

천정 기중기 운전 작업부하 평가 모델 개발

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



이상기¹, 권오채², 박정철¹, 조영석¹, 이민정¹, 유희천¹, 한성호¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과

²삼성전자

Contents

- 연구 배경
- 연구 목적
- 천정 기중기 작업 특성 분석
- 평가 모델의 구성
- 평가 시스템 개발
- 토의

천정 기중기 작업부하 평가

■ 천정 기중기 활용

- 제철소와 같은 중공업 분야의 생산 및 하역 공정에 활용
- 넓은 영역에서의 작업을 위해 비교적 크고 높은 구조
- P제철소 내: 600여대의 crane, 2,000여명



근골격계부담 작업 범위(노동부고시 제 2003-24호)

- 제 2호: 반복 동작
- 제 4호: 적절한 신체지지 없이 부적절한 자세 유지

기존 인간공학 평가기법의 적용 한계

- 기존 인간공학 평가 기법을 이용한 천정 기중기의 평가
 - OWAS, RULA, REBA, QEC 적용



한계점

- 정신적(시/청각적 요구, 작업안전 등), 환경적 부하에 대한 평가 미흡
- 앉은 자세에서 작업하는 천정 기중기의 작업 특성을 고려하지 못함
- 부하요소들 간의 상대적인 중요도 고려 미흡
- 낮은 변별력 및 미흡한 분석 정보

