

## Title

### Compatibility of the direction sign on the pendant switches of overhead cranes

## Subtitle

## ABSTRACT

**Objective:** The aim of this study is to suggest the standard of the direction sign on the pendant switch of overhead cranes reducing human errors in control.

**Background:** A great number of crane accidents occur in industry fields. One of the major causes of the accidents is the incorrect control of crane by confusing the orientation of crane movements. Nevertheless, three different direction signs representing the overhead crane movements, 'EWSN', 'Forward Backward Left Right', and arrows are used without standardization.

**Method:** An overhead crane simulator was built for a laboratory experiment. It could move in 6 directions by the control of a pendant switch. 90 participants were evenly assigned in three different conditions of direction sign on the pendant switch. The participants were asked to control the pendant switch according to the consequently appearing 16 direction signs on a monitor ahead. The participants were allowed to refer an orientation sign on ceiling representing correct orientation of the overhead crane simulator movements.

**Results:** The sign, 'EWSN', showed statistically significant better performance in task completion time and number of errors. The participants in the condition, 'EWSN', rapidly realized the correct orientation of the overhead crane simulator while the others continuously were confused in directions during the control of it.

**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 to the standardization of direction sign in the legal notification on the safety certifications of crane manufacturing.

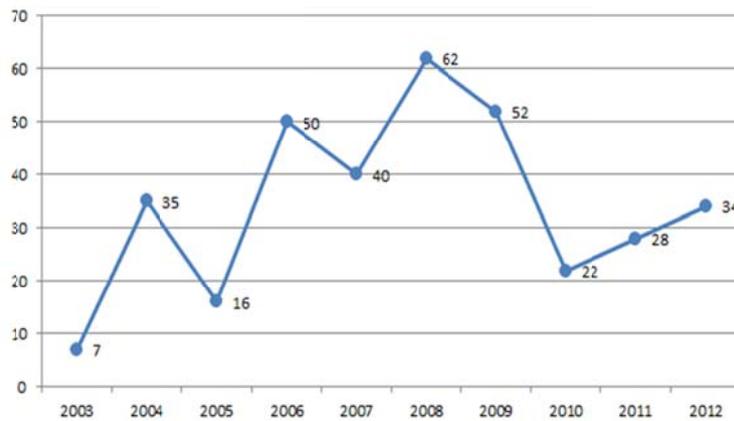
## Keywords

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



## 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 408 명의 사망재해를 기록했다(Lee et al., 2012). 특히 크레인 가운데에서도 제조업 현장에서 가장 널리 사용되는 천장크레인은 타워크레인, 이동식크레인 등 모든 종류의 동력크레인을 대상으로 한 2003-2012 년 통계에서도 10년 간 346 건으로 전체의 36.3%로 가장 높았다(Ministry of Employment and Labor, 2003-2012). 2003-2012 년 기간 중의 천장크레인인인 사망재해자의 추이는 Figure 1과 같다.



;

천장크레인에 의한 재해 유형은 끼임(협착), 맞음(낙하, 비레), 부딪힘(충돌), 떨어짐(추락) 등 다양하게 나타날 수 있는데 그 가운데 끼임이나 부딪힘 재해는 크레인 조작 상의 휴면에러에 의해 기인되는 경우가 자주 발생하고 있다. 2102년 산업재해 중대재해원인보고서를 분석하면 여러 건이 크레인 오조작에 의해 사고가 발생한 것으로 확인 혹은 추정되었다(Park et al., 2014).

외국의 사례에서도 이러한 오조작이 크레인 조작장치의 방향표지 방법과 레이아웃의 표준화가 안되어 발생하고 있음을 지적하고 있다(Sen and Das, 2000). 국내에서도 이러한 오조작과 관련한 문제점 등이 제시되었지만 이에 대한 구체적인 해결책은 아직 제시되고 있지 못하다(Seo et al., 2006; Park et al., 2006).

