

Digital human simulation을 통한 overhead crane의 인간공학적 설계 개선 및 평가 (An ergonomic improvement and evaluation of an overhead crane with digital human simulation)

이상기, 이민정, 조영석, 권오채, 박정철, 유희천, 한성호

포항공과대학교 기계산업공학부

ABSTRACT

Overhead crane은 생산 및 하역공정에서 중량물을 취급하기 위해 활용되고 있으나, 운전실 하방 및 측면 시야 확보시 발생하는 부자연스러운 자세는 근골격계 질환의 원인이 될 수 있다. 본 연구는 작업 현장 관찰 및 작업자 인터뷰를 통하여 crane 특성 및 문제점을 파악하고, 인간공학적 guideline과 인체 치수 정보를 적용하여 crane 설계 요소 및 frame의 설계 개선안을 제안하였다. 제안된 개선안은 Jack™을 사용하여 3D digital mockup으로 구현되었으며, posture, reach, visibility 측면에서 비교 평가되었다. 본 연구에서 제안한 crane 설계 개선안은 작업자의 부자연스러운 자세를 감소시킴으로써 근골격계 질환의 위험성을 줄이는데 활용될 수 있을 것이다.

Keyword: Overhead crane, 근골격계 질환, digital human simulation, 인간공학적 설계 개선

1. 서론

Overhead crane은 제철소와 조선소 같은 중공업 분야의 생산 및 하역공정에서 중량물을 취급하기 위해서 활용되고 있다. 중공업 현장의 crane은 취급되는 중량물의 부피가 크고 무거울 뿐만 아니라, 넓은 영역에서의 이동이 필요하므로 비교적 크고 높은 구조로 제작되어 있다(Sen et al., 2000). 또한, crane 운전실은 작업자가 넓은 영역을 관찰하며 작업하기 위해서 지상으로부터 수 미터에서 수십 미터의 높이에 설치되어 있다.

Crane 작업자가 하방 및 측면 시야를 확보하고자 할 때 발생하는 부자연스러운 자세는 근골격계 질환의 원인이 될 수 있다(NIOSH, 1997). 운전실에서 지상의 작업 대상물, 차량 또는 작업자를 관찰하기 위해서는 허리와 목이 굽혀지거나 비틀리는 부자연스러운 자세가 발생한다. 이러한 부자연스러운 자세는 운전실의 frame 구조 또는 설계 요소로 인해 시계 간섭이 발생할 경우 더 심하게 나타날 수 있다.

본 연구에서는 crane 운전실에 대한 인간공학적 설계 개선안을 제시하고, 개선 효과를 평가하

였다. 현장 방문을 통해 crane의 특성을 분석하고 각 설계 요소별 문제점을 파악하였으며, 설계 요소별로 개선안을 제시하고 이를 digital human simulation을 사용하여 평가하였다.

2. Crane 특성 분석

2.1. Crane 설계 특성 및 작업 특성

Crane의 설계 특성 및 작업 특성 조사가 작업 현장 조사/측정과 작업자 인터뷰를 통해서 수행되었다. 현장 조사에서는 운전실 내 설계 요소의 기능 및 형태를 파악하고, 작업 내용 및 절차를 이해하기 위한 동영상 촬영하였으며, digital mockup 구현과 세부적인 개선안을 도출을 위한 치수 정보가 파악되었다. 작업자 인터뷰는 설계 요소와 세부 정보를 파악하기 위해 5명으로 구성된 focus group에 대해 실시되었다.

운전실의 설계 요소와 작업 절차가 현장 조사 자료를 바탕으로 파악되었다. 운전실의 설계 요소는 controls 및 displays와 같은 입출력 장치와 운전실 layout 및 기타 설계 요소를 포함하는 cabin room으로 구분되며, 그림 1과 같은 세부적인 계층 구조를 가지는 것으로 분석되었다. Crane 작업은 여러 단계의 세부작업(sub-task)으로 구분되며, 대표적인 세부작업은 운전실과 lift가 상하/전후로 이동하는 traveling/traversing, lift가 상하로 이동하는

