

# 인간-기계 시스템 모델에 의한 크레인 사망재해 분석

박재희<sup>†</sup> · 박태주\* · 임현교\*\* · 서은홍\*\*\*

한경대학교 안전공학과 · \*한경대학교 안전공학과

\*\*충북대학교 안전공학과 · \*\*\*한국산업안전공단

(2007. 3. 10. 접수 / 2007. 4. 12. 채택)

## Analysis of Crane Accidents by Using a Man-Machine System Model

Jae Hee Park<sup>†</sup> · Taejoo Park\* · Hyun Kyo Lim\*\* · Eun Hong Seo\*\*\*

Department of Safety Engineering, Hankyong National University

<sup>†</sup>Department of Safety Engineering, Graduate School of Technology, Hankyong National University

\*\*Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

\*\*\*Korea Occupational Safety and Health Agency

(Received March 10, 2007 / Accepted April 12, 2007)

**Abstract :** As the need of handling heavy materials increases, various cranes are used in industries. However, the effectiveness of crane also entails industrial accidents such as falling, constriction etc. In fact, the number of fatal accidents caused by crane is still high in Korea. To find out the causes of the accidents in terms of human error, we developed a man-machine system model that consists of two axes; human information processing and crane life cycle. In the human information processing dimension, we simplified it as five functions; sensing and perception, decision making and memory, response etc. In the crane life cycle dimension, we divided it into nine phases; design, production, operation etc. For the 152 fatal accident records during 1999-2006 years, we classified them into 45 cells made by two axes. Then we identified the preceding causes of the classified crane accident based on performance shaping factors. As the results of statistical analysis, the overall trend of crane fatal accidents was described. For the cause analysis, wrong decision making in work plan phase shows the highest frequency. Next, the poor information input in crane operation followed in accident frequency. In ergonomics view, the problems of interface design in displays and controls made 11.8% of fatal accidents. Following the analysis, several ergonomic design guidelines to prevent crane accidents were suggested.

**Key Words :** crane, man-machine system, life cycle, fatal accidents, information process

### 1. 서 론

크레인이란 훅(hook)이나 기타의 달기기구를 사용하여 하물의 권상과 이송을 목적으로 일정한 작업 공간 내에서 반복적인 동작이 이루어지는 기계를 말한다<sup>1)</sup>. 중량물을 취급하는 산업현장에서 크레인의 사용은 필수적이라, 산업현장의 조건 별로 다양한 종류의 크레인들이 사용되고 있다.

크레인은 구조, 형상, 용도 등에 따라 다양하게 분류될 수 있으나, 구조와 운동방식에 의해 천장크

레인(overhead crane), 타워크레인(tower crane), 지브크레인(jib crane), 갠트리크레인(gantry crane), 케이블크레인(cable crane), 이동식크레인(crawler crane), 그리고 호이스트(hoist)로 나눌 수 있다. 본 연구에서도 이러한 분류체계를 사용하였다.

이런 크레인들은 용도에 따라 서로 다른 것들이 사용되나, 높은 곳에 설치되어 동력으로 중량물을 들어 올려 이송한다는 점에서 낙하, 추락, 협착과 같은 재해에 대한 높은 위험성을 내포하고 있다. 통계 데이터로도 이러한 위험성은 쉽게 파악된다.

1996년 이후 2005년까지 10년 동안 산업재해로 인한 사망자수는 1998년 IMF 경제위기를 전후해 약간 감소하다가 다시 증가하는 추세를 보이고 있다. 전

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
maro@hknu.ac.kr

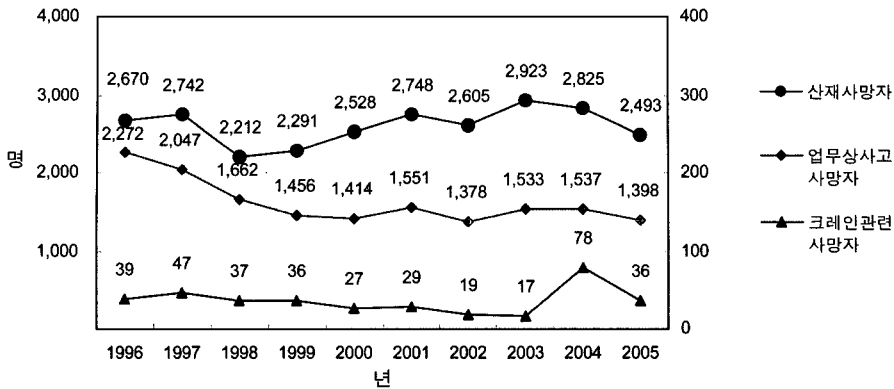


Fig. 1. Trend of fatal accidents caused by crane.

