Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 2 pp.45-59, May 2007

천장 크레인 운전 작업부하 평가모델 개발*

권오채[1] · 이상기[1] · 조영석[2] · 박정철[3] · 정기효[2] · 유희천[2] · 한성호[2]

[1]삼성전자 정보통신총괄 무선사업부 / [2]포항공과대학교 기계산업공학부 / [3]삼성전자 디자인경영센터

Development of a Workload Assessment Model for Overhead Crane Operation

Ochae Kwon[1], Sangki Lee[1], Youngseok Cho[2], Jungchul Park[1], Kihyo Jung[2], Heecheon You[2], Sung H. Han[2]

[1]Samsung Electronic Co., LTD., Jungang-Ilbo Bldg. #7, Soonhwa-dong, Jung-gu, Seoul 100-759
[2]Department of Industrial & Management Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang, Kyungbuk 790-784
[3]Samsung Electronic Co., LTD., Jungang-Ilbo Bldg. #7, Soonhwa-dong, Jung-gu, Seoul 100-759

ABSTRACT

The operating tasks of overhead crane have caused undue stress to the operators from physical, mental, and environmental workload. Existing workload assessment models for musculoskeletal disorders such as OWAS, RULA, and QEC have limited applicability to the crane operating tasks because they focus mainly on physical factors and do not consider the relative importance of each factor. The present study was to develop a workload assessment model customized to overhead crane operation, following a systematic process: (1) analyzing task characteristics, (2) selecting workload factors, (3) developing assessment methods, (4) establishing action levels, and (5) computerizing the assessment model. Based on literature review, worksite survey, and focus group interview, 4 physical factors (awkward posture, static posture, repetitive motion, and excessive force), 6 mental factors (visual demand, auditory demand, task complexity and difficulty, time urgency, work schedule related stress, and safety related stress), and 4 environmental factors (noise, vibration, dust, and temperature) were selected and their rating scales and relative weights were determined. Then, based on the workload assessment results of 8 overhead cranes operated at different workplaces, the action levels of each factor category were established. Finally, the crane operation assessment model was computerized for effective analysis and report preparation. The present approach is applicable to develop a customized workload assessment model for an operating task under consideration.

Keyword: Overhead crane, Workload assessment model, Physical factor, Mental factor, Environmental factor

1. 서 론

국내 산업용 크레인 중에서 가장 많이 사용되고 있는 천장 크레인 작업은 부적절하게 설계된 운전실 및 조작장치로 인해 천장 크레인 작업자들에게 근골격계 부담을 주고 있다 (그림 1 참조). 산업용 크레인은 두 지점을 케이블로 연결하여 움직이며 작업하는 케이블 크레인, 경사진 보(jib)를

*본 연구는 2004년 POSCO의 지원을 받아 수행되었음.
교신저자: 유희천
주 소: 790-784 경북 포항시 남구 효자동 산 31, 전화: 054-279-2210, E-mail: hcyou@postech.ac.kr

가진 지브 크레인, 대들보(girder)를 2개의 교각으로 지지하고 교각 하단에 있는 바퀴로 레일 위를 주행하는 다리형(gantry) 크레인, 공장이나 창고의 천장에 설치되어 무거운 물건을 매달아 운반하는 천장 크레인 등이 있다. 한국산업안전공단의 안전검인증센터자료에 의하면 국내에서는 총 22,061대의 산업용 크레인들 중 천장 크레인이 66%를 차지하고 있다(윤영한, 2000). 그런데, 천장 크레인 작업은 운전실 및 조작장치의 부적절한 설계로 인해 근골격계 부담작업의 범위(노동부고시 제 2003-24호) 중 제 2호(반복동작)와 제 4호(적절한 신체 지지 없이 부적절한 자세 유지)에 해당하는 유해요소를 지니고 있다.

(a) 천장 크레인

(b) 작업자 운전 자세

그림 1. 천장 크레인 및 작업자 운전 자세

천장 크레인 작업자들의 근골격계질환 예방을 위해서는 천장 크레인 작업의 정량적인 작업부하 평가를 통한 유해요인 파악 및 개선이 필요하나, 기존의 근골격계질환 예방을 위한 인간공학 평가 기법들(예: OWAS, RULA, REBA, QEC)은 천장 크레인 운전 작업의 근골격계 부담 평가에 있어 적용상의 한계점들이 있다. 먼저, 기존의 인간공학 평가 기법들은 일부 신체적 유해요인들(자세, 반복성, 힘, 진동)만을 평가 대상으로 하고 있어, 정신적 작업부하 요인(시/청각적 요구, 작업 안전 등)이나 환경적 작업부하 요인들에 관한 평가가 미흡한 실정이다. 또한, 기존의 인간공학 평가 기법들은 앉은 자세에서 다양한 형태의 세부 작업을 수행하는 천장 크레인 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, 천장 크레인 작업 특성을 고려하여 천장 크레인 운전 작업에 특화되고 기타 정신적 작업부하 요소들과 작업부하 요소들간의 상대적 중요도를 고려한 종합적인 작업부하 평가모델의 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구는 천장 크레인 운전 작업부하를 전반적이고 심층적으로 평가할 수 있는 특화된 작업부하 평가모델을 개발하고자 한다. 본 연구는 천장 크레인 운전 작업에 특화된 작업부하 평가모델을 개발하기 위해 철강 산업현장에서 사용되고 있는 천장 크레인을 대상으로 운전 작업 및 작업부하 특성을 분석하였다. 그리고, 분석 결과를 토대로 신체적 작업부하 요소뿐만 아니라 정신적 작업부하 요소와 환경적 작업부하 요소를 선정하고 작업부하 요소들 간의 상대적 중요도를 고려하여 천장 크레인 운전 작업부하를 정량적으로 평가할 수 있는 특화된 작업부하 평가모델을 개발하였다. 개발된 평가모델은 효율적 현장 적용을 위해 컴퓨터 프로그램으로 시스템화되었다.

2. 연구 방법

천장 크레인 작업에 특화된 평가모델은 그림 2와 같이 5단계(천장 크레인 작업 특성 분석, 작업부하 평가항목 선정, 평가 방법 개발, 조치 수준 설정, 평가 시스템 개발)를 거쳐 개발되었다(각 단계의 세부 결과는 3절부터 7절에 걸쳐 서술되어 있음). 첫 번째 단계에서는 P 철강 회사에서 사용되고 있는 8가지 유형의 천장 크레인들에 대한 운용 작업 특성을 현장 조사를 통해 분석하였다. 현장 조사는 3명의 연구자가 천장 크레인에 탑승하여 작업자 interview와 작업 관찰에 의해 이루어졌다. 작업자 interview는 운전 작업 특성(목적, 작업 요소, 순서, 주기, 난이도, 통신 방법, 작업 오류 유형), 작업 schedule(교대 근무, 1일 근무 시간, 휴식 시간 비율, 휴식 방법), 작업 자세(피로 신체 부위 및 강도, 신체치수에 맞지 않은 운전실 구성 요소, 신체 지지가 필요한 부위), 작업 환경(계절별 작업장 온도, 진동, 소음, 조명, 휘광)에 대한 질의응답 형식으로 진행되었다. 또한, 작업 관찰은 운전실 구성 요소 조사와 작업 자세 변화 및 조작장치(예: lever)의 조작 방법을 촬영하여 이루어졌다.

두 번째 단계에서는 기존 연구 결과와 현장 조사에서 파악된 작업부하 요소들에 대한 focus group interview(FGI)를 통해 크레인 운용 작업과 관련된 작업부하 평가항목을 선정하였다. OWAS(Karhu et al., 1977), RULA(McAtamney and Corlett, 1993), REBA(Hignett and McAtamney, 2000), QEC(Li and Buckle, 1998), NASA-TLX(Hart

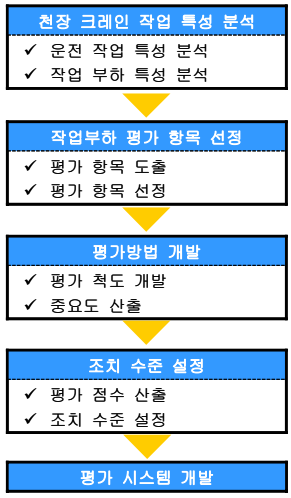


그림 2. 천장 크레인 작업부하 평가모델 개발과정

and Staveland, 1988), SWAT(Reid and Nygren, 1988) 등과 같은 기존의 신체적, 정신적, 환경적 작업부하 평가 방법들과 전 단계에서 실시한 현장 조사를 토대로 작업부하 평가항목 후보를 도출하였다. 도출된 평가항목 후보들에 대해 각 크레인 유형별로 3명의 작업자들(총 24명, 크레인 운용 경력 평균(표준편차)=17.7(5.7)년)을 대상으로 FGI를 실시하여 크레인 운용 작업과 관련된 평가항목을 파악하였다.

