



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

크레인 작업의 안전성 향상을 위한  
인간공학적 개선에 관한 연구

A Study on the Ergonomic Improvement  
for Safety of Crane Operation

울산대학교 대학원  
산업경영공학과  
이 용 석

크레인 작업의 안전성 향상을 위한  
인간공학적 개선에 관한 연구

지도교수 정기효

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함

2022년 6월

울산대학교 대학원  
산업경영공학과  
이 용 석

이용석의 공학박사 학위논문을 인준함

심사위원 박창권 인

심사위원 장길상 인

심사위원 황규선 인

심사위원 정기효 인

심사위원 임치현 인

울 산 대 학 교 대 학 원

2022년 6월

## 국 문 요 약

크레인(crane)은 중량물을 운반하는 대표적인 기계설비로서 크레인 작업은 작업자가 직접 중량물을 줄걸이 용구로 체결하고 운반 중에 함께 이동해야 하는 작업 특성으로 인해 사고발생 위험이 높다. 지난 5년간(2013-2017년) 크레인 작업에서 발생한 사고로 인한 사망자가 185명, 재해자가 3,556명으로 다른 기계에 비해 사고 강도가 매우 높다. 이는 크레인 작업이 중량물 운반이 주요 작업으로 사고가 발생하면 큰 사고로 이어질 가능성이 높기 때문이다.

크레인은 인간-기계 시스템에 속하며, 안전한 크레인 작업을 위해서는 안전장치의 정상적인 작동과 함께 작업자의 주의와 숙련도가 요구되어지는 부분 안전형 기계류(partial safety machine)이다. 이러한 크레인 작업의 안전성을 향상시키기 위해서는 휴먼에러를 가능한 한 최소화시켜야 되며, 이를 위해서는 크레인 설계단계에서부터 인간공학 원칙을 고려하는 것이 필요하다. 아울러, 크레인 작업에 참여하는 운전자와 줄걸이 작업자에 대한 인적요인 강화도 요구되어진다.

크레인은 산업안전보건법에서 위험기계·기구로 분류되어 크레인 설계·제작 단계에서 안전인증을 적용받고 있으나, 안전인증기준이 인간의 특성을 고려한 안전조치가 충분히 반영되어 있지 않아 사고를 예방하기에 부족하다. 따라서 안전인증기준에 대한 인간공학적 적합성 분석을 통한 검토가 필요하다.

크레인 작업자에 관하여서는 크레인 운전자격이 운전실이 있는 크레인에만 적용되고 펜던트 또는 리모컨 조작방식인 대다수의 크레인에는 운전자격이 별도로 요구되지 않고 있다. 더욱이, 중량물을 걸에서 다루어 사고위험이 높은 줄걸이 작업자들에 대해서도 별도의 자격을 요구하지 않으며, 사업주가 자체적으로 실시하는 특별교육을 받으면 크레인 작업이 가능하도록 되어 있다. 특별교육은 크레인 작업자의 안전을 위해 중요하나, 대다수 사업장에는 크레인 교육을 체계적으로 수행할 수 있는 교육시설이나 전문인력이 제대로 갖추어지지 않고 형식적으로 이루어지고 있다.

이러한 크레인 설비의 위험성과 제도의 한계성으로 인해 크레인 작업의 안전은 여전히 위협받고 있는 상황 가운데에서 본 연구는 크레인 작업에 대한 실효성 있는 안전성 향상 방안을 얻고자 크레인 안전인증기준 등 관련 제도와 작업자들에 대한 실태 및 분석을 수행하였다.

먼저, 크레인 설비에 적용되는 안전인증 기준의 인간공학적 분석을 위해 휴리스틱 원칙을 조사하여 인간공학 평가원칙 5가지 유형(피드백, 일관성, 양립성, 풀 프루프, 페일 세이프)을 선정하였다. 그리고 크레인 안전인증기준에 대한 인간공학 평가원칙과의 연관성 분석을 통해 문제점 및 개선방안을 도출하였다.

크레인 안전인증기준은 기계장치, 전기장치, 안전장치 등 7개 분야에 대해 총 119개 조항으로 구성되어 있는데, 연관성 분석을 실시한 결과 이 중 50개 조항이 인간

공학 평가 적용대상으로 분류되었다. 세부적으로 피드백 원칙에서 총 28개 조항이 해당되었고, 폴 프루프와 페일 세이프 원칙에서 각각 22개와 14개 조항이 연관되는 것으로 파악되었다. 일관성 원칙은 안전장치, 조작장치 분야 등에서 6개 조항이 해당되었으며, 양립성 원칙은 크레인 조작장치의 2개 조항이 적용되었다. 이들 조항에 대해 인간공학 평가원칙을 적용한 결과 미흡 또는 일부미흡 등급 조항은 피드백 9개, 양립성 2개, 일관성 1개, 폴 프루프 4개 조항 등 총 16개 조항으로 나타났다.

다음으로 이 연구에서는 크레인 운전자 및 줄걸이 작업자에 대한 설문조사를 통해 작업자들이 체감하는 사고 원인과 특별교육 및 자격 제도의 문제점을 확인하였다. 설문조사는 국내 8대 조선사를 포함한 25개사에서 387명의 크레인 작업자들을 대상으로 실시하였다. 이들에 대해 크레인 사고의 주요 원인을 설문한 결과 응답자의 79%가 안전수칙 미준수, 크레인 조작 및 줄걸이 작업 미숙 등의 인적요인(human factor)을 지목하였다.

특히 작업자들을 위한 사업장 교육환경 분석에 따르면 산업안전보건법에 따라 실시되는 특별교육은 체계적인 교육과정과 실습교육장을 갖추고 전문 강사를 통해 이론교육과 실습 교육을 받았다는 경우는 16.7%(61명)에 불과하여 대다수가 체계적인 교육과정이나 전문강사 없이 이론 위주의 교육을 받고 있음을 확인하였다. 이로 인해 특별교육을 적정 자격을 갖춘 인정받은 교육기관이나 사업장 내 교육센터를 통해 실시하도록 하는 제도개선 의견이 71%(269명)로 ‘그렇지 않다’는 의견 7.9%(30명)에 비해 약 9배 정도로 조사되었다. 따라서 기존의 줄걸이 작업과 크레인 운전(펜던트, 리모컨조작)에 대한 교육방법 및 자격제도 개선을 통해 인적요인 강화가 필요함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 수행한 안전인증 기준의 인간공학적 적합성 검토와 크레인 운전자 및 줄걸이 작업자의 숙련도와 안전수준을 높이는 교육 및 자격제도 개선방안을 통해 크레인 안전성 향상과 발전에 작은 도움이 되었으면 한다.

※ Keywords : 크레인, 인간-기계 시스템, 부분 안전형 기계류, 휴먼에러, 안전인증기준, 인간공학 평가원칙, 크레인 운전자 및 줄걸이 작업자, 특별교육 및 자격제도

- 목 차 -

국문요약 .....	i
List of Figure .....	v
List of Table .....	vii

**제1장 서 론**

1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구목적 및 범위 .....	5
1.3 논문의 구성 .....	6

**제2장 연구에 대한 이론적 배경**

2.1 안전형 기계류 .....	7
2.2 인간-기계 시스템 .....	9
2.3 휴리스틱 원칙 .....	10
2.4 안전인증제도 .....	16
2.5 자격 및 특별교육 제도 .....	21
2.6 크레인의 주요 장치 .....	22

**제3장 안전인증기준의 인간공학적 분석**

**3.1 연구방법**

3.1.1 휴리스틱 평가원칙 조사 .....	32
3.1.2 평가원칙 선정 .....	33
3.1.3 유사 평가원칙 통합 .....	34

## 3.2 연구결과

3.2.1 연관성 분석 방법 .....	36
3.2.2 연관성 분석 결과 .....	37
3.2.3 인간공학 평가원칙별 세부 분석 결과 .....	38
3.2.4 안전인증기준 개선방안 .....	43

## 제4장 작업자 체감 사고원인과 특별교육 및 자격제도 분석

### 4.1 연구방법

4.1.1 조사방법 및 대상 .....	46
4.1.2 데이터 분석방법 .....	47

### 4.2 연구결과

4.2.1 크레인 작업자 현황분석 .....	48
4.2.2 크레인의 위험성과 사고원인에 대한 인식 .....	49
4.2.3 제도 개선 필요성에 대한 인식 .....	52
4.2.4 분석결과를 통한 인적요인 개선 방안 .....	54

## 제5장 결 론 .....

58

## 참고문헌 .....

61

## 부 록

부록 1 안전인증기준-인간공학 평가원칙 연관성 분석표 .....	65
부록 2 설문지 .....	74

## Abstract .....

79



## List of Figures

Figure 1 최근 5년간 위험기계기구별 재해자 및 사망자 현황(2013-2017) .....	1
Figure 2 크레인 사망사고의 주요원인 .....	2
Figure 3 줄걸이 작업 및 줄걸이 용구 .....	3
Figure 4 부분 안전형 기계 .....	8
Figure 5 인간-기계 시스템에서의 정보흐름 .....	9
Figure 6 안전인증 절차도 .....	17
Figure 7 크레인의 강 구조부(crane steel structure) .....	22
Figure 8 권상장치(hoisting device) .....	23
Figure 9 권상장치 배열(arrangement of hoisting device) .....	24
Figure 10 권상 브레이크(hoisting brake) .....	24
Figure 11 주행장치(travelling device) .....	24
Figure 12 조작장치(operating device) .....	25
Figure 13 전기장치(electric device) .....	26
Figure 14 비상정지장치(emergency stop) .....	26
Figure 15 권과방지장치(upper limit) .....	27
Figure 16 과부하방지장치(overload limiter) .....	27
Figure 17 이동식크레인 과부하방지장치(moment limiter) .....	28
Figure 18 이동식크레인의 아웃트리거 설치와 감지장치 .....	28
Figure 19 횡행 및 주행리미트(traversing and travelling limiter) .....	29
Figure 20 횡행 및 주행스토퍼(stopper) .....	29
Figure 21 혹 해지장치(safety latch) .....	30
Figure 22 충돌방지장치(anti-collision) .....	30

Figure 23	크레인 고정장치(anchor)	31
Figure 24	정전보상장치(electric magnet battery)	31
Figure 25	크레인의 주요 장치	33
Figure 26	피드백 적용 사례	39
Figure 27	양립성을 고려하지 않은 조작방향	40
Figure 28	일관성 원칙이 적용된 비상정지장치	40
Figure 29	일관성이 부족한 방향표시	41
Figure 30	크레인 충돌위험	42
Figure 31	페일 세이프 적용 사례	42
Figure 32	하중 표시장치	43
Figure 33	양립성을 고려한 조작버튼 배열	44
Figure 34	충돌방지 시스템	44
Figure 35	규모별 설문조사에 참여한 사업장의 수	47
Figure 36	담당 업무	49
Figure 37	크레인 사고 빈도 및 강도에 대한 인식	50
Figure 38	작업자가 체감하는 크레인 사고 주요 요인	51
Figure 39	인적 요인에 의한 크레인 사고 유발 주요 원인	51
Figure 40	특별교육 이수 현황	52
Figure 41	특별교육 운영 실태	53
Figure 42	특별교육방식 개선 및 자격제도 필요성	53
Figure 43	크레인 실습교육장 및 크레인 작업 자격표시 운영	55

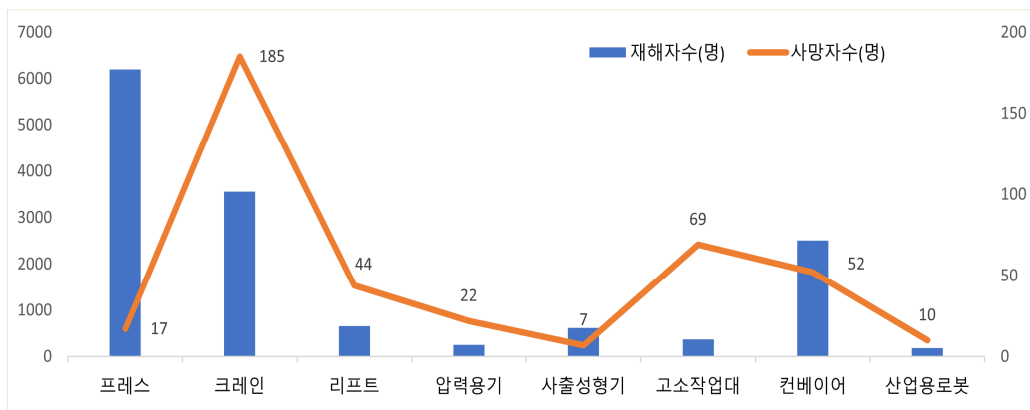
## List of Tables

Table 1 Nielsen의 10가지 휴리스틱 원칙 .....	11
Table 2 Weinschenk and Barker Classification .....	12
Table 3 Gerhardt-Powals' cognitive engineering principles .....	13
Table 4 Shneiderman's Eight Golden Rules of Interface Design .....	14
Table 5 Don Norman's Design Principles .....	15
Table 6 안전인증 대상품 현황 .....	16
Table 7 크레인 제작 및 안전기준(별표2) .....	18
Table 8 크레인 운전자격(면허) .....	21
Table 9 특별교육 내용 .....	21
Table 10 휴리스틱 원칙 (Heuristic principles) .....	32
Table 11 안전인증기준 평가에 선정된 휴리스틱 원칙 .....	34
Table 12 대표적인 5가지 인간공학 원칙 .....	35
Table 13 안전인증기준 - 인간공학 원칙 연관성 분석표 .....	36
Table 14 안전인증기준 분야별 평가원칙 적용 현황 .....	37
Table 15 인간공학 평가원칙의 안전인증기준 분야별 적용 조항 수 .....	37
Table 16 인간공학 평가원칙별 안전인증기준 적용 현황 .....	38
Table 17 연구에 사용된 설문지 문항 .....	46
Table 18 연령대 및 작업경력에 관한 설문 참여자 .....	48
Table 19 수행업무별 크레인 사고 경험 또는 무경험 빈도 .....	49
Table 20 일본의 줄걸이작업 안전교육 .....	56
Table 21 해외 선진국가별 전문 줄걸이 자격 관리제도 현황 .....	56

# 제1장 서론

## 1.1 연구배경

크레인(crane)은 훅(hook)이나 그 밖의 달기기구를 사용하여 중량물의 권상과 이송을 목적으로 일정한 작업 공간 안에서 반복적인 동작을 하는 기계이다(고용노동부, 2020). 크레인은 중량물 운반기계로서 산업현장에 없어서는 안되는 주요한 기계이나, 크레인으로 인한 사고로 사람이 다치거나 목숨을 잃는 산업재해가 어느 기계보다 높은 비중을 차지하고 있다(안태건, 2012). 지난 5년간(2013-2017년) 기계설비 중 사망사고가 가장 높은 것은 크레인으로 [Figure 1]에서와 같이 사망자가 185명, 재해자가 3,556명으로 다른 기계에 비해 사고 강도가 매우 높다. 이는 중량물을 운반하는 작업 특성으로 인해 사고가 발생하면 큰 사고로 이어질 가능성이 높기 때문으로 해석된다(신용우, 2019).



[Figure 1] 최근 5년간 위험기계기구별 재해자 및 사망자 현황(2013-2017)

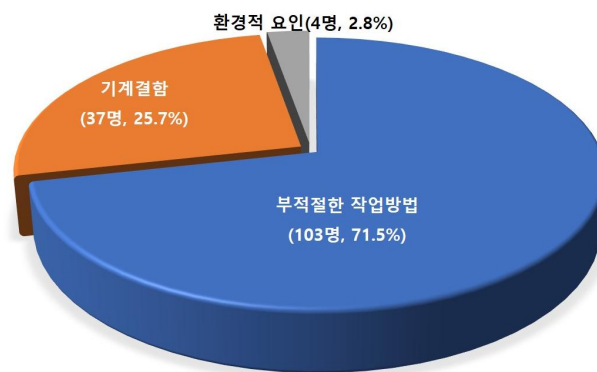
산업현장의 기계설비는 안전성 측면에서 두 가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째는 안전장치가 정상적인 기능을 통해 작업자가 실수를 하여도 사고로 이어지지 않는 전체 안전형 기계류(complete safety machine)이고, 둘째는 안전장치가 정상적으로 작동하나 이것만으로는 사고를 예방하는데 충분하지 못하기 때문에 작업자의 주의와 숙련도가 요구되는 부분 안전형 기계류(partial safety machine)이다. 대표적인 전체 안전형 기계류에는 사출성형기가 있으며, 부분 안전형 기계류에는 크레인이 해당된다.

크레인은 작업 상황에 따라 작업방법이 달라지기 때문에 크레인 작업을 자동화하기 어렵고 숙련된 작업자에 의해 이루어져야한다. 특히, 운전자는 크레인을 조작하면서 동시에 주변 사람이나 설비와 간섭이 발생하지 않도록 확인하는 동시작업(multi-tasking)이 이루어지므로 운전자의 주의(attention)가 분산되어진다. 이러한 인간의 주의자원 제약(인지적 구두쇠)은 동시작업의 한계로 이어져 한 곳에 주의를 집중하다 다른 곳에 주의가 소홀해지는 무주의 맹시(inattentional blindness)로 인해 사고 발생 위험을

높이게 된다(KOSHA, 2020). 즉, 인간-기계 인터페이스(human-machine interface) 문제는 휴먼에러(human error)의 가능성을 증가시켜 사고로 이어질 수 있다(EU-OSHA, 2009). 따라서 크레인 작업의 안전성을 향상하기 위해서는 휴먼에러가 발생하지 않도록 해야 하며, 이는 크레인 설계단계에서부터 인간공학적 요소가 반영되어야 함을 의미한다.

크레인은 산업안전보건법에서 위험기계·기구로 분류되어 안전인증 절차에 따라 제작·설치된다. 안전인증제도는 안전성이 근원적으로 확보된 제품을 지속적으로 생산 및 보급함을 통해 산업재해 예방에 기여하는 것을 목적으로 하고 있다(오승현, 2019). 하지만, 크레인은 안전인증제도라는 법적인 절차와 기준에 따라 제작·설치되어지고 안전성을 확인받고 있으나, 여전히 크레인 사고는 지속적으로 발생하고 있어 위험한 기계로 인식되고 있다. 이러한 원인 중 하나로 크레인 설계·제작 시 적용되는 안전인증 기준은 휴먼에러에 의한 사고를 예방하는 것에는 충분하지 못함을 의미한다. 따라서 인간-기계 시스템으로 구성된 크레인을 사람이 조종하고 운반하는 하물과 함께 작업하는 환경 속에서 각종 휴먼에러를 예방하기 위해 현재의 안전인증 기준에 대한 인간공학적 적합성 분석 및 개선에 관한 연구가 필요하다.

[Figure 2]에서 나타낸 바와 같이 2015 ~ 2017년에 발생한 144명의 크레인 사망사고 중에서 71.5%(103명)가 부적절한 작업방법에 의해 발생한 것으로 인적 요인에 해당하는 것으로 분석되었다. 그리고 기계 결함(기계적 요인)이나 환경적 요인은 각각 25.7%(37명)와 2.8%(4명)로 인적 요인에 비해 상대적으로 낮은 비율을 보이고 있다. 사망사고를 일으킨 작업 유형에는 중량물 운반과 줄걸이 작업이 65.3%(94명)로 가장 큰 비율로 나타났고, 이어서 설치·해체작업 18.8%(27명)과 탑승작업 11.1%(16명), 그리고 점검수리 및 기타 4.8%(7명) 순으로 조사되었다(이용석, 2019).

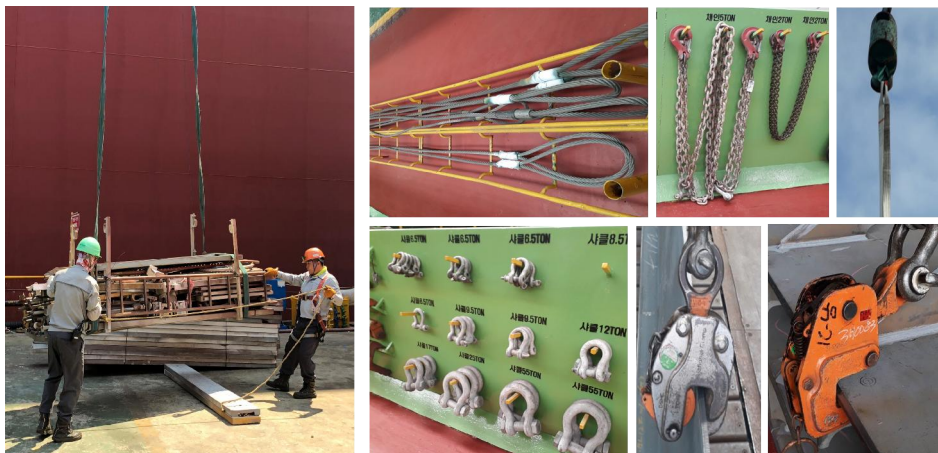


[Figure 2] 크레인 사망사고의 주요원인

인간의 휴먼에러(human error)는 다양한 산업분야에서 보편적으로 일어나며, 사고원인의 70~80%로 나타나고 있어 사회에 큰 영향을 끼치고 인적, 물적 손실로 인한 피해와 많은 문제를 일으키고 있다. 이러한 휴먼에러는 인간이 일으킨 실수나 잘못된 판단으로 인해 발생한 최종적인 행동으로 나타나게 되는데, 휴먼에러를 방지하고 안전성과 효율성을 최적화하기 위한 인간 중심의 모든 활동을 인적요인(human factors)이라 한다(이현수, 2021). 크레인 작업에서 휴먼에러를 방지하여 안전성을 확보하기 위한 인적요인으로는 크레인 운전과 줄걸이 작업이 있다.

크레인 운전에 대한 자격은 산업안전보건법 제140조(자격 등에 의한 취업 제한 등) 및 취업제한규칙 별표 1에서 규정하고 있는데, 천장크레인(조종석이 설치되어 있는 것에 한정) 및 타워크레인, 이동식크레인으로 국한하여 자격(또는 면허)을 가진 자만 가능하다. 크레인 운전방식은 일반적으로 운전실, 펜던트, 리모컨 조작 3가지로 구분되는데, 운전실 방식은 크레인 구조물에 부착된 운전실 내에 조종석이 설치되고 운전자가 탑승하여 조작하며, 운전 자격이 필요하다. 하지만, 이러한 운전실이 있는 크레인의 비중은 산업안전보건법에 따라 정기적으로 안전검사를 받는 2톤 이상의 크레인 중 3,600여대로 전체 20만 여대 대비 약 1.8%에 불과하다(차량탑재형 이동식크레인 제외)(KOSHA, 2021). 이에 반해, 펜던트와 리모컨 조작은 각각 유선과 무선형태의 조작장치를 통해 작업장 바닥에서 크레인을 조작하는 형태로 산업현장에서 일부 조선소 및 제철소의 대형 크레인을 제외하고는 대부분이 펜던트 또는 리모컨 조작방식으로 크레인 운전자격을 요구하지 않는다.

줄걸이 작업은 [Figure 3]과 같이 크레인 등을 이용하여 하물을 운반하고자 할 때 하물과 훅을 연결시키고 인양하여 원하는 목적지로 운반한 후 하물을 훅에서 분리하는 작업을 말한다(한철호, 2010). 줄걸이 작업을 위해서는 크레인을 작업방법에 따라 적절하게 컨트롤 할 수 있는 조종능력을 구비하고 하물의 무게와 형상에 따라 줄걸이 용구의 선정과 체결방법을 잘 숙지하고 있어야 한다.



[Figure 3] 줄걸이 작업 및 줄걸이 용구

크레인은 사고위험이 높음에도 불구하고 줄걸이 작업에 종사하는 근로자들에 대해 법에서는 별도의 자격을 요구하지 않고 있으며, 사업주가 자체적으로 실시하는 특별교육을 받으면 크레인 작업이 가능하다. 특별교육은 사업주가 크레인 작업자들의 안전작업을 위해 실시해야 하는 중요한 교육이지만 대다수 사업장에는 크레인 교육을 체계적으로 수행할 수 있는 교육시설이나 전문인력이 제대로 갖추어지지 않고 있다(박찬욱, 2014). 이러한 가운데 사업장에서는 제대로 된 교육이나 훈련을 실시하지 않고 기본적인 안전규정이나 최소한의 직무교육만을 제공하여 현장에 배치되어도 바로 실무 근무에 적용되지 않고 사수(선임자)를 따라다니면서 조공(보조자) 역할을 한다. 이러한 주먹구구식의 교육훈련으로 미숙련자가 훅에 양중물을 체결하

는 방법만 인지한 채 충분한 장비와 중량물에 대한 지식이 없는 상태에서 양중작업으로 작게는 손가락이 협착되는 사고부터 중대사고까지 발생되고 있는 실정이다(양세훈, 2020).

이러한 상황은 앞서 언급한 안전인증기준의 문제점과 동일하게 현행 특별교육과 크레인 운전 자격 제도 또한 크레인 작업에서 인적오류로 인한 사고를 예방하기에는 부족함을 알 수 있다. 따라서 부분 안전형 기계인 크레인의 안전을 확보하기 위해서 크레인 설비에 대한 인간공학적 적합성 연구와 함께 인적요인에 해당되는 크레인 운전과 줄걸이 작업에 대한 교육 및 자격 제도의 실태파악과 이에 대한 분석 및 개선에 대한 연구가 병행되어야 한다.

