

An Experimental Study on the Control Compatibility of Overhead Crane Operation

Jae Hee Park¹, Do Wan Kim¹, Seung Hee Kim²

¹Department of Safety Engineering, Hankyong National University, Anseong, 456-749

²Institute of Applied Human Science, Hankyong National University, Anseong, 456-749

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to investigate the control compatibility of overhead crane operation by using a pendant switch. **Background:** A great number of crane accidents occur in industry fields. One of the major causes of the accidents is incorrect operation by confusing the orientation of movements. Nevertheless, three major different direction sign methods, EWSN, Forward Backward Left Right, and arrows are used without standardization. **Method:** 90 participants were evenly assigned in three different conditions of direction signs in a pendant switch: EWSN, Forward Backward Left Right, and arrows. By using a pendant switch, each participant was asked to move a crane hook in a crane simulator according to the continuously appearing 16 direction signs on a monitor. Participants can refer correct orientation signs on ceiling. **Results:** The sign, EWSN, showed statistically significant better performance in task completion time and number of errors. Participants in the condition, EWSN, rapidly realized the correct directions while the others continuously were confused in directions during the experiment. **Conclusion:** The direction sign, EWSN, is the most appropriate for the control compatibility of crane operation. **Application:** The results of this study can be applied in the standardization of direction sign in the legal notification on the safety certifications of crane manufacturing.

Keywords: compatibility, overhead crane, pendant switch, direction sign, human error

1. Introduction

기인물이 크레인인 산업재해는 매우 빈번히 발생하고 있다. 특히 중량물 운반이라는 특성 상 사망재해의 비율이 높다. 1999-2008년, 10년 간의 사망재해 통계에서도 크레인은 전기설비 다음으로 많은 408명의 사망재해를 기록했다(이근오 등, 2012). 특히 크레인 가운데에서도 제조업 현장에서 가장 널리 사용되는 천장크레인은 타워크레인, 이동식크레인, 리프트, 승강기 등 모든 종류의 동력크레인을 대상으로 한 2003-2012년 통계에서도 10년 간 346건으로 전체의 36.3%로 가장 높았다(고용노동부, 2003-2012).

천장크레인에 의한 재해 유형은 끼임(협착), 맞음(낙하, 비래), 부딪힘(충돌), 떨어짐(추락) 등 다양하게 나타날 수 있는데 그 가운데 끼임이나 부딪힘 재해는 크레인 조작 상의 휴먼에러에 의해 기인되

는 경우가 있을 수 있다. 2102년 중대재해원인보고서를 분석하면 여러 건이 크레인 오조작에 의해 사고가 발생한 것으로 확인 혹은 추정되었다(박재희 등, 2014).

외국의 사례에서도 이러한 오조작이 크레인 조작 장치의 방향표지와 레이아웃이 표준화가 안되어 있음을 지적하고 있다(Sen and Das, 2000). 국내에서도 이러한 오조작과 관련한 문제점 등이 제시되었지만 이에 대한 구체적인 해결책은 제시되지 못했다(서은홍 등, 2006; 박재희 등 2006).

크레인을 사용하는 사업장에 대한 현장 조사 결과, 이러한 오조작의 원인으로 다양한 문제점을 지적할 수 있다. 첫째, 크레인의 조작 방향에 대한 표준이 설정되어 있지 않고 다양한 방법이 사용되고 있다. 둘째, 크레인 조작장치인 펜던트 스위치나 리모컨의 방향표시 라벨 훼손 및 관리 소홀 등을 들 수 있다. 셋째, 조작장치의 방향표시가 인지적 양립성에 맞지 않고, 심각한 경우 천장에 부착되는 방향

표지판과 일치되지 않는 경우도 있었다(서은홍 등, 2006; 박재희 등 2014).

이 가운데 본 연구에서는 크레인 조작방향 표시에 대한 표준화에 초점을 맞추었다. 현재 표준화의 미비로 사업장마다 심지어는 같은 사업장의 동일 레일을 사용하는 크레인 간에도 서로 다른 방향 표시가 사용되고 있어 크레인 조작자들의 혼동을 야기할 수 있는 문제점이 있다.

현장 조사 결과 크레인 조작장치의 하나인 펜던트 스위치에는 조작 방향을 표시하는 방법으로 ‘전후좌우’, ‘동서남북’, ‘← → ↙ ↗’ 등 세 가지가 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다(박재희 등, 2014). 이들 가운데 가장 크레인 조작 양립성에 가장 부합되며, 작업수행시간과 휴먼에러를 가장 적게 발생시키는 방법을 표준안으로 설정하는 것이 합리적일 것이다.