체 산업재해 사망사고 중 업무상 사고로 인한 사망 사고는 그래도 꾸준히 감소하고 있는 추세에 있다. 이에 대해 크레인이 기인물이 되어 발생한 사망재해자 수는 감소하는 추세에 있다가 2004년 78명으로 크게 증가했고 2005년에도 36명의 사망재해자가 발생했다(Fig. 1. 참조)<sup>2)</sup>.

이는 기인물별 재해원인 분석에서 단일 기계설비로는 가장 높은 위험성을 나타내는 것이다. 이와 같은 지적은 기도형과 감원기에 의한 경남, 부산지역의 크레인 사망재해 사고 분석에서도 지적이 되고 있다<sup>3)</sup>.

이와 같은 크레인 재해를 예방하기 위해서는 무엇보다도 크레인 재해와 관련한 체계적인 조사 데이터의 수집이 선행되어야 하고 이를 통한 원인분석이 이루어져야 한다. 그러나 노동부가 집계하는 산업재해 현황분석보고서와 산업안전공단이 부상재해의 10%, 사망재해에 대해 전수 조사하는 산업재해원인보고서는 거시적 관점에서의 원인은 파악할 수 있으나 그것만으로 개별 기계에 대한 원인을 파악하고 이에 대한 대책을 수립하기에는 부족하다<sup>4)</sup>.

특히 대부분의 사고가 휴먼에러(human error) 혹은 불안정한 행동이 수반하여 발생하고 있기에, 이들을 포함한 구체적인 사고 원인을 알아보기 위해서는 일반적 통계분석만으로는 부족하다.

이에 본 연구에서는 사고 분석을 위한 새로운 접근 방법으로 인간-기계 시스템(man-machine system) 분석 모델을 제안하였다. 이 모델에서는 인간의 정보처리 단계와 시스템의 생애주기(life cycle)를 두 개의 축으로 설정하여 사고의 원인을 밝히게 된다. 본 연구에서 이를 크레인에 적용해 개발한 모델은 다음과 같다.

## 2. 인간-기계 시스템 모델 개발

### 2.1. 인간-기계 시스템

산업 현장의 대부분 작업은 인간 작업자와 도구 혹은 기계와의 상호작용에 의해 이루어진다. 크레인 작업도 운전자와 크레인의 상호작용에 의해 작업이 이루어지는 인간-기계 시스템의 하나이다. 한편, Wickens는 인간-기계 시스템에서의 인간의 정보처리 과정을 크게 감각(sensing), 지각(perception), 기억(memory), 의사결정(decision making), 반응(response), 주의력(attention) 등의 단계로 나누어 설명하고 있다<sup>5)</sup>.

이를 크레인에 단순화시켜 적용해보면 운전원(operator)은 우선 표시장치(display)를 통해 정보를 감지(sensing and perception)하게 된다. 이후 지각된 정보를 기존의 기억과 비교하여 의사결정을 하는 정보처리 단계를 거치게 된다. 정보처리가 끝나면 운전원은 조작장치(controller)를 사용하여 조작 혹은 반응을 하게 된다(Fig. 2 참조).

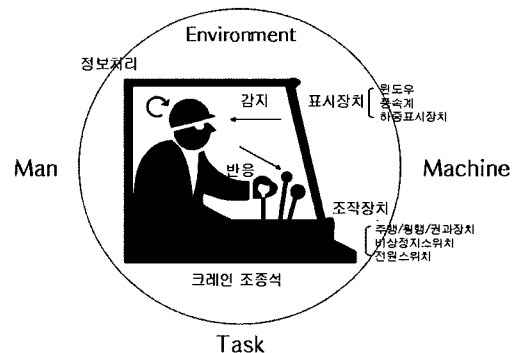


Fig. 2. Man-machine system of crane operation work.