Park et al. (2014) 은 크레인을 사용하는 사업장에 대한 현장 조사 결과, 이러한 오조작의 원인으로 다양한 문제점을 지적하고 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, 크레인 조작장치의 방향표시가 인지적 양립성에 맞지 않고, 심각한 경우 천장에 부착되는 방향표지판과 일치되지 않는 경우도 있었다..

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 표지가 사용되고 있어 크레인 조작자들의 혼동을 야기할 있다.

Park et al.(2014)의 현장 조사 결과 크레인 조작장치의 하나인 펜던트 스위치에는 조작 방향을 표시하는 방법으로 '전후좌우', '동서남북', '← → ↙ ↘' 등 세 가지가 가장 많이 사용되는 것으로 나타났다(Park et al., 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 그 결과에 따라 가장 휴먼 에러를 적게 발생하는 방향 표시방법을 표준화 방안을 제시하려고 했다.

## 2. Method

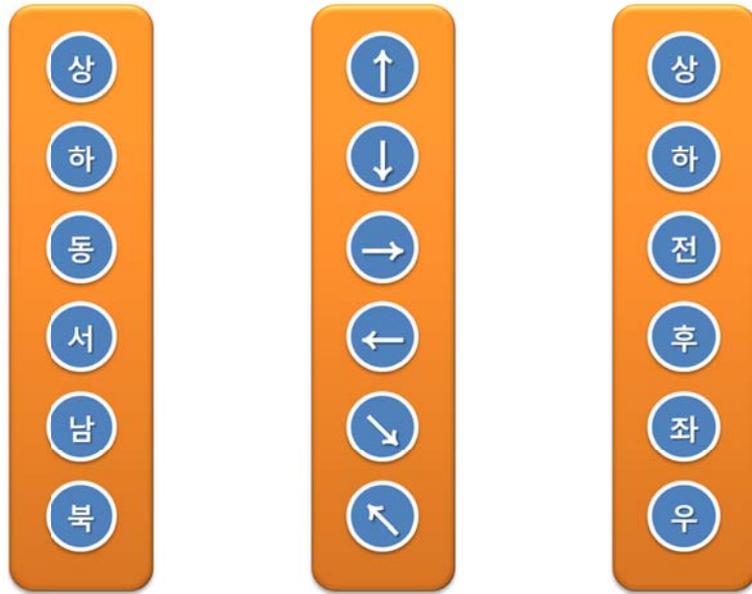
### 2.1 Subjects

90 명의 대학생( $26.3 \pm 3.2$ 세)이 자원하여 실험에 참여하였다. 천장크레인 펜던트 스위치의 조작방향 표기 방법에 따른 실험조건 3 개에 대해 각각 피실험자를 30명씩 임의로 할당한 후 피실험자간 실험으로 실험을 진행했다. 피실험자 모두 이전에 크레인 조작을 수행한 경험을 갖고 있지 않았다.

### 2.2 Apparatus

실험을 위해 5x3x2.4m 크기의 프레임 상에서 3축운동을 할 수 있는 크레인 시뮬레이터를 제작하고, 펜던트 스위치로 크레인의 방향을 조작할 수 있도록 했다(Figure 2). 펜던트 스위치에는 6 개의 조작버튼이 수직으로 나열되어 있는데 방향표시를 하는 라벨이 버튼 캡 안에 들어가 있고 교체할 수 있다. 본 실험에서는 산업현장에서 널리 사용되는 3 가지 형태의 방향표시 라벨을 바꿔 끼우며 실험을 수행했다(Figure 3).





itches

### 2.3 Variables

실험의 독립변수는 크레인 조작방향 표시방법으로, '상하전후좌우', '상하동서남북', '↑ ↓ ← → ↘ ↙' 3 개를 대상으로 했다(Figure 3), 각각의 펜던트 스위치에 대응하는 방향표지판을 천장에 부착해 피실험자가 이를 참고하도록 했다. 화살표를 사용하는 펜던트 스위치에는 작게 'Up Down EWSN' 이 화살표 아래에 부기되어 있다. 이에 화살표를 사용하는 펜던트 스위치에 대응하는 방향표지판에는 EWSN을 사용해 제작하였다 (Figure 4). 실제 현장에서도 화살표를 사용하는 펜던트 스위치는 EWSN 표기를 가장 많이 사용하고 있다.