따라서 본 연구는 크레인에 적용할 수 있는 인간공학 평가원칙을 사용하여 현행 안전인증기준이 인간공학적 설계기준에 부합하는지 분석하고, 크레인 운전자 및 줄걸이 작업자 등에 대한 설문조사를 통해 인적요인인 교육 및 자격제도에 대한 문제점 및 개선방안을 동시에 제시하고자 한다.

## 1.2 연구목적 및 범위

크레인은 안전인증기준에 따라 설계·제작되어 안전성을 인증받고 있음에도 불구하고 크레인 사고는 여전히 다른 기계에 비해 높은 수준으로 발생하고 있고 위험한 기계로 인식되고 있다.

크레인에는 과부하방지장치, 권과방지장치, 충돌방지장치 등 여러 안전장치가 작동되고 있으나, 이들은 크레인 설비보호가 주목적이고 작업자의 안전이나 휴먼에러를 고려한 인간공학적 기능에 관한 설계 고려는 미흡하다. 또한, 부분 안전형 기계류(partial safety machine)인 크레인에서 운전자와 줄걸이 작업자의 주의와 숙련도가 요구되나 현재의 교육환경이나 자격제도가 이를 만족할 만한 충분한 역할을 하지 못하고 있다.

따라서 본 연구는 크레인 작업에서 발생하는 사고의 대부분이 부적절한 작업방법으로 인한 인적요인으로 분석하고 이를 개선하는 실제적 안전성 향상 방안을 연구하고자 하였다. 그리고 석사과정에서 128건의 크레인 사망사고 사례분석을 통해 개선방안을 도출하였던 「크레인 안전성 확보방안에 관한 연구(2019)」에서 심화시켜 체계적으로 연구하고자 하였다. 이를 위해 크레인 설비 자체에 대한 적합성 검토와 함께 크레인 작업자에 대해서도 실태를 파악하여 종합적인 분석을 실시하였다.

먼저 크레인 설계·제작단계에서 휴먼에러를 최소화하는 시스템을 갖추고 있는지 판단하기 위해 크레인 설계·제작에 기준이 되는 안전인증기준에 대해 작업자 중심의 인간공학적 적합성 여부를 검토하였다. 적합성 검토는 여러 휴리스틱 원칙을 선행 연구하여 크레인에 적합한 인간공학 평가원칙 5가지를 선별하여 적용시켰다. 다음으로 크레인 사용단계에서 휴먼에러를 최소화할 수 있는 작업방법이나 역량, 작업환경을 갖추고 있는지 판단하기 위해 크레인 작업과 교육, 자격제도에 관해 작업자들의 체감분석 및 실태 조사를 실시하였고, 이에 대한 분석을 통해 개선방안을 도출하였다.

본 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

- i) 크레인 안전인증제도, 교육 및 자격제도와 사용성 평가에 사용되는 휴리스틱 원칙에 대한 선행 연구
- ii) 선행 연구한 휴리스틱 원칙(heuristic principles)을 분석하여 크레인에 적용 가능한 인간공학 평가원칙 선정 및 안전인증기준에 대한 적합성 분석 및 개선방안 제언
- iii) 크레인 작업자들의 사고원인 체감 및 특별교육 실태에 대해 설문분석을 통한 인적요인 개선방안 제언



### 1.3 논문의 구성

본 논문은 다음과 같은 구성으로 전개하고자 한다.

총 5장으로 구성되어 있는 본 논문은 제1장 서론에서는 연구의 배경과 목적을 밝히고 연구방법을 서술하고 있다. 제2장 연구에 대한 이론적 배경에서는 인간-기계 시스템에서 인터페이스(interface)의 사용성 평가에 널리 사용되는 5종류의 휴리스틱 원칙과 산업안전보건법에서 규정한 유해·위험 기계에 대한 안전인증제도 및 크레인 안전인증기준, 작업자에 대한 교육 및 자격 제도에 대해 선행연구를 실시하였다.

제3장 안전인증기준의 인간공학적 분석에서는 휴리스틱 원칙(heuristic principles) 분석을 통해 크레인에 적용 가능한 인간공학 평가원칙을 선정하였고, 인간공학 평가원칙을 통해 크레인 안전인증기준을 분석하였다. 크레인 안전인증기준의 세부 조항에 대해 선정된 5가지 인간공학 평가원칙이 올바르게 적용되어 있는지를 3가지 등급(적합, 일부 미흡, 미흡)으로 분류하였고, 미흡 등급의 인증기준에 대해 개선방안을 제언 및 토의하였다.

제4장 작업자 체감 사고원인과 특별교육 및 자격제도 분석에서는 국내 조선업 25개사의 크레인 작업자 387명을 대상으로 실시한 설문조사를 통해 크레인 사고에 대한 체감정도, 특별교육 실태와 제도개선 의견의 분석결과를 설명하고 인적요인 개선방안을 제언하였다.

끝으로 5장에서는 연구 결과를 바탕으로 결론을 맺음으로써 본 논문을 마무리하고자 한다.

## 제 2 장 연구에 대한 이론적 배경

### 2.1 안전형 기계류(Safety Machine)

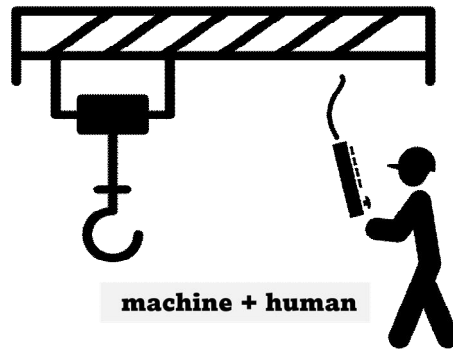
기계는 사람을 대신하여 힘들고 어려운 일을 빠르고 정확하게 수행하는 유용한 면과 기계작동 과정에서 협착, 끼임, 부딪힘 등 여러 위험 요소들의 노출로 인해 인적·물적 피해가 발생할 수 있는 양면성을 지닌다. 이러한 위험 기계의 안전성을 확보하기 다양한 안전장치들이 개발되고 기능이 고도화되고 있으나, 그럼에도 불구하고 사고로부터 완전히 자유롭지 못하고 있다. 이에, 산업안전보건법에는 유해위험 기계·기구에 대한 안전인증 제도를 제정하여 안전인증기준에 적합한 기계를 제작·사용하도록 하고 있으며, 안전인증 적용대상 기계에는 크레인을 포함하여 프레스, 리프트, 고소작업대 등 10종이 있다.

안전인증 대상 기계를 포함하여 산업용 기계류(이병용, 2012)는 안전성 측면에서 볼 때 2 가지 유형으로 구분할 수 있다. 하나는 안전장치가 설치되어 정상적인 기능을 통해 작업자가 실수를 하여도 사고로 이어지지 않는 전체 안전형 기계류(complete safety machine)가 있다. 다른 하나는 안전장치가 정상적으로 작동하나 사고를 예방하는데 충분하지 못하기 때문에 작업자의 주의와 숙련도가 요구되는 부분 안전형 기계류(partial safety machine)이다.

전체 안전형 기계류에 속하는 기계 중 하나로 사출성형기(Injection Molding Machine)가 있다. 사출성형기는 열을 가하여 용융 상태의 열가소성이나 열경화성 플라스틱, 고무 등의 재료를 노즐을 통해 두 개의 금형사이에 주입함으로써 원하는 모양의 제품을 성형·생산하는 기계(고용노동부, 2020)로서 위험요인에는 금형이 좌우로 움직이면서 금형 사이에 협착 위험이 발생하게 된다. 기계작동 중 작업자의 손 등 신체 일부가 들어가는 것을 방지하기 위해 출입문 형태의 가드(guard)를 설치하며, 임의로 개방할 경우 작동이 정지된다. 이 외에도 사출성형기에는 다양한 안전장치가 설치되어 정상 기능을 통해 작업자의 실수나 기계의 오작동을 방지하여 사고로부터 안전을 유지해 주고 있다. 즉, 작업자의 숙련도와 주의 노력과 관계없이 기계장치의 폴 프루프(fool proof), 페일 세이프(fail safe) 등의 기능으로 인해 안전성을 충분히 유지할 수 있다. 이러한 전체 안전형 기계류에는 사출성형기 외에도 리프트, 압력용기 등이 있다.

부분 안전형 기계류에는 대표적인 기계가 [Figure 4]와 같이 크레인(Crane)이다. 크레인에는 과부하방지장치, 권과방지장치, 주행 및 횡행 리미트 스위치 등 다양한 안전장치가 작동하고 있으나, 이것만으로는 사고위험에서 완전히 벗어날 수 없다. 중량물을 운반하기 위해서는 중량물을 크레인의 훅에 매달기 위한 작업을 하는데 중량물의 무게나 형상에 따라 줄결이 방법을 작업자가 결정해야 한다. 또한 크레인에 매달린 중량물은 이동 시 사람이나 주변 설비와의 부딪힐 위험이 항상 존재한다. 이러한 작업특성으로 인해 작업 중 안전을 유지하기 위해서는 크레인 안전장치

의 정상 작동과 함께 작업자의 숙련도와 주의가 요구되어진다. 이러한 부분 안전형 기계류에는 크레인 외에도 고소작업대, 롤러기 등이 있다.



[Figure 4] 부분 안전형 기계

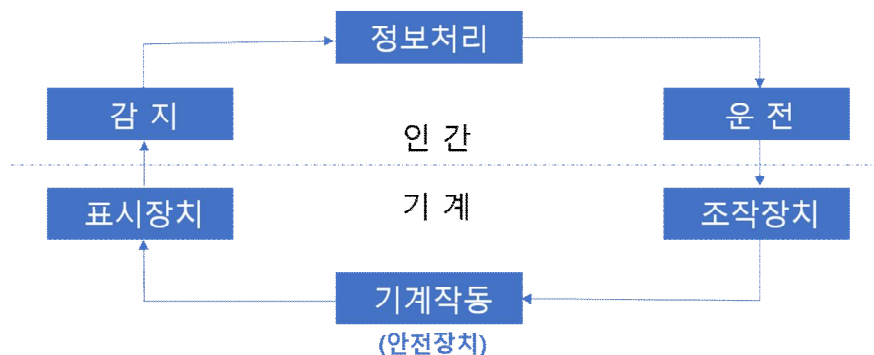
다만, 작업자가 임의로 안전장치를 해제하거나 안전장치가 고장 등으로 오작동하는 경우에는 안전장치가 불능화되어 안전성을 보장하지 못한다. 이를 해결하기 위해서는 안전장치의 임의 해제방지를 위한 템퍼 프루프(tamper proof) 기능과 오작동방지를 위한 안전장치의 기능 안전성(functional safety) 강화가 필요하다.

## 2.2 인간-기계 시스템 (Man-Machine System)

인간-기계 시스템이란 주어진 입력으로부터 어떤 요구되어지는 결과를 얻기 위하여 상호작용하는 인간과 기계와의 유기적인 결합을 말한다(이순요, 1992). 인간-기계 시스템 운영을 위해서는 인간 작업자, 기계 등과 같은 작업수행 개체가 존재해야 하며, 이러한 작업수행 개체들 사이에서 중간 매개체 역할을 할 수 있는 인터페이스(interface)가 필요하다. 일반적으로 인터페이스는 사람과 사물 또는 시스템 사이에서 의사소통이 가능하도록 일시적이거나 영구적인 접근을 목적으로 만들어진 물리적, 가상적 매개체를 뜻한다(김현우, 2009).

인간-기계 시스템의 인터페이스는 인간이 시스템을 사용할 때 필수적인 상호간의 정보 흐름을 촉진시키는 매체이다. 이러한 인터페이스는 사용자의 작업 수행도에 영향을 주게 되는데 인간-기계 시스템의 상호작용 시스템 또는 사용자 인터페이스가 좋지 못하면 사용자가 시스템 사용목적을 달성하지 못하거나 사용자의 능력이 제한된다. 따라서 사람에 따라 정도의 차이는 있으나 인간의 능력은 주어진 것으로 한계가 결정적이라는 점을 고려하면 인간의 인지적인 특성에 관한 지식을 바탕으로 한 인간-기계 시스템의 성능을 향상시키기 위한 연구가 필요하다(최재하, 1997).

산업 현장의 대부분 작업은 인간 작업자와 도구 혹은 기계와의 상호작용에 의해 작업이 이루어진다. 크레인 작업도 운전자와 크레인의 상호작용에 의해 작업이 이루어지는 인간-기계 시스템의 하나이다(박재희 et al., 2007). 크레인은 [Figure 5]와 같이 인간-기계시스템으로 운전자(Operation)로부터 조작 장치(Controller)를 통해 작동 지시를 받게 되면 구동장치와 안전장치로 구성된 기계작동(Machine running)이 이루어지게 된다. 그리고 운전자는 육안 및 각종 표시장치(Display device)를 통해 감지(Detection)하여 작업상황을 파악하여 정보처리(Information processing)함으로써 안전하게 크레인 작업을 수행하게 된다. 이러한 크레인 작업에서 발생하는 사고를 예방하기 위해서는 운전자와 크레인 간의 인터페이스에 문제점이 있는지 확인하고 이에 대한 개선방안을 검토할 필요가 있다.



[Figure 5] 인간-기계 시스템에서의 정보흐름 (정병용&이동경, 2019)

## 2.3 휴리스틱 원칙(Heuristic principles)

사용자가 장비를 이용하여 특정한 작업을 수행할 때 사용자가 보고 조작하는 정보의 상호전달이 이루어지는 부분을 사용자 인터페이스(user interface)라 하며, 이는 사용자와 시스템 사이의 접점, 또는 사용자와 시스템 간의 정보 전달이 일어나는 정보 교환의 창구로 정의된다. 또한 사용하기 편한 시스템을 구축하기 위해 사용자와 시스템 간의 상호 정보교환의 문제점을 신체적, 인지적 측면에서 밝혀내고 이를 체계화하여 설계, 디자인하고 평가하는 것을 사용자 인터페이스 설계(user interface design)라 한다. 사용자 인터페이스를 어떤 방식으로 설계하느냐에 따라 사용자들이 원하는 작업을 쉽게 처리할 수도 있고, 수많은 실수와 불편을 겪을 수도 있다(정병용&이동경, 2019).

이러한 사용자 인터페이스를 ‘사용하기 쉽다, 어렵다’는 말로 표현할 때에 사용성(usability)라는 용어를 사용하는데, 사용성은 사용자가 사용하고자 하는 조건에서 사용자가 의도한 대로 제품을 효과적이며 효율적으로 만족하면서 사용하는가를 나타내는 정도이다(정병용&이동경, 2019). 또한 사용성(Usability)은 ISO 9241의 정의에 따르면 제품을 사용자가 사용하여 원하는 목적을 달성하는 데에 얼마나 효과적(effectiveness)이며, 효율적이며(efficiency), 사용맥락에 만족되는가(satisfaction)를 표현하는 개념으로 설명하고 있다(김광현, 2015). 이러한 사용성에 관한 연구는 1971년 밀러(Miller)의 ‘사용하기 쉬움’ 정도 측정에서 처음 시작되었고, 이 후 베네트(Bennet, 1979), 샤켈(Shackel, 1981)에 의해 구체적인 논의가 시작되었다. Jakob Nielsen(1993)은 Usability Engineering이란 저서를 출간시켜 사용성에 관한 관심을 본격화시켰다(김수현, 2011). Jacob Nielsen(1993)은 사용성을 학습용이성, 효율성, 기억용이성, 에러 빈도 및 정도, 그리고 주관적 만족도로 정의하였다. 또한 사용성은 사용편의성(ease-of-use)이라는 말로 사용되기도 하며, 일반적으로 사용자 인터페이스(interface)의 효능을 표현하는 의미로 사용된다(정병용&이동경, 2019).

사용자가 이해하기 쉽고 사용하기 쉬운 시스템 여부를 평가하는 것을 사용성 평가(usability testing)라 하며, 이는 시스템이 제공하는 서비스, 사용자 인터페이스에 의한 상호작용, 사용자가 표면적으로 지각하는 요소 등을 대상을 평가한다. 사용성 평가는 기본적으로 사용자가 시스템(제품)을 사용하면서 관찰되는 기능의 효과성, 시스템의 효율성, 사용 만족도를 평가하는 원칙을 유지하며, 다양한 평가 방법론으로 변형될 수 있다(김광현, 2015).

사용성 평가 방법에는 전문가에 의한 휴리스틱 평가 방법, 인지 워크스루, 사용자에 의한 벤치마킹 테스트, 설문, 인터뷰 등이 있다. 휴리스틱 평가 방법은 사용성 평가 전문가가 제품의 사용성 원칙을 바탕으로 사용성 문제점을 도출하는 방법이다. 상대적으로 적은 전문가 평가자로 중요한 많은 사용성에 관한 문제를 도출할 수 있는 것으로 알려져 있으며, 효율적이고 빠르게 수행할 수 있는 장점이 있다. 휴리스틱 평가 방법은 사용성 평가 시에 기준이 되는 원칙에 좌우되는 측면이 있다. 그러나 사용성 원칙에 대하여 많은 학자들이 연구하여 왔고 어느 정도 합의가 이루어

어졌기 때문에 사용성 원칙보다는 전문가의 역량이 중요한 변수로 작용한다(조정길, 2018). 휴리스틱 평가(heuristic evaluation)는 발견적 평가법이라고도 하며 사용성 평가 도구 중 하나로 평가 대상이 사용성 향상을 위해 일반적으로 지켜야 할 원칙을 얼마나 잘 지키고 있는지를 전문가들이 평가하는 방법이다(정병용&이동경, 2019).

본 연구는 설계단계부터 적용되는 안전인증기준이 크레인 안전성 확보를 위해 충분한지 여부를 사용성 평가인 휴리스틱 평가를 적용하여 확인하고자 한다. 설계에 있어서 사용성의 중요성은 특히 복잡한 인터페이스를 갖는 시스템의 경우나 빠른 처리속도를 요하는 시스템, 다양한 사용자, 다양한 환경에서 사용되는 시스템, 심각한 사고를 유발할 수 있는 시스템의 경우에 더욱 강조된다. 이것은 설계가 인간의 정보처리의 한계, 즉 시간적, 인지적, 지적 한계를 보완하지 않을 수 없기 때문이다(최재하, 1997).

따라서, 본 연구에서는 안전인증기준이 크레인 안전성을 확보하는데 적절한지를 판단하기 위해 <Table 1~5>와 같이 휴리스틱 평가에 널리 사용되는 5종류의 휴리스틱 원칙에 대한 사전조사를 실시하였다.

Jacob Nielsen에 의해 제안된 10개의 휴리스틱 원칙은 가장 대표적으로 사용되는 휴리스틱 원칙이며, 1990년대 후반에 제안된 원칙으로 웹 페이지의 밸리데이션부터 소프트웨어, 로봇 팔, 차량 대시보드 설계등 다양한 분야에서 사용된다(Jacob Nielsen, 1994).

<Table 1> Nielsen의 10가지 휴리스틱 원칙 (Jacob Nielsen, 1995),(최찬진, 2019)

번호	원칙	내용
1	Visibility of system status	사용자가 현재 제품 또는 서비스의 진행 상태를 가시적으로 확인할 수 있어야 한다.
2	Match between system and the real world	현실과 부합하도록 시스템을 설계한다. (양립성 준수)
3	User control and freedom	되돌리기, 재실행 등을 통해 사용자가 원하는 대로 제품을 조작할 수 있게 한다.
4	Consistency and standards	제품에서 사용되는 언어, 심볼, 그림 등에 일관성을 주어 사용자의 혼란을 방지한다.
5	Error prevention	오류가 날 만한 상황이 발생하지 않게 설계한다.
6	Recognition rather than recall	사용자가 제품을 사용할 때의 기억에 의존하는 정도를 최소화함으로써 인지 부담을 줄인다.
7	Flexibility and efficiency of use	단축키 제공 또는 자주 사용하는 기능의 경우 접근성을 높여 작업의 효율성을 증가시킨다.

8	Aesthetic and minimalist design	사용자에게 정보 제공 시 필요한 정보를 두드러지게 제공하여 혼란을 방지한다.
9	Help users recognize, diagnose, and recover from errors	오류 발생 시 적절한 피드백을 제공하여 쉽게 대처할 수 있게 한다.
10	Help and documentation	제품과 관련된 설명을 사용자가 쉽게 찾을 수 있도록 제공한다.

Susan Weinschenk와 Dean Barker는 다양한 소스(Nielsen's, Apple, Microsoft 등)에서 사용적합성 가이드라인과 휴리스틱을 조사하여 아래의 20가지 목록을 작성했다(Jeff Sauro, 2011).

<Table 2> Weinschenk and Barker Classification (Susan Weinschenk & Dean Barker, 2000)

번호	원칙	내용
1	User Control	인터페이스는 사용자가 그들이 컨트롤하고 있다는 것을 인지하도록 하고 적절한 컨트롤을 할 수 있게 해야 한다.
2	Human Limitations	인터페이스는 사용자의 인지, 시각, 청각, 촉각, 움직임에 부담을 주어서는 안된다.
3	Modal Integrity	인터페이스는 무슨 양식(청각, 시각, 움직임)이 사용되든지 개인 일들에 적합해야 한다.
4	Accommodation	인터페이스는 사용자 그룹이 일하고 생각하는 방식에 적합해야 한다.
5	Linguistic Clarity	인터페이스는 가능한 한 효율적으로 소통한다.
6	Aesthetic Integrity	인터페이스는 매력적이고 적절한 디자인을 가진다.
7	Simplicity	인터페이스는 단순해야 한다.
8	Predictability	인터페이스는 사용자가 이후의 상황을 예측할 수 있는 방식이어야 한다.
9	Interpretation	인터페이스는 사용자가 시도하려는 것에 대해 합리적인 추측을 해야 한다.
10	Accuracy	인터페이스는 에러가 없어야 한다.

11	Technical Clarity	인터페이스는 최고의 충실성을 가져야 한다.
12	Flexibility	인터페이스는 사용자가 고객사용에 대한 설계를 조정할 수 있게 한다.
13	Fulfillment	인터페이스는 만족하는 사용자 경험을 제공해야 한다.
14	Cultural Propriety	인터페이스는 사용자의 사회적 관습과 기대에 부합한다.
15	Suitable Tempo	인터페이스는 사용자에게 알맞은 속도를 제공한다.
16	Consistency	인터페이스는 일관성이 있어야 한다.
17	User Support	인터페이스는 필요하고 요구되어질 때 추가적인 도움을 제공해야 한다.
18	Precision	인터페이스는 사용자가 정확하게 일을 완수하게 한다.
19	Forgiveness	인터페이스는 실행이 복원될 수 있게 한다.
20	Responsiveness	인터페이스는 인터페이스 상태나 실행의 결과를 사용자에게 알린다.

Gerhardt-Powals는 컴퓨터 성능을 향상시키기 위한 인지 원칙을 개발하였다. 이러한 휴리스틱 원칙은 닐슨의 휴리스틱과 유사하지만 평가에 대한 보다 전체적인 접근 방식을 취하고 있다(Wikipedia, 2021).

<Table 3> Gerhardt-Powals' cognitive engineering principles(Jill Gerhardt-Powals, 1996)

번호	원칙	내용
1	Automate unwanted workload	높은 수준의 작업에 대한 인지 자원을 확보하기 위해 정신적 계산, 추정, 비교 및 불필요한 생각을 제거한다.
2	Reduce uncertainty	의사 결정 시간과 오류를 줄이기 위해 명확하고 분명한 방식으로 데이터를 표시한다.
3	Fuse data	낮은 수준의 자료를 높은 수준의 요약으로 만듦으로 인지 부하를 감소한다.



4	Present new information with meaningful aids to interpretation	일상 용어나 비유를 사용해서 이해하기 용이하도록 익숙한 틀을 사용한다.
5	Use names that are conceptually related to function	기능에 관련된 이름을 사용한다.
6	Group data in consistently meaningful ways	화면 내에서 데이터는 논리적이고 일관되게 그룹화 되어야 하며, 이는 검색 시간을 줄인다.
7	Limit data-driven tasks	색상과 그래픽을 적절히 사용해서 근본 자료를 이해하기 위해 소요되는 시간을 줄인다.
8	Include in the displays only that information needed by the user at a given time	사용자가 필요한 정보만을 화면에 나타낸다.
9	Provide multiple coding of data when appropriate	시스템은 인식의 유연성을 높이고 사용자의 선호를 만족하기 위해 다양한 형식의 자료를 제공한다.
10	Practice judicious redundancy	이 원칙은 6번과 8번 원칙 간의 발생 가능한 충돌을 해결하기 위한 것으로 일관성을 유지하기 위해 때때로 필요할 수 있는 것보다 더 많은 정보를 포함할 필요가 있다.

컴퓨터 공학의 선구자인 벤 슈나이더만의 8가지 인터페이스 디자인의 원칙(8 Golden Rules of Interface Design)은 애플, 구글, 마이크로소프트 등의 UI 디자인 인터페이스 가이드라인에도 활용되고 있다(김한수, 2020).

<Table 4> Shneiderman's Eight Golden Rules of Interface Design (Ben Shneiderman, 1986)

번호	원칙	내용
1	Strive for consistency	비슷한 상황일 경우 일관성을 갖도록 한다.
2	Seek universal usability	초보자를 위한 기능(설명 등)과 전문가를 위한 기능(단축키 등)을 추가하여 다양한 사용자의 요구를 인식하여 설계한다.
3	Offer informative feedback	유용한 피드백을 제공한다.
4	Design dialog to yield closure	사용자가 추측하지 않도록 실행의 순서가 시작부터 끝까지 이어지게 디자인한다.