이러한 인간-기계 시스템 모델은 일련의 정보처리 과정에서의 단계별 휴먼에러(human error)를 분석함에 있어 매우 효과적이다.

### 2.2. 크레인의 생애주기

모든 제품이나 시스템은 설계, 제작, 설치, 운용, 폐기 등의 생애주기(life cycle)를 갖는다. 크레인도 수요자에 의해 주문되어 설계되고 제작된다. 제작된 크레인은 현장에 설치되어 시운전이 이루어진다. 시운전이 끝나면 크레인은 작업 과정에 운용(operation) 된다. 중간에 고장이 나거나 예방보전을 위한 점검 등의 활동이 일어나고, 소기의 작업이 끝나거나 노후화 되면 크레인은 해체, 또는 폐기된다.

그런데 크레인 관련 사고는 운전 중에만 발생하는 것이 아니라, 설치, 점검, 폐기 등의 과정에서도 자주 발생한다. 따라서 크레인 사고 예방을 위해서는 운전 과정뿐만이 아니라 이러한 생애주기 전체에 걸친 사고분석이 요구된다. 또한 사고 예방 대책 수립에 있어서도, 생애주기 상에서 사고가 발생한 단계에서의 대책뿐만이 아니라 많은 경우 선행 단계에서의 대책 수립이 요구된다. 일례로 운전 중에 크레인 조종 스위치의 설계가 인간의 정보처리 스테레오타입(stereotype)과 다르게 되어 있다면 이에 대한 대책은 운전 단계에서의 운전원의 주의 요구나 교육만으로는 한계가 있고 설계 단계에서의 대책이 요구되는 것이다.

따라서 어떤 기계나 설비의 산업재해 사고에 대한 분석과 예방에 있어 이러한 생애주기적 관점을 취하는 것은 매우 유용하다고 할 수 있다. 이는 크레인에도 똑같이 적용되는 바이다. 이에 본 연구에서는 크레인의 생애주기와 인간-기계 시스템 모델을 결합한 사고 분석 모델을 개발하였다<sup>6)</sup>.

### 2.3. 분석 모델 개발

본 연구에서는 인간-기계 시스템 모델의 정보처리 단계로서 Wickens의 모델을 참조하였으나, 현행 산업재해조사표에 기록되는 조사 내용이 인간의 모든 정보처리 단계를 상세하게 구분할 수 있는 수준으로 서술되어 있지 않아서 단순화했다. 단순화된 정보처리 단계는 1. 감지, 2. 기억·회상, 3. 판단·계획, 4. 행동, 5. 주의력으로 나누었다<sup>6)</sup>.

생애주기도 크레인 종류별로 약간씩 다르게 나타날 수 있다. 예를 들어 이동식 크레인은 다른 크레인과 다르게 운용단계에서 항상 이동이라는 작업을 포함한다. 건설현장의 타워크레인은 다른 크레인에 비해 해체, 재설치 등의 과정을 갖는다. 이런 상이점을 포함하면서도 전체 크레인을 포괄할 수 있도록 생애주기는 1. 설계, 2. 제조, 3. 설치, 4. 시운전, 5. 작업계획, 6. 운용, 7. 예방점검, 8. 사후보전, 9. 해체·이동·폐기 등 9단계로 나누었다<sup>6)</sup>. 필요시 각 단계는 하부에서 더 나누어 사용할 수 있도록 했다. 이런 두 개의 분석 축을 결합해 5×9개의 셀(cell)을 갖

수명주기 검토사항		시스템 설계 및 설치				시스템 운용 및 폐기				
		설계	제조	설치	시운전	작업 계획	운용	예방 점검	사후 보전	해체 이동 폐기
		LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	LC-6	LC-7	LC-8	LC-9
정보처리과정	I-1	감지								
	I-2	회상, 기억								
	I-3	판단, 계획								
	I-4	행동								
	I-5	사후 확인								
행동형성요인	P-1	인간								
	P-2	기계, 도구								
	P-3	방법								
	P-4	환경								
	P-5	관리 조직								
관계변수지침	A-1	법규								
	A-2	지침 (원)								
	A-3	지침 (추가)								
	A-4	자격 (원)								
	A-5	자격 (개정)								

Fig. 3. Analysis table of a man-machine system model.