세 번째 단계에서는 기존 작업부하 평가 연구들에서 사용된 평가척도들과 크레인 운전 작업 특성을 고려하여 선정된 평가항목들에 대한 평가척도가 개발되었으며 FGI에 의해 평가항목들 간의 중요도를 산출하였다. OWAS, RULA, REBA를 비롯하여 LUBA(Kee and Karwowski, 2001), PATH(Buchholz et al., 1996), PEO(Fransson-Hall et al., 1995), PLIBEL(Kemmlert, 1995), TRAC(van der Beek et al., 1992), VIRA(Kilbom et al., 1986), WOPALAS(Pinzke, 1994) 등과 같은 기존의 작업부하 평가 연구들에서 사용된 평가척도들과 좌식 작업이라는 크레인 운전 작업 특성을 고려하여 신체적 작업부하 평가항목들에 대한 평가척도가 개발되었다. 정신적 작업부하 평가항목에 대한 평가척도는 각 평가항목을 구성하는 2~4개의 세부 항목을 선정한 후, 선정된 세부 항목들의 주관적 평가를 위해 5점 척도(1=없음; 2=적은 편임; 3=보통임; 4=많은 편임; 5=매우 많음)가 사용되었으며, 환경적 작업부하 평가항목에 대한 평가척도는 환경에 관한 인간공학 설계 지침 정보(Woodson et al., 1992; 김봉애, 2001; 노동부, 2002, 2003)를 비롯한 객관적 기준들을 활용하여 5점 척도로 개발되었다. 선정된 평가항목들 간의 중요도는 각 크레인 유형별로 3~5명의 운전 작업자들을 대상으로 FGI를 통해 산출되었다. 신체적, 정신적, 환경적 작업부하 간의 상대적 중요도는 9점 척도(1=동등함; 3=다소 중요함; 5=중요함; 7=매우 중요함; 9=극히 중요함)를 사용한 쌍대 비교(pair-wise comparison)를 통해 평가되고 AHP(analytic hierarchy process) 기법(Saaty, 1980)을 적용하여 분석되었으며, 이들 세부 부하 항목들의 중요도는 5점 척도(1=매우 낮음; 2=낮음; 3=보통; 4=높음; 5=매우 높음)를 적용하여 평가되었다.

네 번째 단계에서는 P사에서 운용되고 있는 8가지 유형의 천장 크레인에 대한 작업부하 평가점수를 토대로 신체적, 정신적, 환경적 작업부하의 부문별로 4가지 조치 수준을 결정하였다. 각 크레인 유형에 대한 작업부하 평가점수는 평가항목별 점수와 중요도를 고려하여 산출되었다. 각 작업부하 부문별 조치 수준은 산출된 8가지 유형의 작업부하 평가점수의 평균($\bar{x}$)과 표준편차(s)를 바탕으로 적합($\bar{x}$ -1.5s 이하), 지속적 관찰 요망($\bar{x}$ -1.5s~$\bar{x}$), 근시일 내에 작업 개선 요망($\bar{x}$ ~$\bar{x}$ +1.5s), 즉각적인 개선 요망($\bar{x}$ +1.5s 이상)과 같은 조치 수준을 결정하였다.

마지막 단계에서는 본 연구에서 개발된 평가 방법을 실무자들이 용이하게 활용할 수 있도록 평가 시스템을 개발하였다. 평가 시스템은 Microsoft® Visual Basic 6.0을 이용하여 평가 결과 입력, 분석, 보고서 출력 등이 효율적으로 이루어지도록 하였다.

3. 천장 크레인 작업 특성 분석

8가지 유형의 천장 크레인에 대한 현장 조사를 통해 천장 크레인 운용 작업은 이동(traveling/traversing), 권상/권하(hoisting), 하역(loading/unloading)의 세 가지 주요 작업들이 반복적으로 수행되는 것으로 파악되었다. 크레인 운용 작업은 작업 대상물(coil, 후판, 선재, slab 등)과 lift 방식(wire, hook, bucket, tong 등)에 따라 다소 차이는 있으나, 그림 3과 같은 유사한 표준 작업 절차를 따르는 것으로 파악되었다. 특히, 이들 작업 절차 중 운전실과 lift를 이동하는 이동(traveling/traversing) 작업, 작업 대상물을 올리거나 내리는 권상/권하(hoisting) 작업, 작업 대상물을 결합/해체시키는 하역(loading/unloading) 작업이 매 작업 대상물 이동마다 반복적으로 수행됨이 파악되었다.

또한, 작업자들과의 interview와 연구자의 관찰을 통해, 천장 크레인 운전의 작업부하는 앉은 자세에서 하방 및 측방 작업 시야 확보를 위해 발생되며 하체 부위보다는 허리를 비롯한 상체 부위에서 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 천장 크레인 운전 작업부하는 목, 어깨, 허리 등 상체 부위의 통증이 빈번하게 발생되었으며, 발생 원인은 하방 및 측방 작업 시야 요구, 진동, 소음, 분진의 작업 환경, 설비 안전, 대인

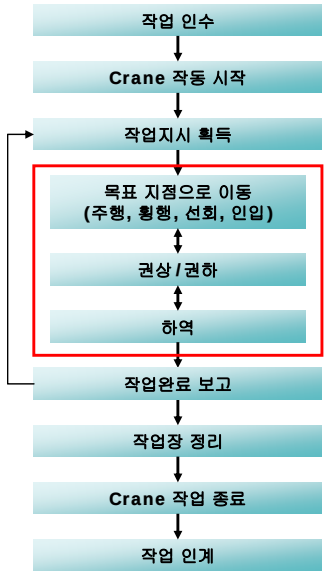


그림 3. 천장 크레인 운용 작업

안전 등의 작업 안전에 기인한 것으로 조사되었다.

4. 작업부하 평가항목 선정

문헌 조사와 현장 조사를 토대로 파악된 작업부하 요소들에 대한 FGI 결과, 천장 크레인 운전 작업부하 평가항목으로 그림 4와 같이 4개의 신체적 작업부하, 6개의 정신적 작업부하, 그리고 4개의 환경적 작업부하가 선정되었다. 문헌 조사와 현장 조사를 통해 파악된 19개 작업부하 평가항목 중 천장 크레인 작업부하 평가에 적합하지 않은 신체적 작업부하 2개(갑작스런 움직임, 접촉 스트레스), 정신적 작업부하 1개(휴무 및 반복 작업으로 인한 지루함), 환경적 작업부하 2개(조명, 습도)를 제외한 14개의 항목이 선정되었다.

그림 4. 천장 크레인 작업부하 평가항목

5. 평가 방법 개발

천장 크레인 운전 작업부하 평가는 선정된 작업부하 평가항목들에 대해 각기 평가한 후 평가항목들 간의 중요도를 적용하여 종합적인 점수가 산출되도록 하였다. 작업부하 평가항목들에 대한 평가는 부록과 같이 신체적, 정신적, 환경적 작업부하 평가항목별로 평가척도가 개발되었으며, 신체적 작업부하 평가항목의 경우에는 부자연스러운 자세, 정적 자세, 동작 반복, 힘 반복에 대해 각기 다른 종류의 평가척도가 개발되었다. 그리고, 평가항목들 간의 중요도는 그림 5에 나타난 바와 같이 8가지 부문(전반적 작업부하, 신체적 작업부하, 정신적 작업부하, 환경적 작업부하, 부자연스러운 자세, 정적 자세, 동작 반복, 힘 사용)에 대해 각기 산출되었다.