5	Prevent errors	가능한 한 사용자가 심각한 오류를 범하지 않도록 설계한다.
6	Permit easy reversal of actions	실행이 취소될 수 있는 구조로 설계한다.
7	Keep users in control	사용자가 제어하는 형태로 설계한다.
8	Reduce short-term memory load	정보처리를 할 수 있는 인간의 제한된 용량을 고려하여 단기기억 부하를 줄이는 형태로 설계한다.

도널드 노먼은 인간 중심 디자인(human-centered design : HCD)을 강조하였다. 인간의 심리학과 기술의 이해와 더불어 하는 디자인을 좋은 디자인이라 여겼는데, 특히 기계로부터 인간과의 의사소통이 필요하며 인간과 장치의 협동은 좋은 디자인을 만들어 낸다고 하였다(서해영, 2018).

<Table 5> Don Norman's Design Principles (Donald A. Norman, 2015)

번호	원칙	내용
1	Discoverability	기기가 어떤 작업이 가능한지 파악할 수 있다.
2	Feedback	작동이 이루어지는지에 관한 정보를 사용자에게 알려준다. (예, 전화버튼음)
3	Constraint	사용자가 선택하는 범위를 제한하여 실수를 최소화한다. (예, 열쇠와 열쇠구멍)
4	Mapping	조작과 효과의 관계로 사용자가 특별한 설명이나 도움 없이도 대상의 기능을 쉽게 떠올릴 수 있어야 한다. (예, 운전대 방향, 가스렌지 스위치와 화구 배열)
5	Consistency	일정한 기능이나 표기, 모양, 색상 등으로 사용자가 쉽게 예측 가능하도록 표준화한다.
6	Affordance	사용자에게 기대하는 행위가 자연스럽게 인지되고 유도되도록 디자인하는 것으로 행동유도성이 부족하면 실수하거나 익히는데 시간과 노력이 필요하다. (예, 미는 문과 당기는 문의 손잡이 모양)

## 2.4 안전인증제도

안전인증은 산업안전보건법 제 84조(안전인증)에 따라 근원적으로 안전성이 확보된 제품을 지속적으로 생산 및 보급함으로써 산업재해 예방에 기여하는 것을 목적으로 하고 있으며, 위험기계·기구 및 방호장치·보호구의 안전에 관한 성능과 제조자의 기술능력 및 생산체계에 대한 종합적인 심사를 통해 안전인증기준에 적합한 경우 안전인증표시를 하는 제도를 말한다.

안전인증 의무자는 대상 기계·기구등을 제조(설치하거나 주요 구조부분을 변경하는 자 포함)하거나 수입하는 자로 제품의 설계·제조 단계에서 이루어지는 안전성 검증절차이다(오승현, 2019).

안전인증 대상품은 위험기계·기구 10종, 방호장치 8종, 보호구 12종 등 30종으로 높은 위험성의 기계·기구 및 위험 방호나 인체보호 성능의 검증이 필요한 품목들이다. 안전인증 대상품은 <Table 6>과 같다.

<Table 6> 안전인증 대상품 현황 (고용노동부, 2020)

분 야	품 명
위험기계·기구(10종)	프레스, 전단기, 절곡기, 크레인, 리프트, 압력용기, 톨리기, 사출성형기, 고소작업대, 곤돌라
방호장치(8종)	프레스 및 전단기 방호장치, 양중기용 과부하방지장치, 보일러 압력방출용 안전밸브, 압력용기 압력방출용 안전밸브, 압력용기 압력방출용 파열판, 절연용 방호구 및 활선작업용 기구, 방폭구조 전기기계기구 및 부품, 가설기자재
보호구(12종)	안전모(추락 및 감전방지용), 안전화, 안전장갑, 방진마스크, 방독마스크, 송기마스크, 전동식 호흡보호구, 보호복, 안전대, 보안경(차광 및 비산물 위험방지용), 용접용 보안면, 방음용 보호구(귀마개, 귀덮개)

### 2.4.1 안전인증 심사절차 (오승현, 2019)

안전인증 절차는 [Figure 6]에 나타난 바와 같이 서면심사, 기술능력 및 생산체계 심사, 제품심사로 이루어진다. 서면심사는 제품 설계가 기준에 적합한지에 관한 심사로 형식별로 제품설계도면 등의 기술문서가 안전인증기준에 적합한지 여부를 확인하는 심사를 말한다.

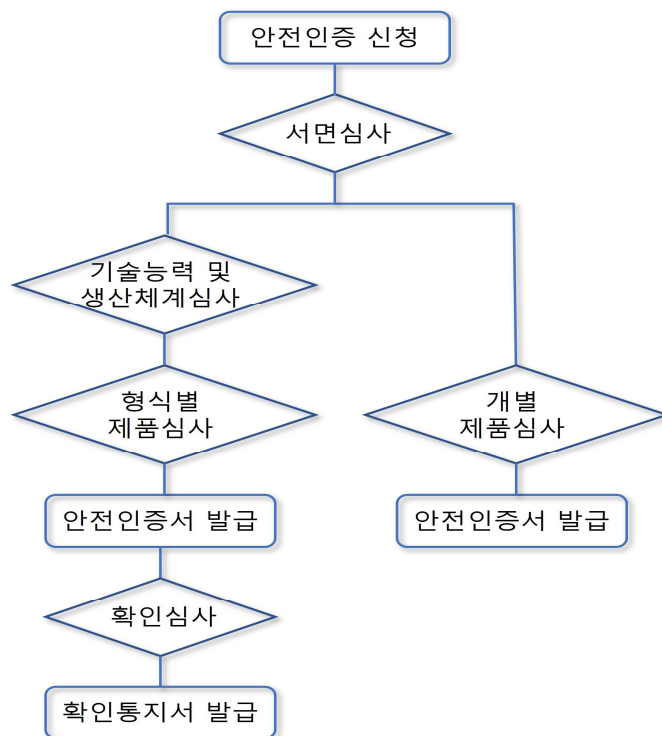
기술능력 및 생산체계심사는 제조자가 지속적으로 적합한 제품생산 능력을 갖추고 있는지를 확인하는 심사로서 형식별 제품심사 대상의 안전성능을 유지·보증하기 위해 제조자가 구비해야 할 기술능력과 생산체계가 안전인증기준을 충족하는지

여부를 확인하는 심사이다.

제품심사란 대상 제품의 서면심사 내용과의 일치 여부와 안전성능이 안전인증기준에 적합한지에 대한 심사를 말한다. 또한, 제품심사는 형식별 제품심사와 개별 제품심사로 구분되어지는데, 형식별 제품심사는 제품의 형식별로 최초 완성품에 대하여 실시하는 심사이며, 개별 제품심사는 동일 형식이라도 제조·설치된 모든 제품에 대하여 실시하는 심사이다.

아울러, 안전인증은 형식별로 하거나 개별로 받을 수 있고, 대부분이 형식별로 받도록 하고 있으나 일부 품목에 대해서는 개별로 안전인증을 받도록 규정되어 있다. 개별 인증 품목은 위험기계·기구 중 대표적으로 크레인(호이스트, 차량탑재용 크레인 제외)이 해당되며, 이 외에도 리프트(이삿짐운반용 리프트 제외), 압력용기, 곤돌라(좌석식 곤돌라 제외)가 있다. 안전인증을 개별로 받는 품목은 모든 제품이 제품심사를 받으므로 제조자가 적합한 제품을 지속적으로 생산할 수 있는 능력에 관한 심사가 불필요하므로 기술능력 및 생산체계심사를 생략한다.

확인심사란 안전인증을 형식별로 받은 제조자의 기술능력 및 생산체계 유지여부와 제품의 안전성능 유지여부를 확인하는 심사를 말하며, 안전인증을 받은 후 매년마다(우수한 경우 2년마다) 이루어진다. 확인심사는 기술능력 및 생산체계심사와 동일하게 안전인증을 개별로 받은 품목은 제외된다.



[Figure 6] 안전인증 절차도 (오승현, 2019)

## 2.4.2 안전인증 기준

크레인의 제작 및 안전에 관한 안전인증기준은 고용노동부 고시로 제정되어 있으며, 구조부분, 기계장치, 전기장치, 안전장치, 조작장치, 표시사항, 시험사항 등 7개 분야로 분류할 수 있고 119개 조항으로 고시 내용은 <Table 7>과 같다.

7개 분야의 주요 사항을 살펴보면 구조부분은 거더, 새들 등 크레인의 강도(strength) 및 강성(rigidity) 기준과 구조부분의 설치와 용접기준 등 38개 조항으로 구성되어 있다. 기계장치 분야는 전동기, 브레이크, 감속기, 와이어로프와 시브, 혹은 권상장치와 횡행 및 주행 장치 등에 대해 28개 조항이 있다. 전기장치 분야는 차단기 및 전선 선정, 과전류보호와 접지 등 전기 사항에 관한 16개 조항이 규정되어 있다. 안전장치 분야는 비상정지장치, 과부하방지장치, 권과방지장치, 횡행 및 주행 리미트 스위치와 스톱퍼, 충돌방지장치 등 25개 조항으로 구성되어 있다. 조작장치 분야는 운전실, 무선 리모컨이나 유선 펜던트 스위치에 대해 3개 조항에서 다루고 있다. 마지막으로 안내표시와 시험방법에 관해 9개 조항에서 다루고 있다.

<Table 7> 크레인 제작 및 안전기준(별표2) (고용노동부, 2020)

번호	구분	내용
1	재료	<p>가. 크레인 구조부분에 사용하는 재료는 아래의 한국산업표준(KS)에서 정하는 강재 또는 이와 동등 이상의 재료를 사용해야 한다. 다만, 계단, 사다리, 손잡이, 보도 등 크레인의 주요 구조와 관계없는 부분은 제외한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) KS D 3503(일반구조용 압연강재)</li> <li>2) KS D 3515(용접구조용 압연강재)</li> <li>3) KS D 3517(기계구조용 탄소강관)</li> <li>4) KS D 3566(일반구조용 탄소강관)</li> <li>5) KS D 3557(리벳용 원형강)</li> <li>6) KS D 3568(일반구조용 각형강관)</li> </ol> <p>나. 크레인 기계부분에 사용하는 재료는 아래의 한국산업표준에서 정하는 강재 또는 동등 이상의 재료를 사용해야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) KS D 3701(스프링 강재)</li> <li>2) KS D 3710(탄소강 단강품)</li> <li>3) KS D 3752(기계구조용 탄소강재)</li> <li>4) KS D 4101(탄소강 주강품)</li> <li>5) KS D 4102(구조용 고장력 탄소강 및 저합금강 주강품)</li> <li>6) KS D 4104(고망간강 주강품)</li> <li>7) KS D 4301(회주철품)</li> <li>8) KS D 4302(구상흑연 주철품)</li> <li>9) KS D 6024(구리 및 구리합금 주물)</li> </ol> <p>다. 혹은 단조강 또는 구조용 압연강재를 사용해야 한다.(KS D 3503, 3515, 3710)</p>

번호	구 분	내 용
2	강제의 계산	<p>제1호 가목의 강제계산에 사용하는 정수는 다음과 같이 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 종탄성 계수: 206,000 N/mm<sup>2</sup>(21,000 kgf/mm<sup>2</sup>)</li> <li>2) 횡탄성 계수: 79,000 N/mm<sup>2</sup>(8,100 kgf/mm<sup>2</sup>)</li> <li>3) 포와송비: 0.3</li> <li>4) 선팽창 계수: 0.000012</li> <li>5) 비중: 7.85</li> </ol>

...

27	과부하 방지장치	<p>가. 크레인에는 다음과 같은 과부하 방지장치(제28호가목에 따른 안전밸브는 제외한다)를 부착해야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 법 제34조제1항에 따른 안전인증품일 것</li> <li>2) 정격하중의 1.1배 권상 시 경보와 함께 권상동작이 정지되고 횡행, 주행동작 및 과부하를 증가시키는 동작이 불가능한 구조일 것. 다만, 지브형 크레인은 정격하중의 1.05배 권상 시 경보와 함께 권상동작이 정지되고 과부하를 증가시키는 동작이 불가능한 구조일 것</li> <li>3) 임의로 조정할 수 없도록 봉인되어 있을 것</li> <li>4) 시험 시 풍속은 8.3m/s를 초과하지 않을 것</li> <li>5) 접근하기 쉬운 장소에 설치해야 하며, 과부하시 운전자가 용이하게 경보를 들을 수 있을 것</li> <li>6) 과부하 방지장치는 한번 작동이 될 경우 과부하가 제거되고 해당 제어기가 중립 또는 정지위치로 돌아갈 때까지는 2)의 동작상태를 유지 할 것</li> </ol> <p>나. 지브크레인은 가목에 따른 과부하방지장치를 구비해야 한다. 다만, 다음에서 정하는 크레인으로서 과부하방지장치 이외의 장치(제28호 가목에 따른 안전밸브는 제외)로써 과부하를 방지할 수 있는 경우에는 예외로 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 권상하중이 3톤 미만의 지브크레인</li> <li>2) 지브의 경사각 및 길이가 일정한 지브크레인</li> <li>3) 정격하중이 변하지 않는 지브크레인</li> </ol>
----	----------	--

28	안전밸브	<p>가. 유압, 수압, 공기압 또는 증기압을 동력으로 사용하는 권상장치 또는 기복장치는 유압, 수압, 공기압, 증기압의 과상승을 방지하기 위한 안전밸브를 설치해야 하고 설정(setting) 압력을 표시해야 한다.</p> <p>나. 가목의 권상장치나 기복장치는 유압, 수압, 공기압, 증기압의 이상 저하로 인한 달기기구의 급격한 강하위험을 방지하기 위한 체크밸브(역지밸브)를 부착해야 한다. 다만, 제13호의 브레이크(인력에 의한 브레이크는 제외한다)를 부착한 것은 그렇지 않다.</p>
----	------	--

29	회전부분의 방호	<p>기어, 축, 커플링 등의 회전부분으로서 근로자에게 위험을 미칠 수 있는 부분에는 덮개나 울을 설치해야 한다.</p>
----	----------	---

번호	구 분	내 용
30	주행크레인 경보장치	주행크레인은 종 또는 버저 등의 경보장치를 구비해야 한다. 다만, 작업 바닥 면에서 조작하며 화물과 운전자가 함께 이동하는 방식의 크레인은 예외로 한다.
31	경사각 지시장치	지브가 기복하는 장치를 갖는 크레인 등은 운전자가 보기 쉬운 위치에 해당 지브의 경사각 지시장치를 구비해야 한다.
32	해지장치	혹에는 와이어로프 등이 이탈되는 것을 방지하는 해지장치가 부착되어야 한다. 다만, 전용 달기기구로서 작업자의 도움 없이 짐 걸이가 가능하며 작업경로에 작업자의 접근이 없는 경우는 예외로 할 수 있다.
...		
119	비상정지 장치	가. 제69호 가목부터 마목까지 따른다. 나. 이동식 크레인에는 비상정지장치를 설치하여야 한다. 다만, 제어장치 손잡이가 기계적으로 제어밸브 스톱에 연결되어 있는 전유량 제어밸 브가 설치된 이동식 크레인은 제외한다. 다. 비상정지장치 작동 시 차량의 시동이 꺼지거나 유압회로에서 전 유량 이 차단되는 구조이어야 한다.

## 2.5 자격 및 특별교육 제도

크레인 운전자 자격에 관해서 <Table 8>과 같이 산업안전보건법 제140조(자격 등에 의한 취업 제한 등)에서 규정하고 있는데, 조종석이 있는 천장크레인 및 타워크레인, 이동식크레인으로 국한하여 자격(또는 면허)을 가진 자만 가능토록 하고 있다.

<Table 8> 크레인 운전자격(면허)

크레인 종류	자 격 명
천장크레인 (운전실 조작)	천장크레인운전기능사 자격
타워크레인	타워크레인 운전기능사 자격 (건설기계는 면허 취득)
이동식크레인	기중기운전기능사 자격 (건설기계는 면허 취득)

산업안전보건법 제29조(근로자에 대한 안전보건교육)에서는 근로자가 받아야 하는 교육에 관해 규정하고 있으며, 현장 근로자는 분기별 6시간(매월 2시간)의 정기교육을 받아야 한다. 그리고 크레인 작업 등 위험작업을 수행하는 자는 <Table 9>와 같이 해당 작업에 대한 특별교육(16시간)을 별도로 받아야 하며, 교육 내용은 다음과 같다.

<Table 9> 특별교육 내용

작업명	교육 내용
1톤 이상의 크레인을 사용하는 작업 또는 1톤 미만의 크레인 또는 호이스트를 5대 이상 보유한 사업장에서 해당 기계로 하는 작업	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 방호장치 종류, 기능 및 취급에 관한 사항</li> <li>• 걸고리·와이어로프 및 비상정지장치 등의 기계·기구 점검에 관한 사항</li> <li>• 화물 취급 및 작업방법에 관한 사항</li> <li>• 신호방법 및 공동작업에 관한 사항</li> <li>• 그 밖에 안전·보건관리에 필요한 사항</li> </ul>



## 2.6 크레인의 주요 장치 (이용석, 2019)

크레인이란 동력을 이용하여 화물을 매달아 상·하 및 좌·우(수평 또는 선회)로 운반하는 기계 또는 기계장치로 산업안전보건법에서 정의하고 있다. 크레인의 주요 장치는 크게 기계장치와 전기장치, 안전장치 3가지로 구분할 수 있다. 기계장치는 하중을 지탱하는 강 구조부와 이를 움직이는 구동장치로 구분된다. 그리고 구동장치에는 중량물을 들어올리는 권상장치, 동서남북으로 움직이게 하는 횡행장치와 주행장치, 지브(또는 붐)의 기복장치와 선회장치가 있다. 전기장치는 구동장치의 동력 공급 장치와 제어장치로 이루어져 있으며, 마지막으로 안전장치는 크레인 작업 중 위험을 감지하여 동작을 제한하는 등 안전을 유지하는 장치이다.

### 2.6.1 기계장치

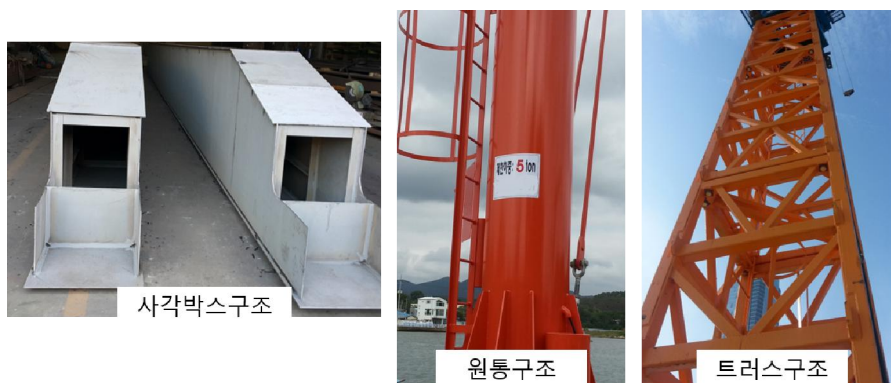
#### 1) 강 구조부(steel structure)

강 구조부는 권상하중과 크레인 자중을 지탱하는 역할을 한다. 크레인은 정적인 설비가 아니므로 동작 중 가속속도로 인한 관성력이나 충격력이 발생하고 옥외에 있는 크레인은 바람에 의한 풍하중이 추가적으로 강 구조부에 가해진다.

주요 강 구조부는 크레인 종류별로 아래와 같다.

- 천장크레인 : 거더(girder), 새들(saddle)
- 갠트릭레인 : 거더, 새들, 레그(leg)
- 타워크레인 : 지브, 마스트(mast)
- 지브크레인 : 지브(jib), 기둥(post)
- 이동식크레인 : 붐(boom), 선회부(slewing part), 아웃트리거(outrigger)

강 구조부 설계 시 무게는 줄이고 강도는 높이기 위해 [Figure 7]과 같이 사각박스나 원통 또는 트러스 구조 등으로 제작한다.



[Figure 7] 크레인의 강 구조부(crane steel structure) (이용석, 2019)

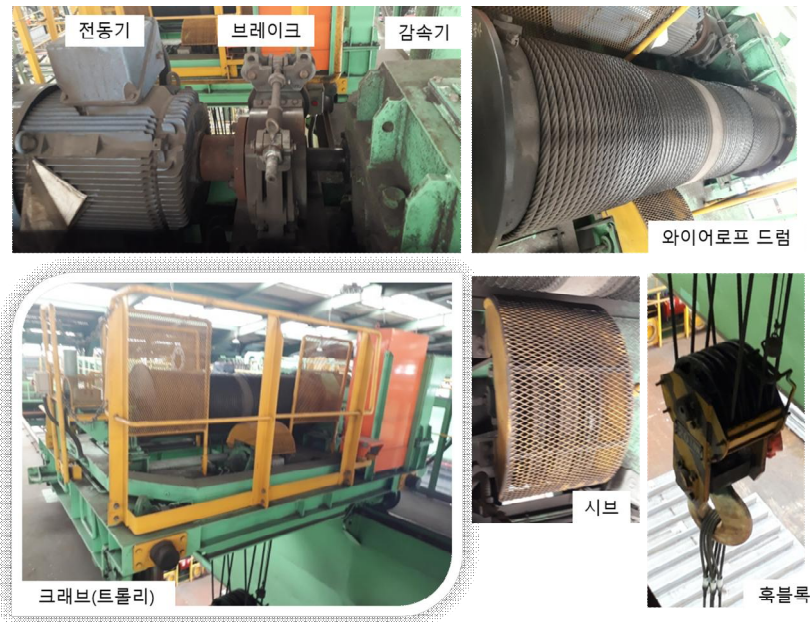
강 구조부의 재료인 철은 외력이 가해지면 늘어나고 제거되면 원래 상태로 돌아가는 탄성 성질이 있는데, 탄성범위를 벗어나는 강한 힘이 가해지면 영구적으로 변형이 발생하게 되어 원래상태로 돌아가지 않는 소성변형이 발생한다. 따라서 크레인 설계 시 강 구조부는 하중에 의해 소성변형이 발생되지 않는 탄성범위 내에서

사용하도록 안전율을 고려해야 한다.

또한 안전인증기준에서 천장크레인 거더의 경우 강도계산에서 허용응력 값을 충분히 만족하더라도 추가적으로 하중에 의해 생기는 탄성변형인 처짐값을 일정 범위 내로 허용하고 있다. 정격하중을 매달았을 때 처짐(Deflection) 발생이 스패의 1/800 보다 작아야 한다. 거더 제작 시 인양하중과 자중에 의한 처짐을 고려하여 캠버(camber)를 준다.

## 2) 구동장치

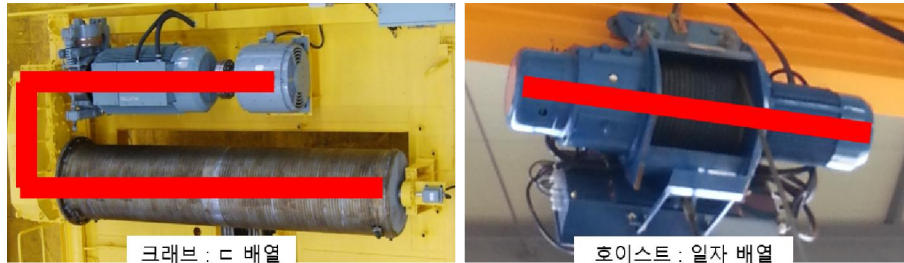
구동장치는 전기 또는 유압 등의 동력원을 통해 기계장치를 움직이게 하는 것으로 크레인에서 구동장치는 크게 권상장치(Hoisting), 횡행장치(Traversing), 주행장치(Travelling)가 있으며, 타워크레인 등에는 지브가 상하로 기복하는 기복장치가 있다. 권상장치는 중량물을 인양할 수 있는 기계장치로서 [Figure 8]과 같이 전동기, 브레이크, 감속기, 와이어로프 드럼, 와이어로프, 시브, 혹 블록 등으로 구성되어 있다. 전원이 공급되면 전동기의 회전이 감속기에서 드럼으로 이어지고, 드럼이 와이어로프를 감으면서 혹에 매달린 중량물이 권상된다. 전원이 차단되면 자동적으로 브레이크가 닫히면서 정지되는 작동구조이다. 이러한 권상장치가 있는 구조물을 크래브(Crab) 또는 트롤리(Trolley)라 하며, 일반적으로 크래브에는 거더 위를 좌우로 움직일 수 있게 횡행장치가 설치되어 있다(김상진, 2014).



[Figure 8] 권상장치(hoisting device) (이용석, 2019)

크래브는 베드 프레임(bed frame) 위에 [Figure 9, a]와 같이 전동기, 브레이크, 감속기, 드럼 등이 ‘ㄷ’ 자 형태로 배열되는 구조이다. 크래브는 정격하중, 속도 등을 사용자의 요구에 맞춰 생산하는 주문사양 방식으로 작업부하량이 높은 환경에 적합하여 주로 조선소나 제철소 등에서 많이 사용한다. 이와 달리 호이스트(Hoist)는

[Figure 9, b]와 같이 전동기, 감속기, 브레이크, 드럼이 일자 배열로 일체형 구조이며, 대량 생산되는 규격품으로 1~20톤 정도의 중량물을 운반하는 일반 제조업에 적합하다.

