

AHP기법을 이용한 무인타워크레인 주요 사고 요인 중요도 분석

김진동¹ · 정진우² · 이수보^{2,*} · 손주환²

¹연성대학교 건축공학과

²경기대학교 건축공학과

Significance Analysis of Major Accident Factors of Remote Control Tower Crane Using AHP Technique

Kim, Jindong¹, Jung, Jinwoo², Lee, Soobo^{2,*}, Son, Juhwan²

¹Department of Architectural Engineering, Yeonsung University

²Department of Architectural Engineering, Kyonggi University

Abstract : It becomes easy to acquire operating qualification of remote control tower crane and illegal retrofits is increased, remote control tower crane models are increasingly being used in smaller construction sites. However, as the problems caused by tower crane operators who have shortages of operating experience grow, safety accidents is increasing and worker is exposed to risk of accident. In this study, the cause of the accident was derived by analyzing the cause of the remote control tower crane accident. And then, the significance of accident causes was analyzed by AHP technique. The result of this study is that tower crane operators and construction workers do not comply with work rules.

Keywords : Unmanned Tower Crane, Unmaned Towercrane, Analytic Hierarchy Process, Survey

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설공사의 규모가 대형화, 고층화 되어감에 따라 양중이 차지하는 비중이 확대되어가고 있다. 그에 따라 2013년 14대에 불과했던 무인타워크레인은 지난해 1808대로 약 130배 증가했으며 무인타워크레인 면허증 소지자 또한 2014년 1명에서 올해 6727명으로 꾸준히 증가하고 있는 실정이다.¹⁾

그러나 무인 타워크레인의 자격증 발급 및 타워크레인의 불법 개조로 인해 안전사고가 늘고 있는 실정이다. 또한 특

히 무인타워크레인 사고는 타워에 탑승하여 조정하는 유인 타워크레인과 달리 면허증 소지자가 외부에서 무선 조종하는 형태이므로 사고 원인 및 예방대책이 다르지만 현재 무인타워크레인 사고 요인에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 설문조사를 통해 무인 타워크레인 주요 사고 요인을 선정한 뒤 AHP기법을 활용하여 중요도를 분석하고 재해 요인들의 우선순위를 도출하고자 한다. 이를 통해 사고 원인 분석 및 예방 대책을 위한 기초적 자료를 제공할 것으로 사료된다.

1.2 연구의 방법 및 절차

무인타워크레인의 안전사고에 대한 다양한 요인들이 제시되고 있다. AHP 계층 분석 모델 수립을 위해 국내 무인타워크레인 재해사례와 선행 연구 자료를 종합하여 안전사고 요인을 도출하였다. 계층 분석 모델 수립 후 소수 전문가들을 대상으로 각 요인들 간의 쌍대 비교 설문을 통해 기계, 관리, 설치·해체·상승, 운용 네 요인으로 나누어 타워크레인

* Corresponding author: Lee, Soobo, Department of Architectural Engineering, Kyonggi University, kyonggi 154-42, Korea
E-mail: haptizm@naver.com
Received December 7, 2019; Revised December 20, 2019
Accepted December 21, 2019

1) 논객, “무인타워크레인 현황”
<http://stat.molit.go.kr/portal/main/portalMain.do> (2019년 5월 1일)

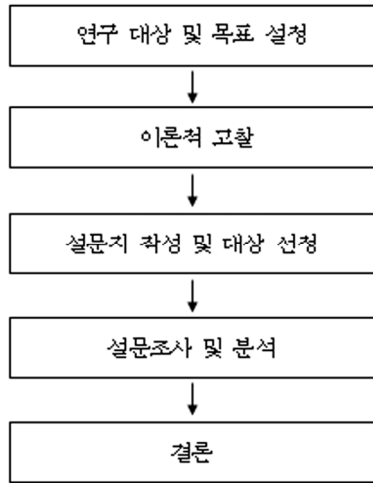


Fig. 1. Research method

설치·해체 기사, 무인타워크레인 운전기사, 안전관리자, 현장관리자 네 분야에 대해 15년 이상의 경력을 가진 전문가 15명에게 실시하였다. 설문 결과를 이용하여 최종적으로 AHP를 적용하였다. AHP 분석은 Microsoft Excel을 사용하였으며, 전문가들이 요인별로 응답한 값들의 기하평균을 구하여 중요도와 우선순위를 도출 및 평가하였으며 연구 절차는 <Fig. 1>과 같다.