는 분석표를 개발하였다(Fig. 3 참조). 여기에 추가로 행동형성요인(PSF; Performance Shaping Factors)과 각 생애주기 단계별로 관계되는 법규나 지침을 파악할 수 있도록 했다.

이러한 분석표를 사용하여 크레인 사고에 적용한 예를 Fig. 4에 나타내었다. 이 사고는 크레인 운전자가 펜던트스위치(pendant switch)를 조작하여 작업을 시도하던 중, 방향 조작 스위치를 혼돈하여 본인에게 중량물이 이송되어 충돌하여 부상을 당한 사고이다. 이러한 사고는 자주 발견되는 사고 사례 중의 하나이다. 이 사고를 개발된 분석표를 이용하여 분석하면 다음과 같다.

사고는 크레인 운용 과정 중 운전 단계에서 발생했다. 운전원은 정보처리 단계 중 판단과 계획 과정에서 스위치의 조작 방향을 혼돈하는 에러를 범했고, 사고결과 중량물과의 충돌로 인해 운전원 자신이 부상을 입었다. 이 사고 발생의 원인이 된 행동을 하게 한 행동형성요인으로는 기계·도구 상의 요인으로 펜던트 스위치 조작 버튼의 양립성(compatibility) 문제를 들 수 있다. 실제 버튼의 라벨에 전, 후, 좌, 우로 표시하는 경우 운전원의 위치에 따라서 레이블의 표시방향과 조작방향이 달라서 운전

자가 착각해 반대로 조작해 사고가 발생할 수 있다. 이러한 버튼의 양립성 문제는 운용 단계에서 교육이나 운전원의 주의력에 의해 사고를 예방하는 것은 한계가 있다. 이 문제는 운용의 선행단계인 설계 단계에서부터 버튼의 레이아웃(layout)을 개선해야 할 것이다. 그러나 현재 국내에는 버튼의 레이아웃에 대한 어떠한 법규나 지침이 마련되어 있지 않아 이에 대한 제정이 필요하다는 것을 본 분석표를 통해 지적할 수 있다.

이와 같은 방식으로 크레인과 관련된 산업재해를 분석한다면 휴먼에러 발생의 단계와 행동형성요인 파악에 의한 예방대책 수립이 체계적으로 이루어질 수 있다.

### 3. 크레인 사고분석

#### 3.1. 일반 분석결과

본 연구에서 개발한 모델에 적용한 데이터는 2006년 6월 30일 시점에서 산업안전공단 홈페이지(www.kosha.net)에서 게시되어 있는 전체 크레인 관련 사망재해 152건을 대상으로 하였다. 이 사고들은 1999년에서 2006년 사이에 발생한 사고들이었다. 사망

검토사항	수명주기	설계 및 설치					운용 및 폐기										
		설계	제조	설치	시운전	작업 계획	운용						예방 점검	사후 점검	해체 이동 폐기		
		LC-1	LC-2	LC-3	LC-4	LC-5	LC-6	LC-7	LC-8	LC-9							
정보처리과정	I-1 감지																
	I-2 회상, 기억																
	I-3 판단, 계획																
	I-4 행동																
	I-5 사후 확인																
행동형성요인	P-1 인간																
	P-2 기계, 도구																
	P-3 방법																
	P-4 환경																
	P-5 관리 조직																
관계법규사항	A-1 법규																
	A-2 지침 (행)																
	A-3 자률 (목/개량)																
	A-4 자격 (최)																
	A-5 자관 (목/개량)																

Fig. 4. Sample of a crane accident by using the man-machine system analysis table.

재해조사 보고서를 대상으로 한 것은 중대재해가 아닌 부상 등의 사고는 산업재해조사표가 너무 간단하여, 본 연구에서 제안하고 있는 인간 정보처리 단계를 파악하기가 힘들었기 때문이다. 반면에 사망재해조사 보고서는 상대적으로 자세한 내용이 담겨져 있어 인간 정보처리 과정에서의 휴먼에러 내용과 크레인 생애주기의 단계를 파악할 수 있었다.

