in the construction industry.

Keywords : Tower Crane, Construction Sites, Safety Accident, AHP, Importance

본 연구는 2022학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

*Corresponding Author : Yoonseok Shin(Kyonggi Univ.)

email: shynys@kyonggi.ac.kr

Received April 19, 2022

Accepted September 2, 2022

Revised June 7, 2022

Published September 30, 2022

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설현장의 규모가 대형화됨에 따라 중장비 사용과 복잡화된 공종 등의 여러 요인이 작용하여 건설업의 재해가 지속되고 있다[1]. 고용노동부가 발표한 자료에 의하면 건설업과 제조업에서 최근 5년간 발생한 산업재해 사고사망자의 비중이 가장 높으며, 특히 건설업의 사고사망자 수는 가장 많이 발생하고 있는 실정이다[2].

건설업은 운반, 굴착, 자재의 양중과 같은 작업에 건설기계를 활용하고 있다[3]. 그 중 대표적인 건설기계인 타워크레인(고층, 초고층 건설을 위해 사용하고 있으며 국내에 등록된 타워크레인의 수는 최근 3년간 5,908대, 5,961대, 6,011대로 2012년과 비교했을 때 2배 이상으로 증가하였다[4]. 건설현장에서의 타워크레인의 비중이 높아지고 있으며, 이에 따른 타워크레인 설치, 해체, 상승 작업 시 여러 위험 요인을 가지고 있기 때문에 사고가 발생할 경우 중대재해로 연결될 가능성이 높은 건설기계이다[5].

이러한 타워크레인에 대한 재해를 방지하기 위해 2017년 정부는 제17회 국정현안점검조정회의에서 타워크레인 중대재해 안전대책을 심의, 확정하였다[6]. 하지만 2021년에 구조물 추락, 작업자 추락, 협착 사고 등 중대재해로 연결되는 타워크레인 안전사고가 끊임없이 발생하고 있는 실정이다[7].

타워크레인 사고 위험요인으로는 작업 지침 및 기준 위반, 소통 부재, 장비 노후와 같은 요인들이 제시되고 있지만 정성적인 평가를 통해 도출한 요인들로는 사고 요인에 대한 중요도를 파악하기에는 미흡하다[8]. 이러한 정성적 평가보다 정량적 분석을 통해 어떠한 요인이 타워크레인 사고에 영향을 더 미치는지에 대한 연구가 필요하다. 또한, 계층 분석적 의사결정방법(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP)은 의사결정을 내리는 과정에서 정성적, 정량적으로 동시에 고려하기 때문에 사고 요인 중요도 평가에 관해 적절한 기법이다[9].

따라서 본 연구는 AHP 기법을 통해 타워크레인 사고 요인 중요도 평가를 목적으로 하며, 향후 본 연구의 결과가 고도화된 건설업의 산업재해 저감에 기여할 수 있을 것이고, 건설현장 내 건설기계 안전관리를 위한 기초적인 자료로 활용될 것으로 기대한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 최근 대형화, 고도화된 건설현장에서

필수적으로 사용되고 있는 타워크레인의 일반적인 안전사고 요인을 AHP 기법을 사용하여 분석하는 것을 연구 범위로 한정하였다.

AHP 계층 분석 모델 수립을 위해 국내외 타워크레인 안전사고 관련 사례 및 문헌을 바탕으로 하여 관련 전문가와 면담을 통해 안전사고 요인을 도출하였다. 그 후 안전사고 요인을 기계, 관리, 설치·해체·상승, 운용 네 가지 요인으로 나누어 타워크레인 운전기사, 설치·해체 기사, 현장관리자, 안전관리자 네 분야로 구분하여 쌍대 비교 설문을 실시하였다. 설문 결과를 토대로 AHP 기법을 적용하였으며, AHP 분석은 Expert Choice 11 프로그램을 사용하였고, 각 요인에 대해 응답한 결과값의 기하평균을 통해 중요도 및 우선순위를 도출하고 평가하였다.

AHP는 평가과정에서 쌍대 비교를 통해 설문자의 선호도 정보를 얻기 쉽기 때문에 분석과정이 간단하고 결과의 일관성을 간편하게 확인할 수 있다[10]. 따라서 본 연구에서의 타워크레인 안전사고 요인의 주요 요인을 세부 요인으로 분해하여 수치화하고, 우선순위를 도출하는 연구에 적합하다고 사료된다.