연구 목적

천정 기중기 작업에 특화된 작업부하 평가 모델 개발

- 신체/정신/환경적 작업부하를 종합적으로 평가
- 천정 기중기 운전 작업 특성 반영
- 풍부한 분석적 정보
- 높은 변별력의 정량적 정보

연구 절차

천정 기중기 작업 특성 분석

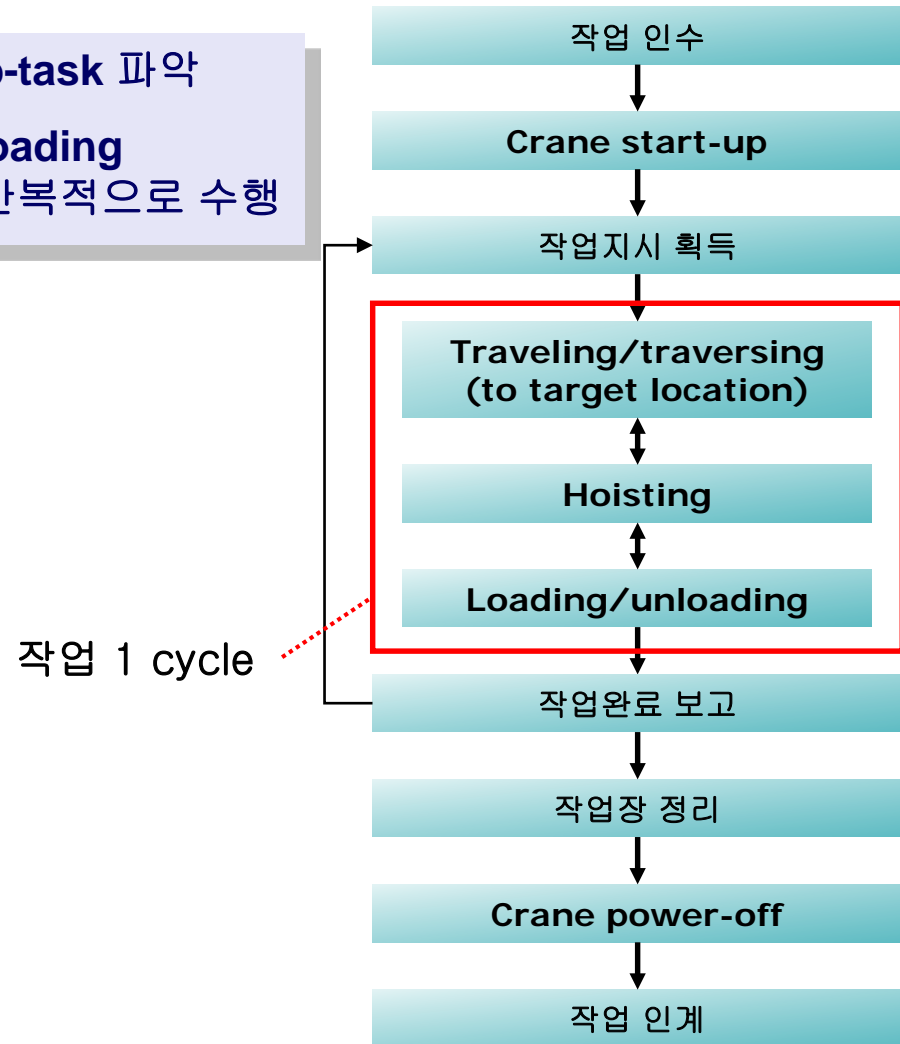
작업부하 평가 항목 선별

중요도 및 조치 수준 설정

평가 시스템 개발

천정 기중기 운전 작업 순서

- 천정 기중기 운전 작업 순서 및 **sub-task** 파악
- **Traveling/traversing, hoisting, loading/unloading**의 세 가지 **sub-task**가 반복적으로 수행



작업부하 평가 모델 항목 구성



신체적 작업부하 평가 (예)

■ 부자연스러운 자세

	펴 (Extension) / 굽힘 (Flexion)				
각도(°)	>60	30~60	<30	30~45	>45
점수	3	2	1	2	3
그림					

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

	비틀 (Twisting)		
각도(°)	<30	30~60	>60
점수	1	2	3
그림			

신체적 작업부하 평가 (예)

■ 정적 자세

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

	신체 부위								합
	허리	목	어깨	손목	팔	엉덩이	발	무릎	
점수	/	2 / 1	/	/	/	/	/	/	/

■ 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	2
	손/팔	< 1	1 ~ 4	≥ 4	
	발/다리	< 1	1 ~ 4	≥ 4	
				총합	

신체적 작업부하 평가 (예)

■ 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	< 4	4 ~ 10	> 10	
	허리/몸통	< 2	2 ~ 4	> 4	3
	엉덩이/대퇴	< 2	2 ~ 4	> 4	
	무릎/하퇴	< 4	4 ~ 10	> 10	
	발목/발	< 10	10 ~ 20	> 20	
				총합	

정신적 작업부하 평가 (예)

- 각 항목에 대한 세부 항목을 2~4개 제시하여 1~5점 scale로 평가 수행

작업의 복잡성 및 난이도

평균: (3) / 5

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



(4) / 5

- [작업 복잡도] 하역 작업을 수행하는 과정에서 작업 순서 또는 절차가 복잡한 경우



(2) / 5

- [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



(3) / 5

환경적 작업부하 평가 (예)