그림 5. 평가항목간 가중치 모델 구조

신체적 작업부하 평가항목인 부자연스러운 자세, 정적 자세, 동작 반복, 힘 사용은 관련 신체 부위(표 1 참조)별 가중치(α_j) 합으로 점수가 산출되며, 특히 부자연스러운 자세와 정적 자세는 세부 작업별 가중치(β_j)를 고려하여 산출된다. 부자연스러운 자세와 정적 자세 항목은 작업 주기 시간(work cycle time)을 세부 작업(예: 이동 작업, 권상/권하 작업, 하역 작업)으로 구분하여 신체 부위별로 평가한 후, 세

표 1. 신체적 작업부하 평가항목별 신체 부위

평가항목	평가 대상 신체 부위
부자연스러운 자세	목, 허리, 어깨, 팔꿈치, 손목, 엉덩이, 무릎, 발목
정적 자세	목/머리, 허리/몸통, 어깨/팔, 팔꿈치/전완, 손목/손, 엉덩이/대퇴, 무릎/하퇴, 발목/발
동작 반복	목/머리, 허리/몸통, 어깨/팔, 팔꿈치/전완, 손목/손, 손가락, 엉덩이/대퇴, 무릎/하퇴, 발목/발
힘 사용	손가락, 손/팔, 발/다리

부 작업의 시간 비율(β_j)과 신체 부위 가중치(α_j)에 근거하여 평가점수가 산출된다. 그리고, 동작 반복과 힘 사용 항목은 신체 부위별 평균 동작 반복 횟수와 주로 사용되는 힘 수준을 신체 부위 가중치(α_j)에 근거하여 평가점수가 산출된다. 신체적 작업부하 평가항목의 산출식은 수식 (1)과 같다.

$$\text{작업 부하 항목별 평가점수} = \sum_j \sum_i \beta_j \alpha_i b_{ij} \qquad (1)$$

where, α_i = 신체 부위 i 가중치

β_j = 작업 주기 시간 중 세부 작업 j의 시간 비율 (단, 동작 반복과 힘 사용 평가에 대해서는 고려하지 않음.)

b_{ij} = 세부 작업 j에 사용된 신체 부위 i의 부하 평가점수

신체 부위별 부자연스러운 자세 평가는 신체 부위별 연관 동작 차원(표 2 참조)에 대해 3점 척도를 적용하여 이루어진다. 예를 들어, 목 부위는 폄(extension)/굽힘(flexion), 좌/우측 구부림(lateral bending), 비틂(twisting)이라는 3가지 동작 차원에 대해, 손목 부위는 폄(extension)/굽힘(flexion), 요골편향(radial deviation)/척골편향(ulnar deviation)이라는 2가지 동작 차원에 대해 평가가 이루어진다. 그리고, 신체 부위별 동작 차원에 대한 평가척도는 표 3과 같이 기존 작업부하 평가 연구들에서 사용된 평가척도들과 크레인 운전 작업 특성을 고려하여 관절 각도 범위에 따라 3점 척도로 개발되었다.

신체 부위별 정적 자세 평가는 부자연스러운 자세에서의 신체 부위를 기준으로 작업 주기 시간(work cycle time) 동안 해당 부자연스러운 자세의 지속 시간으로 평가된다. 정적 자세 평가는 표 4와 같은 정적 자세부하 점수체계를 적용하여 평가되며, 해당 신체 부위의 자세 지속 시간뿐 아니라 지지여부에 따른 추가 점수(+1)도 포함된다.

동작 반복 평가는 표 1에서 분류된 신체 부위에 대해 운전 작업 중 반복적으로 사용되는 분당 빈도수로써 평가되며, 힘 사용 항목은 주로 사용되는 힘 수준으로 평가된다. 동작 반복 부하 점수체계는 기존 평가 기법들의 반복성 분류체계와 천장 크레인 운전 작업의 특성을 고려하여 각 신체 부위에 대해 표 5와 같이 개발되었다. 힘 사용 부하 점수체계도 관련 연구와 기존 평가 기법들의 힘 수준 분류체계를 기준으로 천장 크레인 운전 작업의 특성을 고려하여 각 신체 부위에 대해 표 6과 같이 개발되었다.

표 2. 신체 부위별 동작 차원 분류

신체 부위	동작 차원
목	폄(extension)/굽힘(flexion), 좌/우측 구부림(lateral bending), 비틂(twisting)
허리	폄(extension)/굽힘(flexion), 좌/우측 구부림(lateral bending), 비틂(twisting)
어깨	폄(extension)/굽힘(flexion), 모음(adduction)/벌림(abduction), 안쪽 돌림(medial rotation)/바깥쪽 돌림(lateral rotation)
팔꿈치	굽힘(flexion), 엎침(pronation)/뒤침(supination)
손목	폄(extension)/굽힘(flexion), 요골편향(radial deviation)/척골편향(ulnar deviation)
엉덩이	굽힘(flexion), 모음(adduction)/벌림(abduction), 안쪽 돌림(medial rotation)/ 바깥쪽 돌림(lateral rotation)
무릎	굽힘(flexion), 안쪽 돌림(medial rotation)/바깥쪽 돌림(lateral rotation)
발목	발등 굽힘(dorsal flexion)/발바닥 굽힘(plantar flexion), 모음(adduction)/벌림(abduction)

표 3. 부자연스러운 자세부하 점수체계(예: 목)

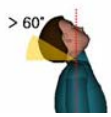
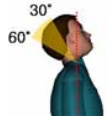
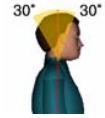
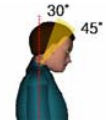
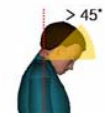
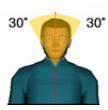
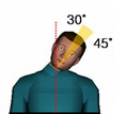
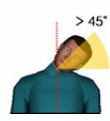
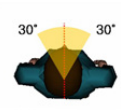
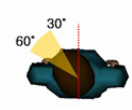
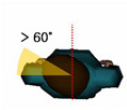
폄(Extension)				굽힘(Flexion)			
각도(°)	>60	30~60	<30	각도(°)	<30	30~45	>45
점수	3	2	1	점수	1	2	3
그림				그림			
좌/우측 구부림(Lateral bending)				비틂(Twisting)			
각도(°)	<30	30~45	>45	각도(°)	<30	30~60	>60
점수	1	2	3	점수	1	2	3
그림				그림			

표 4. 정적 자세부하 점수체계

분류	낮음 (low)	보통 (moderate)	높음 (high)	비고
시간(초)	<10	10~30	≥30	
점수	1	2	3	신체 부위가 지지되지 않은 경우: +1

표 5. 동작 반복 부하 점수체계

분류		낮음 (low)	보통 (moderate)	높음 (high)	점수
점수		1	2	3	
신체 부위별 반복 빈도 (분/회)	어깨/팔	<2	2~4	>4	
	팔꿈치/전완	<4	4~10	>10	
	손목/손	<10	10~20	>20	
	손가락	<20	20~40	>40	
	목/머리	<4	4~10	>10	
	허리/몸통	<2	2~4	>4	
	엉덩이/대퇴	<2	2~4	>4	
	무릎/하퇴	<4	4~10	>10	
	발목/발	<10	10~20	>20	
				총합	

표 6. 힘 사용 부하 점수체계

분류		낮음 (low)	보통 (moderate)	높음 (high)	점수
점수		1	2	3	
신체 부위별 힘 크기 (N)	손가락	<2.5	2.5~10	≥10	
	손/팔	<10	10~40	≥40	
	발/다리	<10	10~40	≥40	
				총합	

정신적 작업부하는 각 평가항목을 구성하는 2~4개의 세부 항목에 대해 5점 척도를 사용하여 평가된다. 정신적 작업부하 평가항목들은 항목의 의미에 대한 이해와 평가의 정확성을 높이기 위하여 표 7과 같은 세부 항목들에 의해 평가가 이루어지도록 하였으며(그림 6 참조), 평가항목별 부하점수는 관련 세부 항목 평가 결과의 평균값을 사용하였다.