Figure 4는 피실험자 위치를 기준으로 부착된 방향표지판을 보여주고 있다. 전후좌우를 사용하는 표지판에서 전후좌우 방위를 90도 반시계 방향으로 배치했고, 동서남북이나 ENWS도 일반적인 방위표시에 서 북(N)이 맨 위로 가는 것과 다르게 90도 반시계 방향으로 배치했다. 이는 실험에서 조작자의 인지적 부하를 높이기 위한 조처였고, 이는 언제든지 실제 현장에서 크레인 조작자가 서는 위치에 따라서 발생할 수 있는 상황이기도 하다.



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

### 2.4 Procedure

피실험자는 실험 전 간단히 천장크레인 시뮬레이터 조작 방법에 대한 설명을 들은 후 익숙해지기 위한 조작연습을 약 3 분간 실시하였다. 본 실험이 시작되면 피실험자는 정해진 위치에 서서 전면에 설치된 모니터에 나타나는 16 개의 방향 조작 표시에 따른 펜던트 스위치를 조작하도록 했다. 일련의 방향표지 순서는 4 방향의 방향전환 지시가 각 3번, 상하 방향 지시가 각 2번씩 총 16 번의 방향 지시가 고루 섞여 Figure 5와 같이 나타나도록 했다.

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

asks

피실험자는 작업 수행 중 올바른 방향 조작을 위해 천장에 부착한 해당 방향표지판을 참조할 수 있도록 했다. 피실험자가 주어진 방향으로 올바르게 조작하면 즉시 다음 방향지시가 화면에 나타나도록 했다. 각 16 단계별로 조작시간과 오조작 횟수를 측정했다.

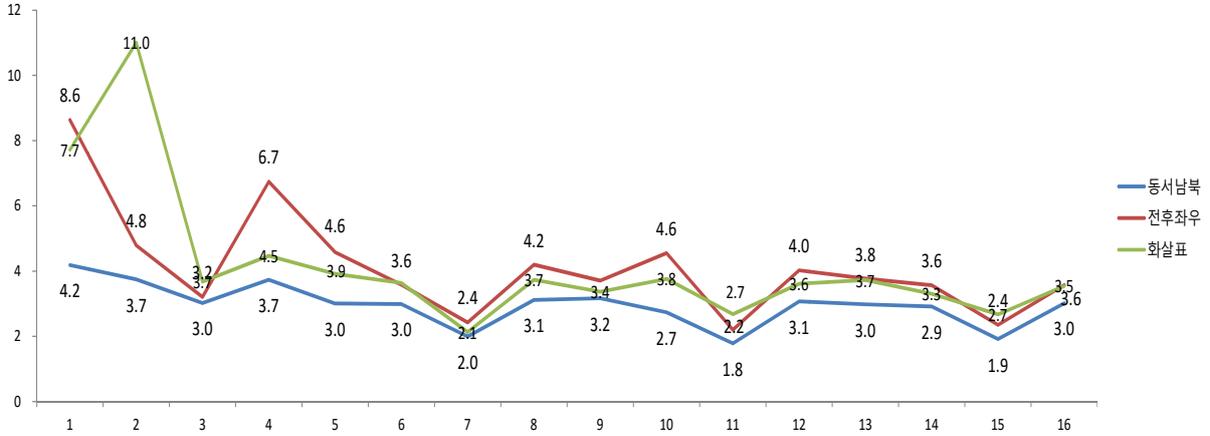
## 3. Results

### 3.1 Task completion time

각 16 개 방향 지시 단계별 작업 수행시간은 Figure 6과 같이 나타났다. 초기단계에 방향 혼동에 따른 작업시간의 지체는 후반부로 가면서 감소하고 있다. 그러나 전반적으로 동서남북을 사용하는 펜던트 스위치의 조작시간이 다른 두 방법에 비해 작게 나타나고 있다.