- 주관적 평가를 기본으로 하여 평가에 참고할 수 있도록 객관적 기준을 기재

소음

(2) / 5

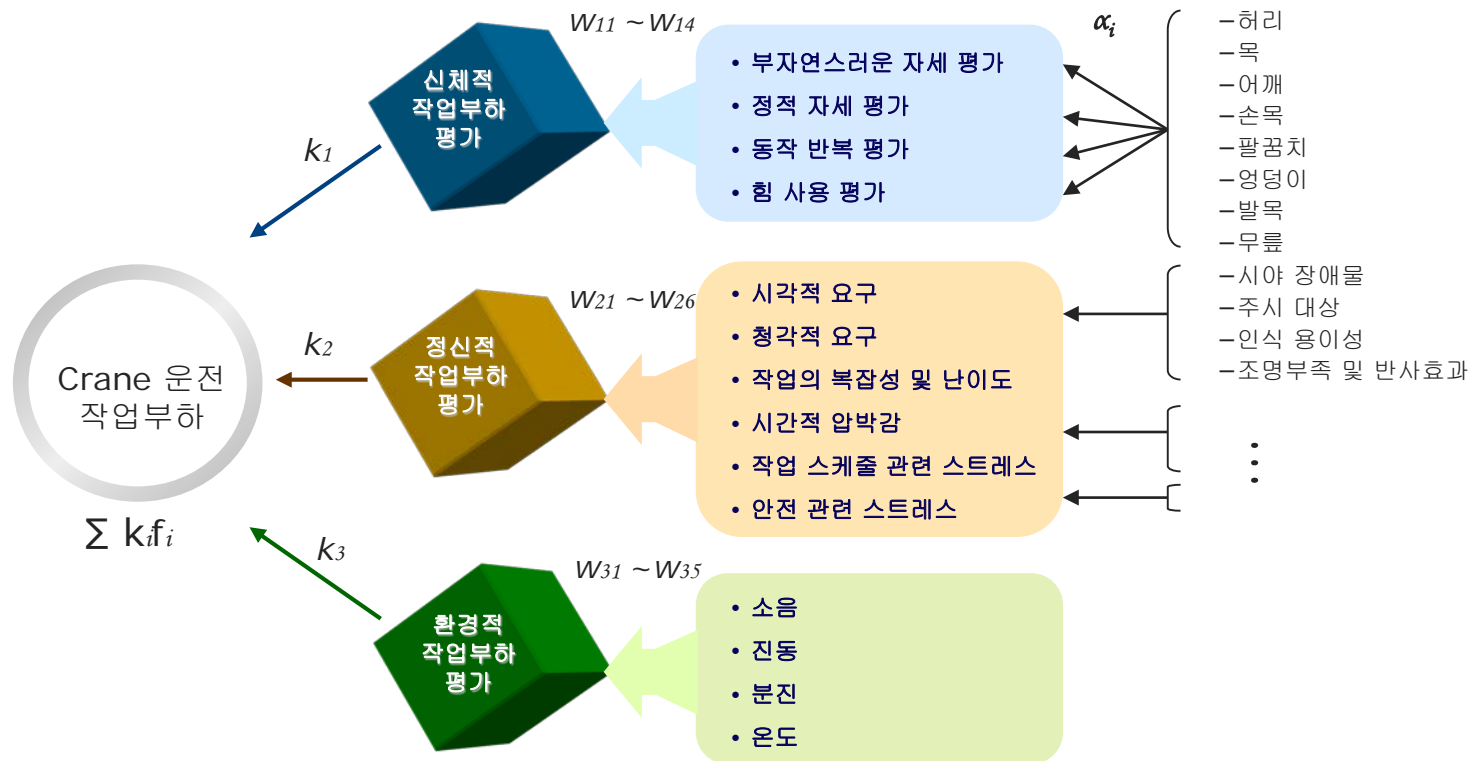
■ 운전실 내 소음 수준

- 1: 소음이 없다고 느끼는 수준 (TWA 60 미만, $D < 1.56\%$)
- 2: 소음이 있다고 느끼는 수준 (TWA 60 이상 70dB 미만, $1.56\% \leq D < 6.25\%$)
- 3: 소음으로 인해 신경이 쓰이는 수준 (TWA 70 이상 80dB 미만, $6.25\% \leq D < 25\%$)
- 4: 소음으로 인해 작업이 어려운 수준 (TWA 80 이상 90dB 미만, $25\% \leq D < 100\%$)
- 5: 소음으로 인해 심각한 신체적 이상을 느끼는 수준 (TWA 90dB 이상, $D \geq 100\%$)

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)

항목별 중요도 설정

중요도	설정 방안	조사 대상
작업부하별 중요도 k_i	AHP를 이용한 쌍대 비교 설문	8 종류 기준기 작업자 152명
세부항목별 중요도 w_{if}	5점 scale의 주관적 척도 설문	8 종류 기준기별 10~15명