환경적 작업부하 평가는 주관적 평가를 기본으로 하되 평가에 참고할 수 있는 객관적 기준을 제시하도록 하였다. 환경적 작업부하 평가항목들은 정신적 작업부하와 마찬가지로 작업자가 인지하는 부하 수준에 따라 5점 척도의 주관적 평가를 적용하였다. 그리고, 보건기준법(노동부, 2003)을 토대로 한 기준도 함께 기재하여 참고할 수 있도록 함으로써 평가의 객관성을 확보하도록 하였다(그림 7 참조).

표 7. 정신적 작업부하 평가항목별 세부 항목

평가 항목	세부 항목
시각적 요구	장애물에 의한 시야 간섭, 주시 대상, 주시 대상의 가시성, 조명 및 반사
청각적 요구	청취 대상, 소음에 의한 차폐 효과
작업의 복잡성 및 난이도	조작 대상 및 정밀도, 작업 복잡도, 의사소통 및 정보 입력
시간적 압박감	작업 완료 시한, 작업 속도의 성과 반영
작업 스케줄 관련 스트레스	교대 근무, 교대 인원 및 휴식 시간, 천장 크레인 이동
안전 관련 스트레스	운전자 안전, 타작업자 안전, 설비 안전

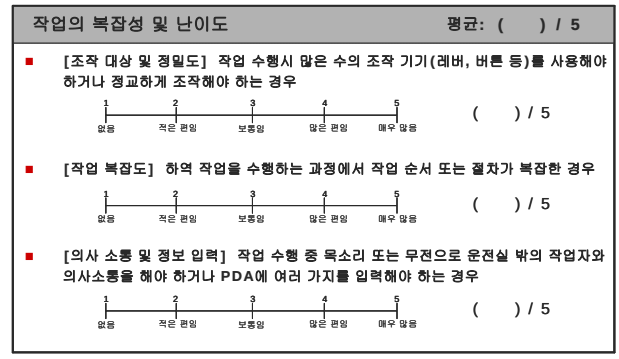


그림 6. 정신적 작업부하 평가 양식(예: 작업의 복잡성 및 난이도)

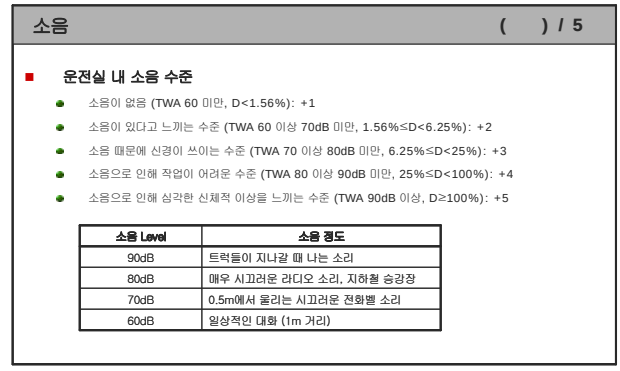


그림 7. 환경적 작업부하 평가 양식(예: 소음)

작업장별로 FGI에 의한 평가항목들 간의 중요도의 차이를 분석한 결과, 각 작업부하의 세부 항목과 신체 부위간의 중요도는 전반적으로 통계적으로 유의한 차이가 없는 반면, 신체적, 정신적, 환경적 작업부하간 중요도는 차이가 있는 것으로 파악되었다. 작업장에 따른 세부 항목간 중요도 차이(부자연스러운 자세, $F(7,24)=0.91$, $p=0.52$; 정적 자세, $F(7,24)=2.14$, $p=0.08$; 동작 반복, $F(7,24)=3.18$, $p=0.02$; 힘 사용, $F(7,24)=0.90$, $p=0.52$)와 신체 부위간 중

요도 차이(신체적 작업부하, $F(7,24)=0.79$, $p=0.60$; 정신적 작업부하, $F(7,24)=0.82$, $p=0.58$; 환경적 작업부하, $F(7,24)=0.69$, $p=0.68$)는 전반적으로 유의하지 않은 것으로 분석되어, 작업장별 세부 항목간 중요도와 신체 부위간 중요도의 평균을 산출하여 평가모델에 적용하였다(표 8, 표 9 참조). 반면, 신체적, 정신적, 환경적 작업부하 간의 중요도는 작업장 별로 차이(신체적 작업부하, $F(6,145)=5.65$, $p<0.0001$; 정신적 작업부하, $F(6,145)=6.76$, $p<0.0001$; 환경적 작업부하, $F(6,145)=22.81$, $p<0.0001$)가 있어 중요도가 가장 크게 나타난 작업부하에 따라 작업장을 3개의 그룹으로 분류(신체적/정신적/환경적 작업부하별 평가점수의 평균 이상인 작업장끼리 그룹핑)하고 각 그룹 내에서 작업부하의 중요도 평균을 산출하여 평가모델에 반영하였다(표 10 참조).

표 8. 신체적 작업부하 평가항목별 가중치 모델

평가항목	가중치 모델
부자연스러운 자세	0.14×목 + 0.20×허리 + 0.14×어깨 + 0.09×팔꿈치 + 0.12×손목 + 0.09×엉덩이 + 0.10×무릎 + 0.12×발목
정적 자세	0.12×목 + 0.18×허리 + 0.10×어깨 + 0.09×팔꿈치 + 0.14×손목 + 0.12×엉덩이 + 0.09×무릎 + 0.16×발목
동작 반복	0.07×목 + 0.12×허리 + 0.07×어깨 + 0.08×팔꿈치 + 0.12×손목 + 0.14×엉덩이 + 0.15×무릎 + 0.13×발목 + 0.12×손가락
힘 사용	0.24×손가락 + 0.31×손/팔 + 0.45×발/다리

표 9. 신체적, 정신적, 환경적 작업부하별 가중치 모델

평가 작업부하	가중치 모델
신체적 작업부하	0.28×부자연스러운 자세 + 0.24×정적 자세 + 0.29×동작 반복 + 0.18×힘 사용
정신적 작업부하	0.17×시각적 요구 + 0.16×청각적 요구 + 0.17×작업의 복잡성 및 난이도 + 0.16×시간적 압박감 + 0.16×작업 스케쥴 관련 스트레스 + 0.18×안전 관련 스트레스
환경적 작업부하	0.25×소음 + 0.25×진동 + 0.26×분진 + 0.24×온도

6. 조치 수준 설정

전반적 작업부하 평가 결과는 각 평가항목의 점수에 중요도를 고려하여 산출되었는데, 분석된 천장 크레인들의 평가결과는 44~60점인 것으로 파악되었다. 작업부하 평가점수가 가장 낮은 천장 크레인(44점)은 다른 천장 크레인들에 비해 측/하방 시야 확보의 필요가 적어 목/허리를 숙이거나 몸을 비트는 자세가 없으며, 조작이 쉽고 작업이 간단할 뿐 아니라 소음, 진동, 분진, 온도의 환경적 측면에서도 쾌적한 것으로 분석되었다. 반면, 신체적 작업부하가 가장 큰 천장 크레인은 운전 작업시 발/다리 부위의 사용으로 하지 부위의 부자연스러운 자세 및 동작 반복 부하가 컸으며, 정신적 작업부하가 가장 큰 천장 크레인은 안전성 확보에 따른 스트레스가 컸고, 환경적 작업부하가 가장 큰 천장 크레인은 분진 및 고온의 환경으로 인해 평가점수가 높은 것으로 분석되었다.