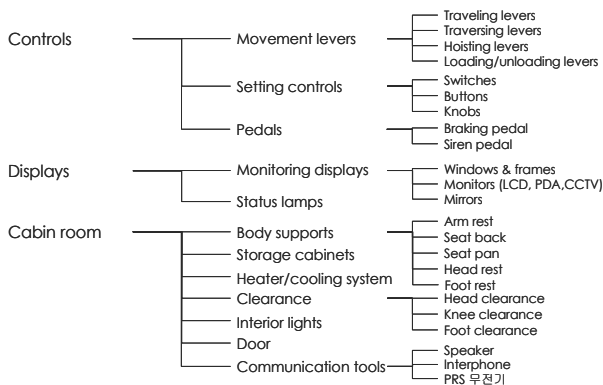


그림 1. Crane 설계 요소 계층 구조

hoisting, lift에 작업대상물을 결합/해체시키는 loading/unloading으로 파악되었다.

2.2. Crane 설계 문제점

Crane의 각 설계 요소별로 작업자의 신체적인 부하를 유발하거나 사용 편의성을 감소시키는 설계 문제점이 파악되었다. 의자에 앉은 상태에서 좌측 및 하방을 주시 할 경우 상체의 비틀림 및 굽힘이 발생하였으며, 좌/우측에 위치한 operation board와 모니터 조작시 상체의 비틀림이 발생하였다. 또한, 일부 frame 및 안전 바가 시야를 간섭하여 부자연스러운 자세가 발생하는 것으로 파악되었다. Operation board 및 keypad button이 사용 빈도 및 순서를 고려하지 않고 배치되어 있었으며, 일부 버튼은 부적절한 label을 사용하여 사용 편의성을 감소시키는 것으로 파악되었다.

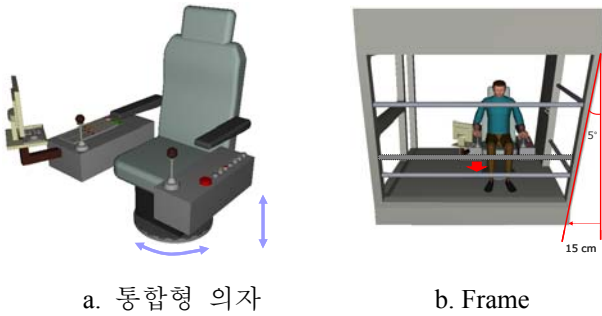
3. 개선안 및 평가

3.1. 설계 개선안

Crane 설계 보완사항에 대한 개선안은 설계 원칙을 바탕으로 인간공학적 guideline 및 인체 측정 data를 활용하여 제안되었다. 설계 원칙은 각 설계 요소의 배치 및 용도를 고려하여 파악되었다. 예를 들어, lever 개선에 대한 설계 원칙으로 적절한 reach와 force, comfortable posture가 고려되었다. 인간공학적 guideline (Woodson et al, 1970; Woodson, 1981; IAEA, 1994)을 참고하여 crane 설계 특성과 작업 특성에 적합한 개선안을 제안하였으며, 설계 요소의 세부 치수를 제안하기 위해 한국인의 인체 측정 data(한국표준과학연구원, 1997)를 활용하였다.

작업자의 작업부하를 감소시키기 위해 crane 통합형 회전 의자를 제안하였으며, frame 구조 및 안전 바의 위치가 개선되었다(그림 2 참조). 통합형 의자는 작업시 사용하는 lever, 모니터, operation board, keypad와 같은 설계 요소를 의자에 통합함으로써, 운전실의 하방/측면을 주시할 때 발생하는

부자연스러운 자세를 줄일 수 있도록 설계되었다. Frame 구조는 운전실의 좌측면 frame에 경사를 주고 바닥에 투명 유리창을 설치함으로써 추가 시야를 확보하였으며, 시계 간섭을 유발하는 안전 바의 위치를 조정하였다.



a. 통합형 의자 b. Frame

그림 2. Overhead crane 개선안

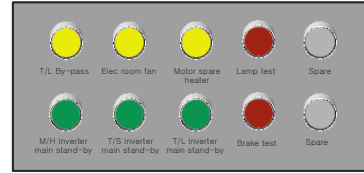
의자에 통합된 설계 요소들에 대한 세부적인 개선안이 crane 조작 편의성을 높이고 오조작을 방지하기 위해 제안되었다. 예를 들어, operation board의 각종 button은 사용 빈도 및 순서를 고려하여 통합형 의자와 crane 운전실 좌측벽면에 나누어 부착되도록 설계하였으며(그림 3 참조), 적절한 버튼의 크기 및 backlight 사용을 제안하였다.