조치 수준

- 8종류 기증기에 대한 평가 결과를 토대로 작성
- 기증기별 10~15명의 작업자를 대상으로 정신적/환경적 부하 측정 수행

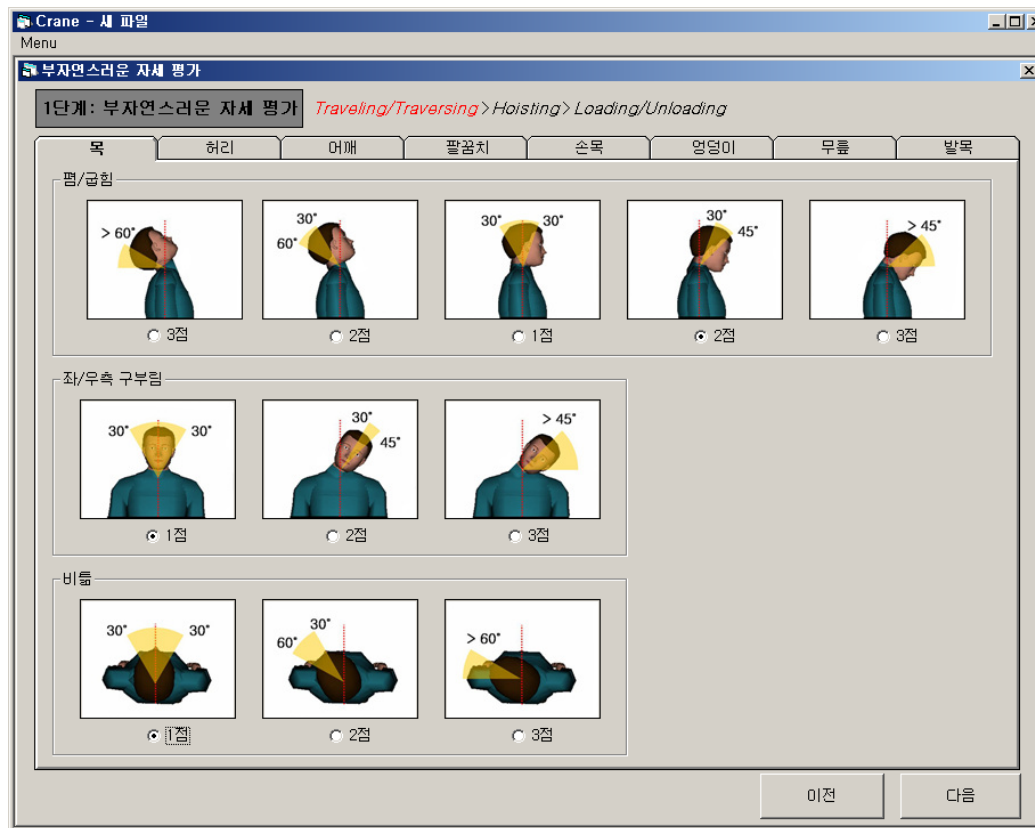
단계	작업부하			조치 수준
	신체	정신	환경	
1	≤ 30	≤ 50	≤ 40	적합
2	31 ~ 40	51 ~ 65	41 ~ 55	지속적 관찰 요망
3	41 ~ 50	66 ~ 80	56 ~ 70	근시일 내의 작업개선 요망
4	> 50	> 80	> 70	즉각적인 개선 요망

* 조치 수준 구분 기준: 작업부하 평균 $\pm 1.5\sigma$

작업 부하 평가 시스템

- 평가 모델의 사용 및 보고서 출력 용이하도록 Visual Basic®으로 작성

- 신체적 부하 입력 (예)



보고서 출력

- 세부 항목 및 신체 부위별 부하 점수 제시

1. 평가 정보				2. Crane 정보			
평가 일시	평가자	평가 부서	평가 직책	2005년 3월 5일	평가 대상	평가 대상	평가 대상
		안전관리부/도원	팀장		홍길동		

4. 부하 요인 별 세부 점수 및 분석									
4.1 신체적 부하									
부하 요소	부자연스러운 자세			정적 자세			동작 반복	힘 사용	
	TL/TS	Hoist	L/UL	TL/TS	Hoist	L/UL			
신체부위	60	95	25	60	95	25	-	-	
목	4/9	4/9	4/9	2/4	2/4	3/4	3/3	-	
허리	3/9	3/9	4/9	2/4	2/4	2/4	2/3	-	
어깨	5/9	5/9	6/9	1/4	1/4	2/4	2/3	-	
팔꿈치	4/6	4/6	4/6	2/4	2/4	2/4	2/3	-	
손목	3/6	3/6	3/6	3/4	3/4	3/4	1/3	2/3	
손가락	-	-	-	-	-	-	3/3	2/3	
얼굴이	6/9	6/9	4/9	3/4	3/4	3/4	2/3	-	
무릎	3/6	3/6	3/6	3/4	3/4	3/4	1/3	-	
발목	5/6	5/6	3/6	1/4	2/4	2/4	1/3	2/3	
합	33/60	33/60	31/60	17/32	18/32	20/32	17/27	6/9	
변환 점수	47.86			58.39			62.14	70	
가중치	0.29			0.24			0.28	0.18	
가중 총합	58.48								

