

천정 기중기 운전 작업부하 평가 모델 개발

(Development of a workload assessment model for overhead crane operation)

이상기, 권오채, 박정철, 조영석, 이민정, 유희천, 한성호

포항공과대학교 기계산업공학부

ABSTRACT

OWAS, RULA 등과 같은 작업부하 평가 모델을 사용하여 천정 기중기의 작업부하를 평가할 수 있으나, 기중기 작업에 특화된 평가 결과를 보여주지 못하는 한계점이 있다. 본 연구는 기중기 작업 중 발생하는 작업부하를 신체, 정신, 환경적 측면에서 분석할 수 있는 모델을 개발하였으며, Visual Basic을 이용하여 평가 모델을 시스템화함으로써 작업부하 산출과 보고서 출력을 용이하게 하였다. 제안된 평가 모델을 통해 신체, 정신, 환경적 부하의 세부적인 항목을 분석적으로 평가하는 것이 가능하며, 기중기 운전 작업 특성 및 분석항목별 중요도를 고려한 평가가 가능하다. 본 연구에서 제안한 천정 기중기 운전 작업부하 평가 모델은 다양한 종류의 천정 기중기의 작업부하를 정량화하는데 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 작업부하 세부 항목별 결과를 통해 기중기의 작업부하 요인을 분석하고 개선점을 파악하는데 활용될 수 있을 것이다.

Keyword: Overhead crane, workload assessment, physical factor, mental factor, environmental factor, weight

1. 서론

철강 및 조선 산업 현장에서 사용되는 천정 기중기의 부적절한 설계로 인해 천정 기중기 작업자들의 근골격계 부담이 가중되고 있다. 천정 기중기는 주로 공장이나 창고의 천정에 설치되어 무거운 물건을 매달아 운반할 수 있도록 장치된 기중기로서 철강 및 조선 산업 현장에서 많이 운용되고 있다. 그러나, 천정 기중기 운전 작업은 부적절하게 설계된 천정 기중기로 인해 근골격계부담 작업의 범위(노동부고시 제2003-24호) 중 제 2호(반복동작)와 제 4호(적절한 신체지지 없이 부적절

한 자세 유지)에 해당되는 유해요소를 지니고 있다.

기존의 인간공학 평가 기법들(예: OWAS, RULA, REBA, QEC)은 천정 기중기 운전 작업의 근골격계 부담을 평가하기에 적용상 한계점들이 있다. 먼저, 기존의 인간공학 평가 기법들은 일부 신체적 유해요인들(자세, 반복성, 힘, 진동)에 대해서만 평가를 수행하고 있어, 기타 정신적 작업부하 요인들(시/청각적 요구, 작업 안전 등)에 관한 평가가 미흡한 실정이다. 다음으로 기존의 인간공학 평가 기법들은 앉은 자세에서 다양한 형태의 세부 작업을 수행하는 천정 기중기 작업 특성에

대한 고려가 미흡하다. 마지막으로, 기존의 인간공학 평가 기법들은 평가 기법마다 다양한 부하요소들을 사용하고 있으나, 각 부하요소들 간의 상대적인 중요도에 대한 고려가 미흡하다. 따라서, 천정 기중기 작업 특성을 고려하여 천정 기중기 운전 작업에 특화되고 기타 정신적 작업부하 요소들과 작업부하 요소들간의 상대적 중요도를 고려한 종합적인 작업부하 평가 모델의 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 특화된 천정 기중기 운전 작업부하 평가 모델을 개발하는 것이다. 본 연구는 천정 기중기 운전 작업에 특화된 작업부하 평가 모델을 개발하기 위해 철강 산업 현장에서 사용되고 있는 천정 기중기를 대상으로 운전 작업 및 작업부하 특성을 분석하였다. 그리고, 분석 결과를 토대로 신체적 작업부하 요소뿐 아니라 정신적 작업부하 요소와 환경적 작업부하 요소를 선정하고 작업부하 요소들간의 상대적 중요도를 고려하여 천정 기중기 운전 작업부하를 정량적으로 평가할 수 있는 작업부하 평가 모델을 개발하였다.

