

工學碩士學位論文

조선업의 Digital Human Modeling을 위한 기초연구

2006年 2月

釜慶大學校大學院

安全工學科

吳鉉洙

工學碩士學位論文

指導教授 崔 載 旭

이 論文을 工學碩士 學位請求論文으로 提出함

2006年 2月

釜 慶 大 學 校 大 學 院

安 全 工 學 科

吳 鉉 洙

吳鉉洙의 工學碩士 學位論文을
認准함

2005年 12月 4日

主 審 工學博士 權 五 憲 (印)

委 員 工學博士 崔 載 旭 (印)

委 員 工學博士 張 聖 祿 (印)

목 차

1. 서 론	1
1. 1 연구의 필요성	1
1. 2 연구의 목적	4
2. 연구 배경	5
2. 1 Modeling & Simulation	5
2. 2 Digital Human Modeling	6
2. 3 Modeling 프로그램	8
2. 4 Rapid Upper Limb Assessment	10
2. 5 국내 · 외 연구 사례	17
2. 5. 1 국내 연구 사례	17
2. 5. 2 국외 연구 사례	18
3. 연구 방법	21
3. 1 연구 대상	21
3. 2 인간공학적 분석 방법	22
3. 3 Digital Human Modeling 분석 방법	23

4. 연구 결과	27
4. 1 앉아서 위보기 용접	27
4. 2 서서 위보기 용접	30
4. 3 러그 브래킷 용접	33
4. 4 핀 지그 설치 및 해체	36
4. 5 쇼트 와이어 패일 팩 이동	39
4. 6 소부재 배열	41
4. 7 소형 론지 취부	44
4. 8 선체 외판 도장	47
4. 9 에어리스 펌프 정비	50
4. 10 페인트 믹싱	53
4. 11 공정의 비교분석	56
5. 결론	58
참 고 문 헌	60
Abstract	64

표 목 차

Table 1 Score of Group A (Score A).	12
Table 2 Score of Group B (Score B).	13
Table 3 Muscle and Force/Load.	13
Table 4 Final Score table.	14
Table 5 Evaluation on Action Level.	15
Table 6 List of research objects.	22
Table 7 List of anthropometry.	25
Table 8 RULA score of overhead welding in sitting posture.	29
Table 9 RULA score of overhead welding in standing posture.	32
Table 10 RULA score of lug bracket welding.	35
Table 11 RULA score of pin jig setting.	38
Table 12 RULA score of short wire pail pack transportation.	40
Table 13 RULA score of small material arrangement.	43
Table 14 RULA score of small longi attachment.	46
Table 15 RULA score of painting outside of body of ship.	49
Table 16 RULA score of airless pump maintenance.	52
Table 17 RULA score of paint mixing.	55
Table 18 Compare with RULA score between real workers and Digital Human models about 10 works.	56

그 림 목 차

Fig. 1 Change of MSDs occurrence.	2
Fig. 2 Example of Modeling & Simulation.	5
Fig. 3 App. lication of Digital Human Modeling.	6
Fig. 4 Function of DELMIA human solution	9
Fig. 5 Score A and Score B.	12
Fig. 6 Calculation of Score C and Score D.	14
Fig. 7 Procedure of RULA evaluation.	16
Fig. 8 Process verification using Digital Human.	17
Fig. 9 Example of Digital Human app. lication in Isselnord.	19
Fig. 10 Example of Chaffin's study.	20
Fig. 11 Procedure of ergonomic analysis.	23
Fig. 12 Example of real tools and tool models.	24
Fig. 13 Example of real equipments and equipment models.	24
Fig. 14 Example of digital human building and human measure- ment edition.	25
Fig. 15 Example of working posture models.	26
Fig. 16 Layout of overhead welding in sitting posture.	28
Fig. 17 Posture model of overhead welding in sitting posture. ·	28

Fig. 18 Layout of overhead welding in standing posture.	31
Fig. 19 Posture model of overhead welding in standing posture.	31
Fig. 20 Layout of lug bracket welding.	33
Fig. 21 Posture model of lug bracket welding.	34
Fig. 22 Layout of pin jig setting.	37
Fig. 23 Posture model of pin jig setting.	37
Fig. 24 Posture model of short wire pail pack transportation	40
Fig. 25 Layout of small material arrangement.	42
Fig. 26 Posture model of small material arrangement.	42
Fig. 27 Layout of small longi attachment.	45
Fig. 28 Posture model of small longi attachment.	45
Fig. 29 Layout of painting outside of body of ship.	48
Fig. 30 Posture model of painting outside of body of ship.	48
Fig. 31 Layout of airless pump maintenance.	51
Fig. 32 Posture model of airless pump maintenance.	51
Fig. 33 Layout of paint mixing.	54
Fig. 34 Posture model of paint mixing.	54

1. 서론

1. 1 연구의 필요성

근골격계질환(Musculoskeletal Disorders, 이하 MSDs)란 특정 신체 부위 및 근육의 과도한 사용으로 인해 근육, 관절, 혈관, 신경 등에 미세한 손상이 발생하여 손, 손목, 팔목, 어깨, 목, 건갑골, 허리 등의 상지에 주로 나타나는 만성적인 건강장해를 말한다¹⁾. 이것은 부적절한 자세, 무리한 힘의 사용, 반복적인 동작, 작업의 지속시간, 날카로운 면과의 신체 접촉, 동력을 이용한 공구 사용시 진동 등의 작업요인과 피로가 지속되거나, 찬 곳에서 지속적인 작업을 할 때, 체격과 체력 등 개인적 요인, 류마티스 관절염이나 전신성 루프스 등의 개인질환, 정신 심리적 요인 및 사회적 요인 등이 작용하며 어느 한가지의 특징적인 요인보다는 여러 요인이 복합적으로 작용하여 발생한다²⁾.