4. 부하 요인 별 세부 점수 및 분석

4.1 신체적 부하

부하 요소	부자연스러운 자세			정적 자세			동작 반복	힘 사용
	TL/TS	Hoist	L/UL	TL/TS	Hoist	L/UL		
신체부위	60	95	25	60	95	25	-	-
목	4/9	4/9	4/9	2/4	2/4	3/4	3/3	-
허리	3/9	3/9	4/9	2/4	2/4	2/4	2/3	-
어깨	5/9	5/9	6/9	1/4	1/4	2/4	2/3	-
팔꿈치	4/6	4/6	4/6	2/4	2/4	2/4	2/3	-
손목	3/6	3/6	3/6	3/4	3/4	3/4	1/3	2/3
손가락	-	-	-	-	-	-	3/3	2/3
얼굴이	6/9	6/9	4/9	3/4	3/4	3/4	2/3	-
무릎	3/6	3/6	3/6	3/4	3/4	3/4	1/3	-
발목	5/6	5/6	3/6	1/4	2/4	2/4	1/3	2/3
합	33/60	33/60	31/60	17/32	18/32	20/32	17/27	6/9
변환 점수	47.86			58.39			62.14	70
가중치	0.29			0.24			0.28	0.18
가중 총합	58.48							

* TL/TS=Traveling/traversing, Hoist=Hoisting, L/UL=Loading/Unloading
 ** 50% 초과 부하요소는 음영처리 되었음.



기존 평가모델과의 비교

평가 대상	유해 요인	OWAS	RULA	QEC	Crane 작업부하 평가 모델
신체적 부하	부자연스러운 자세	어깨, 허리, 무릎	목, 어깨, 팔꿈치, 손목, 허리, 다리	목, 팔꿈치, 손목, 허리	손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 허리, 엉덩이, 무릎, 발목
	정적 자세	-	정적 동작 (1분 이상)		8개 부위별 정적 동작 (10초 ~ 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	작업노출시간	작업노출시간, 중요도
최대 가능 점수		4점	7점	100점	100점

토의

- 작업부하 평가 모델 특성
 - 신체, 정신, 환경적 부하를 고려한 comprehensive model
 - 세분화된 평가 항목을 고려한 analytic model
 - Crane의 운전 작업 특성 및 중요도를 고려한 customized model
- 평가 모델의 활용
 - 천정 기중기 작업 부하에 대한 종합적 고찰 가능
 - 기중기 개선 시 개선 효과 분석
 - 신규 천정 기중기 도입 시 작업부하 추정

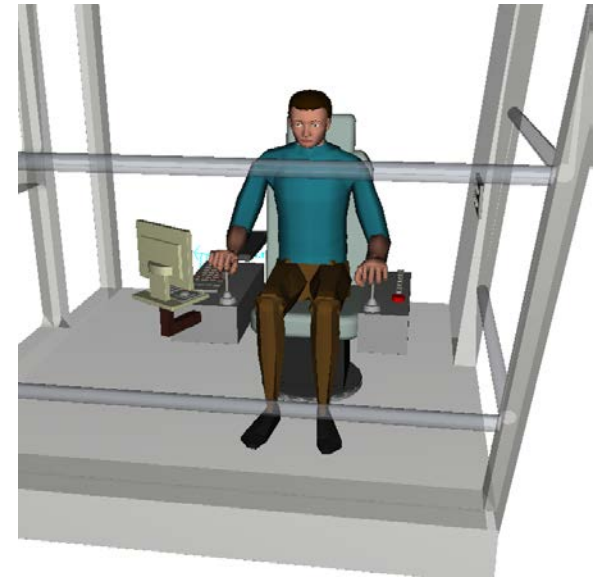
평가 모델 적용 (예)

- 좌측 하방 주시 작업에 대한 crane 개선 전후의 신체적 부하 평가 비교
- 신체적 부하 - 부자연스러운 자세의 평가 예



< 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

Q & A

경청해 주셔서 감사합니다.