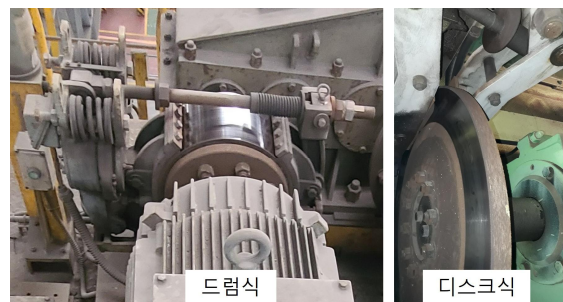


a) 크레인

b) 호이스트

[Figure 9] 권상장치 배열(arrangement of hoisting device) (이용석, 2019)

권상장치 설계 시 정격하중과 권상속도가 정해지면 전동기, 브레이크, 감속기, 와이어로프 등의 세부사양이 결정된다. 권상 브레이크는 전동기 토크(torque)값의 1.5 배 이상의 성능을 가진 브레이크를 사용해야 하며, 일반적으로 [Figure 10]과 같이 드럼식이나 디스크식의 전자석 브레이크를 사용한다.



[Figure 10] 권상 브레이크(hoisting brake)

횡행장치는 권상장치에 부착되어 거더의 횡행레일을 따라 움직이면서 권상장치와 인양물을 좌우로 이동시키는 장치로 전동기, 브레이크, 감속기, 차륜으로 구성되어 있다. 주행장치는 주행레일을 따라 크레인을 전후로 움직이게 하는 구동장치로서 구성요소는 [Figure 11]과 같이 횡행장치와 동일한 형태인 전동기, 브레이크, 감속기와 주행휠로 구성되며, 일반적으로 50톤 이상의 대형 크레인은 휠에 작용하는 하중을 감소시키기 위해 주행휠 수량을 증가시켜 하중을 분산시킨다.



[Figure 11] 주행장치(travelling device) (이용석, 2019)

참고로 이동식크레인의 경우 구동장치는 권상장치, 붐 인출장치, 기복장치, 선회 장치, 아웃트리거 장치 등이 있으며, 동력원은 유압으로 차량엔진을 통해 동력을 전달받아 유압펌프를 구동시켜 유압회로를 통해 유압모터와 유압실린더에 전달됨으로써 각 동작들이 이루어진다.

## 2.6.2 전기장치

크레인의 전기장치는 동력부와 제어부로 구분할 수 있다. 동력부는 전동기 등의 구동장치 전원을 공급하거나 차단하는 회로이며, 제어부는 조작장치를 통해 방향을 선택하거나 속도를 제어하는 장치이다.

크레인 속도 제어방법에는 2차 저항(2nd Resistor), 사이리스터(Thyristor), E.C(Eddy Current)브레이크, 인버터(Inverter) 등 다양한 방식이 있는데, 최근에는 인버터 제어 방식을 주로 사용하고 있다. 인버터 제어의 장점은 주파수(Hz)와 전압(V)을 변환시켜 전동기의 회전수를 제어하는 방식으로 조작성이 간단하고 무단 변속이 가능하며 부하에 따라 속도조절이 가능하다. 또한 효율이 높고 절전효과가 높은 장점이 있다.

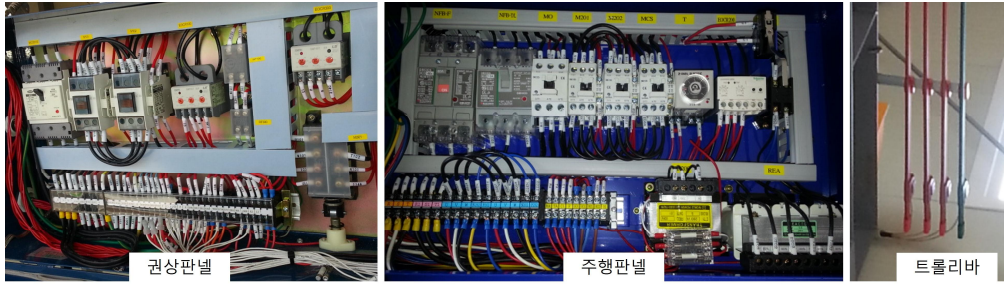
크레인 조작방법은 [Figure 12]와 같이 운전실, 무선 리모컨, 펜던트 스위치에 의해 이루어진다. 운전실 조작방법은 크레인 상부에 운전실이 설치되어 운전자의 시야 확보가 용이하다. 무선 리모컨이나 펜던트 스위치 조작방식은 지상에서 조작하여 중량물과 함께 이동하는 방식으로 운전자가 줄걸이 작업을 병행할 수 있으며, 중량물을 확인하면서 크레인 조작을 할 수 있는 장점이 있다. 최근에는 무선 리모컨 조작 방식을 선호하고 있다.



[Figure 12] 조작장치(operating device) (이용석, 2019)

전기장치는 감전사고 위험을 방지하기 위해서 접지선을 설치해야 하며, [Figure 13]과 같은 전기판넬을 여는 경우에 전원이 차단되는 구조나 충전부 접촉이 되지 않도록 방호덮개를 설치하는 등 IP2x이상의 감전보호등급을 만족해야 한다.

이동식크레인은 유압구동방식으로 구동용 전기장치는 없다. 다만 권과방지장치 등의 안전장치와 솔레노이드 밸브(Solenoid valve) 등의 제어용 전기장치가 있으며, 전원공급은 차량 배터리를 통해 이루어지고 일반적으로 DC 24V이다.



[Figure 13] 전기장치(electric device)

### 2.6.3 안전장치

안전장치는 크레인과 사람을 보호하기 위한 장치로 정격하중을 초과하는 과하중이나 와이어로프가 과도하게 감기는 과권상 등 사고로 이어질 수 있는 위험을 감지하여 동작을 제한함으로써 크레인 설비와 작업자 안전을 유지한다. 다만 안전장치는 크레인에서 발생하는 모든 사고를 예방하기에는 한계가 있다.

#### 1) 비상정지장치(Emergency Stop)

크레인의 모든 동작을 즉시 정지시키는 안전장치이다. 비상정지장치는 운전자나 작업자가 위험을 감지할 경우 직접 작동시키는 구조로 [Figure 14]와 같이 일반적으로 적색버튼의 돌출형이며 수동 복귀되는 구조이다.

비상정지장치는 운전실이나 리모컨 등의 조작반에 필수적으로 설치해야 하며, 추가적으로 작업자가 위험상황을 감지한 경우 크레인을 정지시킬 수 있도록 권상장치(크래브)나 주행장치(새들)에 설치한다.



[Figure 14] 비상정지장치(emergency stop)

#### 2) 권과방지장치(Upper Limiter)

권과방지장치는 권상동작 중 와이어로프가 드럼에 기준 이상으로 감기는 것을 방지하는 안전장치이다. 로프가 드럼에 과하게 감길 경우 혹 블록이 드럼이나 프레임에 접촉하게 되며, 감기는 힘에 의해 와이어로프가 파단되면서 혹 블록과 함께 인양물이 떨어지는 사고가 발생할 수 있다. 안전인증기준에는 혹 블록 상부와 드럼 하부 사이의 간격이 최소 0.25m 이상(직동식은 0.05m 이상)에서 정지되도록 규정하고 있다.

권과방지장치의 종류에는 [Figure 15]와 같이 혹 블록과 직접 접촉하여 작동하는 레버식이 있고, 매달린 추에 혹 블록이 닿으면 작동하는 중추식과 드럼 축과 연결해서 드럼 회전수를 감지하여 작동하는 캠(Cam)식이 있다.

천장(갠트리)크레인에서 호이스트식 권상장치는 레버식을 대부분 사용하고 크래브(트롤리)식 권상장치의 경우 중추식이나 중추식과 캠식을 병행하여 사용한다. 또한 타워크레인이나 지브크레인은 드럼 회전수를 감지하는 캠식을 적용하며, 이동식크레인은 붐(지브) 끝에 중추식 권과방지장치를 부착하여 사용한다.



[Figure 15] 권과방지장치(upper limit)

### 3) 과부하방지장치(Overload Limiter)

과부하방지장치는 정격하중(rated load)을 초과한 하중을 권상할 수 없도록 제한하는 안전장치이다. 과하중 작업은 권상장치나 구조부에 무리를 주어 크레인 고장이나 와이어로프 파단 등 사고로 이어질 수 있고, 이동식크레인의 경우 전도위험이 추가적으로 발생할 수 있다.

산업안전보건법에는 모든 크레인에 과부하방지장치 설치를 의무화하고 있으며, 과부하방지장치가 작동하는 경우 중량물을 내리는 동작 외에 권상이나 주행 등 다른 동작들을 제한하고 있다.

과부하방지장치 종류에는 [Figure 16]과 같이 감지방식에 따라 3종류로 구분할 수 있다. 하중에 따른 기계적 변형을 감지하여 일정변형 이상이 되면 마이크로스위치(micro switch)가 접촉되어 작동하는 기계식 과부하방지장치, 하중에 따른 스트레인 게이지(Strain gauge) 저항값 변화를 측정하여 하중을 감지하는 로드셀(Load cell) 방식의 전자식 과부하방지장치, 변류기(CT, current transformer)를 통해 전동기 부하 전류치를 읽어 설정 값 이상일 경우 작동하는 전기식 과부하방지장치가 있다.



[Figure 16] 과부하방지장치(overload limiter) (이용석, 2019)

전기식 과부하방지장치는 가격이 저렴하여 호이스트식의 권상장치에 대부분 사용하고 있으나, 전류감지를 통해 과부하를 감지하는 구조로 일정시간 작동이 이루어져야 감지할 수 있고 정확도가 다소 낮다.

로드셀을 이용한 전자식 과부하방지장치는 실시간 하중 감지가 가능하여 과하중 시 바로 작동된다. 또한 크레인 1대에 권상장치가 2개 이상 설치된 경우 각각의 하중을 감지하고 총 하중을 계산하여 제어할 수 있는 기능이 있다. 다만 가격이 비싸고 시간이 경과함에 따라 조금씩 오차가 발생할 수 있어 정기적인 보정이 필요하다.

기계식 과부하방지장치는 과거 타워크레인의 모멘트 리미터로 사용되었으나 지금은 로드셀 방식의 전자식을 선호하고 있다. 모멘트 리미터(Moment Limiter)는 [Figure 17]과 같이 타워크레인이나 이동식크레인과 같이 작업반경에 따라 정격하중이 달라지는 경우 작업반경과 하중을 조합한 모멘트 값을 통해 거리에 따른 과하중을 방지하는 장치이다. 전자식 모멘트 리미터의 작업반경은 붐의 수평 투영거리로 거리감지장치와 각도감지장치를 통해 측정한다.



[Figure 17] 이동식크레인 과부하방지장치(moment limiter) (이용석, 2019)

아웃트리거(outrigger)가 부착된 이동식크레인의 경우 아웃트리거 설치상태에 따라 안정도가 달라진다. 즉, 아웃트리거 설치공간이 부족한 경우 완전히 펼친 상태가 되지 못하면 안정도가 낮아지므로 작업 반경별 정격하중을 더 낮게 설정해야 크레인 전복을 방지할 수 있다.

[Figure 18]과 같이 아웃트리거가 있는 이동식크레인(기중기)의 경우 일반적으로 과부하방지장치인 모멘트리미터 외에도 아웃트리거 설치상태를 감지하여 정격하중을 추가적으로 제한하는 안전장치가 설치되어 있다.



[Figure 18] 이동식크레인의 아웃트리거 설치와 감지장치 (이용석, 2019)

#### 4) 횡행 및 주행리미트 장치

횡행리미트 장치는 [Figure 19]와 같이 권상장치가 횡행레일 끝에 스토퍼(Stopper)와 부딪히기 전에 정지시키는 장치이고, 주행리미트 장치는 크레인이 주행레일 끝에 스토퍼와 부딪히기 전에 정지시키는 장치이다. 이는 크래브(호이스트)에 부착된 횡행스위치와 새들에 부착된 주행스위치가 레일 끝에 설치된 터치바(Touch Bar)와 접촉하면 제어회로가 차단되면서 정지하게 된다. 필요에 따라 1차 작동 시 저속으로 감속하고, 2차 작동 시 정지되는 구조로 사용하기도 한다.



[Figure 19] 횡행 및 주행리미트(traversing and travelling limiter) (이용석, 2019)

#### 5) 횡행 및 주행 스토퍼

스토퍼(stopper)는 크레인의 횡행 또는 주행동작을 물리적으로 멈추게 하는 장치로 [Figure 20]과 같이 횡행레일 또는 주행레일 끝단에 설치된다. 만약 전기적 제한장치인 리미트 스위치의 고장으로 인해 횡행이나 주행이 멈추지 않을 경우 최종으로 스토퍼와 부딪힘으로써 이탈에 의한 사고를 방지할 수 있다. 다만, 스토퍼와의 부딪힘은 충격이 발생하기 때문에 크레인에 손상을 줄 수 있어 부딪히지 않는 것이 좋다.



[Figure 20] 횡행 및 주행스토퍼(stopper) (이용석, 2019)

#### 6) 혹 해지장치(Safety Latch)

중량물을 운반하기 위해서는 와이어로프슬링이나 체인슬링, 슬링벨트 등으로 줄걸이 후 혹에 걸어야 한다. 혹 해지장치는 [Figure 21]과 같이 줄걸이가 혹에서 빠지지 않도록 하는 장치로서 작동방식에 따라 무게를 이용한 중추식과 스프링을 사용한 스프링식이 있다.



혹 해지장치를 사용하지 않아도 되는 경우가 있는데, 쇳물을 담은 운반구(래들)를 운반하는 크레인엔 뜨거운 열로 인해 접근이 어렵고 주변이 통제되기 때문에 래들용 혹에는 해지장치를 설치하지 않는다. 또한 코일을 운반하는 코일 리프터나 집게, 버킷, 마그네트는 구조상 해지장치를 설치할 수 없다.

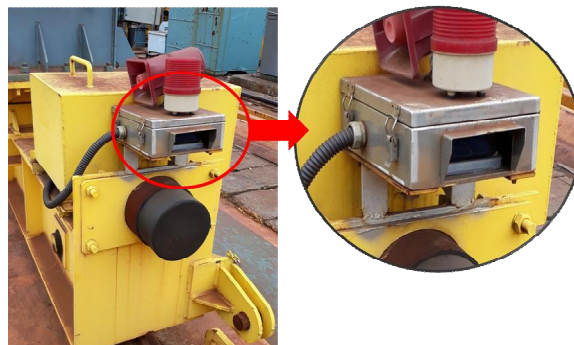


[Figure 21] 혹 해지장치(safety latch) (이용석, 2019)

### 7) 충돌방지장치(Anti-collision)

충돌방지장치는 동일 주행레일에 여러 대의 크레인이 있는 경우 충돌을 방지하기 위한 안전장치로 안전인증기준에는 운전실 조작방식의 크레인에 한하여 의무적 설치를 규정하고 있으나, 사업장에서는 사고예방 차원에서 설치를 확대하고 있다. 이러한 충돌방지장치는 [Figure 22]와 같이 크레인 간 충돌 외에도 크레인과 사람 또는 물체와의 충돌을 방지하는 역할도 한다.

충돌방지장치는 적외선 등의 광선을 투광하여 주행로 상에 접근하는 크레인을 감지하는데, 일반적으로 사람이나 물체 감지도 가능한 충돌방지장치를 사용하고 있다.



[Figure 22] 충돌방지장치(anti-collision)

### 8) 크레인 고정장치(Anchor)

옥외에서 사용하는 크레인은 작업 중 강풍에 의해 작동 중인 크레인이 다른 방향으로 이동하거나 폭풍으로 인해 넘어지는 것을 방지하기 위해 앵커 또는 레일 클램프 등의 고정장치를 갖추어야 한다. 레일 클램프는 크레인 주행레일에 고정이 되도록 한 장치로써 마찰력으로 인한 크레인의 이동을 방지하며, 크레인 주행로 어디에서

나 크레인 고정이 가능하다. 앵커는 일반적으로 주행로 끝부분에 설치하고 고정위치까지 크레인을 고정시킨다. 앵커는 주로 수동식을 사용하나 대형 크레인의 경우에는 유압 조작식 또는 전기식인 것도 있다. 이 장치는 보통 크레인 주행회로와 인터록 되어있고, 이 장치가 작동할 때에는 크레인이 움직일 수 없도록 되어 있다(최기천, 2020).

옥외에 설치된 크레인은 일반적으로 16m/s의 풍속까지 사용할 수 있도록 설계단계에서 검토하여 제작하며, 이보다 높은 풍속에서는 크레인 작업을 중지해야 한다. 미끄럼방지장치(Anchor)는 강풍 시에는 [Figure 23]과 같이 크레인이 주행레일을 따라 미끄러지는 것을 방지하기 위해 설치한다.

또한 대형 지브크레인이나 콜리엇크레인의 경우 태풍 등의 강한 바람에 의해 넘어지지 않도록 안정도를 유지하기 위해 전도방지장치(Tie down)를 추가적으로 설치하기도 한다.



[Figure 23] 크레인 고정장치(anchor) (이용석, 2019)

### 9) 정전보상장치

마그네트 크레인은 주로 철판이나 형강 부재를 운반하기 적합한 크레인으로서 전기가 통하면 자력이 생성되는 전자석 포트(electric magnet pot)로 구성된 리프팅 빔(lifting beam)으로 철판 부재나 형강 부재를 운반할 수 있다.

마그네트 크레인 작업 중 불시에 정전이 발생하게 되면 전기공급이 차단되어 전자석이 자력을 잃어버리기 때문에 인양 철판이 떨어지는 위험이 발생하게 되는데, 이를 방지하기 위해 크레인에는 [Figure 24]과 같이 정전보상장치로서 배터리(Battery)를 추가적으로 설치하여 정전이 되더라도 배터리를 통해 마그네트 포트에 최소 10분 이상 자력이 유지될 수 있도록 전원공급이 가능하다(KOSHA, 2018).



[Figure 24] 정전보상장치(power failure compensation system) (이용석, 2019)

## 제 3 장 안전인증기준의 인간공학적 분석

### 3.1 연구 방법

크레인의 제작과 안전에 관한 안전인증기준을 분석하기 위해 3단계 절차로서 휴리스틱 평가원칙 조사와 크레인 평가원칙 선정, 그리고 유사 평가원칙 통합을 통해 인간공학 평가원칙을 선정하였다. 먼저, 본 연구는 인간공학적 설계 적합성을 평가하는데 사용되고 있는 휴리스틱 평가원칙에 대해 조사하였다. 다음으로 조사된 평가원칙 중에서 크레인 안전성 평가에 사용될 수 있는 평가원칙을 선정하였다. 이후 선정된 평가원칙 중에서 서로 개념적 유사성이 있는 경우 통합하여 평가원칙을 간소화하여 크레인의 안전인증기준 평가원칙으로 최종 결정하였다.

#### 3.1.1 휴리스틱 평가원칙 조사

휴리스틱 평가(heuristic evaluation)는 인간-기계 인터페이스(man-machine interface) 설계단계 과정에서 사용자들이 제품을 사용 중 잠재적으로 발생할 수 있는 사용성 문제(usability problem)를 쉽고 빠르게 발굴하는데 널리 사용되는 평가방법이다. 이 연구에서는 크레인 사용에 있어서 잠재적인 위험을 설계단계에서 발견하여 예방하기 위해 휴리스틱 원칙들 가운데에서 크레인에 적합한 원칙들을 선정하였다. 본 연구에서는 인간-기계 인터페이스 설계 및 평가에 적용되고 있는 대표적인 5가지 휴리스틱 원칙을 <Table 10>과 같이 조사하였다(이용석&정기효, 2021).

<Table 10> 휴리스틱 원칙 (Heuristic principles)

개발자	원칙
Nielsen	(1) Visibility of system status, (2) Match between system and the real world, (3) User control and freedom, (4) Consistency and standards, (5) Error prevention, (6) Recognition rather than recall, (7) Flexibility and efficiency of use, (8) Aesthetic and minimalist design, (9) Help users recognize, Diagnose, and recover from errors, (10) Help and documentation (Jakob Nielsen, 1995)
Weinschen & Barker	(1) User control, (2) Human limitations, (3) Modal integrity, (4) Accommodation, (5) Linguistic clarity, (6) Aesthetic integrity, (7) Simplicity, (8) Predictability, (9) Interpretation, (10) Accuracy, (11) Technical clarity, (12) Flexibility, (13) Fulfillment, (14) Cultural propriety, (15) Suitable tempo, (16) Consistency, (17) User support, (18) Precision, (19) Forgiveness, (20) Responsiveness (Susan Weinschenk & Dean Barker, 2000)

Gerhardt-Powals	(1) Automate unwanted workload, (2) Reduce uncertainty, (3) Fuse data, (4) Present new information with meaningful aids to interpretation, (5) Use names that are conceptually related to function, (6) Group data in consistently meaningful ways, (7) Limit data-driven tasks, (8) Include in the displays only that information needed by the user at a given time, (9) Provide multiple coding of data when appropriate, (10) Practice judicious redundancy (Jill Gerhardt-Powals, 1996)
Shneiderman	(1) Strive for consistency, (2) Seek universal usability, (3) Offer informative feedback, (4) Design dialogs to yield closure, (5) Prevent errors, (6) Permit easy reversal of actions, (7) Keep users in control, (8) Reduce short-term memory load (Ben Shneiderman, 1986)
Donald Norman	(1) Constraint, (2) Discoverability, (3) Feedback, (4) Mapping, (5) Consistency, (6) Affordance (Donald A. Norman, 2015)

### 3.1.2 크레인 평가원칙 선정

운전자-크레인 시스템은 운전자와 크레인 간의 상호작용을 통해 크레인 작업이 이루어는 것을 말하며, 운전자는 작업 상황을 표시장치 등을 통해 확인하고 인지된 정보를 이미 알고 있는 지식과 비교 검토하여 의사결정을 내리는 정보처리 단계를 거치게 된다. 그리고 정보처리가 완료되면 운전자는 조작장치를 통해 크레인을 운전하게 된다.

크레인은 [Figure 25]와 같이 조작장치인 운전실, 리모컨, 펜던트 스위치를 통해 운전자로부터 작동지시를 받게 된다. 기계작동(machine running)은 권상장치, 횡행장치, 주행장치 등의 구동장치와 권과방지장치, 과부하방지장치, 횡행 또는 주행 리미트장치, 충돌방지장치 등의 안전장치가 있다. 표시장치는 경사각 지시장치, 부저, 경보등, 방향표시장치 등이 있으며, 일부 크레인에서는 중량을 표시하는 하중 표시장치와 크레인 작업 상황을 보여주는 CCTV가 부착되어 있다.



[Figure 25] 크레인의 주요 장치

이 연구에서는 크레인-운전자 사이의 상호작용을 고려하여 조사된 휴리스틱 원칙들 중에서 안전인증기준 평가에 적용할 원칙들을 <Table 11>과 같이 다시 선별하였다. 이들 원칙들은 조작장치, 기계작동(구동장치 및 안전장치), 그리고 표시장치에 관한 안전인증 기준을 평가하기에 적합한 총 16개의 원칙으로 Nielsen의 10개 원칙에서 4개, Weinschen & Barker의 20개 원칙 중 5개, Gerhardt-Powals의 10개 원칙에서 1개, Shneiderman의 8개 원칙 중 3개, 그리고 Donald Norman의 6개 원칙 가운데 3개가 이에 해당 된다.

<Table 11> 안전인증기준 평가에 선정된 휴리스틱 원칙

개발자	선정된 원칙
Nielsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visibility of system status</li> <li>- Match between system and the real world</li> <li>- Consistency and standards</li> <li>- Error prevention</li> </ul>
Weinschen & barker	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Responsiveness</li> <li>- Cultural propriety</li> <li>- Consistency</li> <li>- Human limitations</li> <li>- Accuracy</li> </ul>
Gerhardt-Powals	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce uncertainty</li> </ul>
Shneiderman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Offer informative feedback</li> <li>- Strive for consistency</li> <li>- Prevent errors</li> </ul>
Donald Norman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Feedback</li> <li>- Mapping</li> <li>- Consistency</li> </ul>

### 3.1.3 유사 평가원칙 통합

안전인증기준 평가에 선정된 휴리스틱 평가원칙들 간에 유사성이 발견되어 <Table 12>와 같이 개념적 유사성에 따른 5가지 유형인 피드백, 양립성, 일관성, 폴프루프, 그리고 페일 세이프르 분류하여 통합하였다.

피드백(feedback)은 크레인의 작동상태를 운전자나 작업자에게 시각 또는 청각으로 안내하여 올바른 판단을 할 수 있게 돕거나 위험을 알려 주는 원칙이다. 양립성(compatibility) 원칙은 운전자 의도에 따라 크레인이 작동하는 것으로 조작레버(버튼)의 방향과 배치가 인간공학적 특성에 부합하도록 사용 편의성, 안전성을 향상시

키는 것이다. 일관성(consistency) 원칙은 모든 종류의 크레인에 동일한 기준을 적용함으로써 운전자가 착오를 범하지 않도록 돕는 원칙이다. 풀 프루프(fool proof) 원칙은 운전자의 조작 실수나 위험을 인지하지 못하더라도 안전장치가 작동함으로써 안전성을 유지할 수 있게 하는 원칙이다. 그리고 페일 세이프(fail safe) 원칙은 크레인의 공급 전원이 불시에 차단되거나 크레인에 고장이 발생하는 경우 브레이크 작동 등 안전한 방향으로 정지됨으로써 안전이 확보되는 원칙이다.

<Table 12> 대표적인 5가지 인간공학 원칙

원칙		내용
피드백(Feedback)		사용자가 현재 제품 또는 서비스의 진행 상태를 가시적으로 확인할 수 있어야 한다.
양립성(Compatibility)		조작과 반응과의 관계, 사용자의 의도와 실제 반응과의 관계가 존재하는데 사람이 기대하는 바와 일치해야 한다.
일관성(Consistency)		제품에서 사용되는 언어, 심볼, 그림 등에 일관성을 주어 사용자의 혼란을 방지해야 한다.
오류방지 (Error prevention)	풀 프루프 (Fool proof)	작업자의 지식부족이나 착각 또는 기능부족으로 인한 오조작이 있더라도 안전장치가 작동하여 사고로 이어지지 않도록 한다.
	페일 세이프 (Fail safe)	기계설비에 고장이 발생하였을 때에도 이것이 사고로 이어지지 않도록 안전한 방향으로 기계가 정지해야 한다.