2. 이론적 고찰

2.1 국내 건설업 재해 현황

고용노동부에서 발표한 산업재해 발생현황에 따르면 최근 5년간 건설업에서 발생한 재해자 수와 사망자 수는 Fig. 1과 같다. 건설업은 제조업과 같이 전 산업 중 재해자와 사망자의 수가 많이 발생하고 있는 산업이다. 2017

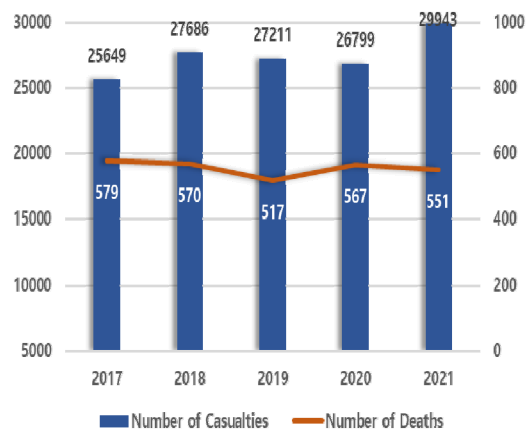


Fig. 1. Construction Industry Disaster Situation

년부터 2021년까지 건설업의 재해자 수는 소폭 증가하는 경향을 나타내고 있다. 반면, 사망자 수는 2019년에 517명으로 최근 5년 중 가장 적은 사망자 수를 나타냈다. 최근 5년간 발생한 재해자, 사망자 수는 다소 증감하거나 유지되는 추세를 보이지만, 전 산업에 비해 여전히 많이 발생하고 있다.

2.2 국내 타워크레인 안전사고

타워크레인은 다른 건설기계에 비해 각 부재의 크기가 비교적 크고, 설치 작업 시 작업자가 직접 큰 부재를 볼트로 체결해야 한다. 그로 인해 만약 안전사고가 발생하게 된다면 중대재해로 이어질 뿐만 아니라 그 주변 지역까지 피해가 발생할 수 있다.

2021년 한 해 동안 국내에서 발생한 타워크레인 안전사고 현황과 피해 정도는 다음 Table 1과 같다. 기존에 발생했던 타워크레인 사고는 장비 노후화, 작업절차 미준수, 부품 결함과 같은 보편적인 요인이 제시되고 있다[11]. 하지만 2021년 발생한 타워크레인 안전사고 현황을 보면 자재 낙하 및 전도, 상승 및 하체 작업 중 작업자 추락으로 인해 중대재해로 끊임없이 발생하고 있다. 또한, 최근 타워크레인 안전사고사례들은 단 한가지만의

요인이 아닌 복합적인 요인들이 작용하여 재해가 발생하고 있다. 이러한 안전사고 현황을 살펴보았을 때 정량적 분석과 판단을 통해 원인과 요인의 중요도를 도출하여 어떠한 요인이 더 치명적인 영향을 미치는지에 대한 분석이 최근 고도화, 복잡화된 건설현장 안전사고 방지를 위해 필요하다.

2.3 계층 분석적 의사결정방법(AHP)

AHP 기법은 우선, 문제를 계층화한 후에 의사결정 계층구조의 구성요소를 소수의 전문가를 대상으로 쌍대 비교하여 판단을 통해 평가자의 경험과 지식 및 직관을 얻고자 개발된 기법이다[9].

AHP 기법의 특징으로는 비율척도(ratio scale)를 통해 가시적이고 정량적 기준과 비가시적인 정성적 기준의 측정도 가능하다는 것이다. 또한, 분석과정이 객관적이며 적용이 간편하므로 다양한 의사결정을 하는 분야에서 유용하게 활용될 수 있는 기법으로 평가받고 있다[12]. 본 연구에서는 타워크레인의 안전사고에 대한 요인별 중요도를 평가하기 위해 적용하였다. 일반적으로 사용되는 AHP의 분석과정은 다음 Fig. 2와 같다[13].