표 10. 전반적 작업부하(overall workload) 가중치 모델

작업장 그룹	가중치 모델	비고
그룹 1	0.59*신체적 작업부하 + 0.26*정신적 작업부하 + 0.15*환경적 작업부하	신체적 작업부하가 상대적으로 큰 작업장
그룹 2	0.34*신체적 작업부하 + 0.48*정신적 작업부하 + 0.17*환경적 작업부하	정신적 작업부하가 상대적으로 큰 작업장
그룹 3	0.37*신체적 작업부하 + 0.21*정신적 작업부하 + 0.42*환경적 작업부하	환경적 작업부하가 상대적으로 큰 작업장

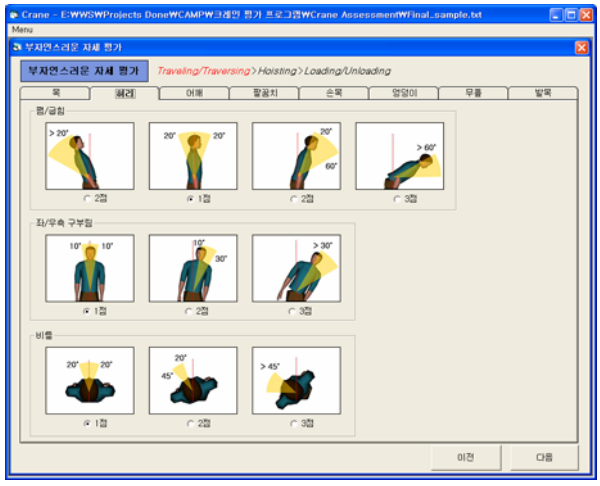
신체적, 정신적, 환경적 작업부하 평가점수의 평균과 표준편차를 이용하여 조치 수준을 설정한 결과 개선 대상 천장 크레인이 파악되었다. 천장 크레인 운전 작업부하는 신체적, 정신적, 환경적 작업부하로 구분하여 조치되며, 본 연구에서는 천장 크레인별 운전 작업부하 평가결과를 토대로 평균 값과 1.5배의 표준편차 값을 고려(평균 ± 1.5s)하여 4가지 수준으로 구분되었다(표 11 참조). 설정된 조치 수준 기준을 적용한 결과, 근시일 내에 작업개선 혹은 즉각적인 개선이 요망되는 천장 크레인이 10개(신체적 부하 측면: 3개, 정신적 부하 측면: 4개, 환경적 부하 측면 3개)로 파악되었다.

표 11. 평가점수에 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)
> 50	> 80	> 70	즉각적인 개선 요망 (investigate and change immediately)

7. 평가 시스템 개발

개발된 작업부하 평가모델의 활용 및 보고서 작성을 용이하게 하기 위해, 평가모델의 컴퓨터 시스템이 개발되었다. 개발된 평가 시스템은 Microsoft® Visual Basic 6.0으로 작성되었으며, Excel 양식의 보고서 작성 및 출력이 가능하도록 하였다. 작업부하 평가 시스템은 모든 평가항목에 대한 평가점수를 입력할 수 있도록 설계되었으며, 사용자의 이해가 용이하도록 신체 자세를 나타내는 그림이나 부하에 대한 설문 문항을 삽입하였다(그림 8 참조). 신체적 작업부하 세부 평가항목들 중 일정 기준(50% 이상)을 넘는 경우 color coding(주황색)을 통해 쉽게 식별되도록 하였으며, 입력된 각 작업부하 평가항목에 대한 점수에 평가항목간 중요도를 적용하여 최종 작업부하 점수 및 조치 수준 결과를 산출하고, 이를 정해진 양식의 보고서로 출력되도록 하였다.



(a) 입력 화면 – 허리 자세

Crane 작업 부하 보고서

1. 평가 정보

평가 일시	2005 년 3 월 5 일		
평가자	부서	직책	이름
	공정출하부 IE 팀	팀장	홍길동

2. Crane 정보

부서	제선부	장소	원료 공장
관리 번호	Unloader 12호기		
사진 정보		작업 설명	
		Bucket을 사용하여 원료를 원료 운반선박으로부터 지상으로 운반하는 crane	

3. 부하 점수 및 조치 수준

구분	신체적 부하	정신적 부하	환경적 부하
부하 수준	58	75	45
조치 수준 등급	4	3	2
가중치	0.57	0.27	0.16
총 부하 점수	60.51		

등급	신체	정신	환경	조치 수준
1	≤ 30	≤ 50	≤ 40	적합
2	31 ~ 40	51 ~ 65	41 ~ 55	지속적 관찰 요망
3	41 ~ 50	66 ~ 80	56 ~ 70	근시일 내의 작업개선 요망
4	> 50	> 80	> 70	즉각적인 개선 요망

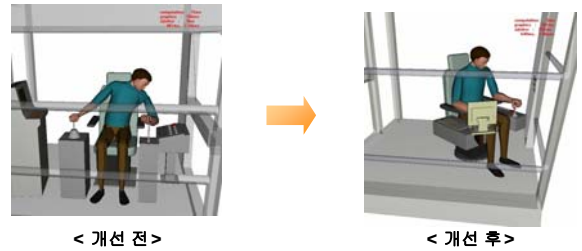
(b) 출력 보고서 – 종합

그림 8. 천장 크레인 작업부하 평가 시스템

8. 토 의

본 연구는 천장 크레인의 운전 및 작업부하 특성을 분석하여 작업부하를 정량적으로 평가할 수 있는 모델을 개발하였다. 개발된 작업부하 평가모델은 신체적 작업부하 요소뿐만 아니라 정신적 작업부하 요소와 환경적 작업부하 요소를 복합적으로 고려하여 개발되었으며, 평가항목 간의 중요도가 반영된 종합적인 결과를 제시한다. 또한, 정량적 평가에 따른 조치 수준을 제시함으로써, 각 천장 크레인의 운전 작업부하 수준을 파악하고 상대적인 비교가 가능하도록 하였다. 따라서, 본 평가모델은 천장 크레인 작업부하에 대한 종합적 고찰을 통해 기존 천장 크레인들의 개선 우선 순위 파악을 가능하게 할 뿐만 아니라, 개선 전후의 평가 결과 비교를 통해 개선 효과를 정량적으로 추정하는데 활용될 수 있을 것이다. 또한, 신규 천장 크레인의 구입 추진 시 신규 천장 크레인 작업으로 인한 작업부하 추정 자료를 제공할 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발된 작업부하 평가모델은 천장 크레인 작업의 개선 우선 순위 파악과 개선 효과 추정에 활용될 수 있을 것이다. 제안된 평가모델은 신체적, 정신적, 환경적 작업부하 평가의 부분별 적용이 가능하며, 그림 9는 신체적 작업부하 평가를 통해 천장 크레인 개선 효과를 추정한 예이다. 즉, 본 평가모델은 정량적인 평가결과를 도출할 수 있음으로 인해 작업부하를 분석적으로 파악할 수 있다. 따라서, 본 평가모델은 다양한 종류의 천장 크레인의 작업부하를 정량화하는데 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 작업부하 세부 항목별



< 개선 전 >

	목	허리	어깨	팔꿈치	손목	합계
부하점수	3	3	3	2	0	11

< 개선 후 >

	목	허리	어깨	팔꿈치	손목	합계
부하점수	1	0	0	1	0	2

그림 9. 천장 크레인 개선 효과 추정 예시

결과를 통해 크레인의 작업부하 요인을 분석하고 개선점을 파악하는데 활용될 수 있을 것이다.

본 작업부하 평가모델은 앉은 자세에서 다양한 형태의 세부 작업을 반복적으로 수행하며, 작업 환경과 안전에 대한 스트레스가 큰 천장 크레인 운전 작업에 특화된 평가모델이다. 천장 크레인 운전 작업은 앉은 자세에서 하방 및 측방 작업의 시야 확보를 위해 하체 부위보다는 허리를 비롯한 상체 부위를 반복적으로 사용하며, 진동, 소음, 분진 등의 작업 환경과 설비 안전, 대인 안전 등의 작업 안전 등으로 인한 스트레스가 큰 작업이다. 이러한 작업 특성으로 인해 천장 크레인 운전 작업은 목, 어깨, 허리 등 상체 부위의 신체적 작업부하뿐만 아니라 작업 스케줄, 대인 및 설비 안전 등의 정신적 작업부하와 진동, 소음, 분진 등의 환경적 작업부하 요인들이 내재되어 있다. 이로 인해, 본 평가모델은 신체적 작업부하 요소뿐 아니라 정신적 작업부하 요소와 환경적 작업부하 요소를 복합적으로 고려하여 개발되었다.