각 사고의 내용을 파악하고 분류하는 방법은 다음과 같이 했다. 우선, 사고의 내용을 읽고, 사고가 크레인 운전 중에 났는지, 점검 중에 났는지, 혹은 설치 중에 났는지 등 생애주기의 단계를 파악한다. 이는 비교적 명확하게 파악되었다. 다음 그 사고의 주원인을 제공한 작업자를 대상으로 정보처리의 어느 과정에 가장 문제가 있었는지를 판단해 사고를 분류했다. 예를 들어 운전 중 주변작업자를 볼 수 없어서 사고가 발생했다면 이는 감각·지각 단계로 분류되도록 했다. 이런 방법을 적용해 152건의 사망사고에 대한 일반적 분석 결과는 다음과 같다.

사고의 원인을 제공한 작업자의 정보처리 과정 별로 사망 사고를 분류, 분석해 Fig. 5에 나타내었다. 분석 결과 크레인 사망사고의 경우 작업자의 판단·계획 단계에서의 사고 발생 비율(46.7%)이 가장 높았다. 다음으로 행동(26.3%), 감지(19.7%), 회상·기억(7.2%) 단계에서 휴먼에러가 발생한 것으로 나타났다. 판단·계획 단계에서의 휴먼에러는 운전원이 대상물까지의 거리 판단을 잘 못하거나, 줄걸이원이 줄걸이 방식에 대한 판단을 잘 못한 경우의 에러들이다. 행동 단계의 휴먼에러는 판단·계획까지는 제대로 하였으나, 컨트롤러 등을 조작하는 과정에서 비숙련 등으로 인해 오조작이 발생하는 것과 같은 형태의 에러이다. 감지 단계의 에러는 크레인 조종석의 시야범위가 좁아 주변의 작업자를 볼 수 없어 조작에 의한 충돌 등이 발생했을 경우의 에러이다. 회상·기억의 에러는 점검원이 점검작업에 들어간 사실을 잊고서 운전원이 운전을 하다 점검원을 사망케 하는 경우의 에러가 그 예이다.

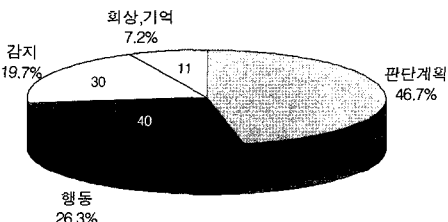


Fig. 5. Ratio of human errors on information processing stages.

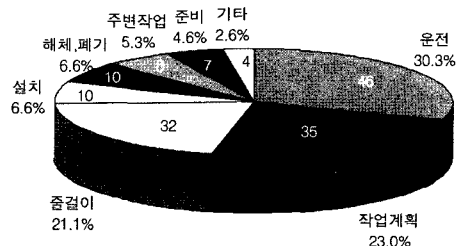


Fig. 6. Ratio of human errors on stages of life cycle.

크레인의 생애주기 별로 분석하면, 운전(30.3%)과 작업계획(23.0%)이 전체의 53.3%로 큰 비중을 차지하고 있다. 다음으로는 운용과정 중 줄걸이(21.1%) 단계가 높았다. 운용 중인 아닌 설치, 해체 등의 단계에서도 13.6%의 사망사고가 발생하였다(Fig. 6 참조).

인간의 정보처리 단계와 크레인 생애주기 2축을 결합해 이에 대한 사망사고 빈도를 분석해보면 Fig. 7과 같다. 전체적으로는 판단·계획상의 오류가 많지만 운전 작업에서는 감지(21건)와 행동(14건) 등이 판단·계획(8건)보다 더 많다는 것을 알 수 있다. 즉 크레인 운전 작업의 경우에는 추론 등의 고도의 판단과 계획 등이 요구되는 것은 아니므로, 오히려 주변 작업자를 감지 못하거나 조작 상의 오류로 인한 사고가 더 많다고 할 수 있다.