첫째, 무인타워크레인 사고 사례와 재해발생 원인에 대한 이론적 고찰을 수행한다.

둘째, 무인타워크레인 관련 전문가와 면담을 통해 선정한 재해 발생 중요도 항목들로 설문지를 작성하고 설문대상을 선정한다.

셋째, 설문조사를 진행하고 그 결과를 바탕으로 AHP기법을 통해 분석한다.

넷째, 분석 결과를 바탕으로 건설 산업에서 무인타워크레인의 재해예방 가능성을 제시한다.

2. 이론적 고찰

2.1 무인타워크레인

타워크레인은 아파트 현장이나 토목현장 등에서 중량물을 수직타워의 상부에 위치한 지브를 선회시켜 상하, 전후 또는 좌우로 이동 원동기 또는 전동기를 말한다.

<Fig. 2>와 같이 타워크레인은 크게 카운터 웨이트, 마스트, 붐대, 트롤리 등으로 분류된다.

무인타워크레인은 무인(無人)이라는 이름에서도 알 수 있듯이, 사람이 타지 않고 타워크레인 밑에서 조종을 할 수 있게끔 만든 타워크레인이다. 유인 타워크레인과의 큰 차이 점은 조종석의 여부이며 무인 타워크레인은 대부분 3t 미만인

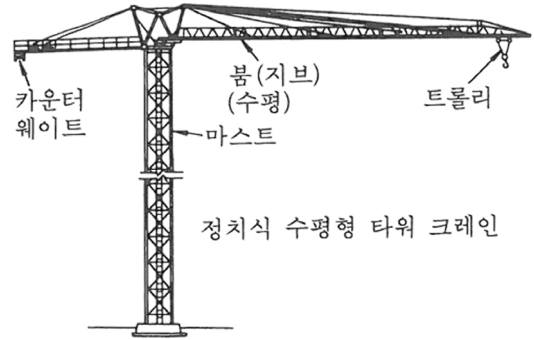


Fig. 2. Tower crane concept

소형타워크레인으로 정의할 수 있다. 현재 무인 타워크레인은 2014년 15대에서 2017년 180대로 약 139배 가까이 증가할 만큼 사용이 확대되고 있다.

2.2 무인타워크레인 재해 현황

고용노동부의 무인타워크레인 중대 재해에 원인조사 통계에 따르면 지난 2003년부터 2019년까지 발생한 무인타워크레인 중대재해는 총 22건으로 조사되었다. 무인타워크레인의 재해의 유형은 기계에 의한 사고인 메인지브 붕괴, T/C 붕괴, T/C 전도로 분류하였으며 부품 결함에 의한 사고인 와이어 절단, 후크 낙하, Wall frame 낙하로 분류하였다. 마지막으로 무인타워 크레인 조작자의 실수에 의한 인양 자재 낙하로 분류하여 재해 원인을 분석하였다.

그에 따른 원인으로는 안전점검·관리 불량, T/C 불법개조, 부품의 결함, 값싼 중국제 T/C 조달, 작업 수칙 미준수, 장비 노후화, 조작자 실수, 장비 결함 인지 난이, 인양 작업 시 안전수칙 무시, 해체 작업 순서 무시로 나타났다. 무인타워크레인 재해 현황의 재해 유형 및 원인을 사진과 함께 <Table 1>, <Table 2>, <Table 3>으로 요약하였다.