2. 천정 기중기 운전 작업 및 작업부하 특성

산업 현장에서 사용되고 있는 천정 기중기를 대상으로 현장 조사 및 작업자 interview를 수행하여 운전 작업(task) 및 작업부하 특성을 분석하였다. 기중기 운전 작업은 작업 대상물과 lift 방식에 따라 다소 차이는 있으나, 표준 작업 절차에 따라 수행되는 것으로 파악되었다. 기중기의 lift 방식은 작업 대상물에 따라 wire, hook, bucket, tong 등으로 구분되나, 주요 작업은 운전실과 lift를 이동하는 traveling/traversing 작업, 작업 대상물을 올리거나 내리는 hoisting 작업, 작업 대상물을 결합/해체시키는 loading/unloading 작업의 세가지 세부작업(sub-task)으로 구성되는 것으로 파악되었다.

현장 조사를 통해 파악된 천정 기중기 운전 작업의 부하는 앉은 자세에서 하방 및 측방 작업 시야 확보를 위해 발생되며, 하체부위보다는 허리를 비롯한 상체부위에서 크게 나타나는 것으로 파악되었다. 천정 기중기 운전 작업부하는 목, 어깨, 허리 등 상체부위의 통증이 빈번하였으며, 발생 원인은 하방 및 측방 작업 시야 요구, 진동, 소음,

분진 등의 작업 환경, 설비안전, 대인안전 등의 작업 안전에 기인한 것으로 분석되었다.

3. 작업부하 평가 모델

3.1. 작업부하 평가 항목

천정 기중기 운전 작업부하 평가 항목은 현장 조사 및 연구 결과를 바탕으로 선별된 후, 현장 interview를 통해 그림 1과 같이 신체적, 정신적, 환경적 작업부하로 분류되었다. 평가 항목 초안은 현장 조사 결과를 토대로 추출된 keyword와 OWAS (Karhu et al., 1977), RULA (McAtamney and Corlett, 1993), REBA (Hignett and McAtamney, 2000), QEC (Li and Buckle, 1998), NASA-TLX (Hart and Staveland, 1988), SWAT (Reid and Nygren, 1988) 등의 기존 연구 결과를 참고로 하여 분류되었다. 선정된 신체적 작업부하 평가 항목은 부자연스러운 자세, 정적 자세, 동작 반복, 힘 사용으로 구성되었다. 정신적 작업부하 평가 항목은 시각적 요구, 청각적 요구, 작업의 복잡성 및 난이도, 시간적 압박감, 작업의 스케줄 관련 스트레스, 안전 관련 스트레스로 구성되었다. 그리고, 환경적 작업부하 평가 항목은 소음, 진동, 분진, 온도로 구성되었다.

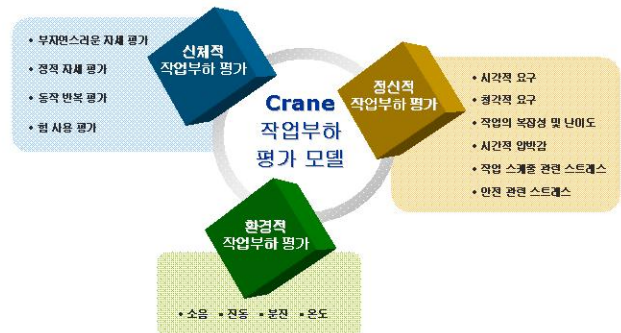


그림 1. 천정 기중기 작업부하 평가 항목 구성

신체적 작업부하 평가 항목은 부자연스러운 자세, 정적 자세, 동작 반복, 힘 사용이며, 관찰자 평가를 통해 평가될 수 있도록 개발되었다. 신체적 작업부하 평가 항목은 부자연스러운 자세, 정적 자세, 동작 반복, 힘 사용으로 구성되며, 평가 항목들은 평가 항목별로 작업부하의 특성에 따라 신체 부위를 분류하고 평가된다. 선정된 신체적 작업부하 평가 항목은 관찰자 평가를 통해 평가되

는데, 천정 기중기 운전 작업의 직접적인 관찰 또는 비디오 촬영 후, 각 신체 부위별 분석을 통해 점수를 산출할 수 있도록 개발되었다. 예를 들어, 목의 부자연스러운 자세의 경우, 그림 2와 같이 세 가지 자유도 측면에서 각각 점수를 산출하여 더하도록 하였다.