개발된 작업부하 평가모델은 기존 작업부하 평가모델에 비해 세분화되고 종합화된 평가모델이다. 본 연구에서 개발된 작업부하 평가모델은 기존의 인간공학 평가 기법들(예: OWAS, RULA, QEC)에 비해 세분화된 신체적 작업부하 요인 및 신체 부위를 평가할 수 있을 뿐 아니라, 정신적 작업부하와 환경적 작업부하까지 세분화하여 평가할 수 있도록 개발되었다(표 12 참조). 예를 들어, 기존 평가 기법들에서 획일화되어 평가된 정적 자세와 동작 반복으로 인한 신체적 작업부하는 각각 8개 및 9개 신체 부위별로 구분되어 평가되었다. 또한, 본 평가모델은 정확한 작업부하 평가를 위해 신체적 작업부하와 정신적 작업부하, 그리고 환경적 작업부하 간의 상대적 중요도를 고려하여 체계적이고 분석적으로 개발된 종합화된 평가모델이다. 신체적 작업부하와 정신적 작업부하, 그리고 환경적 작업부하 간의 상대적 중요도는 작업장별 특성에 따라 3개의 그룹으로 분류되었다. 본 연구는 천장 크레인 간의 작업부하 수준의 상대적인 비교를 가능하게 하기 위하여 작업장 별로 작업부하간 중요도를 다르게 적용함으로써 평가 결과에 작업장의 특성을 반영할 수 있도록 하였다.

예를 들어, 운전 작업시 부자연스러운 자세 및 동작 반복부하가 큰 작업장은 신체적 작업부하에, 안전에 대한 스트레스가 큰 작업장은 정신적 작업부하에, 그리고 분진이나 고온 등 환경적인 문제가 큰 작업장은 환경적 작업부하에 가장 큰 중요도를 부과하였다. 천장 크레인 작업에 특화된 작업부하 평가모델은 평가항목 및 척도, 그리고 중요도 변경으로 일반화된 작업부하 평가모델로 활용될 수 있으나, 보다 정확한 평가모델 구축을 위해서는 체계적인 실험 연구가 필요하다. 본 작업부하 평가모델은 앉은 자세에서 하방 및 측방 작업을 위해 허리를 비롯한 상체 부위를 많이 활용하고 작업 안전 및 환경이 문제가 되는 천장 크레인의 작업 특성에 맞게 개발되었으나, 평가항목 수정 및 평가척도 변형, 그리고 중요도 변경 등으로 다른 작업 상황에 유용하게 활용될 수 있는 작업부하 평가모델이다. 그러나, 본 모델은 다양한 정보를 종합하다 보니 일부 항목들(예: 무릎의 동작 반복 수준, 발목의 동작 반복 수준, 발/다리의 힘 사용 수준 등)에 대한 기준은 적용 상황 특성을 고려한 연구자와 실무자간 협의로 결정되었으며, 작업부하 항목들 간의 간접적인 상호작용에 따른 효과를 반영하지 못하였으므로 추후 체계적인 실험 연구를 통한 검증이 필요하다.

마지막으로, 작업부하 평가 시스템은 일반 사용자들의 작업부하 평가와 결과 보고서 작성을 위한 사용 용이성을 고려하여 개발되었다. 작업부하 평가 시스템은 본 연구에서 개

표 12. 기존 평가모델과의 평가항목 비교

평가 대상	유해요인	OWAS	RULA	QEC	본 연구에서 개발된 모델
신체적 부하	부자연스러운 자세	어깨, 허리, 무릎	목, 어깨, 팔꿈치, 손목, 허리, 무릎	목, 팔꿈치, 손목, 허리	손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 허리, 엉덩이, 무릎, 발목
	정적 자세	–	정적 동작 (1분 이상)	–	8개 부위별 정적 동작 (10~30초 이상), 지지 여부
	동작 반복	–	동작 반복 (분당 4회 이상)	허리(분당 3~12회 이상); 팔; 손/손목(분당 10~20회 이상)	9개 부위별 기준(손가락, 손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 허리, 엉덩이, 무릎, 발목)
	힘 사용	작업물 무게/힘	작업물 무게/힘, 갑작스런 힘 사용	작업물 무게, 한 손 힘	3개 부위별 기준(손가락, 손, 발)
정신적 부하	6가지 정신적 부하요인	–	–	시각적 요구, 작업 난이도, 스트레스	시각적 요구, 청각적 요구, 작업의 복잡성 및 난이도, 시간적 압박감, 작업 스케줄 관련 스트레스, 안전 관련 스트레스
환경적 부하	4가지 환경적 부하요인	–	–	진동	소음, 진동, 분진, 온도
기타		–	충격	작업노출 시간	작업노출 시간, 중요도
최대 가능 점수		4점	7점	100점	100점

발된 세분화되고 종합화된 평가모델이 일반 사용자들에게 용이하게 사용될 수 있도록 그림, color coding, 보고서 양식 등의 인터페이스를 활용하여 개발되었다. 예를 들어, 신체적 작업부하의 부자연스러운 자세에 대한 신체 부위별 평가항목을 평가할 경우 그림을 통해 구체적인 신체 부위를 제시함으로써 사용자들이 평가 부위를 쉽게 이해할 수 있도록 하였으며, 평가 결과 부문에서는 결과값이 일정 기준을 넘는 작업부하를 발생할 시에는 color coding을 통해 사용자들이 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 특히, 작업부하 평가 결과물을 정해진 양식의 보고서로 출력할 수 있도록 하여 효율적인 보고서 작성이 이루어지도록 하였다.

참고 문헌

김봉애. *주거 환경학* (제 1판). 제주대학교 출판부, 2001

노동부. *화학물질 및 물리적 인자의 노출기준* (노동부 고시 제 2002-08호), 2002. Retrieved August 25, 2006, from http://www.molab.go.kr:8001/

노동부. *산업보건기준에 관한 규칙* (전문개정 2003. 7. 12 노동부령 제195호), 2003. Retrieved August 25, 2006 from http://www.molab.go.kr/

윤영한. *크레인 산업의 기술동향 분석.* 지적재산21 통권 제62호 2000년 9월호 특허청 뉴스센터, 2000. Retrieved August 25, 2006 from http://www.kipo.go.kr/

Buchholz, B., Paquet, V., Punnett, L., Lee, D. and Moir, S., PATH: A work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-repetitive work, *Applied Ergonomics*, 27, 3, 177-187, 1996.

Fransson-Hall, C., Gloria, R., Kilbom, A., Winkel, J., Karlqvist, L., Winktorin, C. and Stockholm Music 1 study group., A portable ergonomic observation method (PEO) for computerized on-line recording of postures and manual handling, *Applied Ergonomics*, 26, 2, 93-100, 1995.

Hart, S. G. and Staveland, L. E., 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, 1988.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment: REBA. *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.

Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.

Kee, D. and Karwowski, W., LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based ob joint motion discomfort and maximum holding time, *Applied Ergonomics*, 32, 357-366, 2001.

Kemmlert, K., A method assigned for the identification of ergonomic hazards? PLIBEL, *Applied Ergonomics*, 26, 3, 199-211, 1995.

Kilbom, A., Persson, J. and Jonsson, B., Risk factors for work-related disorders of the neck and shoulder-with special emphasis on working postures and movements, in Corlett, E. N., Wilson, J., and Manenica, I. (Eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor and Francis, 1986.

Li, G. and Buckle, P., 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, 1998.

McAtamney, L. and Corlett, E. N., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.

Pinzke, S., A computerized system for analysing working postures in agriculture, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 13, 307-315, 1994.

Reid, G. B. and Nygren, T. E., 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, 1988.

van der Beek, A. J., van Gaalen, L. C. and Frings-Dresen, M. H. W., Working postures and activities of lorry drivers: A reliability study of on-site observation and recording on a pocket computer, *Applied Ergonomics*, 23, 5, 331-336, 1992.

Woodson, W. E., Tillman, B. and Tillman, P., *Human Factors Design Handbook: Information and guidelines for the design of systems, facilities, equipment, and products for human use* (2nd ed.). McGraw-Hill, Inc, 1992.

Saaty, T. L., *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.