크레인 작업의 경우 운전원, 신호수, 줄걸이원, 감독자 등이 협동하여 작업이 이루어지고, 경우에 따라서는 크레인 작업과 무관한 주변작업자들이 사고의 피해를 입을 수도 있다. 따라서 사고에 의한 피해자가 어떤 작업을 수행하고 있었는지 알아보는 것

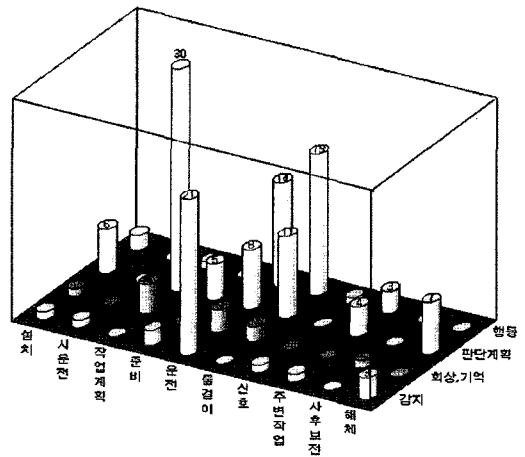


Fig. 7. human errors on the two axes of human information processing and life cycle.

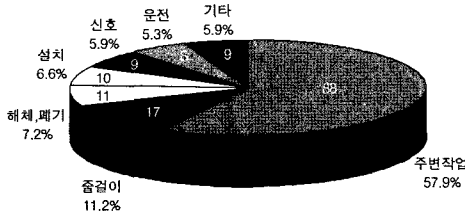


Fig. 8. Ratio of victims' work stage when they were injured.

이 필요하다. 분석 결과 크레인 사고에 의한 사망자들은 운전원보다 크레인 작업과 무관한 작업을 수행하던 주변작업자(57.9%)들이 더 많이 사고의 피해를 입은 것으로 나타났다. 다음으로는 중량물에 가장 가까이 위치할 수밖에 없는 줄걸이원(11.2%)이 높았다. 크레인이 운용 중인 아닌 설치, 해체 등의 단계에서도 합계 13.8%의 사망사고가 발생하였다 (Fig. 8 참조).

### 3.2. 사고원인 분석

사고 발생을 일으킨 휴먼에러에 대해 이를 나타 내게 한 행동형성요인을 분석하면 사고의 원인을 파악하고 이를 통해 사고 예방 대책도 수립할 수 있다. 그런데 개별 사고에 대해서는 사고가 있도록 한 행동형성요인을 파악하는 것이 매우 어렵다. 이는 사고 당시의 기계, 작업자, 작업 상황 등에 대한 종합적 조사가 이루어져야 하나 현행 사망재해조사 보고서로도 이는 파악하기가 어렵기 때문이다. 따라서 여기에서는 포괄적으로 사고의 원인을 분류하고 이에 대한 분석을 시도하였다(Table 1 참조).

152 건의 사망사고를 분석한 결과 순수하게 인간-기계 시스템 상의 운전원과 관련한 원인으로 분류될 수 있는 것으로는 불충분한 시야와 컨트롤러 등의 오조작을 들 수 있다. 시야가 문제가 된 경우

는 12건, 오조작이 문제가 된 경우는 6건으로 전체의 11.8%를 차지하고 있다. 조종실에서 크레인 조종 시 윈도우 등의 제한으로 주변작업자나 물체를 볼 수 없어 발생한 사고들이 이에 해당된다. 또한 컨트롤러의 레이아웃 상의 문제 등으로 인해 오조작을 해서 발생한 사고들도 이에 해당된다.

작업자들 간의 작업에 대한 협의나 통신상의 문제가 원인이 되어 발생한 사고도 각각 6.6%와 2.0%를 차지했다. 이런 사고들로는 점검 작업에 대해 점검원과 운전원 간의 협의 과정이 없었거나 이를 기억하지 못한 경우 발생한다. 운전원과 신호수 간의 수신호 전달이나 통신 메시지에 대한 오해 등의 문제로 인해 사고가 발생하기도 한다.

그러나 사고의 원인을 가장 많이 제공한 경우는 줄걸이 상의 방법이나 규정을 위반해 발생한 사고로 전체의 32.9%를 차지했다. 그 밖에 기계구조적인 문제가 18.4%, 작업자들의 지식과 판단 상의 문제가 13.8%를 차지했다.

### 3.3. 사고예방 대책

이러한 사고 분석 결과를 통해 인간-기계 시스템 모델 관점에서의 사고 예방 대책을 수립하였다. 사고예방대책은 본 논문에서 제시된 통계분석, 크레인 작업장 현장조사, 크레인 관련 작업자에 대한 설문조사, 설계자들에 대한 인터뷰, 국내외 규격과 지침에 대한 조사를 종합하여 설계상의 대책과 운용상의 대책으로 나누어 수립하였다<sup>9)</sup>. 여기에서는 설계상의 대책을 중심으로 대표적인 사고예방 대책을 몇 가지 제시하였다.