## 3.2 연구 결과

### 3.2.1 연관성 분석 방법

본 연구는 유사 평가원칙 통합과정을 통해 선정된 5가지 인간공학 평가원칙으로 안전인증기준 119개 조항에 대해 크레인 안전인증기준 조항별로 인간공학 평가원칙 적용의 필요성 여부를 <Table 13>과 같이 조사하였다. 예를 들어 안전인증기준에서 재료(1호)와 강재의 계산(2호) 등의 조항들은 인간공학 평가원칙 적용대상에 해당되지 않는 것으로 분석되었으며, 과부하방지장치(27호)나 회전부의 방호(29), 주행크레인 경보장치(30호) 등의 조항들은 인간공학 평가원칙 적용이 필요한 것으로 파악되었다.

또한, 인간공학 평가원칙 적용 대상의 안전인증기준에 대해 5가지 평가원칙이 적정하게 적용되어 있는지를 <Table 13>에서와 같이 3가지 등급인 적합, 일부 미흡, 미흡으로 분류하였다. 적합은 해당 안전인증기준이 인간공학 평가 원칙을 충분히 만족함을 의미한다. 일부 미흡 또는 미흡은 해당 안전인증기준에서 인간공학 평가 원칙의 일부 또는 전부가 반영되지 않아 개선의 필요성을 의미한다. 그리고 안전인증기준과 인간공학 평가원칙 사이의 연관성 분석을 통해 일부 미흡이나 미흡 등급의 안전인증기준에 대해서는 개선방안을 검토하였다.

<Table 13> 안전인증기준 - 인간공학 원칙 연관성 분석표

안전인증기준			평가원칙 적용대상	인간공학 원칙				
조항	구 분	분야		피드백	양립성	일관성	폴프루프	페일세이프
1	재료	구조부	X	-	-	-	-	-
2	강재의 계산	〃	X	-	-	-	-	-
...								
27	과부하방지장치	안전장치	O	일부미흡	-	-	적합	-
28	안전밸브	〃	O	-	-	-	적합	-
29	회전부분의 방호	〃	O	-	-	-	적합	-
30	주행크레인 경보장치	〃	O	일부미흡	-	-	-	-
31	경사각지시장치	〃	O	적합	-	-	-	-
...								
119	비상정지장치	〃	O	미흡	-	적합	-	적합
<b>합 계 : 72</b>				<b>28</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>14</b>

### 3.2.2 연관성 분석결과

안전인증기준과 인간공학 평가원칙 간의 연관성 분석결과 119개 조항 중 50개 조항에서 인간공학 평가원칙 적용이 필요한 것으로 조사되었다. <Table 14>에 나타난 것과 같이 50개 조항에 대해 안전인증기준 분야별로 구분시키면 안전장치 분야가 25개 조항이 해당되어 가장 많았고, 다음으로 기계장치 분야 8개, 전기장치 분야 8개 조항으로 동일한 수량이 해당되었다. 그리고 안내표시 분야가 6개 조항, 조작장치 분야는 3개 조항 순으로 나타났다. 이에 반해 크레인 구조에 관한 조항이나 시험방법 조항들은 인간공학 평가원칙과 연관성이 없는 것으로 분석되었다.

<Table 14> 안전인증기준 분야별 평가원칙 적용 현황

합계	분야						
	구조부	기계장치	전기장치	안전장치	조작장치	안내표시	시험방법
50 (119*)	0 (38)	8 (28)	8 (16)	25 (25)	3 (3)	6 (6)	0 (3)

\* 안전인증기준 조항 수

인간공학 평가원칙은 안전인증기준의 각 분야에 따라 적용 조항 수가 차이가 있는 것으로 나타났다. <Table 15>에 나타난 것과 같이 피드백 원칙에서 28개 조항이 적용되는 것으로 분석되었으며, 이들 중 안전장치 분야가 17개 조항이고 나머지 분야는 소수인 것으로 파악되었다. 그리고 풀 프루프 원칙, 페일 세이프 원칙은 각각 22개, 14개 조항이 적용 대상으로 파악되었고, 이 가운데 풀 프루프 원칙은 안전장치 분야에서 16개 조항이, 페일 세이프는 기계장치와 전기장치 분야에서 10개 조항이 해당되었다. 일관성 원칙은 안전장치와 조작장치 분야 등에서 총 6개 조항이 해당되었고, 양립성 원칙은 크레인 조작장치에서 2개 조항이 적용되는 것으로 분석되었다.

<Table 15> 인간공학 평가원칙의 안전인증기준 분야별 적용 조항 수

구분	분야							합계
	구조부	기계장치	전기장치	안전장치	조작장치	안내표시	시험방법	
피드백	-	3	1	17	2	5	-	28
양립성	-	-	-	-	2	-	-	2
일관성	-	-	1	2	2	1	-	6
풀 프루프	-	1	2	16	3	-	-	22
페일 세이프	-	6	4	2	2	-	-	14
합계	0	10	8	37	11	6	0	72



### 3.2.3 인간공학 평가원칙별 세부 분석 결과

#### 1) 피드백(feedback)

안전인증기준에서 28개 조항은 <Table 16>에서와 같이 피드백 원칙 적용대상으로 파악되었으며, 이 가운데 19개 조항에서 피드백 원칙이 적절하게 적용되고 있었다. 예를 들어 경사각 지시장치(31호)는 [Figure 26.a]와 같이 운전자가 보기 편한 곳에 지브의 기복각도를 알려주는 경사각 지시장치를 설치해야 한다. 그리고 병렬 설치된 크레인의 충돌방지장치(37호) 조항은 크레인이 근접하는 경우에 경보가 울리며 정지해야 한다.

<Table 16> 인간공학 평가원칙별 안전인증기준 적용 현황

원칙	분류	안전인증 기준
피드백	적합(19)	권과를 방지하기 위한 경보장치(26), 경사각 지시장치(31), 리프팅 마그넷(33), 컨트롤러(34), 병렬 설치된 크레인의 충돌방지장치(37), 조명장치(52), 표시내용(53), 경고표시(54), 운전모드(68), 경고표시(73), 과부하방지장치(98), 전도방지장치(99), 정격용량 지시장치(100), 경사각 지시장치(103), 수평지시확인장치(104), 리프팅 마그넷(106), 제어장치(107), 표시내용(116), 경고표시(117)
	일부미흡(2)	과부하방지장치(27), 주행크레인 경보장치(30)
	미흡(7)	권과방지 장치의 성능(25), 레일의 정지기구(36), 미끄럼방지 고정장치(38), 주행용 원동기(39), 비상정지장치(69), 권과방지 장치의 성능(97), 비상정지장치(119)
양립성	미흡(2)	컨트롤러(34), 제어장치(107)
일관성	적합(5)	비상정지장치(69), 조작버튼및전선색상(71), 표시(72), 제어장치(107), 비상정지장치(119)
	미흡(1)	컨트롤러(34)
풀프루프	적합(18)	권과방지장치(24), 권과방지장치(25), 과부하방지장치(27), 안전벨트(28), 회전부분의 방호(29), 해지장치(32), 펜던트스위치(35), 기계장치(50), 감전사고방지(58), 방폭전기기계기구(66), 권과방지장치(96), 권과방지장치(97), 과부하방지장치(98), 전도방지장치(99), 회전부분 등의 방호(102), 해지장치(105), 제어장치(107), 기계적 안전장치(118)
	일부미흡(3)	컨트롤러(34), 레일의 정지기구(36), 병렬 설치된 크레인의 충돌방지 장치(37)
	미흡(1)	미끄럼방지 고정장치(38)
폐일세이프	적합(14)	권상장치 등의 브레이크(13), 리프팅 마그넷(33), 컨트롤러(34), 접지(56), 과전류보호(61), 전동기의 과부하보호(62), 이상온도 보호(63), 비상정지장치(69), 권상장치 등의 브레이크(85), 드럼 등의 직경(87), 유압계통(101), 리프팅 마그넷(106), 제어장치(107), 비상정지장치(119)

피드백 원칙이 부분적으로 적용(일부 미흡)된 항목은 2개 조항이 확인되었다. 과부하방지장치(27호)에서는 정격하중을 초과하는 중량물을 인양하는 경우 경보음이 울리면서 동작이 중지되나, 운전자가 육안으로 하중 무게 확인이 가능한 하중표시장치 설치에 관한 기준이 없다. 그리고 주행크레인 경보장치(30호)에서는 [Figure 25.b]와 같이 크레인이 주행하는 경우 경보장치 작동으로 주변 작업자가 위험을 인지할 수 있으나, 펜던트나 리모컨 조작방식 크레인은 운전자가 작업장 바닥에서 중량물과 함께 움직이면서 주변을 통제가 가능하다고 생각하여 경보장치 설치의무를 제외함에 따라 피드백 원칙을 충분히 만족시키지 못하고 있다.



(a) 경사각 지시장치

(b) 경보장치

[Figure 26] 피드백 적용 사례

피드백 원칙이 적용되지 못한 항목(미흡)은 7개 조항이 있는 것으로 파악되었다. 권과방지장치의 성능(25호)과 레일의 정지기구(36호), 미끄럼방지 고정장치(38호), 비상정지장치(69호), 권과방지장치의 성능(97호), 그리고 비상정지장치(119호)에서는 이들 안전장치가 작동하면 크레인 동작이 정지되지만 어느 안전장치가 작동하였는지 알 수 있도록 하는 표시등이나 음향신호 기준이 없다. 이 외에도 주행용 원동기(39호)에서는 옥외 크레인의 경우 사용풍속이 정해져 있으나, 풍속계를 설치하도록 하는 기준은 명시되어 있지 않다.

## 2) 양립성(compatibility)

안전인증기준에서 양립성 원칙 적용대상으로는 2개 조항(34호, 107호)이 있으나, 2개 모두 양립성이 적용되지 않은 것으로 확인되었다. 컨트롤러(34호)와 제어장치(107호) 조항에서는 운전자가 확인할 수 있도록 방향 표시판을 크레인에 부착하고 버튼이나 조작 레버의 방향과 일치하도록 하고 있으나, 방향이나 배치에 대한 양립성 원칙을 준수를 규정하지 않고 있다. 이로 인해 [Figure 27.a]에서 나타난 바와 같이 일부 크레인에서 상하동작의 조작 레버가 동작 양립성이 불명확한 좌·우 방향으로 이루어지는 형태를 가지고 있다. 또한, 조작 버튼 배열순서가 좌측에서 우측으로 상-하, 동-서, 남-북의 일반적 개념을 따르지 않은 [Figure 27.b]와 같이 하-상, 서-동, 북-남으로 배열되어 운전자가 기존 개념과 혼돈되어 잠재적으로 휴먼에러를 일으킬 가능성이 있으며, 조작방법을 배우는데 시간과 노력이 더 필요하게 된다.



(a) 레버 타입

(b) 버튼 타입

[Figure 27] 양립성을 고려하지 않은 조작방향

### 3) 일관성(consistency)

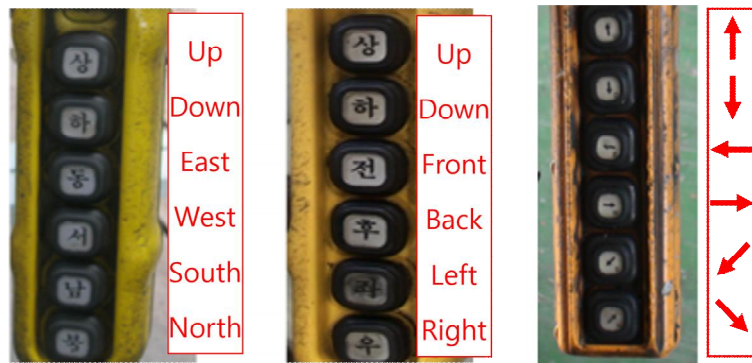
일관성 원칙 적용대상으로 안전인증기준의 6개 조항이 조사되었으며, 이 중 5개 조항은 일관성 원칙을 만족하는 것으로 분석되었다. [Figure 28]과 같이 비상정지장치(69호) 조항에서는 빨간색 버섯모양의 돌출된 누름버튼 구조로 모든 크레인에 동일하게 적용되는 것은 물론 안전인증대상 기계 전체에서 일관적으로 적용되고 있다. 또한 조작버튼이나 표시등의 색상, 전원선이나 제어선과 접지선의 색상기준(71호) 등에 관해서도 일관성 원칙을 충분히 만족하고 있다.



[Figure 28] 일관성 원칙이 적용된 비상정지장치

이에 반해 일관성 원칙이 누락된 것으로 컨트롤러(34호) 조항이 있다. 이 조항에서는 조작 장치인 레버(lever)나 버튼(button)에 작동방향을 표시하도록 규정하고 있으나, 표시문구나 배치순서에 관한 기준은 없어 [Figure 29]에 나타난 바와 같이 표시문구가 동-서-남-북 혹은 전-후-좌-우로 혼재되거나 화살표 등의 기호로 표시되고

있다. 이러한 일관성 원칙의 부재는 크레인 운전자가 조작방향을 혼동하여 조작실수를 할 수 있다.



[Figure 29] 일관성이 부족한 방향표시 (박재희&김승희, 2017)

#### 4) 풀 프루프(Pool proof)

풀 프루프 원칙이 적용되는 안전인증기준은 23개 조항으로 조사되었으며, 이 중 19개 조항은 풀 프루프 원칙을 만족하는 것으로 분석되었다. 안전인증기준에서 과부하방지장치(27호)는 정격하중 이상의 하중을 인양하는 경우 하강동작을 제외한 모든 동작을 차단시킨다. 그리고 권과방지장치(24호)는 운전자가 실수로 상승 레버(버튼)을 계속 조작하는 경우 상승하는 혹 블록이 상부에 있는 와이어드럼 등의 권상장치나 구조물에 부딪히기 전에 동작을 차단시켜 사고를 예방하게 한다.

풀 프루프 원칙이 일부만 적용된 일부 미흡 조항은 3개로 조사되었다. 레일의 정지기구(36호)에는 크레인이 횡행 동작 시 레일 양 끝에 설치된 스톱퍼(stopper)에 충돌하기 전에 동작을 멈추게 하는 전기적 제한장치(리미트 스위치) 설치대상은 횡행 속도가 48m/min 이상인 경우에만 적용되어 진다. 하지만 동일 조항(36호)에서 주행 동작의 경우에는 속도와 상관없이 설치함과 비교해 볼 때 형평성이 없으며, 48m/min 미만의 속도에서 전기적 제한장치(리미트 스위치)가 없어도 안전하다거나 스톱퍼와의 충돌에도 충격이 약하다고 판단할 수 있는 근거는 확인되지 않는다.

병렬 설치된 크레인 충돌방지장치(37호) 조항에서는 동일한 주행레일에 있는 크레인들 중 운전실 조작방식의 크레인에는 충돌방지장치를 설치해야 하나 펜던트 또는 리모컨 조작방식의 크레인이나 동일 주행레일에 있지 않은 크레인 간의 충돌방지장치 설치의무는 있지 않다. 이러한 이유는 펜던트나 리모컨으로 크레인을 조작하는 운전자가 작업바닥에서 중량물과 함께 이동하면서 주위를 확인하기 때문에 충돌방지장치가 없어도 안전상에 문제가 없을 것으로 잘못 판단하거나 [Figure 30.a]에서와 같이 동일 주행레일에 있지 않은 크레인 간 충돌사고가 발생할 수 있음을 간과하고 있기 때문이다. 더욱이 인증기준에서 충돌방지장치는 크레인 간 충돌사고 방지에만 국한되어 있으나, [Figure 30.b]와 같이 새들과 같은 주행장치가 작업장 바닥에서 움직이는 갠트리크레인의 경우 사람과 충돌할 수 있는 위험이 높다. 실제로 2015~2017년에 발생한 크레인 충돌사고 3건에서 8명이 사망하였는데, 이 사고들은 리모컨 조작 크레인, 주행레일이 다른 크레인, 크레인끼리 사람 간 충돌한 사고였다.



(a) 동일 주행레일이 아닌 크레인 간 충돌위험 (b) 크레인과 사람 간 충돌위험  
 [Figure 30] 크레인 충돌위험

마지막으로 폴 프루프 원칙을 고려하지 못한 항목은 1개로 미끄럼방지 고정장치(38호) 조항이다. 이 조항에서는 강풍 시 크레인이 움직이지 못하도록 앵커(anchor) 등으로 고정시키도록 하고 있다. 하지만, 고정장치가 설치된 경우에는 크레인 조작이 불가능하도록 해야 하나, 안전인증기준에는 이를 규정하지 않고 있다. 이는 크레인 운전자가 고정장치가 설치된 것을 인지하지 못하고 크레인을 조작하는 경우 고정장치 파손 등의 위험이 발생할 수 있다.

### 5) 페일 세이프(Fail safe)

페일 세이프 원칙 적용대상으로 안전인증기준 14개 조항이 조사되었으며, 모든 조항들이 평가원칙을 준수하는 것으로 분석되었다. 브레이크(13호)는 크레인 전원이 불시에 차단될 경우 [Figure 31.a]의 브레이크 장치에 있는 스프링의 힘으로 브레이크가 작동되어 인양물 낙하사고가 발생하지 않는다. 그리고 마그넷 크레인(33호)은 전자석인 마그넷(magnet)에 전원이 차단되면 자력이 소멸되면서 부착된 중량물이 떨어질 위험이 있으나, [Figure 31.b]과 같이 전원이 차단되어도 10분 동안 자력이 유지되도록 전원을 공급하는 정전보상장치(배터리)를 설치하도록 규정하고 있다. 이 외에도 누전 시 감전 위험을 방지할 수 있는 접지 설치(56호), 크레인의 모든 동작을 차단하는 비상정지장치(69호) 등을 통해 크레인의 고장이나 이상 발생 시 크레인과 작업자의 안전을 유지하도록 하고 있다.



(a) 권상 브레이크 (b) 마그네트 크레인(magnet crane)  
 [Figure 31] 페일 세이프 적용 사례

### 3.2.4 안전인증기준 개선방안

이 연구에서 안전인증기준 119개 조항에 대한 5가지 인간공학 평가원칙의 연관성 분석을 통해서 파악된 미흡(일부미흡)한 주요 사항들에 대한 개선방안을 제안하면 다음과 같다.

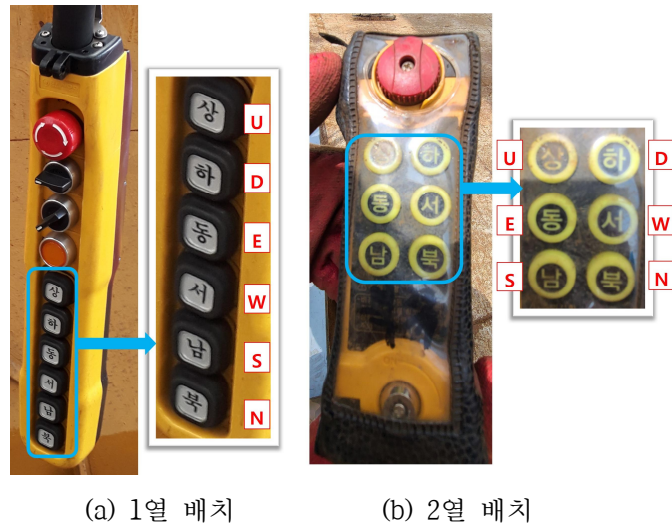
먼저, 피드백(feedback) 원칙에 따라 인양물의 하중표시장치에 대한 기준을 제시할 경우 크레인에 설치되는 과부하장치의 종류와 특성에 맞게 정하는 것이 필요하다. 먼저, 실시간으로 인양하중을 알 수 있는 로드셀(load cell) 형식의 전자식 과부하방지장치를 사용하는 경우에는 [Figure 32]와 같이 하중표시장치를 운전실과 크레인 외부에 설치하여 운전자와 작업자에게 해당 정보를 제공하는 것이 좋다. 이는 인양하중을 크레인 작업자와 운전자가 알 수 있으면 와이어로프 등의 줄결이 용구 사양 선택과 줄결이 방법이 적정한지를 판단할 수 있어 안전한 줄결이 작업이 가능하다. 그리고 권상 전동기의 전류 크기를 감지하여 과부하를 제어하는 구조인 전기식 과부하방지장치의 경우 실시간으로 인양하중을 측정하는 것은 불가능하다. 이런 경우 인양하중이 일정 수준(예: 정격하중의 90%)을 넘어서는 경우 경고장치가 작동하여 크레인 작업자들이 안전하게 작업할 수 있도록 피드백 기능을 강화한다.



[Figure 32] 하중 표시장치

다음으로 양립성(compatibility) 원칙에 따라 운전자의 휴먼에러를 방지할 수 있도록 조작 레버의 방향과 버튼 배열에서 양립성을 고려하는 것이 필요하다. 조작레버의 상하 방향은 크레인 권상장치의 상하 방향과 양립할 수 있도록 일반적 개념인 레버를 몸쪽으로 당기면 상승 동작을 하고 몸 밖으로 밀게 되면 하강하도록 한다. 다만, 레버의 동작방향에 대한 양립성이 명확하지 않는 경우에는 추가적인 인간공학 실험을 통한 결정이 필요하다. 예를 들어 크레인 보권(크레인에 2개의 권상기가 있는 경우 보조(Aux.) 권상장치)에 대한 상-하 방향에 대한 조작레버 방향을 좌-우로 할지 아니면 우-좌로 하는 것이 적절한지에 대한 동작 양립성 연구가 추가적으로 필요하다.

한편, 푸시버튼(push button) 구조의 리모컨이나 펜던트 스위치의 경우에는 운전자가 작업장 바닥에서 움직이기 때문에 운전자의 위치에 따라 조작방향이 달라진다. 이런 경우 버튼의 방향표시는 공간적 양립성보다는 언어적 양립성을 고려하여 설계하는 것이 추천된다. 예를 들어 버튼이 1열 배열인 펜던트 스위치는 [Figure 33.a] 처럼 상-하-동-서-남-북 순으로 배치하고, 2열 배열인 리모컨의 경우 [Figure 33.b]와 같이 상하-동서-남북으로 하는 것이 좋다(박재희&김승희, 2017),(박재희, 2007).



(a) 1열 배치 (b) 2열 배치  
 [Figure 33] 양립성을 고려한 조작버튼 배열

크레인 충돌사고를 예방하기 위한 방안으로 동일 주행레일에서 움직이는 운전실 조작방식 크레인에만 적용하는 충돌방지장치 설치기준을 펜던트 및 리모컨 방식까지로 확대시키는 것이 필요하다. 이는 펜던트 및 리모컨 조작방식의 크레인은 일반적으로 운전자가 지상에서 크레인과 함께 이동하면서 주변 상황을 확인하므로 사고의 위험이 낮다고 생각할 수 있으나, 다른 크레인과 충돌 가능성을 배제할 수 없는 것은 사고 통계를 통해 이미 검증되었다.

또한, 지상에 주행레일이 설치되는 갠트리크레인의 경우에는 크레인 간 충돌사고를 포함하여 사람(또는 물체)과의 충돌사고를 감안하여 [Figure 34]와 같이 충돌방지장치를 의무화하는 것이 필요하다. 이와 함께 동일 주행레일에 있는 크레인은 아니지만 충돌이 발생할 수 있는 크레인 간 충돌사고(e.g., 조선소의 골리앗크레인과 타워크레인)나 건물 안에 주행레일이 상하 2단으로 설치되어 크레인 간 충돌은 아니지만 상부 크레인의 와이어로프가 하부 크레인과 접촉으로 인해 와이어로프가 파단되는 간접사고를 예방할 수 있는 충돌방지장치 시스템의 설치범위를 확대하는 제도개선도 필요하다.



[Figure 34] 충돌방지 시스템

이러한 인간공학 평가원칙을 통한 안전인증기준의 개선 방안들은 크레인 안전성 관한 여러 연구결과들과 일치하고 있다. 특히, 박영민(2014)은 “크레인 중대재해 특

성 분석을 통한 안전검사제도의 개선방안” 연구에서 크레인 간 또는 크레인과 사람의 충돌위험을 방지하기 위해 충돌방지장치 설치대상 확대와 횡행리미트 스위치 예외조항 삭제, 하중표시장치 의무화 등의 안전인증기준 개선이 필요하다고 하였고, 최기천(2020)은 안전장치의 작동 시 경고등 작동, 하중표시장치 설치 등을 제언하고 있다. 또한 박재희 et al.(2014)의 “천장크레인 끼임 사고 방지에 관한 연구”에서는 조작장치의 방향과 표시방법에 대한 양립성 및 일관성 원칙의 안전인증기준 개선방안을 제시하고 있다.