노동부의 산업재해 통계분석에 따르면 우리나라 근골격계질환자의 수는 Fig. 1과 같이 2001년 1,634명, 2002년 1,827명, 2003년 4,532명, 2004년 4,112명으로 2004년에 잠시 감소를 보였지만 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 또한 조선업 분야도 근골격계질환이 급격하게 증가하는 추세이다³⁾. 근골격계질환의 급증은 외환위기 이후 노동 강도의 강화 등 근로환경의 변화와 관련이 있다⁴⁾.

이로 인해 생산성 저하, 근로의욕저하, 품질저하 등의 경영손실은 물론

직접 의료비의 부담 등이 증가추세에 있다. 그리고 근골격계질환에 대한 직원들의 보상과 작업 개선에 대한 요구가 점차 증가하고 있고 노·사간의 중요한 쟁점사항으로 부각되고 있다⁵⁾.

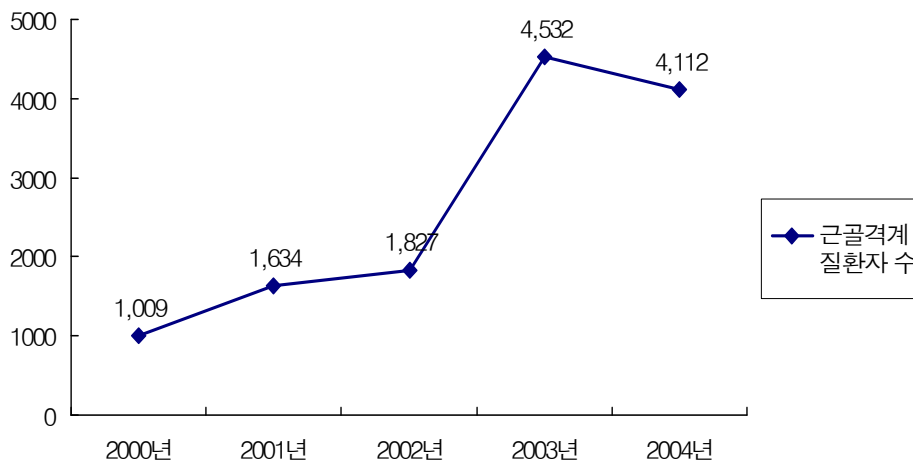


Fig. 1 Change of MSDs occurrence.

또한, 대한민국 정부에서는 2002년 12월 산업안전보건법 제24조(보건상의 조치) 제1항 제5호를 신설하여 사업주에게 근골격계질환 예방의무를 부과하였다⁶⁾. 그리하여 근골격계질환에 대해 체계적인 작업 환경 분석 및 작업 방법, 작업 자세에 대한 인간공학적 평가를 통해 작업 환경 개선에 의한 사전 관리 필요성이 증대되고 있다.

이러한 근골격계질환 예방과 관련하여 작업자의 작업 환경 분석 및 작업 방법, 작업 자세 등을 분석하는 인간공학적 평가기법들이 있으며,

이것들은 평가기법을 숙지한 인간공학전문가가 Checklist 등을 이용하여 수작업으로 행하는 방식이다⁷⁾. 그러나 이러한 전문가들도 일부 대기업들을 제외한 중·소기업에서는 부족한 실정이다.

인간공학적인 평가기법을 이용하여 작업 및 작업 자세에 대한 개선안이 나왔을 경우에도 실제로 비용을 들여 새로운 설비를 투자하기 전에는 개선안 대비 작업 효율성과 어떤 개선안이 가장 효과적인지를 알 수가 없다.

그래서 최근 조립 공정이나 생산 공정에 Modeling & Simulation(이하 M&S) 기술을 적용시켜 생산성을 최대화시키고자 하는 연구가 진행 중에 있다⁸⁻¹⁴⁾. M&S 기술을 이용하면 인간공학적 개념을 설계 초기에 적용시킬 수 있어서 적지 않은 시간과 비용을 절약할 수 있다. 그리고 작업자의 작업 수행 능력을 예측할 수 있어 작업자의 안전과 근골격계질환에 대한 위험요소를 최소화시킬 수 있다.