Table 1. Accidents list of unmanned tower crane machine


재해 유형	재해일시	재해 원인	사진
메인지브 붕괴 ³⁾⁴⁾	2018. 03	안전점검·관리 불량	
	2016. 04	안전점검·관리 불량	
	2013. 10	T/C 불법개조	
	2004. 06	부품의 결함	
T/C 붕괴 ⁵⁾⁶⁾⁷⁾	2017. 03	값싼 중국제 T/C 조달	
	2016. 07	부품의 결함	
	2014. 04	안전점검·관리 불량	
	2009. 09	T/C 불법 개조	
	2009. 07	작업수칙 미준수	
T/C 전도 ⁸⁾⁹⁾	2019. 03	작업수칙 미준수	
	2018. 08	작업수칙 미준수	
	2018. 02	장비 노후화	
	2013. 02	부품의 결함	

2) 네이버 지식백과, “타워 크레인”
<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=713858&cid=42318&categoryId=42318>

Table 2. Accidents list of unmanned tower crane components

재해 유형	재해일시	재해 원인	사진
와이어 절단 ¹⁰⁾¹¹⁾	2019. 03	안전점검·관리 불량	
	2003. 09	안전점검·관리 불량	
후크 낙하 ¹²⁾	2009. 11	장비 결함 인지 난이	
	2009. 10	부품의 결함	
Wall frame 낙하 ¹³⁾	2011. 10	해체 작업 순서 무시	

Table 3. Accidents list of unmanned tower crane workers

인양 자재 낙하 ¹⁴⁾	2019. 01	시야 미 확보	
	2010. 08	조작자 실수	
	2010. 11	조작자 실수	
	2003. 05	조작자 실수	

2.3 계층 분석 의사결정 방법(AHP)

AHP기법은 1970년대 초반 Tomas Saaty에 의하여 개발된 계층 분석적 의사 결정방법으로 복잡한 의사결정을 합리적, 능률적으로 하기 위해 의사결정자의 경험, 지식 및 직관적

- 3) 네이버 블로그, “메인지브 붕괴, T/C전도, 메인지브 붕괴”
<https://m.blog.naver.com/ekanf1999/221345193424>
(2019년 5월 14일)
- 4) 네이버 블로그, “메인지브 붕괴 사진”
<https://blog.naver.com/ekanf1999/221345193424>
(2019년 5월 14일)
- 5) 노동과 세계, “T/C 붕괴, 후크 낙하”
<http://worknworld.kctu.org/news/articleView.html?idxno=182665> (2019년 5월 14일)
- 6) 전국건설노동조합, “T/C 붕괴”
<https://kcwu.or.kr/localcenter/4366> (2019년 5월 14일)
- 7) 네이버 뉴스, “T/C 붕괴 사진”
<https://news.naver.com/main/read.nhn?oid=008&aid=0003976380> (2019년 5월 14일)
- 8) MSN 뉴스, “T/C 전도”
<https://www.msn.com/ko-kr/money/topstories>
(2019년 5월 14일)
- 9) 네이버 블로그, “T/C 전도 사진”
<https://blog.naver.com/5aktr22/221329228889>
(2019년 5월 14일)
- 10) 광주방송, “와이어 끊어짐”
http://ikbc.co.kr/kor/news?mode=view&nwCd=main_news_02&menuId=56_65_73&nwid=340519 (2019년 5월 14일)
- 11) Metallurgical, “와이어 끊어짐 사진”
<http://www.metallurgist.com/wire-rope-failure.html>
(2019년 5월 14일)
- 12) 네이버 블로그, “후크 낙하 사진”
<https://blog.naver.com/hummer4206/221256669503>
(2019년 5월 14일)
- 13) 네이버 블로그, “Wall frame 낙하 사진”
<https://blog.naver.com/5aktr22/221330540898>
(2019년 5월 14일)
- 14) 네이버 블로그, “인양 자재 낙하 사진”
<https://blog.naver.com/ys1132/220174442625>
(2019년 5월 14일)