3장의 연구에서 크레인 안전인증기준의 적합성을 평가하기 위해 사용성에 대한 휴리스틱 원칙을 종합하여 선정된 5가지 평가원칙을 적용하였으나, 설비의 안전성 강화와 휴먼에러 최소를 위해 안전 분야에 중요한 설계 개념 2가지를 추가로 고려하여 향후 이를 반영한 연구가 필요하다. 첫째로 안전인증기준에 따라 크레인에 설치된 안전장치의 기능 안전성(functional safety)(필츠코리아, 2015)에 관한 연구이다. 크레인 안전을 위해 설치된 안전장치도 고장이 발생할 수 있고, 안전장치의 고장은 크레인 작업 중 사고로 이어질 가능성이 높다. 따라서 안전장치의 고장 진단이 가능한 2중 구조의 기능을 갖추며, 일정 수준의 내구성 기준을 만족하여 안전장치가 고장 없이 장기간 유지되도록 하는 기능 안전성 원칙을 안전인증기준에 고려하는 것이다. 둘째로 안전장치를 임의해제 시 크레인 작동을 제한시키는 템퍼 프루프(temper proof) 원칙에 관한 것이다. 이는 작업 편의성을 이유로 안전장치를 임의로 해제하여 사용하는 경우 위험성이 높아지고 대형 사고로 이어질 수 있기 때문에 크레인 설계·제작 단계에서 안전장치의 임해 해제가 불가능한 구조가 되도록 안전인증기준에 이를 포함시키는 것이다.



## 제 4 장 작업자 체감 사고원인과 특별교육 및 자격제도 분석

### 4.1 연구방법

#### 4.1.1 조사방법 및 대상

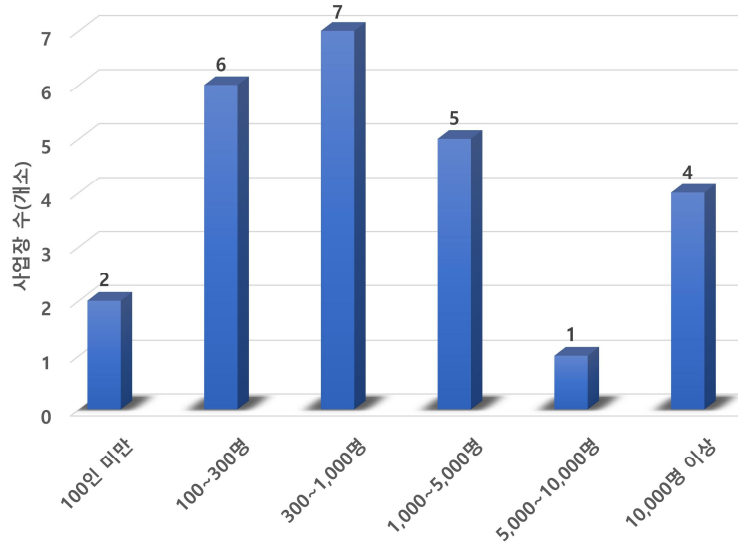
이 연구에서는 크레인 작업자들이 실제 체감하는 크레인 사고의 핵심 원인과 크레인 작업 시 안전을 위해 실시되는 특별교육 현 실태에 관해 조사하였다. 이를 위하여 산업현장에서 크레인 사용빈도가 매우 높은 조선업(신운철, 2014), (문석인&장길상, 2021)에 종사하는 작업자들을 대상으로 크레인 위험성에 대한 인식과 사고발생 위험요인, 크레인 작업자들에게 실시되는 특별교육의 실태와 문제점 등에 대해 설문조사를 하고 통계 분석을 수행하였다. 그리고 분석결과를 바탕으로 크레인 안전성 향상을 위한 인적요인 및 개선방안을 제안하였다(이용석&정기효, 2022).

설문조사를 위해 개발한 설문지는 크게 3가지 부문으로 설문 참여자 기본 정보, 크레인 사고의 위험성과 원인, 그리고 제도개선 의견으로 이루어져 총 16개 문항(Table 17 참조)으로 구성되어 있다. 구체적으로 살펴보면, 첫 번째 부분은 설문 참여자에 관한 기본 정보를 파악하기 위해 연령과 경력과 담당 업무(작업), 크레인 자격 유무에 대한 4개 문항으로 구성하였다. 두 번째 부분은 크레인 작업 위험성과 사고를 일으키는 원인에 대한 질문으로 4개 문항으로 되어 있으며, 세 번째 부분은 크레인 안전성 향상을 위한 제도개선에 대한 사항으로 8개 문항으로 이루어져 있다.

<Table 17> 연구에 사용된 설문지 문항

문항 수	설문 내용	문항 번호
4	연령대, 작업 경력, 담당 업무, 자격 유무	1~3, 8
5	사고경험 유무, 크레인 사고빈도, 강도, 사고 주요 원인 및 상세 원인	4~7
8	특별교육 수강시간 및 교육환경, 교육적절성, 타 사업장의 교육 적절성, 특별교육환경 및 제도개선 필요성	9~16

이 연구는 설문조사가 대표성을 나타낼 수 있도록 조선업 25개사 387명을 대상으로 진행되었다. 설문조사에 참여했던 사업장들은 국내 3대 조선소를 포함하여 배를 신조하거나 블록(block)을 생산하는 사업장으로 해당 사업장들의 근로자 수는 약 10만 명에 이른다. 이는 국내 조선업종 근로자 14만 여명의 약 71%에 달한다. 그리고 설문에 응한 사업장들의 규모는 [Figure 35]와 같이 100인 미만의 사업장에서부터 1만 명이 넘는 대규모 사업장까지 다양한 형태이다.



[Figure 35] 규모별 설문조사에 참여한 사업장 수

사업장별 설문조사 대상인원은 통계분석 시 소규모 사업장의 의견이 충분히 반영될 수 있도록 사업장 규모를 감안하여 사업장별 10명 ~ 30명 정도로 편중되지 않도록 설계되었다. 설문지 배포는 사업장 소속 안전담당자에게 우편으로 발송하였고, 총 410부가 크레인 작업자들에게 전달되었다. 설문의 응답 결과는 우편이나 전자메일로 받았으며, 총 387명에게서 유효 설문결과를 회수하였다. 설문 대상 25개사 중 23개사의 회수된 설문지 수량은 계획된 범위(10명~30명)로 이루어졌다. 다만, 2개사는 응답자가 각각 8명, 35명으로 계획된 범위를 약간 벗어났으나 설문참여 사업장 수와 인원을 고려하면 수용할 만하다.

#### 4.1.2 데이터 분석방법

설문 결과에 대한 통계 분석을 수행하기 전에 설문 데이터에 대한 3가지 측면의 처리기준을 정하였다. 첫째, 회수된 설문지 항목 가운데 일부 문항에서 응답이 없는 경우(문항별 결측치 비율: 0.3% ~ 5.7%)에는 결측치(missing value)로 처리하였고, 해당 설문 문항만 통계 분석에서 제외시켰다. 둘째, 일부 설문 결과는 특정 문항에서 복수로 응답한 경우(1%)가 있었고, 통계 분석에서도 복수 응답 결과를 반영하였다. 셋째, 순위 척도 형태의 설문 문항은 정량적 통계 분석을 위해 5점 척도(1점: 전혀 그렇지 않다, 3점: 보통, 5점: 매우 그렇다)로 정량화시켰다.

통계 분석에 대한 유의수준은 0.05로 하였고, 분석방법은 종속변수의 유형(범주형 데이터, 연속형 데이터)에 따라 교차 분석과 분산 분석으로 나뉘어 수행하였다. 우선, 종속변수가 범주형인 경우에는 데이터를 교차분석(cross tabulation analysis)으로 정리하고 카이스퀘어( $\chi^2$ ) 검정을 통해서 통계적 유의성을 판단하였다. 또한, 종속변수가 연속형 데이터인 경우는 분산 분석(ANOVA)을 수행하여 통계적 유의성을 분석하였다. 분산 분석 결과 집단 간에 유의한 차이가 확인된 경우에는 집단 간 차이를 확인하기 위한 사후검정(post-hoc test) 방법으로 Tukey 검정을 실시하였다. 그리고 본 연구의 통계분석 프로그램은 SPSS (v24, IBM)를 사용하였다.

## 4.2 연구방법

### 4.2.1 크레인 작업자 현황분석

설문조사에 참여한 크레인 작업자 현황은 <Table 18>에 나타난 바와 같이 40대가 34.9%이고, 50대가 38.6%로 40대 및 50대가 전체 응답자의 73.5%(280명)를 점유하는 것으로 파악되었다. 그리고 크레인 작업경력에 관해서는 10년 이상이 38.3%이고, 20년 이상이 24.1%로 10년 및 20년 경력을 가진 작업자가 전체 응답자의 62.5%(238명)를 차지하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과를 바탕으로 통계 분석한 결과 연령대가 높아질수록 작업경력도 증가하는 경향이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다 ( $\chi^2(16)=144$ ,  $p < 0.001$ ).

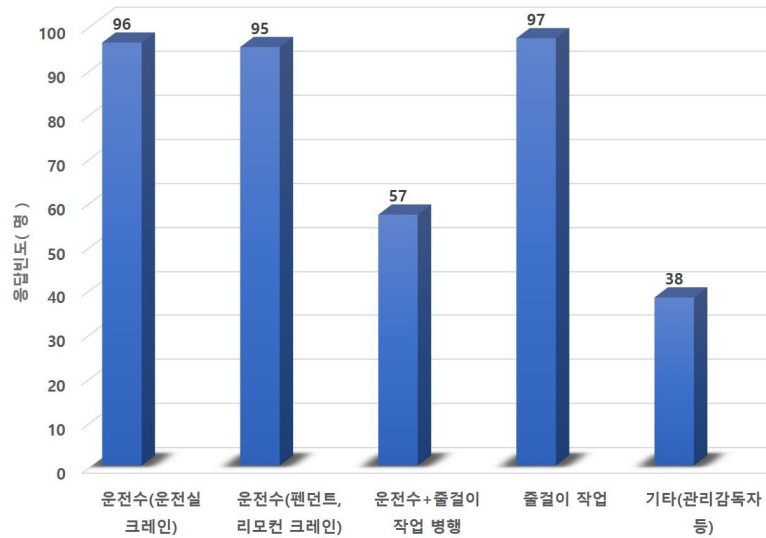
연령대별 작업경력을 살펴보면 20대에서는 작업경력이 모두 5년 미만으로 나타났고, 30대에서는 작업경력 10년 이하가 75.0%로 가장 높게 차지하였다. 또한 40대와 50대에서는 11년 ~ 20년의 작업경력 응답자가 각각 47.4%, 43.5%로 가장 많았다. 끝으로 60대 이상에서는 20년 이상의 작업경력 작업자가 70.4%로 가장 높게 나타났다.

<Table 18> 연령대 및 작업경력에 관한 설문 참여자\*

구분	20대	30대	40대	50대	60대 이상	합계(명)
1년 이하	-	3(6.8%)	4(3.0%)	5(3.4%)	-	12
2~5년	3(100%)	21(47.7%)	23(17.3%)	14(9.5%)	2(3.7%)	63
6~10년	-	9(20.5%)	31(23.3%)	22(15.0%)	6(11.1%)	68
11~20년	-	11(25%)	63(47.4%)	64(43.5%)	8(14.8%)	146
20년 초과	-	-	12(9.0%)	42(28.6%)	38(70.4%)	92
합계(명)	3(100%)	44(100%)	133(100%)	147(100%)	54(100%)	381

\* 설문 참여자 중 6명이 무응답

크레인 작업에서 담당 업무에 관한 질문에서는 [Figure 36]과 같이 크레인 운전수가 전체 응답자의 49.9%(191명)를 차지하였고, 이 중 운전실 크레인 운전수가 25.1%이고 펜던트나 리모컨 조작 크레인 운전수가 24.8%로 파악되었다. 또한, 크레인 운전수와 줄걸이 작업을 병행한다고 응답한 비율이 14.9%(57명)로 나타났으며, 줄걸이 작업만 담당하는 작업자는 25.4%(97명)이며, 기타(관리감독자 등)로 관리업무에 해당하는 응답자는 9.9%(38명)로 분석되었다. 이와 함께 크레인의 운전자격에 관한 설문에서는 응답자의 42.3%(159명)가 기중기 운전기능사, 천장크레인이나 타워크레인 등의 자격을 가지고 있는 것으로 조사되었다.



[Figure 36] 담당 업무  
(설문 참여자 중 4명이 무응답)

#### 4.2.2 크레인의 위험성과 사고원인에 대한 인식

담당 업무별 크레인 사고 경험에 관한 설문에서는 <Table 19>와 같이 응답자의 과반(55.8%)이 크레인 작업 중에 인적피해나 물적 피해를 직접 경험하였거나 동료 작업자에게서 발생한 일이 있다고 답하였다. 이 중 24.3%(93명)는 크레인 작업 중에 본인이 직접 사고를 겪었다고 응답하였고, 설문 응답자의 31.4%(120명)는 동료 작업자가 크레인 작업 중에 사고를 당한 일이 있다고 대답하였다.

<Table 19> 수행업무별 크레인 사고경험 또는 무경험 빈도(명)\*

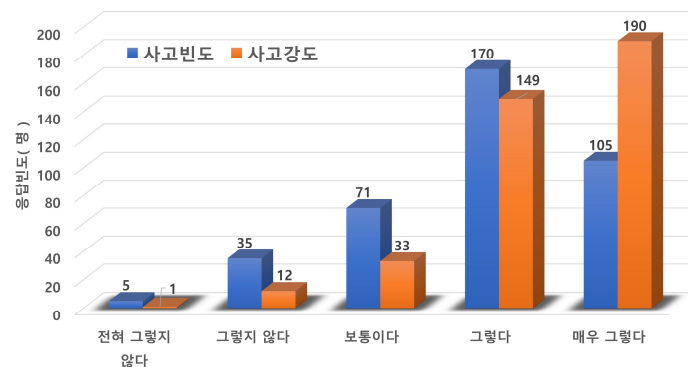
구분	직접경험	간접경험	무경험	합계
운전실 크레인 운전	23(24.2%)	23(24.2%)	49(51.6%)	95(100%)
펜던트 또는 리모컨 크레인 운전	16(16.8%)	33(34.7%)	46(48.4%)	95(100%)
크레인 운전과 줄걸이작업 병행	12(21.1%)	18(31.6%)	27(47.4%)	57(100%)
줄걸이작업	35(36.1%)	32(33.0%)	30(30.9%)	97(100%)
기타(관리감독 등)	7(18.4%)	14(36.8%)	17(44.7%)	38(100%)
합계	93(24.3%)	120(31.4%)	169(44.2%)	382(100%)

\* 설문 참여자 중 5명이 무응답

세부적으로 살펴보면 수행업무 중 직접 사고를 경험한 비율이 가장 높은 업무는 줄걸이 작업으로 36.1%(35명)를 차지하였다. 이에 반해 운전실 크레인 운전수는

24.2%(23명)가 사고를 직접 경험했던 것으로 나타났다. 그리고 사고를 직접 또는 간접적으로 경험하였던 비율은 줄결이 작업자가 69.1%(67명)에 달하며, 운전실 크레인 운전수가 48.4%(46명)인 것에 비해 줄결이 작업자의 사고경험이 20% 이상 높은 것으로 나타났다. 즉, 운전실에서 크레인을 조작하는 업무와 비교하면 줄결이 작업은 중량물과 함께 작업이 이루어지므로 사고위험이 훨씬 높을 수 있음을 의미한다. 또한 통계 분석결과 이러한 경향은 수행하고 있는 업무에 따라 크레인 사고경험 정도가 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다( $\chi^2(8)=16.370, p = 0.037$ ).

크레인 사고의 빈도(frequency)와 강도(intensity)에 관한 질문에서 [Figure 37]에서와 같이 설문 참여자들은 크레인 사고 빈도가 다른 기계보다 매우 높다(27.2%, 105명), 높다(44.0%, 170명)라고 응답하였다. 이는 응답자의 대다수(71.2%, 275명)가 크레인이 다른 기계설비보다 사고 발생 위험이 높다는 인식을 가지는 것으로 분석된다. 또한 사고 강도에 관해서도 설문 참여자 대다수는 크레인 사고의 인적 또는 물적 피해 크기가 다른 기계설비에 비해 매우 높다(49.4%, 190명), 높다(38.7%, 149명)라고 응답하였다.

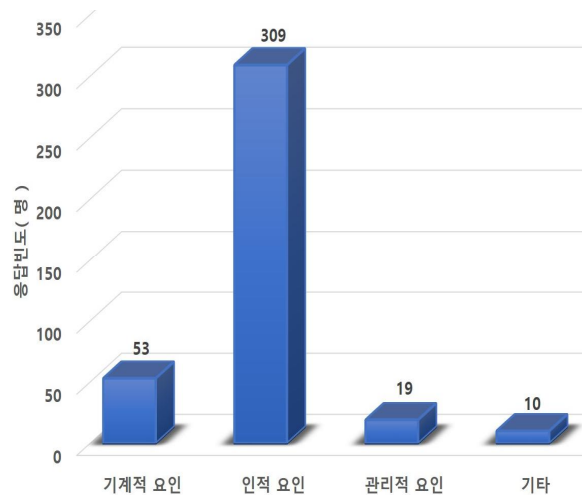


[Figure 37] 크레인 사고 빈도 및 강도에 대한 인식  
(설문참여자 중 빈도 1명, 강도 2명 무응답)

또한 크레인 사고 경험 유무에 따른 사고 빈도 및 강도에 대한 인식정도를 분석한 결과 사고를 직접 경험한 작업자들의 사고 빈도와 강도에 관한 평균 인식점수는 각각 4.27점과 4.63점(1점: 매우 낮음, 3점: 보통, 5점: 매우 높음)으로 아주 높게 나타났다. 그리고 간접 경험한 작업자들의 평균 인식점수는 각각 3.94점과 4.38점으로 직접 경험한 응답자보다는 낮으나 크레인 사고의 빈도와 강도를 대체로 높게 인식하고 있는 것으로 확인되었다. 이에 반해 사고를 경험하지 않은 설문 참여자의 사고 빈도와 강도에 대한 인식점수는 각각 3.59점, 4.15점으로 상대적으로 낮게 인식하는 것으로 분석되었다. 이러한 분석결과를 토대로 통계 분석결과 크레인 작업 중에 사고를 직접 또는 간접으로 경험했던 작업자들은 그렇지 않은 자들보다 크레인 사고 발생 빈도와 강도가 높다는 인식이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다(빈도:  $F(2, 382) = 16.941, p < 0.001$ ; 강도:  $F(2, 381) = 12.604, p < 0.001$ ).

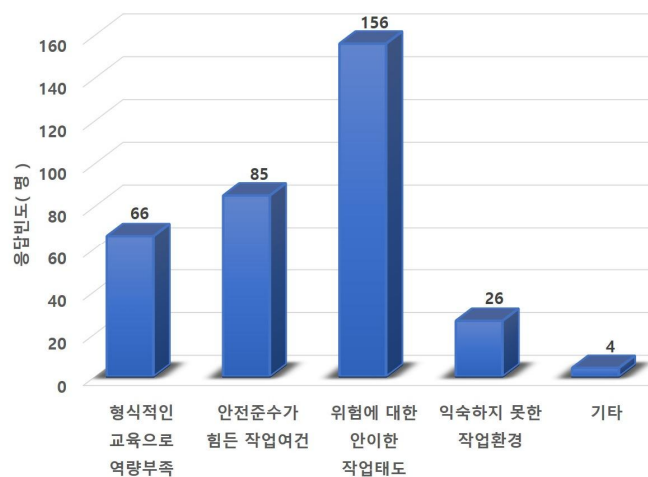
작업자들이 체감하는 크레인 사고의 주요 원인에 대한 질문에서 [Figure 38]에서와 같이 설문 응답자들은 크레인 사고 원인으로 기계적, 인적, 관리적 요인 중에서 인

적 요인을 가장 큰 원인으로 인식하는 것으로 확인되었다. 구체적으로 살펴보면 설문 응답자의 대다수(79.0%, 309명)가 크레인 사고 원인에 대해 크레인 조작 미숙이나 줄걸이 작업 미숙, 안전수칙 미준수와 같은 인적요인(human factor)이라고 응답하였고, 응답자의 13.6%(53명)는 크레인 고장(결함)이나 안전장치 미작동 등과 같은 기계적 요인(mechanical factor)을 답변하였다. 또한 응답자의 4.9%(19명)는 중량물 작업계획서 미작성이나 작업지휘자 부재 등과 같은 관리적 요인(management factor)을 주요 원인으로 응답하였다. 이 외에도 응답자의 2.6%(10명)는 사각지대, 신호불명확 등의 기타요인을 주요 원인으로 응답하였다.



[Figure 38] 작업자가 체감하는 크레인 사고 주요 요인  
(설문 참여자 중 4명 중복 응답)

상세 원인 분석에 관한 질문에서 [Figure 39]와 같이 크레인 사고의 주요 요인을 인적 요인으로 지목한 응답자들(총 309명) 중 46.35%(156명)가 위험에 대한 안이한 작업태도가 가장 심각한 요인이라 응답하였다.



[Figure 39] 인적 요인에 의한 크레인 사고유발 주요 원인  
(설문 참여자 중 28명 중복 응답)

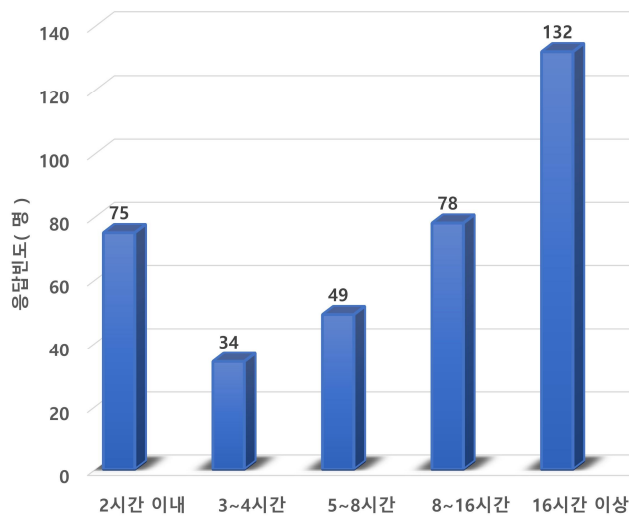
또한 안전준수가 힘든 작업여건이라 응답한자가 25.2%(85명)였고, 형식적 교육으

로 역량부족이 19.6%(66명)로 비슷한 비율로 나타났다. 끝으로 익숙하지 못한 작업 환경과 기타사유로 동료 외국인 작업자와 의사소통 문제 등이 각각 7.7%(26명), 1.2%(4명)로 분석되었다.

한편, 기계적 요인을 주요 요인으로 지목한 53명의 응답자 중 65.5%(38명)가 와이어 로프, 구동장치나 전기장치의 고장이 주요 원인이라고 답하였다. 관리적 요인이라고 응답한 19명의 설문 참여자 중 34.8%(8명)는 크레인 작업안전표준서 부재와 위험성평가 수행미흡이 주요 원인이라고 응답하였다.

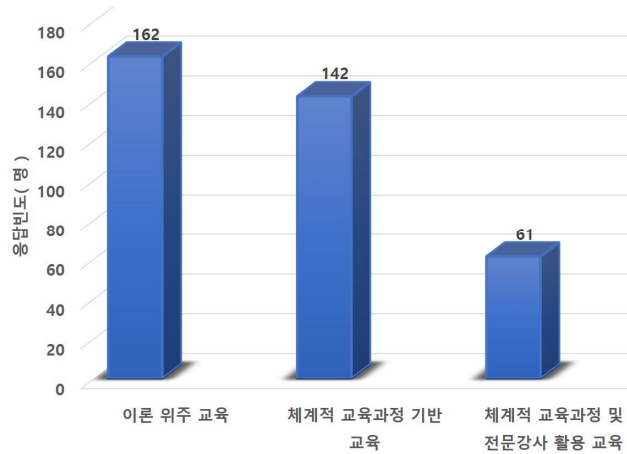
#### 4.2.3 제도개선 필요성에 대한 인식

특별교육 이수 현황에 관한 설문에서는 [Figure 40]과 같이 사업장에서 크레인작업을 위해 실시되는 특별교육이 법적기준인 16시간을 준수하는 경우가 35.9%(132명)에 불과한 것으로 나타났다. 이에 반해 64.1%(236명)은 법적기준 시간을 이하의 교육을 받았다고 응답하였는데, 구체적으로 살펴보면 응답자의 21.2%(78명)는 8~16시간이었고, 13.3%(49명)은 5~8시간, 9%(34명)은 3~4시간을 받았다고 답하였다. 더욱이 응답자의 20.4%(75명)는 특별교육을 고작 2시간 이내로 받았던 것으로 나타났다.



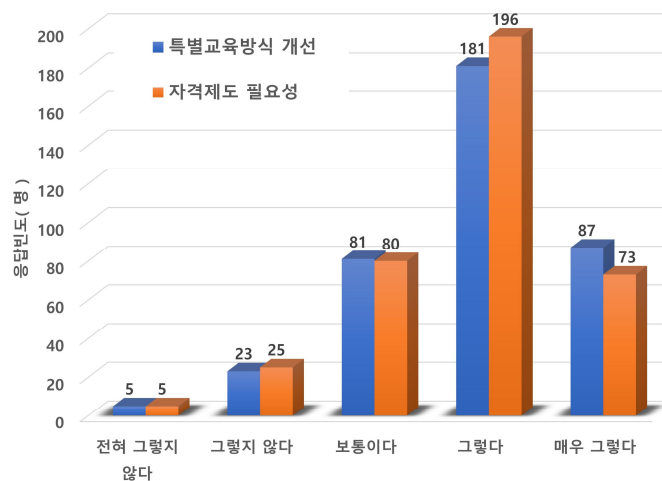
[Figure 40] 특별교육 이수 현황  
(설문 참여자 중 19명이 무응답)

특별교육 운영 실태에 관한 설문에서는 [Figure 41]과 같이 체계적인 교육과정과 실습교육장을 갖춘 곳에서 전문 강사로부터 이론교육과 실습교육을 받았다는 응답자가 16.7%(61명)로 매우 낮은 수치로 나타났다. 이에 반해 체계적인 교육과정이나 전문 강사가 없는 이론 위주의 교육을 받았다는 응답자는 44.4%(162명)에 이르렀다. 그리고 체계적인 교육과정은 있지만 전문 강사가 아닌 관리감독자나 안전관리자를 통해 교육을 받았다는 응답자가 38.9%(142명)로 조사되었다.