1. 2 연구의 목적

본 연구에서는 M&S 기술을 이용하여 조선업의 작업을 Digital Human Modeling(이하 DHM)으로 구축하고 작업자의 작업을 인간공학 적 평가 프로그램(Human Activity Analysis, 이하 HAA)를 이용하여 평가한다. 이와 함께, HAA에 사용된 평가기법과 동일한 기법으로 인간 공학 전문가가 실제 작업자의 자세를 평가한다. 이를 바탕으로 정형화된 조립 공정이나 생산 공정에 많이 적용되고 있는 DHM 방법이 비정형 작업이 많은 조선업 분야에도 적용이 가능한지 평가하고, DHM&S를 이용한 조선업 작업환경 개선 연구의 기초를 마련하는데 목적이 있다.

2. 연구의 배경

2. 1 Modeling & Simulation

Simulation이란 어느 시스템이나 공정기능을 다른 수단을 활용하여 모의 구현함을 의미한다. 시스템이나 공정기능을 표현하기 위하여 모델을 사용하게 되는데, 모델이란 모델의 대상을 직접 접촉하지 않고도 이에 관련한 정보를 교환할 수 있도록 하는 상징화된 언어의 집합이다. ‘상징’이라는 단어가 내포하듯이 모델링은 그 대상의 모든 측면을 표현할 수 없으며, 함축화하는 절차를 반드시 수반한다. Fig. 2에서처럼 M&S 기술은 현대의 다양한 산업과 기술 분야에서 매우 중요한 역할을 담당하여 왔다. M&S는 기술개발의 시험단계에서 알고리즘과 매개변수를 체계적으로 변화시키기 위한 연구개발용 도구로서, 그리고 새로운 프로그램의 초창기에 개발될 시스템을 비교 평가하는 도구로서 일반적으로 활용되어 왔다¹⁵⁾.

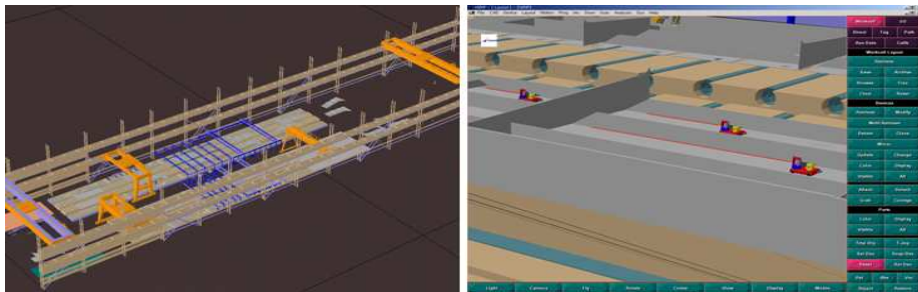


Fig. 2 Example of Modeling & Simulation.

2. 2 Digital Human Modeling

DHM은 기존의 M&S 기술로 구축된 가상의 작업환경에 실제 작업자의 작업과 동일하게 행하는 가상의 마네킹을 만들어서 작업자 및 작업동작을 가상공간에서 유사하게 구현하는 것을 말한다.

Fig 3에서와 같이 DHM을 통해 작업자의 작업수행 능력을 예측할 수 있으며 모든 작업 자세 요소의 정량 및 정성적 분석을 수행함으로써 Human Activity Analysis 및 근골격계질환 예방을 위한 개선안, 신진대사량, 작업 포락면 등의 요소를 극대화 할 수 있다.

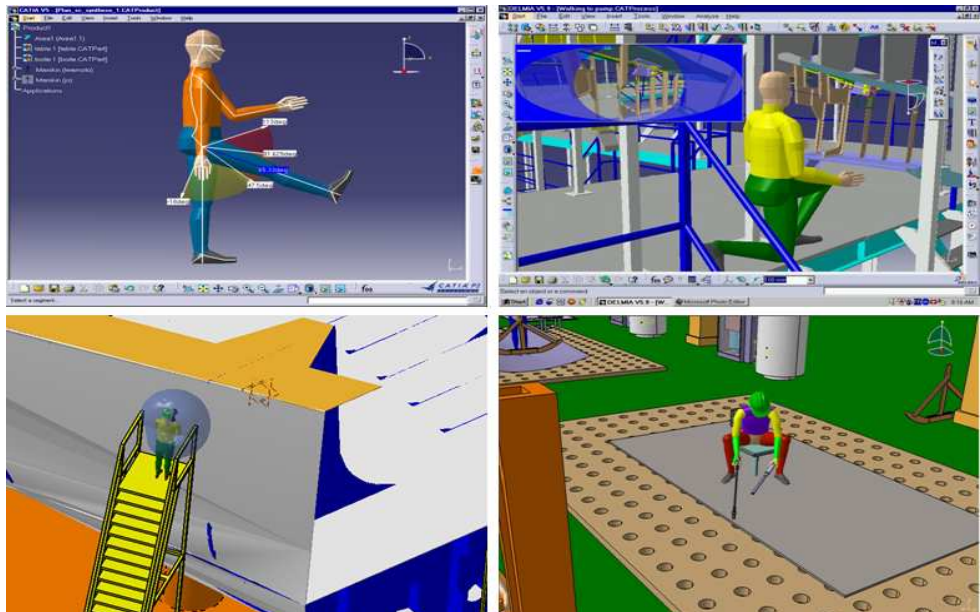


Fig. 3 App. lication of Digital Human Modeling.