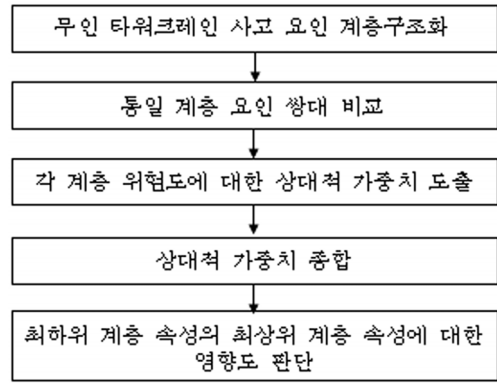


Fig. 3. The process of AHP analysis

판단에 근거하여 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대 비교를 통한 최적의 대안을 선택하도록 하는 의사결정 방법론이다.

본 연구는 무인 타워크레인 상위계층의 요소를 기준으로 하위계층에 있는 요소들의 가중치를 측정해, 상위계층요소가 다른 하위 요소에 비해 우수함을 나타낼 수 있는 쌍대 비교행렬을 작성한다. 그리고 쌍대 비교행렬을 이용한 각 계층의 위험도에 대한 상대적인 가중치를 도출하여 상대적 가중치를 종합한다. 결과값으로 최하위 계층 속성의 최상위 계층 속성에 대한 영향도를 판단하였으며 <Fig. 3>과 같다.

3. 무인타워크레인 주요사고 요인 중요도 분석모형 도출

3.1 무인타워크레인 주요 사고 요인 도출

<Table 3>의 무인 타워크레인 재해 현황을 바탕으로 상위 요인 4가지에 따라 <Table 4>와 같이 도출하였다.

Table 4. Risk factors of unmanned tower crane

상위 요인	하위 요인
개인 요인	작업수칙 미준수, 조작자 실수 시야 미 확보
기계 요인	부품의 결함, 값싼 중국제 T/C 조달 장비 노후화
설치·해체·인양 요인	장비 결함 인지 난이, 작업 안전수칙 무시, 해체 작업 순서 무시
관리 요인	안전 관리 불량, T/C 불법 개조

3.2 무인타워크레인 주요 사고 요인 계층 분석 모형

재해 사례 분석을 통해 도출한 요인들을 바탕으로 <Fig. 4>와 같은 계층 분석 모형을 수립하였다.

4. 설문 결과 분석

4.1 설문조사 개요

계층 분석 모델에 수립된 4가지 상위 항목 및 11가지의 하위 항목을 바탕으로 AHP 설문을 진행하였다. 설문조사는 시공, 관리 및 타워크레인 관련 분야의 재직 중인 전문가

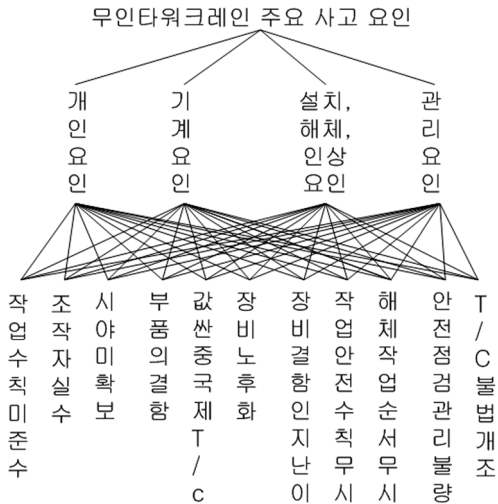


Fig. 4. Analysis model of unmanned tower crane risk factors

15명을 대상으로 2019년 5월 14일부터 5월 16일까지 실시하였다.