[Figure 41] 특별교육 운영 실태  
(설문 참여자 중 22명 무응답)

특별교육 방식 개선에 관한 설문에서는 [Figure 42]와 같이 설문 참여자들은 특별교육 방식을 개선하여 전문적인 수준의 교육을 희망하는 것으로 조사되었다. 즉, 체계적인 교육과정과 실습이 가능한 교육장을 갖추고 전문적인 크레인 강사를 통해 실제적인 교육을 희망하는 사람이 71.1%(268명)로 그렇지 않다는 7.4%(28명)에 비해 월등히 높게 나타났다. 그리고 사업장에서 실시하는 현재의 특별교육방식을 자격을 갖추어 인정받은 교육기관이나 사업장 소속의 교육센터에서 실시하는 자격제도 필요성에 응답한 비율이 71.0%(269명)로 그렇지 않다는 7.9%(30명)에 비해 약 9배 높은 것으로 조사되었다. 다만, 통계 분석결과 설문 참여자의 담당업무에 따라 특별교육의 개선필요성( $F(4, 369) = 1.275, p = 0.279$ )과 자격제도 필요성( $F(4, 369) = 2.002, p = 0.094$ )에 대해서는 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타나 담당업무 그룹별 정도의 차이는 없는 것으로 분석되었다.



[Figure 42] 특별교육방식 개선 및 자격제도 필요성  
(설문 참여자 중 교육방식 10명, 제도 8명 무응답)



#### 4.2.4 분석결과를 통한 인적요인 개선 방안

조선업 25개사 387명의 설문결과에 대한 통계분석을 정리하면 크레인 작업자는 다른 기계들보다 크레인이 더 위험하다는 인식을 하는 것으로 알 수 있었다. 이는 설문 참여자의 71.2%가 다른 기계들보다 크레인 사고 발생 가능성이 높다고 응답하였고, 응답자의 88.1%가 인적 및 물적 피해 정도가 다른 기계설비의 사고보다 크다는 생각을 하고 있다. 이러한 설문 응답자의 인식수준은 지난 5년간(2013년 ~ 2017년) 크레인 사고로 인한 사망자(185명)가 다른 위험기계·기구(고소작업대 69명, 컨베이어 52명, 리프트 44명, 압력용기 22명, 프레스 17명)에 의한 사고보다 현저히 높은 것과 같은 맥락으로 보여 진다(신용우, 2019).

또한, 설문 참여자의 79%는 크레인 사고의 주요 원인을 인적요인으로 지목하였는데, 인적요인으로는 위험에 대한 안이한 작업태도(46.3%)와 안전수칙 준수가 어려운 작업여건(25.2%), 그리고 형식적인 교육에 의한 역량부족(19.6%) 순으로 나타났다. 따라서 크레인 작업의 안전성을 보다 향상시키기 위해서는 크레인 작업(크레인 운전 및 줄걸이 작업)을 위한 교육이 작업자의 안전의식과 역량을 향상시킬 수 있는 교육방식으로의 개선과 안전수칙 준수가 가능한 작업여건(e.g., 작업 시간과 투입 인원을 고려하여 작업계획 수립)을 조성하는 노력이 강화되어야 한다.

크레인 작업 안전을 위해서 산업안전보건법에서는 운전자에 대한 자격제도(산업안전보건법 제140조 자격 등에 의한 취업 제한 등) 및 작업자에 대한 특별교육(산업안전보건법 제29조 근로자에 대한 안전보건교육)을 규정하고 있다. 그리고 크레인 자격제도는 타워크레인, 이동식크레인, 운전실이 있는 천장크레인의 운전자에 한정하고 있다. 하지만, 운전실 조작 크레인은 전체 크레인 대비 약 1.8%로 안전검사제도에 따라 2020년 ~ 2021년에 실시한 안전검사(정격하중 2톤 이상) 크레인 대수는 약 20만대(차량탑재형 이동식크레인 제외)로 이 중 운전실 조작방식은 약 3,600대에 불과하다(KOSHA, 2021). 따라서 산업현장에서 사용되는 크레인의 98% 이상은 리모컨이나 펜던트 조작방식의 크레인이며, 이들 크레인은 산업안전보건법의 운전자 자격제도 대상에서 제외된다.

더욱이, 크레인 사고의 약 65%를 차지하는 줄걸이 작업에 관해서는 작업자에 대한 자격제도가 법적으로 규정되어 있지 않다. 따라서 펜던트 또는 리모컨 조작 크레인 운전자와 줄걸이 작업자의 경우 사업장에서 자체적으로 실시하는 특별교육만 받으면 법적으로 충족되어진다. 하지만, 설문 결과에 의하면 특별교육 시간을 충족하여 실시한다는 응답비율은 35.9%에 불과하고, 특별교육 방식에서도 전문 강사와 실습교육을 통한 체계적인 교육을 한다는 응답비율은 7.9%로 현저히 낮은 수치이다.

크레인 운전과 줄걸이 작업은 작업자의 숙련도가 요구(한국산업표준, 2017)되고 있으나, 사업장에서 실시되고 있는 특별교육의 대부분이 앞서서 보고 듣는 강의식의 이론 위주의 교육이 이루어지고 있는 것으로 조사되었다. 실제로 크레인 작업 비중이 가장 높은 업종인 조선업에서조차 전문 강사를 통한 체계적인 이론과 실습 교육과정은 일부 대형 조선소에만 운영(Figure 43 참조)하고 있는 실정이며, 상대적

으로 크레인 작업 비중이 낮거나 규모가 작은 사업장에서는 체계적인 교육과정과 실습교육장을 갖추는 것이 현실적으로 어렵다. 이와 같은 문제는 건설현장의 크레인 작업자를 대상으로 연구한 결과에서도 비슷하게 나타나고 있다. 특별교육이 실적 위주, 이론 중심의 교육으로 교육효과에 문제점이 있다고 하였으며, 교육방법도 대다수 강의식 교육을 받고 있는 것으로 확인되었다(박찬욱, 2014). 이러한 상황을 종합적으로 판단해볼 때 인적 요인을 개선하여 크레인 안전성을 향상시키기 위해서는 사업장 여건에 따른 교육환경 편차가 심한 현재의 특별교육방식을 체계적인 교육과정을 갖추고 전문 강사 및 실습교육이 가능한 교육기관에서 실시하도록 하는 제도 개선이 필요하다(김은미, 2012).



(a) 크레인 실습교육 센터

(b) 사내 크레인 교육 이수자

[Figure 43] 크레인 실습교육장 및 크레인 작업 자격포시 운영

또한, 설문 참여자 대부분(71.1%)은 현재 실시되고 있는 특별교육 방식이 개선될 필요가 있다는 것에 같은 인식을 가지는 것으로 나타났다. 그리고 대부분의 응답자(71.0%)는 체계적인 교육과정과 시설이 구비된 교육기관이나 사업장 내 교육센터를 통해 전문적인 교육을 받을 수 있도록 제도 개선이 필요하다고 응답하였다. 이러한 분석결과는 크레인 작업자들을 대상으로 실시한 줄걸이 작업의 체계적인 교육과 전문성 향상을 위한 제도개선의 필요성을 제시한 기존 연구들과 일치하고 있다(박찬욱, 2014),(양세훈, 2020).

해외 사례를 살펴보면 일본의 경우 1973년도부터 줄걸이 작업을 줄걸이 자격을 가진 자만 가능하도록 취업을 제한하였고 줄걸이 작업 안전교육을 시작하였다. 이러한 제도개선의 결과는 크레인 작업에서 발생한 사망사고가 1973년도 424명이었던 것이 점진적으로 감소하여 2008년에는 101명으로 1973년 대비 76% 감소로 나타났다(한철호, 2010).

일본은 <Table 20>과 같이 노동안전위생법 제61조(취업의 제한), 크레인 안전규칙 제222조(특별교육), 안전위생교육에 관한 안전위생교육지침(안전위생교육지침 공시 제4호)에 따라 줄걸이 작업자는 의무적으로 줄걸이 작업 안전교육을 받아야 한다(한철호, 2010). 또한 지상 조작식 크레인으로 펜던트 또는 리모컨 조작방식 크레인을 운전하기 위해서는 기능강습을 의무적으로 받도록 되어 있다(Safety Ordinance for Cranes, 1972). 이러한 일본 사례를 통해 크레인 작업자에게 체계적인 교육과정과

실습교육시설의 훈련 제도가 크레인 작업의 안전성 향상에 기여할 수 있음을 시사하고 있다. 한편, 효과적인 크레인 사고예방을 위해 자격제도 적용대상을 안전검사와 동일한 2톤 이상 크레인으로 함으로써 위험성이 높은 크레인을 중심으로 안전검사를 통한 기계적 요인 관리와 함께 작업자에 대한 인적 요인을 강화하는 것이 필요하다.

<Table 20> 일본의 줄걸이 작업 안전교육 (한철호, 2010)

구분	줄걸이 기능강습	줄걸이 특별교육
관련법규	노동안전위생법 제61조(취업의 제한)	크레인 안전규칙 제222조(특별교육)
대상설비	인양하중 1톤 이상 크레인 등	인양하중 1톤 미만 크레인 등
교육대상자	줄걸이업무 종사자	줄걸이업무 종사자
교육기관	노동국장으로부터 지정을 받은 교습기관	사업주 또는 지정된 교습기관
교육시간	19시간	5시간

크레인 작업의 자격제도는 일본 외에도 싱가포르, 영국, 미국 등 해외 선진 국가에서도 <Table 21>과 같이 전문 신호수 자격 관리제도를 시행하고 있다. 이들 나라에서는 각 국가별 산업안전보건법 또는 관련 규정에 명시하여 체계적인 교육 및 전문 신호수 자격을 통해 체계적인 역량 관리와 줄걸이 작업안전을 강화하고 있다.

<Table 21> 해외 선진국가별 전문 줄걸이 자격 관리제도 현황(양세훈, 2020)

국가명	전문 신호수 관리 제도	교육시간
싱가포르	정부주도 필수 자격관리	21~32시간
영국	정부주도 필수 자격관리	16~24시간
일본	정부주도 필수 자격관리	5~19시간
미국	사업주 책임부과형 자율 자격관리 (연방정부)	16~24시간

본 연구에서는 크레인 사고 원인을 기계적 요인과 인적 요인, 관리적 요인의 3가지로 구분하고 있으나, 실제적으로 대부분의 사고는 다양한 원인들이 복합적으로 작용하여 발생하고 있다(이용석, 2019),(김학열&허태영, 2010). 다만, 이 연구에서 설문 응답자는 크레인 사고의 여러 요인 중에서 가장 핵심요인으로 생각되는 하나의

원인을 주요 요인으로 응답한 것으로 해석된다. 이러한 설문조사 방식의 한계점을 감안하더라도 응답자의 79.0%가 선택한 인적 요인이 크레인 사고의 가장 주요한 원인이라 판단할 수 있다. 또한, 이전에 크레인 안전성 향상방안에 관한 연구(이용석, 2019)에서 크레인 사고분석 데이터에 따르면 인적 요인에 속하는 부적절한 작업방법이 본 연구와 유사하게 사고 원인의 71%를 차지하는 것으로 확인되었다.

크레인 사고를 일으키는 대표적인 인적 요인으로는 안이한 작업태도(46.3%), 안전준수가 어려운 작업여건(25.2%), 그리고 형식적 교육으로 인한 역량부족(19.6%), 작업장소나 상황이 수시로 변하여 익숙하지 못한 작업환경(8.6%) 순으로 응답하였다. 특히, 안이한 작업태도, 안전준수가 힘든 작업여건은 위반(violation)이나 실수(slip), 건망증(lapse)에 의한 인적 오류를 일으킬 수 있다. 그리고 크레인 작업에 관한 형식적 교육은 미숙련된 작업방법으로 인해 사고를 일으킬 수 있다. 끝으로, 작업장소나 작업상황의 수시 변동으로 익숙하지 못한 작업환경에서는 착오(mistake)로 인적 오류를 유발할 수 있다. 따라서 이러한 인적 오류를 예방하기 위한 방안으로 특별교육에 관한 제도 개선을 통해 크레인 작업자의 숙련도 향상과 안전수준을 강화시키는 것이 필요함을 알 수 있다(정병용&이동경, 2019).

다만, 크레인 작업 안전성 향상이라는 연구를 달성하기 위해서는 향후 2가지 측면의 후속연구가 필요하다. 첫째로 본 연구는 중량물 운반 작업 중심으로 크레인 작업 안전성을 연구한 것으로 크레인 수리나 설치·해체작업에서 안전성을 향상시키는 방안에 대한 연구가 추가적으로 요구된다. 둘째로 본 연구에서 개선 방안으로 3대 원인(기계적, 인적, 관리적 요인) 가운데 기계적 요인과 인적 요인에만 집중되었고, 관리적 요인은 크레인 사고 주요 요인으로 응답된 비율(4.9%)이 낮은 관계로 제언하지 않아 종합적 안전성 향상 방안을 마련하기 위해서는 관리적 요인의 개선 방안에 대해서도 추가 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 제 5 장 결 론

크레인(crane)은 중량물을 운반하는 대표적인 기계설비로서 크레인 작업은 작업자가 중량물을 줄걸이 용구를 통해 훅 등의 달기구에 매달아 운반하면서 함께 이동하고 중량물 가까이에서 주로 작업이 이루어진다. 또한 작업여건에 따라 크레인 운전이나 줄걸이 방법이 달라지는 작업 특성으로 인해 다른 기계에 비해 사고 위험이 높은데 이는 사고통계자료를 통해 이미 알려진 사실이다. 이러한 크레인에는 여러 안전장치들이 작동되고 있으나 사고를 예방하기에는 충분하지 못하며, 부분 안전형 기계류로서 작업자의 숙련도와 높은 주의력을 요구하고 있다.

따라서 본 연구는 크레인 안전성 향상을 위해 안전인증 기준에 맞춰 설계·제작되어지는 크레인의 설비적 안전성을 사람 중심의 인간공학적 관점으로 평가하였다. 이와 함께 인적 요인으로서 크레인 작업자에 대한 특별교육 및 자격제도의 현 실태와 문제점을 분석하여 종합적인 개선방안을 제안하고자 하였으며, 주요 연구 결과는 다음과 같다.

### 첫째, 크레인 안전성 평가를 위한 5가지 인간공학 평가원칙을 선정하였다.

인간공학적 설계 적합성을 평가하는데 사용되고 있는 휴리스틱 평가원칙을 사전 조사하여 닐슨(Nielsen)의 10가지 원칙을 포함한 5종류 54가지 원칙 가운데서 크레인 안전성 평가에 적합한 16가지 원칙을 선정하였다. 그리고 선정된 평가원칙들 간에 개념적 유사성에 따라 5가지 유형인 피드백, 양립성, 일관성, 폴 프루프, 그리고 페일 세이프를 분류·통합하여 인간공학 평가원칙을 최종 선정하였다.

특히 5가지 평가원칙은 사람의 인지특성을 고려한 인간공학적 원칙으로서 기계설비의 안전성을 요구하는 페일 세이프(fail safe) 원칙과 기계로부터 사람을 보호하는 폴 프루프(fool proof) 원칙이 있다. 그리고 부분 안전형 기계류로서 불완전한 안전성을 보완하여 작업자의 휴먼에러를 예방하기 위한 피드백(feedback), 양립성(compatibility), 일관성(consistency) 원칙을 평가원칙으로 포함시켰다.

### 둘째, 크레인 안전인증기준에 대한 인간공학 평가원칙과의 연관성 분석을 통해 문제점 및 개선방안을 도출하였다.

크레인 안전인증기준은 기계장치, 전기장치, 안전장치 등 7개 분야에 대해 총 119개 조항으로 구성되어 있는데, 이들 조항에 대해 인간공학 평가원칙 적용대상 여부를 판단하여 5가지 원칙이 올바르게 적용되어 있는지를 3가지 등급(적합, 일부 미흡, 미흡)으로 분류하였다.

안전인증기준(119개 조항)과 인간공학 평가원칙 간의 연관성 분석 결과 50개 조항의 안전인증기준이 적용대상으로 분류되었다. 인간공학 평가원칙별로 분류하면 피드백 원칙은 총 28개 조항에 적용되었고, 폴 프루프 및 페일 세이프 원칙은 각각 22개

와 14개 조항이 적용받는 것으로 분석되었다. 일관성 원칙에 대해서는 안전장치, 조작장치 분야 등에서 총 6개 조항이 해당되며, 양립성 원칙은 크레인 조작 장치의 2개 조항이 적용받는 것으로 파악되었다. 여기서 미흡 또는 일부미흡 등급 조항은 피드백 9개, 양립성 2개, 일관성 1개, 폴 푸르프 4개 조항 등 총 16개 조항으로 나타났다.

특히, 크레인 간 충돌방지장치가 운전실 조작 크레인은 의무규정으로 되어 있으나, 펜던트나 리모컨 크레인은 해당되지 않는 사항과 갠트리크레인의 경우 주행로 상에서 사람과 크레인과의 충돌위험이 있지만 인체 감지형 충돌방지장치 설치규정이 없음을 폴 프루프 원칙을 통해 확인되었다. 또한, 인양물 하중값을 표시장치로 작업자에게 제공하거나 각종 안전장치의 작동상태를 작업자에게 시청각적 정보제공이 필요함을 피드백 원칙을 통해 확인되었다.

### **셋째, 크레인 운전자 및 줄걸이 작업자에 대한 설문조사를 통한 작업자들이 체감하는 사고 원인과 특별교육 및 자격 제도의 문제점과 개선방안을 제안하였다.**

인적요인 연구는 크레인 작업자들을 대상으로 한 설문조사 형태로 국내 주요 조선사를 포함한 25개사 387명의 크레인 작업자들을 대상으로 이루어졌다. 응답자의 79%가 크레인 사고의 주요 원인이 크레인 조작이나 줄걸이 작업 미숙, 안전수칙 미준수 등의 인적요인(human factor)으로 지목하여 기계적 요인이나 관리적 요인보다 훨씬 높은 수치이며, 이는 재해통계와 선행연구를 통해 알 수 있는 것과 동일함을 확인하였다. 또한 이러한 인적 요인은 작업자가 위험에 대한 안이한 태도(46.3%, 156명)와 작업일정을 맞추기 힘든 작업여건(25.2%, 85명), 그리고 형식적인 교육으로 인한 역량부족(19.6%, 66명) 순으로 인식하고 있음을 확인하였다.

특히 작업자들을 위한 사업장 교육환경 분석에 따르면 산업안전보건법에 따라 실시되는 특별교육은 체계적인 교육과정과 실습이 가능한 교육장을 갖춘 곳에서 전문강사를 통해 이론 및 실습 교육을 교육받았다는 경우는 16.7%(61명)에 불과하여 다수가 체계적인 교육과정이나 전문강사 없이 이론 위주의 교육을 받고 있음을 확인하였다. 또한 16시간 이상 실시해야 하는 특별교육은 응답자의 64.1%(236명)가 법정 교육시간 미만을 받아 교육이 전반적으로 부실하게 수행되고 있음을 알 수 있었다. 이로 인해 특별교육이 적정 자격을 갖춘 인정받은 교육기관이나 사업장 소속 교육센터에서 실시되도록 하는 제도개선 필요에 대한 의견이 71%(269명)이며, 그렇지 않다고 응답한 7.9%(30명)에 비해 약 9배 높은 것으로 확인되었다. 따라서 일본의 제도개선 사례를 통해 알 수 있듯이 줄걸이 작업과 크레인 운전(펜던트, 리모컨조작)에 대한 교육방법 및 자격제도 개선을 통해 인적요인을 강화시키는 것이 크레인 작업 안전성 강화에 도움이 될 것으로 생각한다.

결론적으로 본 연구를 통해 크레인과 같은 부분 안전형 기계류의 안전성은 기계에 대한 인간공학 평가원칙을 통해 설계·제작 단계에서 안전성을 확인하는 것과 함께 작업자의 숙련도와 안전수준을 높이는 방안이 함께 마련되어야 함을 확인할

수 있었다. 향후 크레인 외에도 다양한 기계설비에 대해 적용하여 안전성을 강화함으로써 근로자들이 안심하고 일할 수 있는 환경에 더 다가설 수 있는 계기로 조금의 도움이 될 수 있기를 희망한다.

끝으로 크레인 작업의 안전성 향상을 구체화하기 위해 앞서 언급한 바와 같이 몇 가지 후속 연구를 제안하고자 한다. 크레인 설계·제작 단계에서 적용되는 안전인증기준의 인간공학적 적합성 검토를 위해 선정된 5가지 인간공학 평가원칙에서 기능 안전성(functional safety)과 템퍼 프루프(temper proof) 원칙을 추가한 7가지 인간공학 평가원칙의 적합성 검토연구가 필요하다. 이는 인간-기계시스템인 크레인 작업에서 발생하는 에러(error)를 최소화할 것이다. 또한 중량물 운반 작업과 같은 일반적인 작업 외에 크레인 수리나 설치·해체와 같은 비정형 작업에 대한 안전성 연구를 추가하며, 개선방안으로서 안전작업절차나 관리감독과 같은 관리적 요인에 대한 심층 연구가 필요하다. 이는 안전성 검토범위를 크레인에 관련된 모든 작업으로 확대시키며, 개선방안으로 기계적 요인 및 인적 요인과 함께 관리적 요인을 포함시켜 종합적인 안전성 방안을 마련함으로써 크레인의 안전성 확보가 실현되는 계기가 될 것이다.

## 참고 문헌

- [1] 고용노동부(2020), “위험기계기구 안전인증고시”, 고용노동부고시\_제2020-41호, pp.3,11-12,48-89
- [2] 신용우(2019), “안전인증 대상 유해·위험기계·기구의 적정성에 관한 연구”, 울산대학교 석사학위 논문, p.39
- [3] KOSHA(안전보건공단)(2020), “우리는 완벽한가?”, p.11
- [4] EU-OSHA(2009), “The human machine interface as an emerging risk”, p.19
- [5] 오승현(2019), “안전인증제도의 발전방안에 관한 연구-산업안전보건법을 중심으로”, 울산대학교 석사학위 논문, pp.17-18
- [6] 이용석(2019), “크레인 안전성 확보방안에 관한 연구”, 울산대학교 석사학위 논문, pp.34,41,16-26,32
- [7] 이현수(2021), “SHELL 모델을 활용한 항공정비 인적요인 분석”, 한국항공대학교 석사학위 논문, pp.1,10-11
- [8] KOSHA(2021), “Safety inspection data of crane. Korean Occupational Safety and Health Agency”
- [9] 한철호(2010), “한국과 일본의 비교분석을 통한 줄거리작업 사망재해감소방안”, OSH Research Brief, vol.4, No.10, pp.38-41
- [10] 양세훈(2020), “조선산업 줄거리 작업근로자 대상 직무작업 안전교육 개선사례 연구”, 서울과학기술대학교 석사학위 논문, pp.9-10,34,39,68
- [11] 이순요(1992), “미래지향적 인간공학”, 박영사
- [12] 김현우(2009), “인간-기계 협업 프로세스에서의 인적 작업 오류에 대한 정형 모델”, 한양대학교 석사학위 논문, pp.9,16
- [13] 최재하(1997), “인간-기계 시스템의 사용성 평가방법에 관한 연구”, 성균관대학교 박사학위 논문, pp.12-14,21,15



- [14] 박재희, 박태주, 임현교, 서은홍(2007), “인간-기계 시스템 모델에 의한 크레인 사망재해 분석”, 한국안전학회지, vol.22, p.60
- [15] 정병용, 이동경(2019), “현대인간공학(4판)”, 민영사, pp.24,68-72,250-260
- [16] 최찬진(2019), “휴리스틱 평가를 사용한 의료기기 사용자 인터페이스 개선에 관한 연구”, 동국대학교 석사학위 논문, p.22
- [17] Susan Weinschenk, Dean Barker(2000), “Weinschenk and Barker classification”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic\\_evaluation#cite\\_note-11](https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic_evaluation#cite_note-11), Wikipedia
- [18] Wikipedia(2021), “Gerhardt-Powals’ cognitive engineering principles”, [https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic\\_evaluation#cite\\_note-11](https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic_evaluation#cite_note-11), Wikipedia
- [19] Ben Shneiderman(1986), “The Eight Golden Rules of Interface Design”, <http://www.cs.umd.edu/~ben/goldenrules.html>, University of MARYLAND
- [20] Donald A. Norman(2015), “디자인과 인간심리”, 학지사
- [21] 고용노동부(2020), “안전인증·자율안전확인신고의 절차에 관한 고시”, 고용노동부고시 제2020-40호, pp.19-24
- [22] 박재희, 김승희(2017), “산업현장의 천장크레인 조작장치 사용 현황과 인간공학적 문제”, 한국안전학회지, 32(1):90-97
- [23] 박재희(2007), “인간-기계 시스템 모델에 의한 크레인 사망재해 분석”, 한국안전학회지, 22(2):59-66.
- [24] 김은미(2012), “크레인 재해분석을 통한 안전대책 연구”, 서울과학기술대학교 석사학위 논문, pp.94-95
- [25] Safety Ordinance for Cranes(1972), “Crane safety rules(Article 22)”, Ordinance of the Ministry of Labour No.34 in Japan.
- [26] 김학열, 허태영(2010), “산업재해 발생의 상대위험도 분석 및 순환분포 모형 추정”, 서울도시연구, 11(1):128
- [27] 이용석, 정기효(2021), “크레인 안전인증기준에 관한 인간공학적 분석 및 개선”, 대한안전경영과학회지, 23(3):1-10

- [28] 이용석, 정기효(2022), “크레인 작업의 안전성 향상을 위한 작업자 체감 사고 원인 및 특별교육 현황 분석”, 대한안전경영과학회지, 24(1):91-98.
- [29] 필츠코리아(2015), “Certified Machinery Safety Expert(안전제어 시스템의 기능 안전성)”, 필츠코리아
- [30] 김수현(2011), “사용성 향상을 위한 그래픽 유저인터페이스(GUI)디자인에 관한 연구”, 서울과학기술대학교 석사논문, p.3
- [31] 김광현(2015), “사용성 평가를 통한 사용자 안전평가 방법에 관한 연구”, 국민대학교 석사학위 논문, p.14
- [32] Jabcob Nielsen(1994), “Usability engineering”, [S.I.]:Elsevier
- [33] Jabcob Nielsen(1995), “10 usability heuristics for user interface design”, Nielsen Norman Group(<https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics>)
- [34] 조정길(2018), “모바일 앱에서 휴리스틱 평가 방법을 사용한 사용성 평가”, 예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지(JMAHS), 8(6):919-926
- [35] Jill Gerhardt-Powals(1996), “Cognitive engineering principles for enhancing human - computer performance”, International Journal of Human Computer Interaction, 8(2), 189-211
- [36] 김한수(2020), “HCI 기반 모바일 컴포넌트 구조의 사용성 향상을 위한 콘셉트 디자인 제안”, 중앙대학교 박사학위 논문, pp.53-54
- [37] Jeff Sauro(2011), “What’s the difference between a Heuristic Evaluation and a Cognitive Walkthrough?”, <https://measuringu.com/he-cw/>
- [38] 서해영(2018), “도널드 노먼의 감성디자인 관점에서 본 VMD”, 조선대학교 석사학위 논문, p.27
- [39] 신운철(2014), “조선업 위험성평가 실용을 위한 개선방안”, 대한안전경영과학회지, 16(3):273-277.
- [40] 문석인, 장길상(2021), “가상·증강현실을 활용한 체험안전교육의 몰입도가 현장 적용성 및 안전사고예방에 미치는 영향: 조선산업 종사자를 중심으로”, 대한안전경영과학회지, 23(4):31-42.