DHM에서는 독립적인 인체모형을 모델링함으로써 CATIA (Computer- graphic Aided Three-dimensional Interactive Application)^{16,17)} 등의 기존 CAD 소프트웨어와 함께 사용될 수 있으며, 이는 기존의 CAD 시스템에 즉시 이용 가능한 인체 모형을 첨가하는 효과가 있게 되며 사용자가 원하는 체형의 가상 작업자를 즉시 불러 동작거리, 시야, 작업 공간 등에 관한 분석을 함으로써 주변 환경을 설계하거나 시뮬레이션을 수행할 수 있게 한다^{18,19)}.

2. 3 Modeling 프로그램

DELMIA(Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application)는 3차원 디지털 메뉴팩처링 솔루션을 제공하는 프로그램이다. 자동차, 항공, 조선, 전기전자, 소비재, 기계조립 등 모든 제조 산업을 대상으로 공정계획에서부터 일반 조립 프로세스와 공장 시뮬레이션에 이르는 디지털 메뉴팩처링 솔루션을 제공한다. 이러한 DELMIA 솔루션은 디지털 목업(Digital Mock-up, 이하 DMU)를 통해 메뉴팩처링 프로세스의 설계나 검증을 수행한다²⁰⁾.

DELMIA 솔루션에서 지원하는 기능 중에 하나인 Human 솔루션은 가상의 작업환경에 Digital Human(이하 DH)를 생성하여 실제 작업과 유사하게 구현할 수 있다. 그리고 인체변수 편집을 통해 실제 작업자와 유사한 체격 및 신체 특징을 가진 DH를 생성할 수 있으며, Task Simulation을 통해 작업자와 만들어지는 제품, 설비 간에 관계를 미리 파악하는 것이 가능하다. 또한 작업으로 인해 발생할 수 있는 작업자의 불편함이나 근골격계질환의 발생을 예방하기 위해 인간공학적 분석 기법인 RULA²¹⁾, NLE(Lift/Lower)^{22,23)}, Pushing-Pulling-Carrying²⁴⁾을 Human Posture Analysis에서 제공하고 있다. 그러므로 작업장 설계나 설비 등의 문제로 발생할 수 있는 근골격계질환을 설계 초기에 예방할 수 있고, 작업자를 고려한 작업장 환경을 구현할 수 있다.

컴퓨터상에서 구축된 가상의 작업환경은 P.P.R(Product, Process,

Resource)로 이루어져 있다. Product는 생산하고자 하는 물품이나 중간단계의 물품들을 Modeling하는 것을 의미하고, Resource는 변화가 없는 설비나 주변 환경을 Modeling하는 것을 의미하며, DH도 Resource에 해당된다. 그리고 Process는 Product와 Resource로 이루어진 가상 작업 공정의 전체 흐름을 의미한다.

Fig. 4는 DELMIA의 Human 솔루션이 제공하는 기능을 도식화한 것이다.



Fig. 4 Function of DELMIA human solution.

2. 4 Rapid Upper Limb Assessment

영국의 노팅햄대학(Univ. of Nottingham)에서 1993년에 어깨, 팔, 손목, 허리, 목 등 상지에 초점을 맞추어 작업자세로 인한 작업부하를 평가하기 위해 개발한 기법이다. Rapid Upper Limb Assessment (이하, RULA)는 분석자가 관찰을 통해 작업 자세를 분석할 수 있도록 고안된 것이다.

그리고 EU의 VDU(Visual Display Unit)작업장의 최소안전 및 건강에 관한 요구 기준과 영국의 작업성 상지질환의 예방지침의 기준을 만족하는 보조도로 사용되고 있다.

작업 자세 분류체계에 부하 수준을 정의하고 이를 근거로 작업부하를 분석하는 방법을 이용하고 있다. 이 기법의 목적에는 크게 다음 두 가지가 있다. 첫째, RULA는 나쁜 작업 자세로 인한 상지의 장애를 안고 있는 작업자의 비율이 어느 정도인지를 쉽고 빠르게 파악하는 방법을 제시하기 위해 만들어졌다. 둘째, RULA는 근육의 피로에 영향을 주는 인자들인 작업 자세나 정적 또는 반복적인 작업 여부, 작업을 수행하는데 필요한 힘의 크기 등 작업으로 인한 근육 부하를 평가하기 위해 만들어졌다^{21,25)}.

자세분류별 부하 수준을 평가할 때 작업 부하에 영향을 주는 인자들은 매우 많지만 RULA가 평가하는 작업 부하 인자는 동작 횟수, 정적인 근육작업, 힘, 작업 자세 등이 있다.

위와 같은 인자들로 작업부하를 평가하게 되며 평가는 RULA 평가표를 이용하여 나오는 점수를 합산해서 평가하게 된다.