■ 목

벌 (Extension)			굽은 (Flexion)			
각도(°)	>60	30~60	<30	<30	30~45	>45
점수	3	2	1	1	2	3
그림						

좌/우측 구부림 (Lateral bending)			회전 (Twisting)				
각도(°)	<30	30~45	>45	각도(°)	<30	30~60	>60
점수	1	2	3	점수	1	2	3
그림				그림			

그림 2. 부자연스러운 자세 부하 점수 체계 (예)

정신적 작업부하 평가 항목은 시각적 요구, 청각적 요구, 작업의 복잡성 및 난이도, 시간적 압박감, 작업 스케줄 관련 스트레스, 안전 관련 스트레스의 6개 항목으로 구성된다. 정신적으로 느끼는 부하에 대한 객관적인 기준 설정 및 평가의 한계로 인해 작업자에 의한 주관적 평가 기법을 적용하였다. 이 때, 평가 항목의 의미에 대한 이해와 평가의 정확성을 높이기 위해 각 항목을 구성하는 2~4개의 세부 항목을 제시하였다. 평가는 세부 항목별로 이루어지며 각 세부 항목에 대해 작업자가 인지하는 부하 수준을 1~5점 척도로 평가하도록 하였다(그림 3 참조). 각 평가 항목별 부하 점수는 세부 항목 평가 결과의 평균값을 사용하여 도출된다.

작업의 복잡성 및 난이도	평균: () / 5
<p>■ [조작 대상 및 정밀도] 작업 수행시 많은 수의 조작 기기(레버, 버튼 등)를 사용해야 하거나 정교하게 조작해야 하는 경우</p> <p>1 (쉬움) — 2 (적당) — 3 (보통) — 4 (어려움) — 5 (매우 어려움) () / 5</p>	
<p>■ [작업 복잡도] 하역 작업을 수행하는 과정에서 작업 순서 또는 절차가 복잡할 경우</p> <p>1 (쉬움) — 2 (적당) — 3 (보통) — 4 (어려움) — 5 (매우 어려움) () / 5</p>	
<p>■ [의사 소통 및 정보 입력] 작업 수행 중 목소리 또는 무전으로 문진실 밖의 작업자와 의사소통을 해야 하거나 PDA에 여러 가지를 입력해야 하는 경우</p> <p>1 (쉬움) — 2 (적당) — 3 (보통) — 4 (어려움) — 5 (매우 어려움) () / 5</p>	

그림 3. 정신적 작업부하 평가 양식 (예)

환경적 작업부하 평가는 소음, 진동, 분진, 온도의 4가지 항목 평가로 이루어진다. 정신적 작업부하와 마찬가지로 작업자가 인지하는 부하수준에 따라 1~5점 척도의 주관적 평가를 적용하였다. 그러나, 보건기준법 및 기타 문헌 자료를 토대로 한 기준도 함께 기재하여 참고할 수 있도록 함으로써 평가의 객관성을 확보하도록 하였다(그림 4 참조).

소음 () / 5	
■	문진실 내 소음 수준
1:	소음이 없다고 느끼는 수준 (TWA 60 미만, D<1.56%)
2:	소음이 있다고 느끼는 수준 (TWA 60 이상 70dB 미만, 1.56% ≤ D < 6.25%)
3:	소음으로 인해 신경이 쓰이는 수준 (TWA 70 이상 80dB 미만, 6.25% ≤ D < 25%)
4:	소음으로 인해 작업이 어려운 수준 (TWA 80 이상 90dB 미만, 25% ≤ D < 100%)
5:	소음으로 인해 심각한 신체적 이상을 느끼는 수준 (TWA 90dB 이상, D ≥ 100%)

소음 Level	소음 정도
90dB	트럭들이 지나갈 때 나는 소리
80dB	매우 시끄러운 라디오 소리, 지하철 승강장
70dB	0.5m에서 울리는 시끄러운 전화벨 소리
60dB	일상적인 대화 (1m 거리)

그림 4. 환경적 작업부하 평가 양식 (예)

3.2. 중요도 및 조치 수준

세부적으로 구분된 평가 항목간의 중요도를 고려하기 위해서, 작업자들에 의한 주관적 평가 기법을 적용하여 중요도를 산출하였다. 신체적, 정신적, 환경적 부하의 상대적 중요도를 파악하기 위해서 AHP를 통한 각 부하간의 쌍대 비교(pair-wise comparison)를 수행하였으며, 하위항목에 대한 중요도를 파악하기 위해서 각 하위항목에 대한 1~5점 척도의 설문이 실시되었다. 최종 부하는 각 평가 항목에 중요도를 곱하여 합하는 방식으로 구해졌다.