부록: 천장 크레인 작업부하 평가 모델 평가 기록지

천장 크레인 평가 기록지

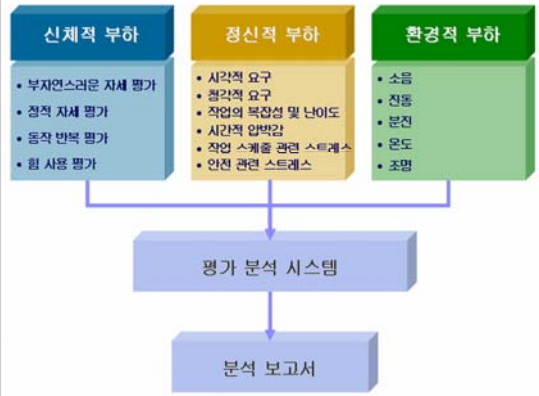
〈 평가 정보 및 crane 정보 〉

평가 일시	20 년 월 일 시경		
평가자	부서	직책	이름
Crane 정보	부서	장소	관리 번호
작업 설명			

〈 Sub-task 구분 및 지속시간 〉

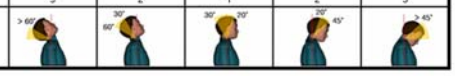
순번	Sub-task	지속 시간(초)	비고
1	Traveling/Traversing		
2	Hoisting		
3	Loading/Unloading		
4			
5			
작업 주기 시간		/cycle	

〈 평가 모델 구성도 〉



평가 기록지: 신체적 부하(부자연스러운 자세)

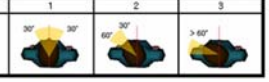
목

굽 (Extension) / 굽힘 (Flexion)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

비고

좌/우측 구부림 (Lateral bending)					
Sub-task		점수			
1	TL/TS	1	2	3	
2	Hoist	1	2	3	
3	L/UL	1	2	3	
4		1	2	3	
5		1	2	3	
그림					

비고

비틀 (Twisting)					
Sub-task		점수			
1	TL/TS	1	2	3	
2	Hoist	1	2	3	
3	L/UL	1	2	3	
4		1	2	3	
5		1	2	3	
그림					

비고

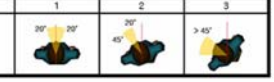
허리

굽 (Extension) / 굽힘 (Flexion)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	2	1	2	3	
2	Hoist	2	1	2	3	
3	L/UL	2	1	2	3	
4		2	1	2	3	
5		2	1	2	3	
그림						

비고

좌/우측 구부림 (Lateral bending)					
Sub-task		점수			
1	TL/TS	1	2	3	
2	Hoist	1	2	3	
3	L/UL	1	2	3	
4		1	2	3	
5		1	2	3	
그림					

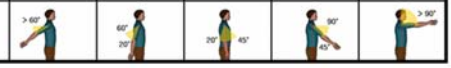
비고

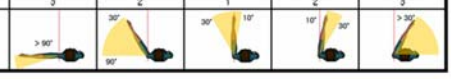
비틀 (Twisting)					
Sub-task		점수			
1	TL/TS	1	2	3	
2	Hoist	1	2	3	
3	L/UL	1	2	3	
4		1	2	3	
5		1	2	3	
그림					

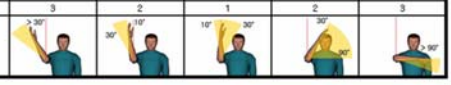
비고

평가 기록지: 신체적 부하(부자연스러운 자세)

어깨

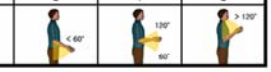
폄 (Extension) / 굽힘 (Flexion)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

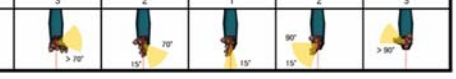
모음 (Adduction) / 벌림 (Abduction)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

바깥쪽 돌림 (Lateral rotation) / 안쪽 돌림 (Medial rotation)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

비고		

팔꿈치

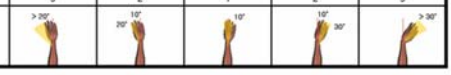
굽힘 (Flexion)				비고
Sub-task		점수		
1	TL/TS	2	1	2	
2	Hoist	2	1	2	
3	L/UL	2	1	2	
4		2	1	2	
5		2	1	2	
그림					

엎침 (Pronation) / 뒤침 (Supination)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

비고

평가 기록지: 신체적 부하(부자연스러운 자세)

손목

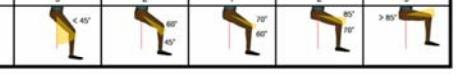
폄 (Extension) / 굽힘 (Flexion)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

비고

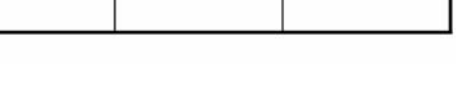
요골 편향 (Radial deviation) / 척골 편향 (Ulnar deviation)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

비고

엉덩이

굽힘 (Flexion)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

모음 (Adduction) / 벌림 (Abduction)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

바깥쪽 돌림 (Lateral rotation) / 안쪽 돌림 (Medial rotation)						
Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림						

비고		

평가 기록지: 신체적 부하(부자연스러운 자세)

무릎

굽힘 (Flexion)

Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림		< 45°	45° 60°	60° 70°	70° 85°	> 85°

비고

바깥쪽 돌림 (Lateral rotation) / 안쪽 돌림 (Medial rotation)

Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림		> 10°	5° 5°	10° 5°	5° 15°	> 15°

비고

발목

발등 굽힘 (Dorsal flexion) / 발바닥 굽힘 (Planter flexion)

Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림		> 10°	10° 5°	5° 10°	10° 20°	> 20°

비고

모음 (Adduction) / 벌림 (Abduction)

Sub-task		점수				
1	TL/TS	3	2	1	2	3
2	Hoist	3	2	1	2	3
3	L/UL	3	2	1	2	3
4		3	2	1	2	3
5		3	2	1	2	3
그림		> 10°	5° 10°	5° 5°	10° 5°	> 10°

비고

평가 기록지: 신체적 부하(정적 자세, 동작 반복, 힘 사용)

<정적 자세>

분류	낮음 (low)	보통 (moderate)	높음(high)	비고
시간(초)	< 10	10 ~ 60	≥ 60	
점수	1	2	3	신체 부위가 지지되지 않은 경우: +1

Sub-task		신체 부위								합
		허리	목	어깨	손목	팔꿈치	엉덩이	발	무릎	
1	TL/TS	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	Hoist	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	L/UL	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4		/	/	/	/	/	/	/	/	/
5		/	/	/	/	/	/	/	/	/

Sub-task	신체 부위	비고

<동작 반복>

분류		낮음 (low)	보통 (moderate)	높음(high)	점수
점수		1	2	3	
신체부위별 반복 빈도 (회/분)	어깨/팔	< 2	2 ~ 4	> 4	
	팔꿈치/전완	< 4	4 ~ 10	> 10	
	손목/손	< 10	10 ~ 20	> 20	
	손가락	< 20	20 ~ 40	> 40	
	목/머리	< 2	2 ~ 4	> 4	
	허리/몸통	< 2	2 ~ 4	> 4	
	엉덩이/대퇴	< 2	2 ~ 4	> 4	
	무릎/하퇴	< 4	4 ~ 10	> 10	
	발목/발	< 10	10 ~ 20	> 20	
				종합	

신체부위	비고

<힘 사용>

분류		낮음 (low)	보통 (moderate)	높음(high)	점수
점수		1	2	3	
신체부위별 힘 크기 (kg)	손가락	< 0.25	0.25 ~ 1	≥ 1	
	손/팔	< 1	1 ~ 4	≥ 4	
	발/다리	< 1	1 ~ 4	≥ 4	
				종합	

신체부위	비고

평가기록지: 정신적 부하

시각적 요구 평균: ( ) / 5

- 【장애물에 의한 시야 간섭】 장애물(프레임, 설비, 유리창의 분진)이 시야를 가려서 작업 대상물이나 신호수 등이 잘 보이지 않는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【주시 대상】 작업 중 자주 확인해야 하거나 신경써서 주시해야 하는 대상(PDA, 모니터, 신호수, 작업 대상물)이 많은 정도