이에 본 연구에서는 세 가지 조작방향 표시방법에 대해 크레인 조작 실험을 실시하고 그에 따라 표준화 방안을 제시하였다.

2. Method

2.1 Subjects

90 명의 대학생(26.3±3.2세)이 실험에 참여하였다. 실험조건 3 개에 대해 각각 30명씩 임의로 할당된 후 피실험자간 실험으로 실험을 진행했다.

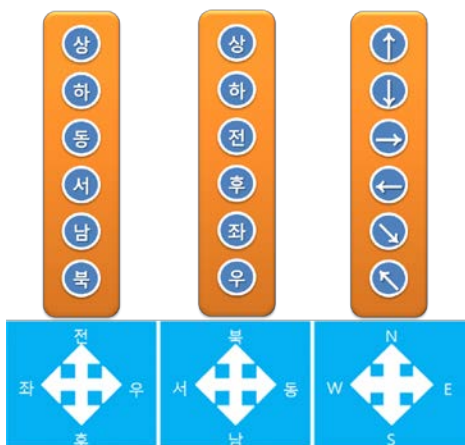


Figure 1. Direction switches on pendant switch and their direction signs on ceiling

2.2 Apparatus

실험을 위해 5x3x2.4m 크기의 프레임 상에서 3축 운동을 할 수 있는 크레인 시뮬레이터를 제작하고, 펜던트 스위치로 크레인 후의 방향을 조작할 수 있도록 했다.

2.3 Variables

실험의 독립변수는 크레인 조작방향 표시방법으로, ‘상하전후좌우’, ‘상하동서남북’, ‘↑↓←→↙↗’ 3 개를 대상으로 했으며, 각각에 대응하는 방향표지판을 천장에 부착해 피실험자가 참고하도록 했다. 해당 펜던트 스위치와 방향표지판은 Figure 1과 같다. 실제 화살표를 사용하는 펜던트 스위치에는 작게 ‘Up Down EWSN’ 이 병기되어 있다.

실험의 종속변수는 펜던트 스위치를 조작해 주어진 조작을 수행하는데 걸린 시간과, 작업 중 발생한 오조작 횟수로 정하고 측정하였다.

2.4 Procedure

피실험자는 정해진 위치에 서서 전면에 설치된 모니터에 나타나는 16 개의 방향 조작 표시에 따라 펜던트 스위치를 조작하도록 했다. 일련의 방향표지 순서는 Figure 2와 같이 나타나도록 했다.

이때 피실험자의 지정된 위치에서의 크레인의 조작버튼에 대항하는 방향은 Figure 3과 같이 설정했다. 이렇게 설정한 이유는 실제 현장에서 조작자의

1	2	3	4	5	6	7	8
→	↓	UP	↑	←	↓	DOWN	↑
9	10	11	12	13	14	15	16
→	↓	DOWN	←	↑	→	UP	←

Figure 2. Serial 16 control signs for control tasks

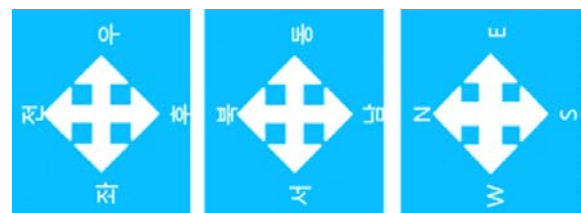


Figure 3. Correct directions at the participant position in the experiment

위치에 따라 인간 사고의 양립성에 일치하지 않는 이러한 상황이 나타날 수 있기 때문에 사고 발생을 염두에 두고 실험조건을 구성했다.

물론 피실험자가 작업 수행 중 올바른 방향 조작을 위해 천장에 부착한 해당 방향표지판을 참조할 수 있도록 했다. 피실험자가 주어진 방향으로 올바르게 조작하면 다음 조작으로 넘어가도록 했다.

3. Results

3.1 Task completion time

각 16 개 지시사항을 완수하는 총작업 수행시간에 대한 평균은 다음과 같았다(Figure 4). 1원배치 분산분석 결과 조작방향 표시방법 중 ‘동서남북’의 작업 수행시간이 가장 작았다($p=0.000$) Duncan 사후검정 결과 동서남북이 동일한 그룹으로 묶인 두 방법보다 통계적으로 우수한 것으로 나타났다.