16 개 방향 조작 실험을 완수한 총시간에 대해, 펜던트 스위치 3종류에 대한 1원배치 분산분석 결과 조작방향 표시방법 중 '동서남북'의 작업 수행시간이 가장 작았다( $p=0.000$ ). Duncan 사후검정 결과 동서남북이 동일한 그룹으로 묶인 다른 두 방법보다 통계적으로 우수한 것으로 나타났다(Figure 7).

각 구간별 완료시간(초)

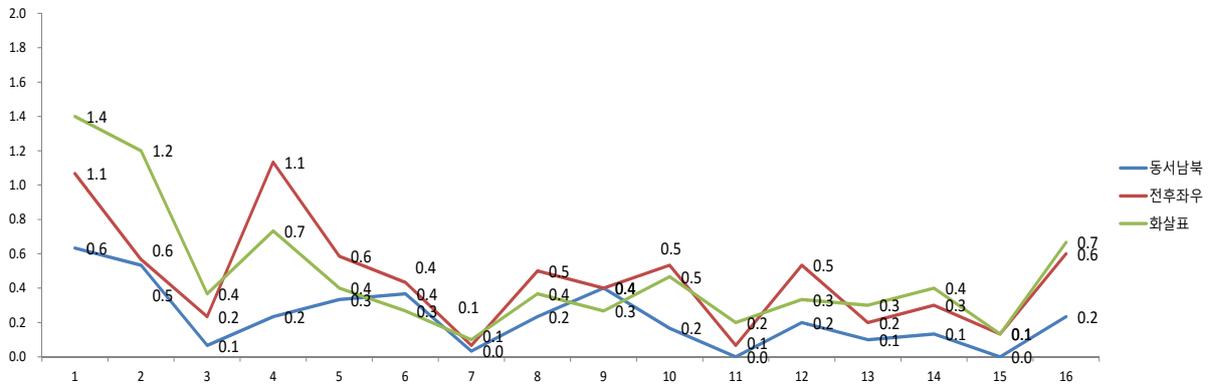


### 3.2 Number of errors

각 16 개 방향 지시 단계별 오조작 횟수는 Figure 8과 같이 나타났다. 초기단계에 방향 혼동에 따른 오조작 횟수는 후반부로 가면 약간 감소하고 있다. 그러나 Up, Down 등의 지시 직후의 방향 조작인 4, 8, 12, 16 에서는 오조작 횟수가 다시 상승하는 경향이 나타났다. 그러나 전반적으로 동서남북을 사용하는 펜던트 스위치의 오조작 횟수가 다른 두 방법에 비해 작게 나타나고 있다.

16 개 방향 조작 실험 중 발생한 총 오조작 횟수에 대해, 펜던트 스위치 3종류에 대한 1원배치 분산분석 결과 조작방향 표시방법 중 '동서남북'의 오조작 횟수가 가장 작았다( $p=0.000$ ). Duncan 사후검정 결과 동서남북이 동일한 그룹으로 묶인 다른 두 방법보다 통계적으로 우수한 것으로 나타났다(Figure 9).

각 구간별 평균오조작 횟수



### 3.3 Discussions

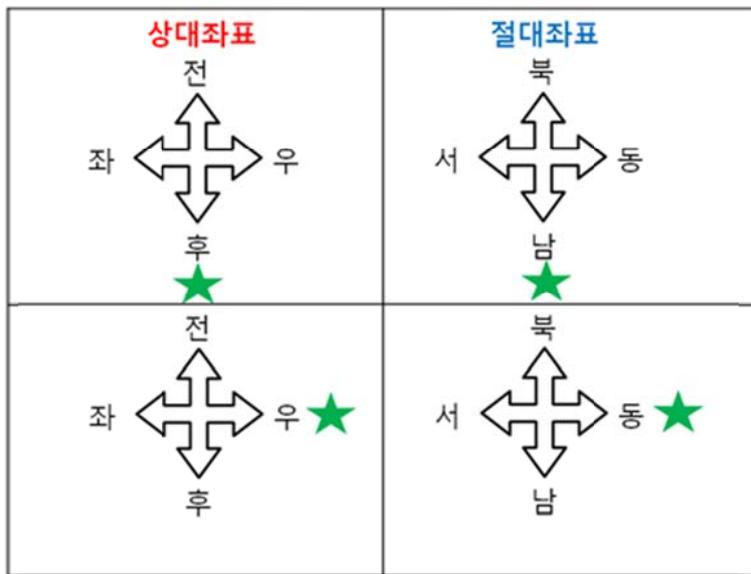
Park et al. (2014) 조사에 의하면 국내 사업장의 천장크레인을 조작하는 펜던트 스위치의 방향표시 방법은 화살표 41%, 전후좌우 29%, 동서남북 22%, 기타 8% 순으로 나타났었다. 그러나 본 연구의 천장크레인 방향 조작 실험결과에 의하면 작업수행시간과 오조작 횟수에서 '동서남북' 표기가 가장 우수한 것으로 나타났다.