3.2. 개선안 평가

설계 개선안을 JACK™을 이용하여 그림 4와 같은 digital mockup으로 구현하고 posture, reach, visibility 측면에서 평가하였다. Digital mockup을 통해 개선 전후의 crane 운전실 및 구현되었으며, 작업부하를 유발하는 자세에 대해서 개선 전과 개선 후를 비교 분석하였다. 좌측 하방 시야를 확보하기 위한 자세에 대해 simulation을 수행한 결과, 개선전에 발생하던 상체의 측면 굽힘 없이 운전실 바닥의 유리창을 통해서 작업 대상물을 보고 작업을 수행할 수 있는 것으로 분석되었다. 작업자의 좌측에 위치한 operation board에 대한 분석 결과,

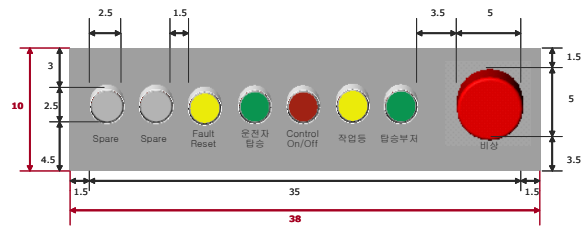


주 control panel



보조 control panel

a. Operation board 개선안 개념도



단위: cm

b. Operation board 권장 설계치

그림 3. Operation board 세부 개선안

개선전에 나타나던 상체의 비틀림이 크게 감소하였으며, operation board로 인한 시계 간섭이 제거된 것으로 분석되었다. 또한, 모니터 및 keypad의 사용시 나타나던 상체 비틀림 및 상지 뻘뻘이 개선된 것으로 파악되었다.

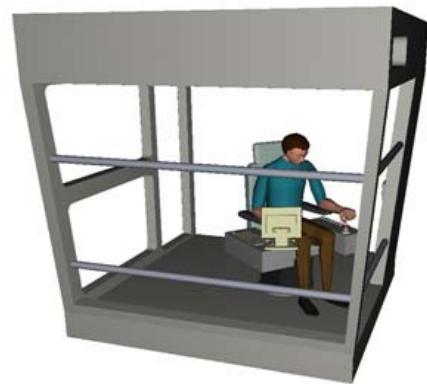


그림 4. JACK™을 사용한 digital human simulation

4. 결론

본 연구는 overhead crane의 설계 특성 및 작업 특성 분석을 통해 문제점을 파악하고, 개선안을 제안 및 평가하였다. 하방/측면 시야 확보 및 기기 조작시 발생하는 부자연스러운 자세에 대한 개선안으로 통합형 의자와 frame 구조 개선이 제안되었으며, 각 설계 요소들에 대한 세부적인 개선안을 통해 사용 편의성을 높이고자 하였다. 또한, 개선안을 3D mockup으로 제작하여 digital human simulation을 수행함으로써 개선안을 개선 전과 비교 평가하였다. 본 연구에서 제시된 개선안은 산업 현장의 overhead crane 작업시 발생하는 근골격계 질환의 위험성을 줄이는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Sen, R. N., Das, S. (2000). An ergonomics study on compatibility of controls of overhead cranes in a heavy engineering factory in West Bengal, *Applied ergonomics*, 31, 179-184.
- [2] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1997). *Musculoskeletal Disorders (MSDs) and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back (2nd printing)*. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services (DHHS).
- [3] Woodson, W. E., and Conover, D. W. (1970). *Human engineering guide for equipment designers (2nd edition)*. Berkeley: University of California Press
- [4] Woodson, W. E. (1981). *Human factors design handbook*. New York: McGraw-Hill.
- [5] 한국표준과학연구원 (1997). *산업제품의 표준치 설정을 위한 국민표준채워 조사 보고서*. 국립기술품질원.
- [6] IAEA (1994). *Safety Series No. 50-SG-O12. Periodic safety Review of Operational Nuclear Power Plants*.