Table 1. Current Status of Tower Crane Safety Accidents in Korea

Area	Accident summary	Extent of damage
Gyeonggi-do	Mast dropped while inserting 3-stage mast during tower crane personnel operation	2 dead 1 injury
Gyeonggi-do	Dropped object due to broken sling belt of tower material during the tower crane assembly operation	1 dead
Jeollabuk-do	Safety belt engaged to disengage the bracing during tower crane dismantling operation and tower crane bracing connection pin fell off while moving	1 dead
Incheon	After installing the tower crane head, loosen the sling belt connected to the crane and slide down the inclined ladder from the lower end and fall	1 dead
Busan	Fixed hoisting block falls off after completion of rebar lifting work	1 dead
Incheon	Operator crashed while preparing to climb small tower ordered to stop selling and take corrective action	1 dead
Gyeonggi-do	Tower crane upper conduction during tower crane telescoping operation	1 dead

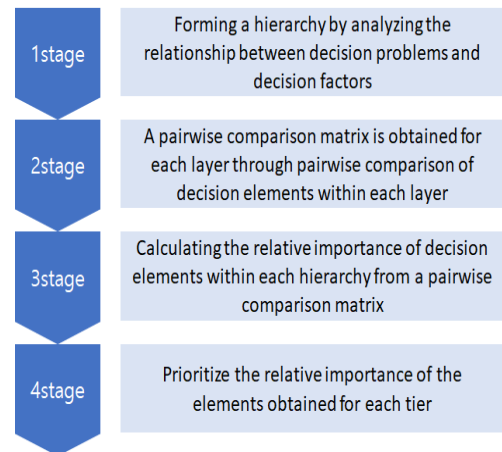


Fig. 2. AHP Analysis Process

2.4 기존 연구 고찰

타워크레인 안전사고와 관련된 다양한 연구들이 진행되었으며 Table 2와 같다. 다른 건설기계와 마찬가지로 타워크레인은 크기가 크고, 무게가 무거우므로 사고가 발생하게 되면 인적, 물적 피해를 동반한 중대재해가 발생할 가능성이 높기 때문에 타워크레인 안전사고 예방을 위한 연구가 지속적으로 필요하다. 그러나 기존 연구들

은 타워크레인의 특정 작업과 작업자에 한정된 연구가 진행되었으며, 전반적인 안전사고에 대한 요인을 분석한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 타워크레인의 전반적인 안전사고의 요인을 도출하고 이에 따른 중요도를 분석하고자 한다.

Table 2. A Study on the Safety Accident of Tower Crane

Autor	Reasearch summary
Park (2012)	Investigate driver's working environment and analyze anxiety factors through surveys and interviews on general matters, safety education, job stress, etc. of tower crane drivers
Lee (2014)	Analysis of serious accident cases of tower cranes and survey of workers related to tower cranes at construction sites to identify problems and present improvement measures
Kwon (2015)	After analyzing the hazards of the tower crane, the top 10 risk items applied with FMEA techniques are derived as major hazards and presented as basic data to minimize safety accident problems by intensively managing them
Lee (2016)	To prevent power transmission system accidents during tower crane accidents, investigate the current and structure of tower crane, analyze broken reducer shaft fracture surface, analyze shaft static analysis considering the driving environment of the reducer, analyze the cause of shaft fracture, and suggest safety measures
Choi (2017)	Technological, institutional, and educational measures to reduce tower crane safety accidents are proposed by analyzing risks by type of operation process, cause of disaster, and type of operation of high accident installation, dismantling, and climbing work

3. 타워크레인 안전사고 요인 도출

3.1 타워크레인 안전사고 요인 도출

타워크레인 안전사고 요인 도출을 위해 최근 10년간 발생한 타워크레인 안전사고 사례분석과 국내외 선행연구 조사를 시행하여 총 68개 요인의 초안을 작성하였다. 도출된 요인 초안에 대한 적절성 검증을 위해 타워크레인 관련 10년 이상의 경력을 가지고 있는 전문가 7명과 건설안전기술사 1명을 포함한 총 8명의 전문가와 적절성 여부에 대한 면담을 수행하였다. 결과적으로 24가지의 요인을 도출하였으며, 타워크레인 안전사고 요인을 유사한 요인끼리 묶어 기계 요인, 관리 요인, 설치·해체·상승 요인, 운용 요인과 같이 총 4가지의 상위 요인으로 나누어 Table 3과 같이 정리하였고, AHP 분석을 위해 계층 분석 모델을 Fig. 3과 같이 수립하였다.