평가방법은 신체부위별로 크게 그룹 A, B로 나누어서 각 그룹별로 작업 자세, 그리고 근육과 힘에 대한 평가로 이루어지게 된다. 그룹 A에서는 상완, 전완, 손목, 손목 비틀림의 자세를 평가하고, 그룹 B에서는 목, 상체 다리 자세를 평가한다.

그룹 A와 그룹 B의 작업 자세를 평가할 때 수행되는 절차는 다음과 같다.

1단계: 작업자의 작업을 몇 번의 반복 횟수(3 Cycle 이상) 동안 관찰

2단계: 작업 중 가장 빈번하게 행해지는 자세나 작업 부하가 가장 많이 걸리는 자세를 선택

3단계: 평가 시 작업자의 오른편이나 왼편 중 한쪽만을 평가하고, 다음에 다른 편을 평가

4단계: 각 신체 부위별 자세에 따라 표에 나와 있는 값들을 평가 용지에 기입

작업 자세의 기록이 끝나게 되면 각 그룹의 값들을 하나의 수치로 표현한다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 그룹 A와 그룹 B의 종합부하 수치는 Score A, Score B로 변환한다.

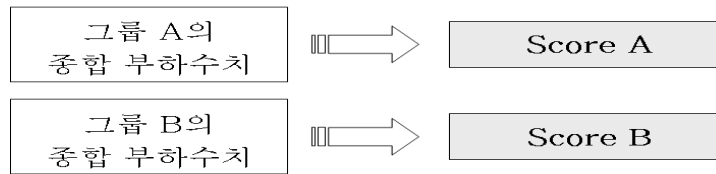


Fig. 5 Score A and Score B.

그룹 A와 그룹 B의 종합 부하수치 산출표는 Table 1, 2와 같다.

Table 1 Score of Group A (Score A).

Score A		손 목							
상완	전완	1		2		3		4	
		손목	비틀림	손목	비틀림	손목	비틀림	손목	비틀림
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
3	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	7	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Table 2 Score of Group B (Score B).

Score B	상 체											
목	1		2		3		4		5		6	
	다리		다리		다리		다리		다리		다리	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Score A와 Score B의 점수가 산출이 되면, Table 3을 이용하여 근육부하와 무게/힘의 사용에 대한 지수를 각각의 점수에 더해 주어서 Fig. 6과 같이 Score C와 Score D를 산출한다.

Table 3 Muscle and Force/Load.

	지수	작 업 자 세 설 명
근육부하	1	주로 정적인 상태로 1분 이상 들고 있거나, 1분에 4회 이상 반복될 때
무게/힘 부하	0	힘을 줄 필요가 없거나 2kg 미만의 힘을 간간히 줄 때
	1	2~10kg의 힘을 간간히 줄 때
	2	2~10kg의 힘을 정적인 상태로 계속 주거나 반복적으로 힘을 줄 때
	3	10kg 이상의 힘을 정적인 상태로 계속 주거나 반복적으로 힘을 줄 때, 또는 갑작스럽게 힘을 주어서 무리가 올 때

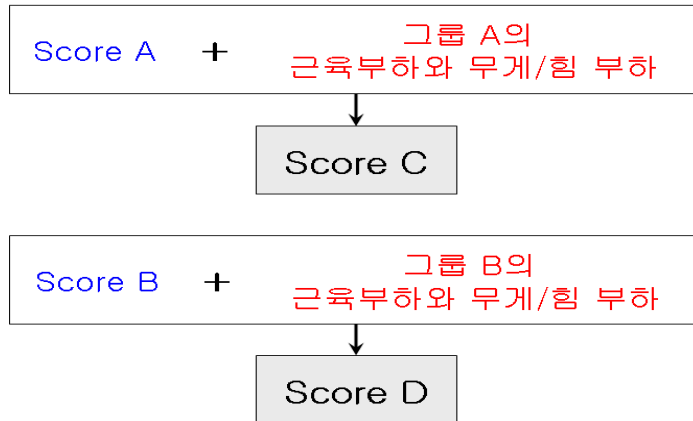


Fig. 6 Calculation of Score C and Score D.

Score C와 Score D가 산출되고 나면 마지막으로 Table 4를 이용하여 전체적인 작업부하 수준을 결정하는 최종점수를 구한다.

Table 4 Final Score table.

		Score D						
		1	2	3	4	5	6	7+
Score C	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	4	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

이렇게 도출된 최종점수를 이용하여 실제로 작업 부하가 어느 정도인지를 Table 5에서와 같이 네 단계로 나타낼 수 있다.

Table 5 Evaluation on Action Level.

최종점수	작업부하수준	평가 내용
1	1	작업이 지속적이고 반복적으로 장시간 이루어지지 않는 한 작업 자세에 별 문제가 없음 수용가능한 작업
2		
3	2	작업 자세를 바꾸는 것이 나음 계속적 추적관찰 요함
4		
5	3	작업 자세를 가능한 한 빨리 바꾸는 것이 나음 계속적 관찰과 빠른 작업개선 요함
6		
7	4	작업자세를 즉시 바꾸어야 함 정밀조사와 즉각적인 개선이 요구됨

최종적으로 RULA의 작업부하 수준을 이용하여 평가한 실제 작업이 어느 정도 위험한지를 파악할 수 있고, 개선안 도출시 자세 개선을 위한 중요한 자료가 될 수 있다. Fig. 7은 RULA 평가의 전체적인 절차를 도식화 한 것이다.