4.2 전문가 중요도 분석 결과

무인타워크레인 관련 분야 전문가 9명, 시공 및 관리 분야 전문가 6명의 총 15명의 전문가로부터 설문조사를 실시하였으며, 전문가들의 항목별 응답 대상으로 AHP 분석을 진행하였다. 상위 항목, 하위 항목별 각 값을 기하평균을 구하여 중요도를 산출하였고 우선순위를 분석하였다.

4.3 무인타워크레인 주요 사고 요인 중요도 분석

무인타워크레인 주요 사고 상위 요인의 중요도를 묻는 설문에서 개인 요인 항목이 0.576으로 가장 높게 나타났다. 그리고 기계요인이 0.186로 두 번째, 관리요인이 0.164로 세 번째, 설치·해체·인양 요인이 0.074로 가장 낮게 나타났다. <Table 5>는 전문가들에게 상위 항목의 중요도를 설문하여 분석한 것을 정리한 것이다.

Table 5. Weight analysis

상위 항목	중요도	순위
개인 요인	0.576	1
기계 요인	0.186	2
관리 요인	0.164	3
설치·해체·인양 요인	0.074	4

4.3.2 무인타워크레인 개인 요인의 중요도 분석

무인타워크레인 개인 요인의 중요도를 묻는 설문에서 작업수칙 미준수가 0.660으로 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 조작자 실수가 0.224로 두 번째, 시야 미확보 0.096으로 가장 낮게 나타났다. <Table 6>은 무인타워크레인 개인 요인의 중요도를 설문하여 분석한 것을 정리한 것이다.

Table 6. Weight analysis of workers

개인 요인 항목	중요도	순위
작업수칙 미준수	0.660	1
조작자 실수	0.224	2
시야 미확보	0.096	3

4.3.3 무인타워크레인 기계 요인의 중요도 분석

무인타워크레인 기계 요인의 중요도를 묻는 설문에서는 값싼 중국제 T/C조달이 0.659로 첫 번째, 장비의 노후화가 0.259로 두 번째, 부품의 결함이 0.082로 가장 낮게 나타났다. <Table 7>은 무인타워크레인 기계 요인의 중요도를 설문하여 분석한 것을 정리한 것이다.

Table 7. Weight analysis of machine

기계 요인 항목	중요도	순위
값싼 중국제 T/C조달	0.659	1
장비 노후화	0.259	2
부품의 결함	0.082	3

4.3.4 설치·해체·인양 요인의 중요도 분석

설치·해체·인양 요인의 중요도를 묻는 설문에서 장비 결함 인지 난이가 0.513로 첫 번째로 나타났다. 그리고 작업 안전수칙 무시가 0.412로 두 번째, 해체 작업 순서 무시가 0.075로 가장 낮게 나타났다. <Table 8>은 무인타워크레인 설치·해체·인양 요인의 중요도를 설문하여 분석한 것을 정리한 것이다.

Table 8. Weight analysis of installation and dismantling

설치·해체·인양 요인 항목	중요도	순위
장비 결함 인지 난이	0.513	1
작업 안전수칙 무시	0.412	2
해체 작업 순서 무시	0.075	3

4.3.5 무인타워크레인 관리 요인의 중요도 분석

무인타워크레인 관리 요인의 중요도를 묻는 설문에서 안전 점검·관리 불량 0.863로 가장 높게 나타났으며, T/C 불법 개조가 0.137로 가장 낮게 나타났다. <Table 9>는 무인타워크레인 관리 요인의 중요도를 설문하여 분석한 것을 정리한 것이다.

Table 9. Weight analysis of management

관리 요인 항목	중요도	순위
안전 점검·관리 불량	0.863	1
T/C 불법 개조	0.137	2

4.4 무인타워크레인 주요 사고 요인 중요도 분석 결과

15명의 전문가에게 설문조사한 결과를 바탕으로 기하평균을 계산하여 상위 항목과 하위 항목들의 각 중요도를 구하

고, 각 항목별 상위 항목 중요도의 값과 하위 항목 중요도의 값을 곱하여 <Table 10>같은 11가지 항목의 중요도와 우선순위를 도출하였다.