Table 3. Factors of tower crane safety accident

Top factor	Sub Factor
Mechanical factor (A)	A-1 Design and construction errors
	A-2 Defects in parts
	A-3 Mechanical malfunction
	A-4 Insufficient electrical insulation
	A-5 Aging of equipment
	A-6 Overseas parts procurement issues
Management factor (B)	B-1 Insufficient task management
	B-2 Insufficient safety management of equipment and personnel
	B-3 Improper Risk Assessment
	B-4 Improper personnel and equipment placement
	B-5 Unidentified maintenance history of equipment
	B-6 Poor subcontracting technology management by process
Installation, dismantling, and escalation factors (C)	C-1 Ignore manufacturer instructions and work order
	C-2 Ignore safety rules when working
	C-3 Insufficient knowledge of risk factors when working ascent
	C-4 Lack of manpower for installation and dismantling and aging
	C-5 A lack of skill in workers
	C-6 Stealing the status of workers who have not completed education during installation or dismantling work
Operational factors (D)	D-1 Poor rope hanging method during salvage
	D-2 Carelessness of workers in lifting and unloading operations
	D-3 Poor signal exchange between driver and traffic light
	D-4 Driver's vision is not secured
	D-5 Operation of crane arbitrarily by the operator
	D-6 Violation of driving instructions and standards

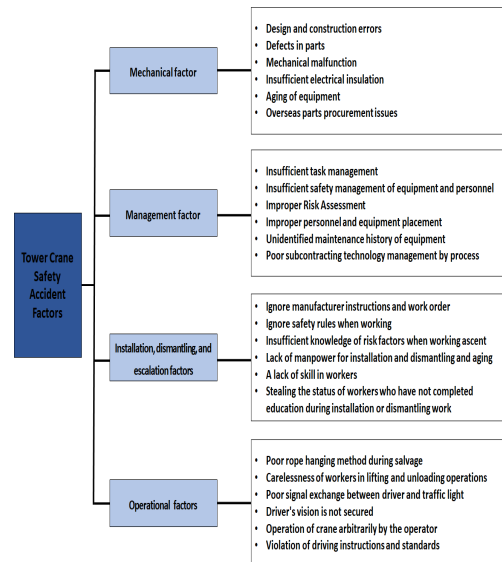


Fig. 3. Establish a hierarchical analysis model

3.2 타워크레인 안전사고 요인 설문조사

본 연구에서는 타워크레인 안전사고 요인별 중요도를 분석하기 위해 10년 이상의 경력을 가지고 있는 타워크레인 설치 및 해체 기사, 타워크레인 운전기사, 안전관리, 현장관리자를 대상으로 3월 15일~25일 동안 설문을 진행하였다. 설문 응답자는 총 23명으로 선정하였고, 상세적인 설문 개요는 Table 4와 같다. 본 설문지는 전문가와 면담을 통해 얻은 상위요인 4개와 하위요인 24개로 구성되었다.

Table 4. Survey overview

Spec.		Respondents	Percentage(%)
Gender	Male	22	95.7
	Female	1	4.3
Age	~29	0	0
	30~39	4	17.4
	40~49	15	65.2
	50~	4	17.4
Job	Tower crane installation and dismantling engineer	5	21.7
	Tower crane operator	6	26.1
	Safety manager	7	30.4
	Field manager	5	21.7

4. 타워크레인 안전사고 요인별 중요도 분석

4.1 상위 요인 중요도 분석

타워크레인 안전사고 상위 요인 중요도 분석 결과는 Table 5와 같으며, 설치·해체·상승 요인이 가장 높은 중요도를 나타냈다. 그중 타워크레인 설치·해체 기사, 안전관리자가 가장 중요한 요인이라고 응답하였고, 타워크레인 운전기사와 현장관리자도 마찬가지로 설치·해체·상승 요인을 높은 순위로 응답하여 분야별 상위 요인에 대한 중요도는 상이하지 않았다. 따라서, 타워크레인 설치·해체·상승 작업 시 작업 지침 및 순서, 안전수칙 준수와 같은 노력이 필요할 것으로 분석된다.