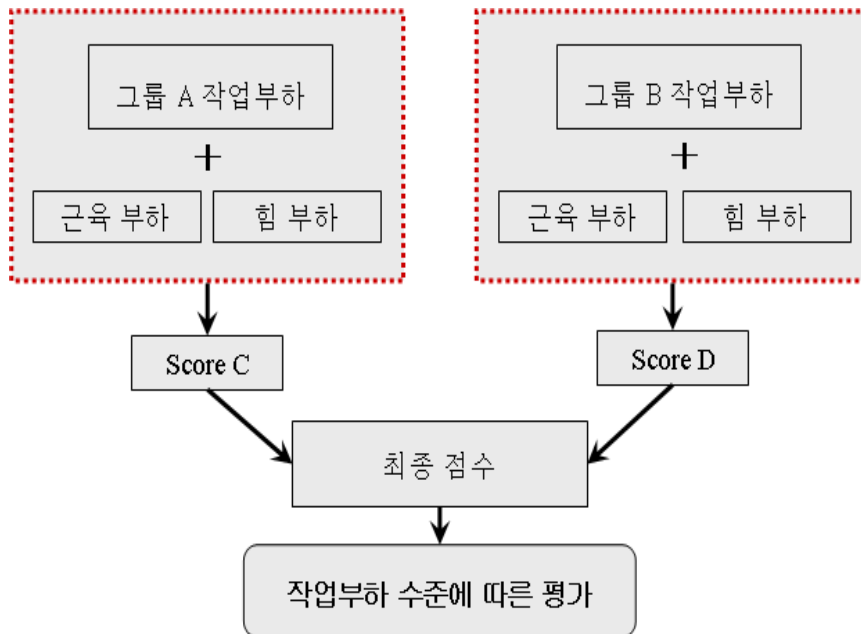


Fig. 7 Procedure of RULA evaluation.

2. 5 국내 · 외 연구 사례

2. 5. 1 국내 연구 사례

GM대우에서는 차체 프론트 프레임 작업라인의 설비 개발에 M&S를 적용하여 로봇간의 간섭을 체크하였다. Fig. 8에서 보는바와 같이 DH를 적용하여 작업 자세 및 용접 건의 간섭 등을 검증하는데 적용하였다²⁶⁾.

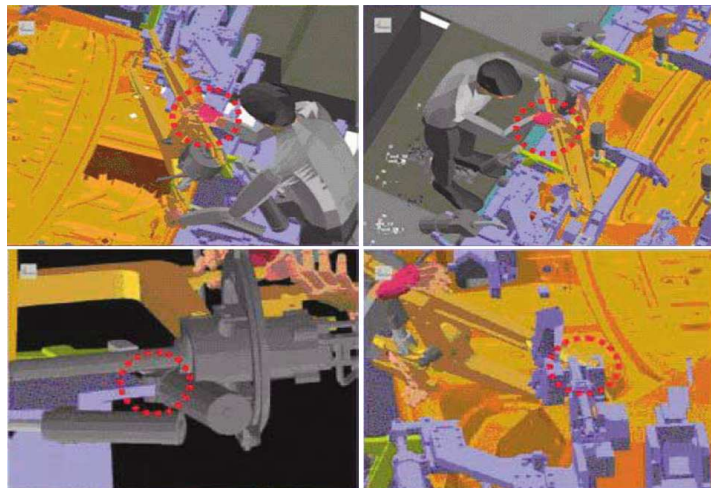


Fig. 8 Process verification using Digital Human.

쌍용자동차에서는 기존의 M&S 기술을 이용하여 공정 레이아웃 체크 및 차량 조립 시 작업성, 간섭 검토 등을 수행하고 있다. 이와 더불어 DH를 적용하여 근골격계질환과 관련된 작업조건, 작업자의 피로도, 작업 로드를 검증하여 작업성을 개선하는데 활용하고 있다. 또한 경우에 따라서 작업의 사이클 타임 및 작업시간을 확인하는 데에도 활용을 하고 있다²⁷⁾.

그리고 이상기 등²⁸⁾은 생산 및 하역공정에서 많이 사용되고 있는 overhead crane의 운전실을 개선하는데 DH를 적용하였다. 그 결과 운전실 하방 및 측면 시야 확보시 발생하는 부자연스러운 자세를 감소시킴으로써 근골격계질환의 위험성을 줄이는데 활용하였다.

2. 5. 2 국외 연구 사례

일본의 토요타자동차 회사에서는 DHM&S를 이용하여 직무부담이 높은 조립라인에 대해 집중적인 작업개선을 이루어 직무부담을 대폭적으로 경감시키고 있다²⁹⁾.