#### 시야와 표시장치

크레인 운전원의 시야 확보가 불충분할 경우 사고가 발생하기 쉽다. 운전석의 시야를 확보하기 위해서는 운전원이 몸통이나 고개를 움직이지 않는 상태에서 인간의 수평 최대시야인 190도와 수직 최대시야 130도를 확보할 수 있도록 윈도우를 확보하도록 제안했다. 그래도 사각지대가 생기는 경우에는 CCTV 등의 보조도구를 사용해 사각이 없도록 제안했다. 햇빛이나 인공조명의 직사광 등에 의한 휘광(glare)을 막기 위해서 블라인드도 설치되어야 한다. 주요 표시장치(display)도 시야 하방 15도에 설치해야 한다. 권상 하중이나 풍속 등의 값을 표시하는 표시장치는 적절한 휘도와 대비를 갖도록 하여 운전원이 오독하는 일이 없도록 한다.

Table 1. Causes of crane fatal accidents

원인	작업자	사망재해	비율
시야	운전원	12	7.9%
오조작	운전원	6	3.9%
지식, 판단	운전원	21	13.8%
줄걸이	신호수	50	32.9%
협의	운전원-점검원	10	6.6%
통신	운전원-신호수	3	2.0%
통로	-	1	0.7%
기계구조	-	28	18.4%
관리	-	21	13.8%
계		152	100.0%

### 조작장치

산업 현장에 사용되는 크레인 조작장치들의 레이아웃과 라벨 등에 사용되는 용어들이 표준화 되어 있지 않아 일관성(consistency)도 부족하고, 양립성(compatibility) 원칙에도 위반되고 있는 것들이 많아 사고의 원인이 되고 있다<sup>7)</sup>. 일례로 현장의 천장 크레인을 조종하는 펜던트 스위치 등에서 조종방향의 라벨을 전, 후, 좌, 우, 상, 하 등으로 표기하고 있는데, 이는 운전원의 위치에 따라 전, 후, 좌, 우의 위치가 다르게 되어 사고를 유발할 수 있다. 따라서 이것들은 동, 서, 남, 북, 상, 하로 통일해 사용할 것을 제안하였다. 또한 한 사업장 내에서도 크레인마다 조종장치의 레이아웃이 달라 오조작의 위험성이 있었다. 이에 대해서도 표준의 레이아웃을 제시하였다. 또한 조종장치의 레버 길이와 비상정지 스위치 등의 버튼 크기 등에 대해서도 인간공학 적 설계 원칙을 고려해 수치를 제시하였다<sup>8)</sup>.

### 운전실

조종석이 있는 크레인의 경우, 장시간 작업을 하는 운전원의 자세가 불량해 근육 피로가 쌓이지 않도록 해야 한다. 운전석의 외관 규격은 한국 성인의 인체측정치와 인간공학 적 설계원칙을 고려해 설계되어야 한다. 더 나아가 가능하면 운전석의 자유도를 높여 좌면의 높이 조절이 좌면의 회전 등이 가능하도록 하여 작업 시 불편한 자세가 발생하지 않도록 한다. 운전실과 지상 작업자들과의 통신을 위한 장치는 유무선 복수로 설치해야 하며, 현장 소음 등에 따른 통화이해도의 저하를 막도록 해야 한다. 또한 운전실 내의 조명, 소음, 진동, 온도, 분진 등의 환경조건들도 산업안전보건 기준을 따르도록 했으며, 이를 지키기 위한 조명, 냉난방장치 등의 설치, 방진 설계 등을 제안하였다.

### 접근통로

크레인 운전실까지의 접근통로는 크레인 설계, 제작, 설치 검사 등에서 그대로 유일하게 정량화한 수치로 그 기준을 제시하고 있는 부분이기도 하다. 그러나 타워크레인과 같은 곳에 설치되는 수직 사다리 등에서 손잡이 등의 굵기가 인체측정치 등을 충분히 고려하지 않고 있었다. 이런 부분들에 대해서도 한국인 인체측정치를 고려한 적절한 기준치 등을 개선안으로 제시하였다.