Table 5. Analysis of the Importance of Top Factors of Tower Crane Safety Accident

Sort	Top factor	Importance	Rank
Tower Crane Installation/Dismantling Engineer	Mechanical factor	0.1165	3
	Management factor	0.0926	4
	Installation, dismantling, and escalation factors	0.3082	1
	Operational Factors	0.1593	2
Tower crane driver	Mechanical factor	0.1079	4
	Management factor	0.1149	3
	Installation, dismantling, and escalation factors	0.3207	2
	Operational Factors	0.3489	1
Safety manager	Mechanical factor	0.0424	4
	Management factor	0.2275	2
	Installation, dismantling, and escalation factors	0.2754	1
	Operational Factors	0.1906	3
Field manager	Mechanical factor	0.0648	4
	Management factor	0.2203	3
	Installation, dismantling, and escalation factors	0.2436	2
	Operational Factors	0.2735	1
Overall	Mechanical factor	0.0767	4
	Management factor	0.1520	3
	Installation, dismantling, and escalation factors	0.2853	1
	Operational Factors	0.2320	2

4.2 기계 요인 중요도 분석

기계 요인 중요도 분석 결과는 Table 6과 같으며, 장비의 노후화가 0.1910으로 가장 중요한 요인으로 나타났다. 대부분의 전문가들은 장비의 노후화를 중요한 요인으로 응답했으나, 설계 및 시공 상의 오류 요인은 타워크레인 설치·해체 기사를 제외하고는 중요하지 않는 것으로 나타났다. 가장 중요한 장비의 노후화에 대한 대책으로 오래 사용된 크레인의 중요 부품의 검사 및 비파괴 검사를 하거나 연식을 제한하는 등의 계획이 필요한 것으로 판단된다. 또한, 타워크레인 설치·해체 기사 측면에서의 설계 및 시공상의 오류도 검토해볼 필요가 있을 것으로 분석된다.

Table 6. Analysis of the Importance of Tower Crane Safety Accident Mechanical Factors

Sort	Mechanical factor	Importance	Rank
Tower Crane Installation/ Dismantling Engineer	A-1	0.2131	1
	A-2	0.0908	5
	A-3	0.0877	6
	A-4	0.1542	2
	A-5	0.1051	3
	A-6	0.0922	4
Tower crane driver	A-1	0.0484	6
	A-2	0.1152	3
	A-3	0.0897	4
	A-4	0.0886	5
	A-5	0.2703	2
	A-6	0.2706	1
Safety manager	A-1	0.0324	6
	A-2	0.1180	3
	A-3	0.0811	4
	A-4	0.0796	5
	A-5	0.2916	1
	A-6	0.2380	2
Field manager	A-1	0.1633	2
	A-2	0.0752	6
	A-3	0.1675	1
	A-4	0.1602	4
	A-5	0.1607	3
	A-6	0.1115	5
Overall	A-1	0.0860	6
	A-2	0.0981	5
	A-3	0.1017	4
	A-4	0.1149	3
	A-5	0.1910	1
	A-6	0.1604	2

4.3 관리 요인 중요도 분석

타워크레인 안전사고 관리적 요인 중요도 분석 결과는 Table 7과 같다. 부적절한 인원 및 장비 배치 요인은 0.1816으로 가장 중요한 관리 요인으로 나타났다. 그 뒤로 공정별 하도급 기술 관리 부실, 장비 및 인력의 안전관리 미흡 순으로 중요하다고 응답하였다. 이에 반해 부적절한 위험 평가 요인은 상대적으로 낮은 중요도를 나타냈다. 따라서, 적절하고 효과적인 인원 및 장비 배치를 위해 사전 안전관리 계획 및 검토하여 불필요한 인원이 배치되지 않도록 대책을 강구해야 할 것으로 사료된다.

Table 7. Analysis of the Importance of Tower Crane Safety Accident Management Factors

Sort	Management factor	Importance	Rank
Tower Crane Installation/ Dismantling Engineer	B-1	0.1782	3
	B-2	0.2682	1
	B-3	0.0477	6
	B-4	0.1960	2
	B-5	0.0598	5
	B-6	0.0916	4
Tower crane driver	B-1	0.1659	3
	B-2	0.1416	4
	B-3	0.0471	6
	B-4	0.1970	1
	B-5	0.1404	5
	B-6	0.1756	2
Safety manager	B-1	0.0225	6
	B-2	0.1355	3
	B-3	0.1093	5
	B-4	0.2119	1
	B-5	0.2047	2
	B-6	0.1330	4
Field manager	B-1	0.1171	4
	B-2	0.0692	6
	B-3	0.0772	5
	B-4	0.1328	3
	B-5	0.2001	2
	B-6	0.3549	1
Overall	B-1	0.0940	5
	B-2	0.1374	3
	B-3	0.0660	6
	B-4	0.1816	1
	B-5	0.1362	4
	B-6	0.1660	2