그리고 Daimler Chrysler자동차 회사에서는 공정 및 라인의 신규설계를 검증할 때 시뮬레이션을 사용하고 있으며, 인간공학 담당자가 참여하여 작업자가 제품과 공정에 어떻게 반응하는지 검증하고 있다. 그래서 개발 시간 감소 및 공구 재설계로 인한 비용 감소를 통한 이윤을 창출하고 있으며, 작업자들이 좀 더 쉽고 안전하게 작업할 수 있도록 하고 있다³⁰⁾.

또한 자동차 회사뿐만 아니라 미국의 군수 회사인 Lockheed Martin 사에서는 JSF(Joint Strike Fighter)프로젝트를 통해 전투기의 정비시간 단축을 위하여 시뮬레이션을 통한 전투기 설계단계에 정비사들을 참여시켰다. 그래서 정비사 4명이 3일 걸리던 작업을 3명이 10분 만에 수행할 수 있게 되었다³¹⁾.

그리고 Fig. 9와 같이 이탈리아의 Technical Engineering Service 회사인 Isselnord는 DELMIA V5 솔루션을 이용하여 조선분야의 정비 작업 시뮬레이션과 작업자의 인간공학적 자세분석을 600개 이상 수행하였다³²⁾.

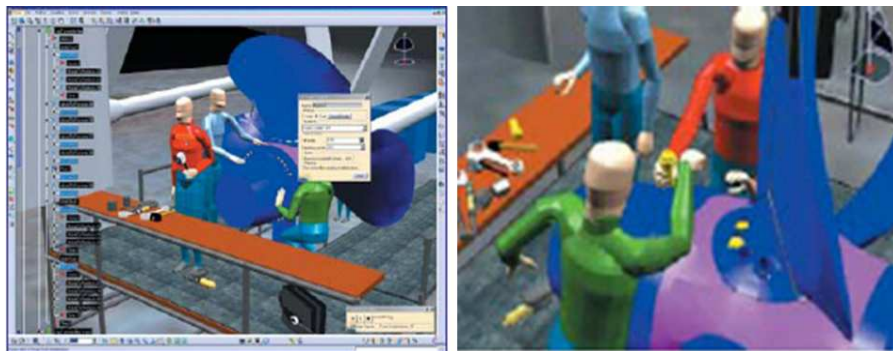


Fig. 9 Example of Digital Human app. lication in Isselnord.

그리고 알루미늄 제련 회사인 FE Mottram 회사는 합금 제련 공정에서 공장 내 물류 시뮬레이션을 수행하여 물류용 차량의 유류비를 50% 절감하였고, 교통사고 방지 효과를 얻을 수 있었다³³⁾.

또한, 그림 Fig. 10에서 보는 바와 같이 Chaffin³⁴⁾은 자동차 인테리어 작업과 조립작업장의 작업 자세를 미리 Modeling하여 인간공학적으로 작업을 개선하는 연구를 수행하였다.



Fig. 10 Example of Chaffin's study.

3. 연구 방법

3. 1 연구 대상

본 연구에서는 조선업에서 행해지는 여러 공정 중에 대표적인 10개 공정을 선정하였다. 10개의 공정은 근골격계질환의 위험성이 높은 6개 공정과 높지 않은 4개 공정으로 이루어져 있다. 근골격계질환의 위험성이 높지 않은 4개 공정을 연구 대상에 포함한 이유는 위험성이 높은 공정 및 높지 않은 공정에서도 DHM이 적용 가능한지를 알아보기 위함이다.

10개 공정의 선정은 산업안전보건법 제4장 24조 5항³⁵⁾과 산업보건기준에 관한 규칙 제9장³⁶⁾, 한국산업안전공단의 KOSHA CODE 등^{7,37,38,39)}에 기준하여 작성되어진 A조선소의 근골격계질환 예방을 위한 유해요인 조사를 참고하였다⁴⁰⁾.

아래의 Table 6은 10개 공정의 목록을 나타낸 것이다.

Table 6 List of research objects.

	공정명
1	앉아서 위보기 용접
2	서서 위보기 용접
3	러그 브래킷(Lug Bracket) 용접
4	핀 지그(Pin Jig) 설치 및 해체
5	쇼트 와이어 패일 팩(Short wire Pail Pack) 이동
6	소부재 배열
7	소형 론지(Longi) 취부
8	선체 외판 도장
9	에어리스 펌프(Airless Pump) 정비
10	페인트 믹싱 (Paing Mixing)

3. 2 인간공학적 분석 방법

작업의 근골격계질환 위험성을 평가하기 위해 현장 유해요인 조사 및 작업자 인터뷰를 실시하였고, 작업에 대한 동영상 촬영 및 현장에서 필요한 여러 가지 수치들을 측정하였다. 2대의 디지털 카메라를 이용하여 촬영을 수행하였으며, 작업자가 촬영에 대한 인식으로 인해 평소와 다르게 작업을 행할 수 있으므로 3 사이클 이상을 촬영하였다. 그리고 인간공학적 분석 및 DH의 자세 Modeling의 정확도를 높이기 위해 작업자의 좌, 우, 정면을 기본으로 하여 촬영하였다. 현장 측정시에 DHM을 위한 수치들도 함께 측정하였다. 그리고 촬영된 동상을 바탕으로 해당 작업의 작업 자세를 분석하였고, 가장 빈도가 높게 발생하는 동작이나 작업자에게 가장 많은 부하를 줄 수 있는 자세를 선정하여 RULA로 평가하였다.