Table 10. Priority of tower crane factors

전체 항목	중요도	순위
작업수칙 미준수	0.380	1
안전 점검·관리 불량	0.142	2
조작자 실수	0.129	3
값싼 중국제 T/C조달	0.123	4
시야 미확보	0.055	5
장비 노후화	0.048	6
장비 결함 인지 난이	0.038	7
작업 안전수칙 무시	0.030	8
T/C 불법 개조	0.022	9
부품의 결함	0.015	10
해체 작업 순서 무시	0.006	11

4.5 타워크레인 선행 연구와의 우선순위 비교

무인타워크레인의 주요 사고 요인의 중요도와 기존의 타워크레인 선행 연구¹⁵⁾에서 진행된 AHP기법의 중요도와의 비교를 통해 무인타워크레인의 주요 사고 요인의 차별성을 분석하였다. 기존의 타워크레인의 주요 사고 요인은 근로자의 숙련도 부족(0.0532), 운전 지침 및 기준 위반(0.0511), 상승 작업 시 위험요인 숙지 미흡(0.0438)이 각각 높은 결과로 도출되었다.

무인타워크레인의 주요 사고 요인은 작업수칙 미준수(0.380), 안전 점검·관리 불량(0.142), 조작자 실수(0.129)로 선행 연구에서 도출된 타워크레인의 요인별 중요도와 차이가 있었다.

5. 결론

현재 건설 산업은 무인타워크레인을 활용한 비용 절감과 효율성 증대에도 불구하고, 무인타워크레인의 주요 재해는 점점 늘어나고 있다.

본 연구에서는 무인 타워크레인의 사고 사례와 선행 연구를 통해 선정한 타워크레인 주요 사고 요인을 분석하여 무인 타워크레인의 주요 사고 요인을 도출하였다. 새로 도출한 주요 사고 요인 항목들의 우선순위와 중요도를 확인하기 위해 AHP 기법을 활용하였으며 경험자들을 상대로 4가지 상위 항목과 11가지 하위 항목에 대하여 각각 쌍대 비교 설문을 진행하였다. 그 후 설문을 통해 얻은 값들의 기하평균을 이용하여 중요도와 우선순위를 분석하였다.

무인 타워크레인의 주요 사고 요인들의 중요도를 분석한 결과는 다음과 같이 나타났다. 상위 항목 중에선 개인 요인

항목이 0.576으로 가장 높게 나타났으며, 개인요인에선 작업수칙 미준수, 기계요인에서는 값싼 중국제 T/C조달, 설치·해체·인양 요인 항목에선 장비 결함 인지 난이, 관리 요인에서는 안전 점검·관리 불량이 가장 높게 나타났다. 전체 항목의 중요도를 비교했을 때는 작업수칙 미준수(0.380), 안전 점검·관리 불량(0.142), 조작자 실수(0.129) 등의 순서로 나타났다.

따라서 무인 타워크레인 산업에서의 재해를 예방하기 위해서는 부품의 결함, 조작자 실수 등 본 연구의 결과로 도출된 재해 요인들에 대한 집중관리와 대책 선정을 통해 작업자들의 안전사고에 대한 문제를 최소화하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

또한 본 연구 결과를 바탕으로 향후 무인타워크레인 관련 작업자들의 안전교육을 진행함으로써 재해예방에 도움이 될 수 있도록 노력해야 할 것이다.

References

조예림, “AHP 분석을 통한 타워크레인 안전사고 요인 중요도 평가”, 경기대학교 대학원 석사학위논문, pp. 1-94, 2013.

김용운, “건설현장 무인타워크레인의 사고사례 분석을 통한 문제점 및 개선방안”, 『중앙대학교 건설대학원 석사학위논문』, pp. 1-81, 2018.