4.4 설치·해체·상승 요인 중요도 분석

타워크레인 설치·해체·상승 요인에 대한 중요도 분석 결과는 Table 8과 같다. 근로자의 숙련도 부족이 0.1866으로 가장 중요한 요인으로 나타났다. 그 뒤로 상승 작업 시 위험요인 숙지 미흡, 설치·해체 인력 부족 및 고령화 순으로 중요하다고 응답했다. 안전관리자 측면에서는 설치·해체 인력 부족 및 고령화 요인이 다른 요인에 비해 중요하지 않다고 응답하였다. 또한, 현장관리자는 근로자 교육 미이수 및 신분도용이 가장 중요하다고 응답하였기 때문에, 이 부분에 대한 대책을 고려해야 한다고 판단된다. 따라서, 인력 부족 및 고령화에 대한 대책 강구와 더욱 전문적인 자격제도를 개설할 필요가 있을 것으로 사료된다.

Table 8. Analysis of the Importance of Tower Crane Safety Accident Installation, Demolition, and Rise Factors

Sort	Installation, Demolition, and Rise factor	Importance	Rank
Tower Crane Installation/Dismantling Engineer	C-1	0.1173	4
	C-2	0.1237	2
	C-3	0.1135	5
	C-4	0.2344	1
	C-5	0.1182	3
	C-6	0.0903	6
Tower crane driver	C-1	0.0697	6
	C-2	0.0724	5
	C-3	0.1774	3
	C-4	0.2015	2
	C-5	0.2592	1
	C-6	0.1267	4
Safety manager	C-1	0.0696	4
	C-2	0.2326	2
	C-3	0.2891	1
	C-4	0.0452	6
	C-5	0.1622	3
	C-6	0.0516	5
Field manager	C-1	0.0269	6
	C-2	0.0597	5
	C-3	0.0951	4
	C-4	0.1389	3
	C-5	0.2493	2
	C-6	0.3331	1
Overall	C-1	0.0625	6
	C-2	0.1056	5
	C-3	0.1534	2
	C-4	0.1312	3
	C-5	0.1866	1
	C-6	0.1184	4

4.5 운용 요인 중요도 분석

타워크레인 운용 요인 중요도 분석 결과는 Table 9와 같다. 분석 결과 운전 지침 및 기준 위반이 0.2201로 가장 중요한 요인으로 응답했다. 그 뒤로 작업자 임의 크레인 조작, 운전사의 시야 미확보 요인이 중요하다고 나타났다. 이로 인해 타워크레인 운전사들이 정해진 운전 지침, 기준을 준수하며 작업을 할 수 있도록 관리하거나 전담신호수를 배치 및 교육을 해야 한다. 또한, 작업자의 판단 오류로 인해 사고가 나더라도 방지할 수 있는 안전장치를 설치하는 것이 필요하다고 분석된다.

Table 9. Analysis of the Importance of Tower Crane Safety Accident Operational Factors

Sort	Operational factor	Importance	Rank
Tower Crane Installation/Dismantling Engineer	D-1	0.0450	6
	D-2	0.0989	5
	D-3	0.1963	2
	D-4	0.3163	1
	D-5	0.1177	4
	D-6	0.1184	3
Tower crane driver	D-1	0.0539	6
	D-2	0.0939	5
	D-3	0.1426	3
	D-4	0.1280	4
	D-5	0.2516	1
	D-6	0.2004	2
Safety manager	D-1	0.1496	2
	D-2	0.0986	3
	D-3	0.0954	4
	D-4	0.0564	5
	D-5	0.0556	6
	D-6	0.2733	1
Field manager	D-1	0.0296	6
	D-2	0.0463	5
	D-3	0.1025	4
	D-4	0.1589	3
	D-5	0.2659	2
	D-6	0.3618	1
Overall	D-1	0.0573	6
	D-2	0.0807	5
	D-3	0.1286	4
	D-4	0.1380	3
	D-5	0.1447	2
	D-6	0.2201	1