## 4. 결 론

산업 현장에서 중량물 취급을 위한 크레인의 사용은 계속적으로 늘어나고 있고, 이에 따라 크레인 관련 산재사고도 꾸준히 늘어나고 있다. 또한 크레인 사고는 낙하, 추락, 협착 등이 주를 이루어 사고 발생시 사망 등의 중대재해로 이어지기 쉽다. 반면 크레인 사고에 대한 본격적인 원인분석 등은 충분히 이루어져 있지 못하다. 특히 인간-기계 시스템 관점에서의 사고 원인 분석은 지금까지 없었다.

이에 본 연구에서는 크레인 사고를 분석하기 위한 체계적인 틀로서 크레인 생애주기와 인간의 정보처리 단계를 결합한 모델을 개발하였고, 이를 152개의 사망사고에 적용해 보았다. 그 결과 사고의 발생원인을 휴먼에러 관점에서 파악할 수 있게 되었으며, 생애주기 단계별 사고의 특성도 파악할 수 있었다. 또한 개발된 모델의 장점은 사고의 원인을 행동형성요인 관점에서 파악할 수 있도록 하였으며 이의 근본 원인을 생애주기 상 선행단계에서 찾아낼 수 있도록 하였다. 이러한 방법에 현장조사, 설문조사, 국내의 규격조사 등의 결과를 종합하여 크레인 사고에 대한 인간-기계 시스템 관점에서의 대책들을 제시하였다.

본 연구에서 제시된 분석 모델은 국가적 차원에서의 크레인 재해조사와 통계분석에도 활용될 수 있을 것이다. 개별 기업 입장에서 이를 활용한다면 크레인과 관련한 문제점들을 체계적으로 도출하고 이를 해결하는 데에도 활용할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제시한 크레인 사고 예방대책들은 크레인 설계지침의 제정이나 검사지침의 개정에도 반영될 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발한 모델을 사고조사 데이터의 충실도 측면 때문에 한정된 152개의 사망사고에 대해서만 적용한 것은 본 연구의 한계로 지적될 수 있다. 사망사고의 특성으로 인해 더 많은 수의 일반 부상사고에 대한 특성을 본 연구에서 간파했을 수도 있다. 이에 대해서는 사고조사의 내용이 불충분하더라도 1999-2003년 사이에 걸쳐 발생한 약 3,000건의 사고에 대해서 향후에 분석을 수행할 예정이다.

또한 본 연구에서 각 사고에 관계된 휴먼에러의 원인을 구체적인 행동형성요인에 연결시켜 분석하지 못한 점도 문제점으로 지적될 수 있다. 이런 부분은 향후 사망사고 등에 대한 재해 조사 시 개별 행동형성요인에 대한 내용들을 파악할 수 있도록 변경

된다면, 이에 대한 분석이 가능해지고 구체적인 예방대책 수립도 가능할 것이다.

**감사의 글 :** 이 논문은 2006년 한국산업안전공단 산업안전보건연구원의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.(This work was supported by the research grant of Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA in 2006).

### 참고문헌

- 1) 박길상, 자체검사원을 위한 크레인, 한국산업안전공단, 2006.
- 2) 노동부, 2005 산업재해 현황분석, 노동부, 2005.
- 3) 기도형, 김원기, “크레인 사망 재해 실태와 안전 대책,” 한국안전학회지, 제20권, 제1호, pp. 137~142, 2005.
- 4) 한국산업안전공단, 2004년 산업재해 원인조사 (업무상 사고편), 한국산업안전공단, 2005.
- 5) Wickens, C. D., Engineer psychology and human performance, Scott, Forseman and Company, 2005.
- 6) 임현교 등, Man-machine 작업 시스템의 인간공학적 개선 대책 연구, 크레인을 중심으로, 한국산업안전공단, 2006.
- 7) Sen, R. N., and Das, S., “An ergonomics study on compatibility of controls of overhead cranes in a heavy engineering factory in West Bengal”, Applied Ergonomics, Vol. 31, pp. 179~184, 2000.
- 8) Van Cott, P. and Kinkade, R. G., Human engineering guide to equipment design, American Institutes for Research, Washington, D.C., 1972.