권오만, “FMEA 기법을 이용한 타워크레인 주요 재해원인 도출”, 『한양대학교 공학대학원 석사학위논문』, pp. 1-61, 2015.

정영래, 남호현, “텔파이·AHP기법을 통한 유적장비 사후평가 지표 개발”, 건축역사연구(한국건축역사학회지), 23(4), pp. 21-22, 2014.

조항민, 송영웅, 안재봉, 최윤기, “강구조물 공사의 품질관리를 위한 리스크 중요도 분석 및 대응방안”, 『한국건설관리학회 논문집』, 제 8권, 제 3호, pp. 88-89, 2007.

이해석, “타워크레인 사고 원인분석 및 대책에 관한 연구”, 『서울과학기술대학교 안전공학과 석사학위논문』, pp. 20- 30, 2014.

논객, “무인타워크레인 현황”, <http://stat.molit.go.kr/portal/main/portalMain.do> (2019년 5월 1일)

네이버 블로그, “메인지브 붕괴, T/C전도, 메인지브 붕괴”, <https://m.blog.naver.com/ekanf1999/221345193424> (2019년 5월 14일)

네이버 블로그, “메인지브 붕괴 사진”, <https://blog.naver.com/ekanf1999/221345193424> (2019년 5월 14일)

노동과 세계, “T/C 붕괴, 후크 낙하”, <http://worknworld.kctu.org/news/articleView.html?idxno=182665> (2019년 5월 14일)

전국건설노동조합, “T/C 붕괴”, <https://kcwu.or.kr/localcente>

15) 조예림, “AHP 분석을 통한 타워크레인 안전사고 요인 중요도 평가”, 『경기대학교 대학원 석사학위논문』, pp.1~94, 2013.

r/4366 (2019년 5월 14일)
네이버 뉴스, “T/C 붕괴 사진”, <https://news.naver.com/main/read.nhn?oid=008&aid=0003976380> (2019년 05월 14일)
MSN 뉴스, “T/C 전도”, <https://www.msn.com/ko-kr/money/topstories> (2019년 5월14일)
네이버 블로그, “T/C 전도 사진”, <https://blog.naver.com/5aktr22/221329228889> (2019년 5월 14일)
광주방송, “와이어 끊어짐”, http://ikbc.co.kr/kor/news?mode=view&nwCd=main_news_02&menuId=56_65_73 &nwid=340519 (2019년 5월 14일)
Metallurgical, “와이어 끊어짐 사진”, <http://www.metallurgical.com/wire-rope-failure.html> (2019년 5월 14일)
네이버 블로그, “인양 자재 낙하 사진”, <https://blog.naver.com/ys1132/220174442625> (2019년 5월 14일)
네이버 블로그, “후크 낙하 사진”, <https://blog.naver.com/hummer4206/221256669503> (2019년 5월 14일)
네이버 블로그, “작업자 추락 사진”, <https://blog.naver.com/sbsafety/60194688489> (2019년 5월 14일)
네이버 블로그, “Wall frame 낙하 사진”, <https://blog.naver.com/5aktr22/221330540898> (2019년 5월 14일)

요약 : 무인타워크레인의 운전자적 취득이 쉬워지고 불법개조가 늘어나며 소규모 건설현장에서도 무인타워크레인이 점차 활용되고 있다. 그러나 운전경험이 부족한 타워크레인 운전자의 문제가 커지면서 안전사고도 늘고 작업자도 사고위험에 노출되고 있다. 본 연구에서는 무인타워크레인 사고를 분석하여 사고 원인을 도출하였다. 그 후, 사고 원인의 중요도를 도출하기 위해 AHP 기법을 사용하여 분석하였다. 이 연구의 결과는 무인타워크레인을 사용하는 사업자와 건설 노동자들이 작업 규칙을 따르지 않는다는 것이다.

키워드 : 타워크레인, 무인타워크레인, AHP분석, 설문