이는 화살표나 '전후좌우' 표기 방법은 크레인과 조작자의 상대적 위치에 따라, 화살표나 '전후좌우'가 의미적으로 지시하는 방향과 실제 크레인의 운동방향이 다를 경우 크레인 조작자에게 인지적 부조화가 발생하는 것에서 기인하는 것으로 판단된다.

물론 '동서남북' 표기 방법에 있어서도 인간이 일반적으로 앞 방향을 북쪽으로 암묵적으로 판단할 경우 이 역시 혼동이 발생된다. 그러나 '동서남북' 방향표기는 상대적으로 크레인과 조작자의 상대적 위치와

관계없이 항상 일정하므로 피실험자의 머리 속에 방위가 한 번 인지되면 그 이후는 크게 오조작을 안 범할 것이라는 것으로 설명할 수 있다.

Figure 10 은 크레인 조작자의 위치에 따라 조작자 기준 전후좌우와 크레인의 실제 방향이 달라지는 상대좌표의 경우와 크레인 조작자의 위치가 변하더라도 '동서남북'의 방향은 달라지지 절대좌표인 두 경우를 비교해 보여주고 있다. 본 연구는 실험을 통해 이 두 경우를 비교해 보았는데 상대좌표에서 크레인 조작자의 위치가 크레인 실제 운동 방향과 일치하지 않는 경우, 절대좌표를 사용하는 '동서남북'보다 더 많은 오조작과 작업수행시간이 걸리는 것이 입증되었다.



NSN'

#### 4. Conclusion

현재 산업 현장의 천장크레인 조작과 관련한 조작방향 표시방법은 표준 없이 다양한 방법이 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 실험을 통해 '동서남북' 방향표기가 작업부하가 심할 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(Ministry of Employment and Labor, 2012)과 안전검사 고시 2013-15 (Ministry of Employment and Labor, 2013)의 개정예 반영될 수 있거나, 관련 KS 규격(KSA, 2012) 개정 등에 활용할 수 있을 것이다.

본 연구의 후속 연구로는 천장크레인과 달리 선회 운동을 하는 지브크레인이나 타워크레인 등 다른 종류 크레인에 대한 조작 양립성에 대한 유사한 연구가 필요할 것이다.

### **Acknowledgements**

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

### **References**

- Lee G.H. et al., A study on the standards of machines for safety and health, KOSHA, 2012..
- KSA, Crane-Control, layout and characteristics, KS B ISO 7752-1, 2012.,
- Ministry of Employment and Labor, Legal notification on safety inspection, 2013-15, 2013.
- Ministry of Employment and Labor, Legal notification on the safety certifications of dangerous machines,, 2012-33, 2012.
- Ministry of Employment and Labor, Yearly Analysis Report of Industrial Accidents, 2003-2012.
- Park J.H. et al., A Study on the Prevention of Caught Accidents of Overhead Crane, KOSHA, 2014..
- Park J.H. et al., Ergonomic modifications for preventing crane accidents, Proceedings of ESK 2006 fall conference, Ergonomics Society of Korea, 2006.
- 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.
- Seo E.H. et al., Ergonomic Modifications of Man-Machine Work System: focused on crane work, KOSHA, 2006.