신체적, 정신적, 환경적 작업부하에 따른 조치 수준이 각 작업부하 평가점수의 평균과 표준편차를 이용하여 4수준으로 결정되었다. 천정 기중기 운전 작업부하는 신체적, 정신적, 환경적 작업부하로 구분하여 조치되며, 본 연구에서는 철강 산업 현장을 대상으로 한 기중기 운전 작업부하 평가결과를 토대로 평균 값과 1.5배의 표준편차 값을 고려하여 4수준으로(평균±1.5σ) 구분되었다. 각 수준의 조치 수준은 RULA(McAtamney and Corlett, 1993)를 참고하여 표 1과 같이 정의되었다.

표 1. 평가 점수에 따른 조치 수준

작업부하			조치 수준
신체	정신	환경	
< 30	< 50	< 40	적합 (acceptable)
31 ~ 40	51 ~ 65	41 ~ 55	지속적 관찰 요망 (investigate further)
41 ~ 50	66 ~ 80	56 ~ 70	근시일 내의 작업개선 요망 (investigate and change soon)
51 <	81 <	71 <	즉각적인 개선 요망 (investigate and change immediately)

3.3. 작업부하 평가 시스템 개발

기중기 작업부하 평가 모델의 사용 및 보고서 출력을 용이하게 하기 위해, 평가 모델의 시스템화 작업을 수행하였다. 개발된 평가 모델 시스템은 Microsoft® Visual Basic 6.0으로 작성되었으며, Excel 양식의 최종 보고서 출력이 가능하다. 평가 시스템은 모든 평가 항목을 직접 입력할 수 있도록 layout을 설계하였으며, 신체 자세를 나타내는 그림이나 부하에 대한 설문 문항을 삽입함으로써 이해가 쉽도록 하였다(그림 5 참조). 각 부하 항목에 대한 점수를 입력하면 부하 항목간 중요도를 계산하여 최종 부하 및 부하 수준 결과를 보여주며, 이를 정해진 양식의 보고서로 출력함으로써 평가 정보 관리를 용이하게 하였다.

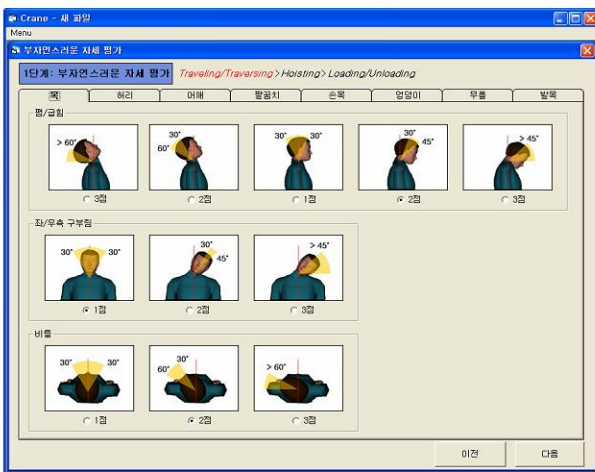


그림 5. 기중기 작업부하 평가 모델 시스템

4. 결론

본 연구에서는 천정 기중기의 운전 특성 및

작업부하 특성을 분석하고 천정 기중기 작업부하를 정량적으로 평가할 수 있는 모델을 개발하였다. 개발된 작업부하 평가 모델은 신체적 작업부하 요소뿐만 아니라 정신적 작업부하 요소와 환경적 작업부하 요소를 복합적으로 고려하여 개발되었으며, 평가 항목간의 중요도를 반영한 결과를 제시한다. 또한, 정량적 평가에 따른 조치 수준을 제시함으로써, 각 천정 기중기의 운전 작업부하의 수준을 파악하고 상대적인 비교가 가능하도록 하였다. 본 연구에서 개발된 모델을 통해 천정 기중기 작업부하에 대한 종합적 고찰이 이루어질 수 있으며, 이는 기중기 개선 시 개선 효과 분석 및 신규 천정 기중기 도입 시 작업부하 추정에 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Karhu, O., Kansil, P., and Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201.
- [2] McAtamney, L. and Corlett, E.N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99.
- [3] Hignett, S. and McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment: REBA. *Applied Ergonomics*, 31, 201-205.
- [4] Li, G. and Buckle, P. (1998). A practical method for the assessment of work-related musculoskeletal risk - Quick Exposure Check (QEC). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting 5-9 October, Chicago, Illinois, 2*, 1351-1355.
- [5] Hart, S. G. and Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): results and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload*, pp. 139-183. North-Holland: Elsevier Science.
- [6] Reid, G. B. and Nygren, T. E. (1988). The subjective workload assessment technique: A scale procedure for measuring mental workload. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload*, pp. 185-218. North-Holland: Elsevier Science.