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【주시 대상의 가시성】 작업 중 확인해야 하는 대상(화면에 표시되는 정보, 기기에 표시된 명칭, 수신호, 작업 대상물)의 크기가 작거나, 너무 멀리 있거나, 불분명하여 잘 보이지 않는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【조명 및 반사】 작업 대상물이나 신호수의 신호가 작업장 조명 부족이나 햇빛의 반사로 인해 잘 보이지 않는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

청각적 요구 평균: ( ) / 5

- 【청취 대상】 작업 수행시 주의 깊게 들어야 하는 대상이 (하역 작업자의 목소리 지시, 운전실 내외 기기의 신호음, 무전 등) 많음

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【소음에 의한 차폐 효과】 작업 중 주위 소음으로 인해 듣고자 하는 소리 (지시, 신호음, 무전 등)를 잘 듣지 못하는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

작업의 복잡성 및 난이도 평균: ( ) / 5

- 【조작 대상 및 정밀도】 작업 수행시 많은 수의 조작 기기(레버, 버튼 등)를 사용해야 하거나 정교하게 조작해야 하는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【작업 복잡도】 하역 작업을 수행하는 과정에서 작업 순서 또는 절차가 복잡한 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【의사 소통 및 정보 입력】 작업 수행 중 목소리 또는 무전으로 운전실 밖의 작업자와 의사소통을 해야 하거나 PDA 또는 컴퓨터에 여러 가지를 입력해야 하는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

구분	비고
시각적 요구	
청각적 요구	
작업의 복잡성 및 난이도	

평가기록지: 정신적 부하

시간적 압박감 평균: ( ) / 5

- 【작업 완료 시한】 정해진 시간 안에 일정량의 작업을 완료해야 하는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【작업 속도의 성과 반영】 작업을 수행하는 속도가 성과에 반영되는 경우

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

작업 스케줄 관련 스트레스 평균: ( ) / 5

- 【교대 근무】 주간에서 야간 또는 야간에서 주간으로 교대 근무 전환시 불규칙적인 생체 리듬 (수면 부족, 불면증 등)으로 인한 스트레스

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【교대 인원 및 휴식 시간】 교대 인원의 부족 또는 과다한 작업량에 의한 휴식 시간 부족

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【Crane 이동】 Crane마다 버튼 위치, 레버의 조작 방향 또는 조작감 등에 차이가 있어 작업하는 crane을 이동할 때의 혼란스러움

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

안전 관련 스트레스 평균: ( ) / 5

- 【운전자 안전】 운전자 자신의 부상 위험에 대한 스트레스 (출입 또는 정비시 추락 위험, 운전실과 주변설비와의 충돌 위험 등)

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

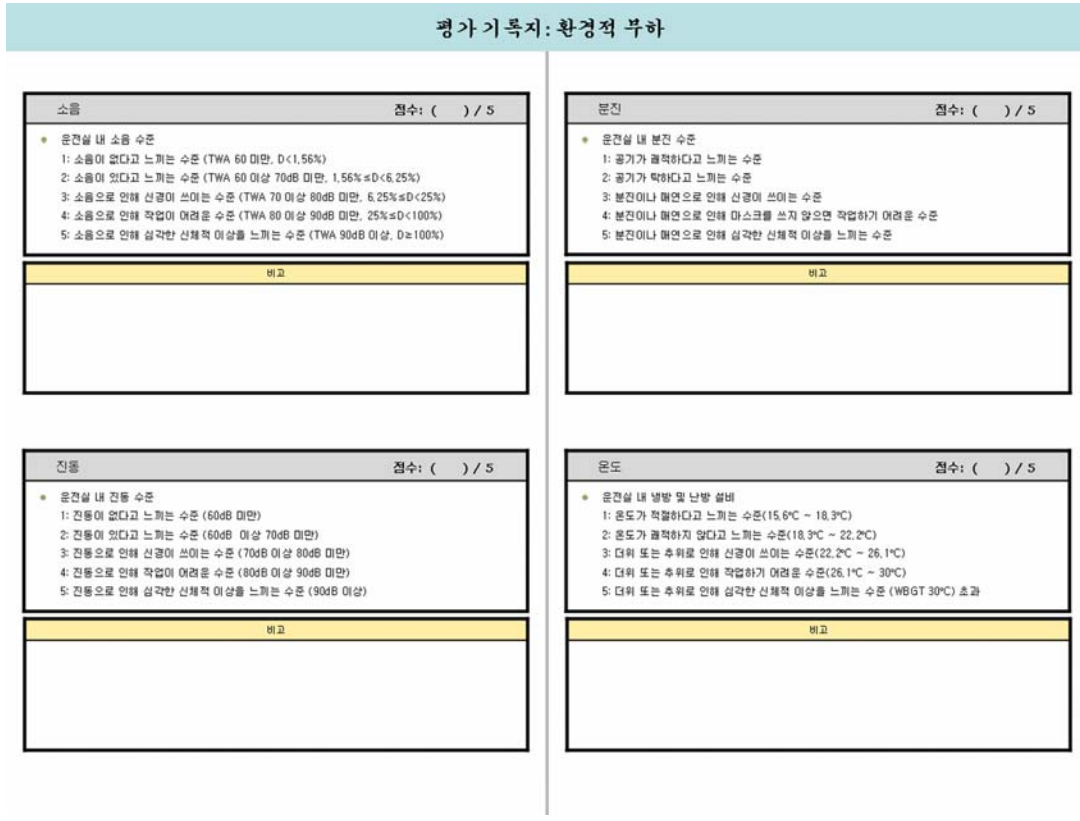
- 【타작업자 안전】 운전자 이외 작업자(하역 작업자, 신호수 등)의 부상 위험에 대한 스트레스 (하역물 추락으로 인한 부상, crane 설비에 의한 충돌 위험 등)

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

- 【설비 안전】 Crane 설비 또는 운전 대상물의 고장, 파손에 대한 스트레스 (Crane 작업 반경 내에 다른 설비가 존재함으로 인한 충돌 우려, 오조작으로 인한 제품 손상 우려 등)

1 2 3 4 5 ( ) / 5
없음 적은 편임 보통임 많은 편임 매우 많음

구분	비고
시간적 압박감	
작업 스케줄 관련 스트레스	
안전 관련 스트레스	



◐ 저자 소개 ◑

❖ 권 오 채 ❖ ochae.kwon@samsung.com
포항공과대학교 산업공학과 박사
현 재: 삼성전자 무선통신사업부 책임연구원
관심분야: 산업인간공학, 생체공학, 인간공학적 제품설계

❖ 이 상 기 ❖ sangki79.lee@samsung.com
포항공과대학교 산업공학 석사
현 재: 삼성전자 무선통신사업부 연구원
관심분야: 제품설계, 산업인간공학

❖ 조 영 석 ❖ kilys@postech.edu
포항공과대학교 산업공학 학사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 통합과정
관심분야: Human-Computer Interaction, Intelligent User Interfaces, Mobile User Interfaces

❖ 박 정 철 ❖ mozart@postech.edu
포항공과대학교 산업경영공학 박사
현 재: 삼성전자 디자인경영센터
관심분야: Human-Computer Interaction, Intelligent User Interfaces, Psychophysiology

❖ 정 기 효 ❖ khjung@postech.ac.kr
포항공과대학교 산업공학과 석사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 박사과정
관심분야: 인체측정학적 제품 설계, 직업성 근골격계질환 예방, 혁신제품 개발공학

❖ 유 희 천 ❖ hcyou@postech.ac.kr
미국 펜실바니아 주립대학교 산업공학과 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 부교수
관심분야: 인간공학적 제품설계 기술, 사용자 중심의 제품설계, 가상 환경 기반 인간공학적 제품 설계 및 평가, 사용성 공학, 근골격계질환 예방 및 통제

❖ 한 성 호 ❖ shan@postech.edu
미국 Virginia Polytechnic Institute & State Univ. 산업공학 박사
현 재: 포항공과대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: Human-Computer Interaction, Usability Engineering, Intelligent/Adaptive User Interfaces, Mobile and Telematics User Interfaces, Affective Product Design

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 01월 30일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 04월 16일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 04월 20일