4.6 전체 타워크레인 안전사고 요인별 중요도 분석

전체 타워크레인 안전사고 요인별 중요도를 분석하여 Fig. 4와 같은 과정을 통해 우선순위를 도출하였다. 전체 중요도 분석 결과 Table 10과 같이 나타났으며, 근로자 숙련도 부족 요인이 중요도 지수 0.0532로 가장 중요한 안전사고 발생 요인으로 분석되었다. 다음으로 운전 지침 및 기준 위반, 상승 작업 시 위험요인 숙지 미흡, 인력 부족 및 고령화 등 순서로 나타났다.

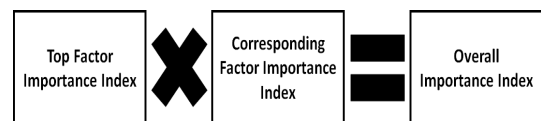


Fig. 4. Overall Criticality Analysis Process

Table 10. Overall Importance and Priority of Tower Crane Safety Accident Factors

Sub factor	Importance	Rank
C-5	0.0532	1
D-6	0.0511	2
C-3	0.0438	3
C-4	0.0374	4
C-6	0.0338	5
D-5	0.0336	6
D-4	0.0320	7
C-2	0.0301	8
D-3	0.0298	9
B-4	0.0276	10
B-6	0.0252	11
B-2	0.0209	12
B-5	0.0207	13
D-2	0.0187	14
C-1	0.0178	15
A-5	0.0146	16
B-1	0.0143	17
D-1	0.0133	18
A-6	0.0123	19
B-3	0.0100	20
A-4	0.0088	21
A-3	0.0078	22
A-2	0.0075	23
A-1	0.0066	24

본 연구의 전체 요인별 중요도 분석을 통해 1순위로 나타난 ‘근로자의 숙련도 부족’에 대한 대책으로 설치·해체·상승 작업 시 근로자는 반드시 작업에 대한 교육 이수 및 충분히 숙련된 작업자를 투입하는 것을 필수적으로 권고해야 한다. 2순위, 3순위로 나타난 ‘운전 지침 및 기준 위반’, ‘상승 작업 시 위험요인 숙지 미흡’에 대해서 타워크레인 운전자가 정해진 지침과 기준을 숙지할 수 있게 작업자, 운전자에 대한 대대적인 교육개편이 필요하다. 또한, 4순위인 ‘인력 부족 및 고령화’ 5순위인 ‘교육 미이수 근로자의 신분도용’은 작업자 수 보강과 관련 자격제도를 추가적으로 개설하여 상세한 인력관리와 안전관리가 필요할 것으로 사료된다.

반면, 중요도가 낮게 평가된 기계적 요인 같은 경우는 정부에서 노후화된 타워크레인은 세부 정밀진단을 통해 통과한 경우 사용연장을 하거나, 불량부품의 사용을 인 증제 도입을 통해 억제하려고 노력하고 있다. 또한, 노후화된 타워크레인을 사용할 경우 정비 이력 및 장비 결함을 반드시 확인하여 조치할 수 있다면 타워크레인의 안전사고를 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결론

최근 타워크레인으로 인한 재해가 끊임없이 발생하고 그로 인해 중대재해로 연결되고 있어 사회적 문제로 이슈화되고 있다. 이러한 타워크레인 사고에 대해 여러 원인과 요인이 제시되고 있지만 정성적인 평가를 통해 이루어진 분석이며, 보다 정량적으로 판단하고 분석해서 요인별 중요도를 도출하여 안전사고에 더 큰 영향을 끼치는가에 대해 분석하는 연구가 필요하다.