- [41] KOSHA(안전보건공단)(2018), “크레인 안전관리모델”
- [42] 이병용(2012), “산업용기계류의 안전성 확보를 위한 법 정책적 연구”, 광운대학교 석사학위 논문
- [43] 한국산업표준(2017), “크레인-안전한 사용-제1부: 일반”, KS B ISO 12480-1
- [44] 안태건(2012), “크레인 설비의 안전성 평가에 대한 기초연구”, 인천대학교 석사학위 논문, p.9
- [45] 최기천(2020), “천정 크레인 중대재해 분석에 의한 재해예방에 관한 연구”, 금오공과대학교 석사학위 논문, p.9,29-39
- [46] 김상진(2014), “25톤 오버 헤드 크레인 권상운동의 모델링 및 실험에 관한 연구”, 경상대학교 석사학위 논문, pp.12-18
- [47] 박찬욱(2014), “건설현장 줄걸이 작업안전에 관한 특별안전교육의 개선방안 연구”, 인천대학교 석사학위 논문, pp.61-70
- [48] 박영민(2014), “크레인 중대재해 특성 분석을 통한 안전검사제도의 개선방안”, 영남대학교 석사학위 논문, pp.29-41
- [49] 박재희, 김승희, 이재인, 강신중(2014), “천장크레인 끼임 사고 방지에 관한 연구”, 안전보건공단 산업안전보건연구원 연구보고서, pp.148-164

[부록 1] 안전인증기준 - 인간공학 평가원칙 연관성 분석표

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	풀푸르 프	페일세 이프	
1	재료	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
2	강재의 계산	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
3	강재의 허용응력	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
4	용접부에 걸리는 허용응력값	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
5	허용응력값의 할증	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
6	하중의 종류	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
7	풍하중 및 지진하중	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
8	강도계산에 관한 하중의 구성	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
9	강성의 유지	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
10	처짐한도	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
11	안정도	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
12	고정	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
13	권상장치 등의 브레이크	기계장치	o	-	-	-	-	적합	
14	브레이크	기계장치	x	-	-	-	-	-	
15	드럼 등의 직경	기계장치	x	-	-	-	-	-	

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	플루르 프	페일세 이프	
16	와이어 로프의 감기	기계장치	x	-	-	-	-	-	
17	와이어로프와 드럼 등과의 연결	기계장치	x	-	-	-	-	-	
18	드럼의 강도	기계장치	x	-	-	-	-	-	
19	와이어로프의 안전율	기계장치	x	-	-	-	-	-	
20	체인	기계장치	x	-	-	-	-	-	
21	용접	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
22	조립상태	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
23	원치 등의 설치	기계장치	x	-	-	-	-	-	
24	권과방지장치	안전장치	o	-	-	-	적합	-	
25	권과방지장치의 성능	안전장치	o	미흡	-	-	적합	-	o피드백 : 미흡 -권과방지장치가 작동될 경우 운전수에게 해당 안전 장치의 작동여부를 알려주는 경고등(경보음)은 규정 되어 있지 않음
26	권과를 방지하기 위한 경보장치	안전장치	o	적합	-	-	-	-	
27	과부하방지장치	안전장치	o	일부 미흡	-	-	적합	-	o피드백 : 일부미흡 -과부하방지장치가 작동될 경우 조작자에게 해당 안전 장치의 작동여부를 알려주도록 경고음 작동 -전자식 과부하방지장치(로드셀)는 인양물 무게를 운전자가 알 수 있도록 표시장치 설치필요 -전기식 과부하방지장치는 무게를 표시할 수 없는 대신 정격하중의 90% 이상에서 주의를 요하는 경고등 (경보음) 필요 ex) 3색 경고등

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	플푸르프	페일세이프	
28	안전벨브	안전장치	○	-	-	-	적합	-	
29	회전부분의 방호	안전장치	○	-	-	-	적합	-	
30	주행크레인 경보장치	안전장치	○	일부 미흡	-	-	-	-	○ <b>피드백 : 일부미흡</b> -경보장치 작동은 펜던트 및 리모컨 조작방식의 크레인 인은 예외
31	경사각 지시장치	안전장치	○	적합	-	-	-	-	
32	해지장치	안전장치	○	-	-	-	적합	-	
33	리프팅 마그넷	기계장치	○	적합	-	-	-	적합	
34	컨트롤러	조작장치	○	적합	미흡	미흡	일부 미흡	적합	○ <b>양립성 : 일부미흡</b> -크레인 작동방향과 레버방향이 일치하게 하는 동작 양립성을 준수하게 하는 기준은 별도로 규정하지 않음 -특히 펜던트 스위치와 같은 버튼 방식은 일렬로 배치 되어 있음 -지상에서 조작할 경우 조작자의 방향에 따라 크레인 방향과 횡행 및 주행방향이 달라지는 경우의 구조적 한계도 있음 ○ <b>일관성 : 미흡</b> -조작레버나 버튼에 대한 배치 기준이 없음 ○ <b>플푸르프 : 운전실(일부미흡)</b> -운전실 조작 시 운전자 실수로 레버를 작동할 경우 제로노치 스톱퍼에 의해 작동 방지하나, 작동 중 레버를 놓았을 경우 자동 정지되는 것은 선택사항 으로 되어 있음
35	펜던트 스위치	조작장치	○	-	-	-	적합	-	

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	풀푸르프	파일세이프	
36	레일의 정지기구	안전장치	o	미흡	-	-	일부 미흡	-	<b>o피드백 : 미흡</b> -리미트 스위치 작동될 경우 조작자에게 해당 안전 장치의 작동여부를 알려주지 않음(표시등 또는 작동음) <b>o풀푸르프 : 일부미흡</b> -횡행 및 주행 차륜 정지기구 설치 및 리미트 스위치 설치하나, 횡행리미트 스위치 설치 기준을 횡행속도 48m/min 이상인 경우로 한정하고 있음
37	병렬 설치된 크레인의 충돌방지장치	안전장치	o	적합	-	-	일부 미흡	-	<b>o풀푸르프 : 일부미흡</b> -운전실 조작방식의 크레인은 충돌방지장치를 설치하여 충돌 전 크레인이 정지되나, 펜던트나 리모컨 조작방식 크레인은 해당되지 않음 -갠트릭레인의 경우에는 주행로 상에서 사람과 크레인과의 충돌위험이 있지만 고려하지 않고 있음
38	미끄럼방지 고정장치	안전장치	o	미흡	-	-	미흡	-	<b>o피드백 : 미흡</b> -고정장치가 설치된 경우 크레인 조작자가 알 수 있는 표시등 설치 필요 <b>o풀푸르프 : 미흡</b> -미끄럼방지 고정장치를 설치한 경우 조작자가 이를 인지하지 못하고 크레인을 조작할 경우 크레인 손상 위험이 있으므로 인터록장치 필요
39	주행용 원동기	기계장치	o	미흡	-	-	-	-	<b>o피드백 : 미흡</b> -풍속계 설치기준이 없음
40	통로	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
41	사다리	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
42	계단의 구조	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	플루르 프	페일세 이프	
43	운전실의 설치	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
44	운전실	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
45	운전실 등 권상용 와이어로프	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
46	성능유지	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
47	하중및 동작시험	시험방법	x	-	-	-	-	-	
48	레일	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
49	강구조 부분	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
50	기계장치	기계장치	o	-	-	-	적합	-	
51	윤활장치	기계장치	x						
52	조명장치	전기장치	o	적합	-	-	-	-	
53	표시내용	안내표시	o	적합	-	-	-	-	
54	경고표시	안내표시	o	적합	-	-	-	-	
55	건축물 등의 구조확인 등	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
56	접지	전기장치	o	-	-	-	-	적합	
57	전원 차단장치	전기장치	x						
58	감전 사고 방지	전기장치	o	-	-	-	적합	-	



안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	플루르 프	페일세 이프	
59	배선	전기장치	x	-	-	-	-	-	
60	트롤리선	전기장치	x	-	-	-	-	-	
61	과전류보호	전기장치	o	-	-	-	-	적합	
62	전동기의 과부하 보호	전기장치	o	-	-	-	-	적합	
63	이상온도 보호	전기장치	o	-	-	-	-	적합	
64	등전위접지	전기장치	x	-	-	-	-	-	
65	절연저항	전기장치	x	-	-	-	-	-	
66	방폭 전기기계 기구	전기장치	o	-	-	-	적합	-	
67	제어회로 및 제어기능	전기장치	x	-	-	-	-	-	
68	운전모드	안전장치	o	적합	-	-	-	-	
69	비상정지장치	안전장치	o	미흡	-	적합	-	적합	o피드백 : 미흡 -비상정지장치가 작동되었음을 알려주는 표시기능은 규정하지 않고 있음
70	부식성 장소 등의 전기기계·기구	전기장치	x	-	-	-	-	-	
71	조작버튼 및 전선색상	전기장치	o	-	-	적합	-	-	
72	표시	안내표시	o	-	-	적합	-	-	

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	플루르 프	페일세 이프	
73	경고 표시	안내표시	o	적합	-	-	-	-	
74	시험	시험방법	x	-	-	-	-	-	
75	재료	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
76	강재의 계산	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
77	강재의 허용응력	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
78	용접부에 걸리는 허용응력값	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
79	허용응력값의 할증	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
80	하중의 종류	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
81	풍하중	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
82	강도계산에 관한 하중의 구성	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
83	강성의 유지	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
84	안정도	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
85	권상장치 등의 브레이크	기계장치	o	-	-	-	-	적합	
86	브레이크	기계장치	x	-	-	-	-	-	
87	드럼 등의 직경	기계장치	o	-	-	-	-	적합	
88	와이어로프 감기	기계장치	x	-	-	-	-	-	
89	와이어로프와 드럼 등과의 연결	기계장치	x	-	-	-	-	-	

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	플루르 프	페일세 이프	
90	드럼의 강도	기계장치	x	-	-	-	-	-	
91	이동식 크레인의 와이어로프 안전율	기계장치	x	-	-	-	-	-	
92	체인	기계장치	x	-	-	-	-	-	
93	용접	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
94	조립상태	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
95	원치등의 설치	기계장치	x	-	-	-	-	-	
96	권과방지장치	안전장치	o	-	-	-	적합	-	
97	권과방지 장치의 성능	안전장치	o	미흡	-	-	적합	-	o피드백 : 미흡 -권과방지장치가 작동될 경우 조작자에게 해당 안전 장치의 작동여부를 알려주는 경고등(경보음)은 규정 되어 있지 않음
98	과부하방지장치	안전장치	o	적합	-	-	적합	-	
99	전도방지 장치	안전장치	o	적합	-	-	적합	-	
100	정격용량 지시장치	안전장치	o	적합	-	-	-	-	
101	유압 계통	기계장치	o	-	-	-	-	적합	
102	회전부분 등의 방호	안전장치	o	-	-	-	적합	-	
103	경사각지시장치	안전장치	o	적합	-	-	-	-	
104	수평지시 확인장치	안전장치	o	적합	-	-	-	-	

안전인증기준			연관성 여부	인간공학 원칙					내 용
조항	구분	분야		피드백	양립성	일관성	플루르 프	파일세 이프	
105	해지장치	안전장치	o	-	-	-	적합	-	
106	리프팅 마그넷	기계장치	o	적합	-	-	-	적합	
107	제어장치	조작장치	o	적합	미흡	적합	적합	적합	o양립성 : 미흡 -크레인 작동방향과 레버방향이 일치하게 하는 동작 양립성을 준수하게 하는 기준은 별도로 규정하지 않음
108	성능유지	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
109	하중 및 동작시험	시험방법	x	-	-	-	-	-	
110	강구조 부분	크레인 구조	x	-	-	-	-	-	
111	기계장치	기계장치	x	-	-	-	-	-	
112	선회부 장치	기계장치	x	-	-	-	-	-	
113	붐의 구조	기계장치	x	-	-	-	-	-	
114	윤활장치	기계장치	x	-	-	-	-	-	
115	조명장치	전기장치	x	-	-	-	-	-	
116	표시내용	안내표시	o	적합	-	-	-	-	
117	경고표시	안내표시	o	적합	-	-	-	-	
118	기계적 안전장치	안전장치	o	-	-	-	적합	-	
119	비상정지장치	안전장치	o	미흡	-	적합	-	적합	o피드백 : 미흡 -비상정지장치가 작동되었음을 알려주는 표시기능은 규정하지 않고 있음

## 크레인 안전성 확보를 위한 인적요인 개선방안에 관한 설문조사

먼저 설문조사에 참여하여 주셔서 진심으로 감사드립니다.

본 설문은 '크레인 안전성 확보를 위한 인적요인 개선방안'을 연구하기 위해 크레인 작업 관계자를 대상으로 실시하고 있습니다.

본 설문은 무기명으로 이루어지며, 여러분이 응답하신 내용은 연구목적 이외의 용도로 사용되지 않을 것을 약속드립니다.

여러분의 응답 하나 하나가 산업재해예방과 안전보건관리에 보다 실효성 있고 효과적인 방안을 위한 연구에 귀중한 자료가 되오니 성심, 성의껏 답변하여 주시면 감사하겠습니다.

2021년 12월

울산대학교 대학원 산업경영공학과  
연구 담당자 : 이 용 석



**【7번 문항에서 ①번을 선택한 분만 작성】**

7-1. 크레인 고장(결합)이나 안전장치 미작동 등 기계적 요인 중 가장 큰 문제는 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 와이어로프(벨트) 손상이나 구동(제동)장치, 전기장치의 고장이 잦음
- ② 크레인 속도나 제동장치 성능이 작업조건에 맞지 않음
- ③ 안전장치 고장이 잦아 신뢰성이 떨어짐
- ④ 현재의 안전장치는 작업자 안전을 확보하기에는 충분하지 못함
- ⑤ 기타 의견 ( )

**【7번 문항에서 ②번을 선택한 분만 작성】**

7-2. 크레인 조작 또는 줄걸이방법 미숙, 안전수칙 미준수 등 인적요인 중 가장 큰 문제는 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 크레인조작, 줄걸이방법, 안전에 대한 형식적인 교육으로 역량부족
- ② 안전수칙을 준수하면 작업공정을 맞추기 힘든 작업여건
- ③ 위험에 대한 안이한 작업태도
- ④ 작업장소나 작업상황이 수시로 변하여 익숙하지 못함
- ⑤ 기타 의견 ( )

**【7번 문항에서 ③번을 선택한 분만 작성】**

7-3. 중량물 작업계획서 미작성, 작업지휘자 부재 등 관리적 요인 중 가장 큰 문제는 무엇이라고 생각하십니까?

- ① 크레인 작업에 대한 중량물 작업계획서를 수립하여 운용하지 않음
- ② 관리감독자 등 작업지휘자의 현장 부재
- ③ 크레인 작업안전표준, 위험성평가 미흡
- ④ 크레인 및 줄걸이 용구(와이어로프, 슬링벨트) 점검관리 소홀
- ⑤ 기타 의견 ( )

[크레인 작업자를 위한 제도개선의 필요성]

- 산업안전보건법에는 크레인작업에 대한 자격과 교육을 다음과 같이 규정하고 있습니다.
- ▶ (운전실)천장크레인, 타워크레인, 이동식크레인의 **운전자는 자격(면허)**을 갖추어야 함  
 다만, **펜던트 또는 리모컨 크레인을 조작하거나 줄걸이 작업**(신호업무 포함)의 경우에는 별도의 자격을 요구하지 않음
  - ▶ 크레인 작업자는 **16시간의 특별교육**을 받아야 함

8. 귀하는 크레인 조종 자격(면허)을 가지고 있습니까?

- ① 있다    ② 없다

- 자격(면허)가 있다면 무엇입니까? (                                  )

9. 귀하가 크레인작업을 위해 받은 특별교육 시간은 얼마입니까?

- ① 2시간 이내    ② 3~4시간    ③ 5~8시간    ④ 8~16시간    ⑤ 16시간 이상

10. 귀하가 크레인작업을 위해 받은 특별교육은 어떠하였습니까?

- ① 크레인 작업에 대한 체계적인 교육과정(크레인 구조와 안전장치, 점검 및 조작방법, 줄걸이 작업방법, 사고사례 등)은 없었으나, 크레인 교육교재로 이론교육을 받은 후 현장에 투입되어 작업하면서 익혔다
- ② 크레인 작업에 대한 체계적인 교육과정은 없었으나, 크레인 교육교재로 이론교육 및 작업현장에서 실습교육을 모두 받은 후 현장에 투입되었다
- ③ 크레인 작업에 대한 체계적인 교육과정이 있고, 다만 크레인 전문강사가 아닌 안전관리자(관리감독자)를 통한 이론교육 및 작업현장에서 실습교육을 받은 후 현장에 투입되었다
- ④ 크레인 작업에 대한 체계적인 교육과정이 있고, 크레인 전문강사를 통한 이론교육 및 작업현장에서 실습교육을 받은 후 현장에 투입되었다
- ⑤ 크레인 작업에 대한 체계적인 교육과정 및 크레인 실습교육장을 갖추고, 크레인 전문강사를 통한 이론교육 및 실습교육을 받은 후 현장에 투입되었다



11. 귀하는 귀하의 사업장에서 크레인 작업안전을 위한 특별교육이 적절하게 이루어지고 있다고 생각하십니까?

- ① 전혀 그렇지 않다 ② 그렇지 않다 ③ 보통이다 ④ 그렇다 ⑤ 매우 그렇다

12. 귀하는 귀하의 사업장에서 크레인 작업안전을 위한 교육을 실시하기에 교육시설과 강사, 훈련프로그램이 충분히 갖추어져 있다고 생각하십니까?

- ① 전혀 그렇지 않다 ② 그렇지 않다 ③ 보통이다 ④ 그렇다 ⑤ 매우 그렇다

13. 귀하는 일반 사업장에서 크레인 작업안전을 위한 특별교육이 적절하게 이루어지고 있다고 생각하십니까?

- ① 전혀 그렇지 않다 ② 그렇지 않다 ③ 보통이다 ④ 그렇다 ⑤ 매우 그렇다

14. 귀하는 일반 사업장에서 크레인 작업안전을 위한 교육을 실시하기에 교육시설과 강사, 훈련프로그램이 충분히 갖추어져 있다고 생각하십니까?

- ① 전혀 그렇지 않다 ② 그렇지 않다 ③ 보통이다 ④ 그렇다 ⑤ 매우 그렇다

15. 귀하는 크레인 작업자에게 실시되는 특별교육이 작업자에게 실제적인 도움이 되도록 체계적인 교육과정과 실습교육장을 구비하여 크레인 전문강사를 통해 실시될 필요가 있다고 생각하십니까?

- ① 전혀 그렇지 않다 ② 그렇지 않다 ③ 보통이다 ④ 그렇다 ⑤ 매우 그렇다

16. 귀하는 현재 사업장에서 자체적으로 실시되고 있는 크레인 특별교육을 사고예방 효과를 높이기 위해 일정 자격을 갖춰 인정받은 교육기관이나 사업장 소속 교육센터에서 실시하도록 하는 제도개선이 필요하다고 생각하십니까?

- ① 전혀 그렇지 않다 ② 그렇지 않다 ③ 보통이다 ④ 그렇다 ⑤ 매우 그렇다

끝.

---

설문조사에 참여해 주셔서 대단히 감사드립니다.

## Abstract

Crane is a representative machine for carrying heavy goods, and crane work is at high risk of accidents due to the nature of work that requires workers to fasten the heavy goods directly with slinging tools and move them together during transport. In the past five years (2013–2017), 185 deaths and 3,556 casualties were caused by accidents in crane work, which is very high compared to other machines. This is because crane work is the main work of heavy cargo transportation, and if an accident occurs, it is likely to lead to a major accident.

Crane belongs to the human–mechanical system and is a partial safety machine that requires the normal operation of the safety device and the operator’s attention and proficiency for safe crane operation. To improve the safety of these crane operations, human errors should be minimized as much as possible, and for this, it is necessary to consider ergonomic principles from the design stage of the crane. In addition, it is required to strengthen human factors for drivers and slinging workers participating in crane work.

Crane is classified as a dangerous machine and instrument under the Occupational Safety and Health Act and is subject to safety certification at the design and manufacturing stage of cranes, but it is insufficient to prevent accidents because safety measures considering human characteristics are not sufficiently reflected. Therefore, it is necessary to review the safety certification criteria through ergonomic conformity analysis.

As for crane operators, the crane driver’s qualification applies only to cranes with driving rooms, and the majority of cranes that are pendant or remote control operation methods do not require a separate driver’s qualification. Furthermore, the heavy goods are handled by the side, so that slinging workers at high risk of accidents are not required to be qualified, and crane work is possible after receiving special education conducted by the employer. Special education is important for the safety of crane workers, but most workplaces do not have proper educational facilities or professionals to systematically conduct crane education and are conducted

formally. While the safety of crane work is still threatened due to the risk of crane facilities and the limitations of the system, this study conducted an analysis of related systems and workers, such as crane safety certification standards, to obtain effective safety improvement measures for crane work.

First, five types of ergonomic evaluation principles (feedback, consistency, compatibility, pull-proof, fail-safe) were selected by examining the heuristic principles for the ergonomic analysis of safety certification criteria applied to crane facilities. And problems and improvement measures were derived through analysis of the association with the ergonomic evaluation principle of the crane safety certification standard.

Crane safety certification standards consist of a total of 119 provisions for seven fields, including mechanical devices, electrical devices, and safety devices, and 50 of them were classified as subject to ergonomic evaluation. In detail, a total of 28 provisions were applied to the feedback principle, and 22 and 14 provisions were found to be related to the full-proof and fail-safe principles, respectively. As for the consistency principle, six provisions were applied in the field of safety devices and operating devices, and as for the compatibility principle, two provisions of the crane operating device were applied. As a result of applying the ergonomic evaluation principles to these provisions, a total of 16 provisions were found, including 9 feedback, 2 compatibility, 1 consistency, and 4 full-proof provisions.

Next, in this study, through a survey of crane drivers and slinging workers, the causes of accidents felt by workers and problems with special education and qualification systems were identified. The survey was conducted on 387 crane workers in 25 companies, including 8 major shipbuilders in Korea. As a result of questioning the main causes of crane accidents, 79% of the respondents pointed to human factors such as failure to comply with safety rules, poor crane operation, and poor slinging work.

According to the analysis of the workplace education environment for workers, only 16.7% (61 people) of special education conducted under the Occupational Safety and Health Act received theoretical and practical education through professional instructors, and the majority received theory-oriented education without systematic or professional instructors. As a result, 71% (269 people) said that special education should be conducted

through properly qualified educational institutions or educational centers in the workplace, about 9 times more than 7.9% (30 people) said that it was not. Therefore, it was confirmed that it was necessary to strengthen human factors through the improvement of the training method and qualification system for the existing slinging work and crane operation (pendant, remote control operation).

It is hoped that this study will help improve and develop crane safety by reviewing the ergonomic conformity of safety certification standards and improving education and qualification system to improve the skill and safety of crane drivers and slinging workers.

※ **Keywords** : Crane, human-machine system, partial safe machinery, human error, safety certification standards, ergonomic evaluation principles, crane drivers and slinging workers, special education and qualification systems