Figure 4. Task completion time

3.2 Number of errors

각 16 개 지시사항을 완수하는 동안 발생한 평균 오조작 횟수는 다음과 같았다(Figure 5). 1원배치 분산분석 결과 조작방향 표시방법 중 ‘동서남북’의 오조작 횟수가 가장 작았다($p=0.000$). 특히 16개 지시사항 중 뒤 부분으로 갈수록 동서남북의 방향조작 오조작이 줄었다. Duncan 사후검정 결과 동서남북이 동일한 그룹으로 묶인 두 방법보다 통계적으로 우수한 것으로 나타났다.

3.3 Discussion

15개 사업장에 대한 현장조사 결과 조작장치의 방향표시 방법으로는 화살표 41%, 전후좌우 29%, 동서남북 22%, 기타 8% 순으로 나타났었다(박재희



Figure 5. Number of errors

등, 2014). 그러나 실험결과에 의하면 방향지시 수행 실험에서 ‘동서남북’ 표기가 가장 우수한 것으로 나타났다.

화살표나 ‘전후좌우’ 표기 방법은 크레인과 조작자의 상대적 위치에 따라 화살표나 ‘전후좌우’가 의미적으로 지시하는 방향과 실제 크레인의 운동방향이 다를 경우 인지적 부조화가 발생해 상당한 혼동을 초래하게 된다.

물론 ‘동서남북’ 조작에 대해서도 인간이 일반적으로 설정하는 방위와 다르게 90도 차이가 나도록 설정되어 이 역시 혼동이 발생되나, ‘동서남북’ 방향표기는 상대적으로 크레인과 조작자의 상대적 위치와 관계없이 항상 일정하므로 피실험자의 머리 속에 방위가 인지되면 그 이후는 크게 오조작을 안 범한 것으로 설명할 수 있다.

4. Conclusion

현재 산업 현장의 천장크레인 조작과 관련한 조작방향 표시방법은 표준 없이 다양한 방법이 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 실험을 통해 ‘동서남북’ 방향표기가 작업부하가 심한 경우, ‘전후좌우’나 화살표 표시 방법에 비해 가장 오조작 횟수와 작업 수행시간이 적은 것으로 나타났다.

따라서 향후 크레인 조작과 관련한 조작방향의 표시를 표준화하고, 한다면 ‘동서남북’을 표준으로 채택하는 것이 추천된다. 본 연구 결과는 크레인 관련 고용노동부의 고시 2012-33 ‘위험기계기구 의무안전인증기준고시’의 별표2 크레인 제작 및 안전기준(고용노동부, 2012)과 안전검사 고시 2013-15(고용노동부, 2013)의 개정에 반영될 수 있거나, 관련 KS 규격(한국공업표준협회, 2012) 개정 등에 활용할 수 있을 것이다.

추후 연구로는 천장크레인과 달리 선회 운동을 하는 지브크레인이나 타워크레인 등 다른 종류 크레인에 대한 조작 양립성을 연구할 필요가 있다.

Seung Hee Kim: w77angel@naver.com

Highest degree: MSc, Department of Safety Engineering, Hankyong National University

Position title: Researcher, Institute of Applied Human Science, Hankyong National University

Areas of interest: Seat Evaluation, WMSD, Safety Engineering

Acknowledgements

This work was funded by grants from Korean Occupational Safety and Health Agency.

References

- 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*, V.31, pp.179-184, 2000.
- 고용노동부, 연도별 산업재해 현황분석, 2003-2012.
- 고용노동부, 위험기계기구 의무안전인증기준고시, 고용노동부 고시 2012-33, 2012.
- 고용노동부, 안전검사 고시, 고용노동부 고시 2013-15, 2013.
- 박재희 등, 크레인 사고 예방을 위한 인간공학적 개선 방안, 대한인간공학회 2006 추계 학술대회논문집, 2006.
- 박재희 등, 천장크레인 작업으로 인한 끼임사고 방지 연구, 한국산업안전보건연구원, 2014.
- 서은홍 등, Man-Machine 작업시스템의 인간공학적 개선대책 연구: 크레인 작업을 중심으로, 한국산업안전보건연구원, 2006.
- 이근오 등, 기계·기구의 안전보건기준 조사에 관한 연구, 한국산업안전보건연구원, 2012.
- 한국공업표준협회, 크레인-제어 배치 및 특성, KS B ISO 7752-1, 2012.,

Author listings

Jae Hee Park: maro@hknu.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST

Position title: Professor, Department of Safety Engineering, Hankyong National University

Areas of interest: Safety Engineering, Human Error, WMSD

Do Wan Kim: dwan2549@naver.com

Highest degree: Undergraduate Student, Department of Safety Engineering, Hankyong National University

Position title: Undergraduate Student, Department of Safety Engineering, Hankyong National University

Areas of interest: Safety Engineering