본 연구는 정량적, 정성적 요소를 동시에 고려하면서 의사결정을 내릴 수 있는 AHP 기법을 사용하였다. 계층 분석 모델 수립을 위해 국내·외 타워크레인 안전사고 사례를 활용하여 전문가 면담을 통해 24가지의 요인을 도출하였다. 도출한 요인들은 경력 10년 이상인 전문가들을 대상으로 쌍대 비교 설문을 실시하고 AHP 기법을 통해 중요도를 분석하였다. 그 결과, 타워크레인 안전사고의 상위 요인 중 설치·해체·상승 작업 요인(0.3082), 기계 요인 분석에서는 장비의 노후화(0.1910)가 가장 중요한 요인인 것으로 나타났다. 또한, 관리 요인 분석에서는 부적절한 인원 및 장비 배치(0.1816), 설치·해체·상승 작업 시의 요인 중요도 분석에서는 근로자의 숙련도 부족(0.1866)이 가장 중요한 요인으로 나타났다. 운용 요인의 중요도 분석에서는 운전 지침 및 기준 위반(0.2201)이 가장 중요한 요인으로 나타났다. 또한, 전체 타워크레인 안전사고 요인의 중요도를 분석한 결과 설치·해체·상승 작업 시 근로자의 숙련도 부족(0.0532)이 가장 중요한 요인인 것으로 분석되었다.

따라서, 타워크레인을 이용하는 건설현장 내에서는 안전사고 예방을 위해 작업에 관한 교육 프로그램 및 타워크레인 조종면허 시험을 강화하여 보다 더 숙련된 작업자를 투입해야 한다. 또한, 작업 지침 및 기준을 준수하고 위험요인을 숙지해야 한다. 정부에서도 노후화된 타워크레인 사용제한, 정밀진단을 강화한다면 안전사고 저감에 효과가 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 타워크레인 안전사고뿐만 아니라 건설업 재해 방지를 위한 기초자료로 활용될 것으로 사료된다.

References

- [1] Y. R. Cho, *Importance Evaluation of the Safety Accident Factors of Tower Crane using Analytic Hierarchy Process*, Master's thesis, Kyonggi University, pp.1-4.

- [2] Ministry of Employment and Labor, Statistics on the deaths of industrial accidents in 2020, Ministry of Employment and Labor, Korea, pp.7-26.
- [3] I. S. Yeun, *A Study on the Safety Inspection Model of the Tower Crane a Construction Site in Korea*, Ph.D dissertation, Myeongji University, pp.13-15.
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Statistics of Construction Machinery, Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2018~2021), Korea.
- [5] C. H. Choi, *A Study on the Risk Analysis and Measures of Reduction through Tower Crane Accidents Cases*, Master's thesis, Hanyang University, pp.10-19.
- [6] Cabinet Office/Secretary of the Prime Minister, 6,074 tower cranes, restrictions on the use of old equipment for more than 20 years, 2017.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Construction Safety Management Integrated Information, Accident case, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea.
- [8] G. N. Yang, G. H. Kim, "Collapse Accident Factors of Pangyo vents by Analyzing AHP", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.15 No.6, pp.1-8, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.6.1>
- [9] K. T. Jo, Y. G. Jo, H. S. Kang, Hierarchical decision-making by leading leaders, pp 312, Donghyun Publishing House, 2003, pp.vii ~ 3.
- [10] G. N. Yang, *Analysis of construction safety management Factors using AHP method*, Master's thesis, Kyonggi University, pp.11-13.
- [11] T. W. Yoo, "The 'real cause' of the tower crane accident", KOSCAJ, 2017.
<http://www.koscaj.com/news/articleView.html?idxno=99728>
- [12] K. B. Lee, *The Analysis of Cost and AHP for Selecting Retrofit Method of RC Beam in Office Building*, Master's thesis, Hanyang University, pp.12-13.
- [13] S. S. Han, *Conflict type Classification and Priority in Urban Regeneration Projects*, Master's thesis, International School of Urban Sciences University of Seoul, pp.46-55.

조 예 림(Yerim Cho)

[정회원]



- 2016년 2월 : 경기대학교 공과대학 플랜트·건축공학과 (공학사)
- 2018년 2월 : 경기대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 공과대학 ㈜아이티엠코퍼레이션건설축사사무소 공공사업본부 재직

<관심분야>

건축시공, 건설안전

강 성 원(Sungwon Kang)

[준회원]



- 2021년 2월 : 경기대학교 창외공과대학 건축공학과 (공학사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 일반대학원 건축공학과 석사과정

<관심분야>

건축시공, 건설안전

신 윤 석(Yoonseok Shin)

[정회원]



- 2005년 2월 : 고려대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : 고려대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2012년 2월 : 국립경남과학기술대학교 전임강사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건축시공, 건설안전