Fig. 11은 인간공학적 분석 방법의 절차를 도식화 한 것이다.



Fig. 11 Procedure of ergonomic analysis.

3. 3 Digital Human Modeling 분석 방법

실제 작업자와 동일한 자세를 구현하기 위해 동영상 촬영은 좌, 우, 정면 등 최소 3방향 이상에서 촬영하였다. 그리고 현장 측정시에 사용하는 수공구 및 주변 작업환경, 작업자의 인체치수 등을 측정하였다.

그리고 현장에서 측정된 자료들을 바탕으로 DELMIA를 이용하여 Fig. 12와 같이 수공구들을 Modeling하였다.



Fig. 12 Example of real tools and tool models.

또한, 현장에서 측정된 작업자가 작업을 행하는 작업점, 작업자의 높이 등을 고려하여 주변 설비 및 환경 등을 구축하였다.

실제 작업자가 작업을 수행하는 환경과 동일한 환경을 구축하기 위하여 주변 설비 및 환경 등을 Fig. 13과 같이 Modeling하였다.

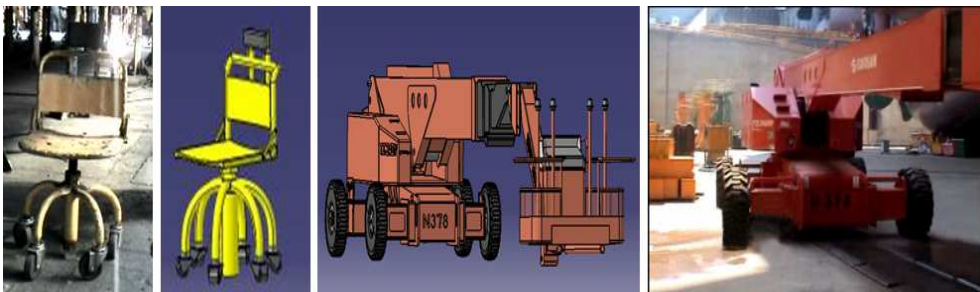


Fig. 13 Example of real equipments and equipment models.

그리고 10개 공정의 작업자를 DH로 Modeling하여 RULA로 평가할 때, 신체치수 차이로 인한 오차를 줄이기 위해 현장 측정 시에 실제 작

업자의 인체치수를 측정하였다. 측정치수는 산업자원부 기술표준원의 용어집⁴¹⁾에 근거하여 Table 7에서 보는 바와 같이 몸무게, 키, 바닥에서 배꼽까지의 배꼽수준허리높이, 양손끝점 너비 등을 측정하였다. 측정된 데이터를 바탕으로 Fig. 14와 같이 DELMIA Human 솔루션을 이용하여 DH 생성 및 인체변수를 조절하였다.

Table 7 List of anthropometry.

	항목
1	몸무게
2	키
3	배꼽수준허리높이(Omphalion)
4	양손끝점 너비(Span)
5	벽면앞으로뻗은엄지끝점수평길이
6	팔길이
7	위팔길이

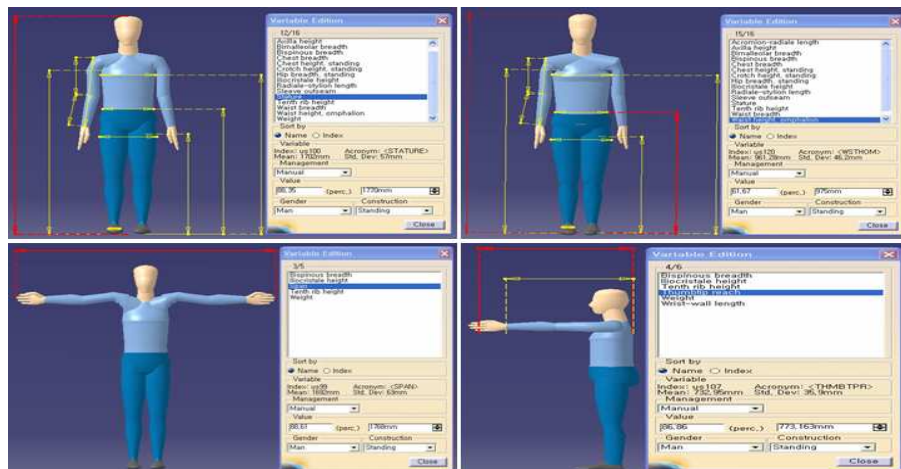


Fig. 14 Example of digital human building and human measurement edition.

이렇게 생성된 DH를 P.P.R로 구축된 가상의 작업환경 속에 투입했다. 그리고 실제 작업자를 RULA로 평가한 자세의 시점과 동일한 위치에서 실제 작업 자세와 유사하게 Modeling하였다. Fig. 15는 Modeling한 작업 자세의 예를 보여주고 있다.

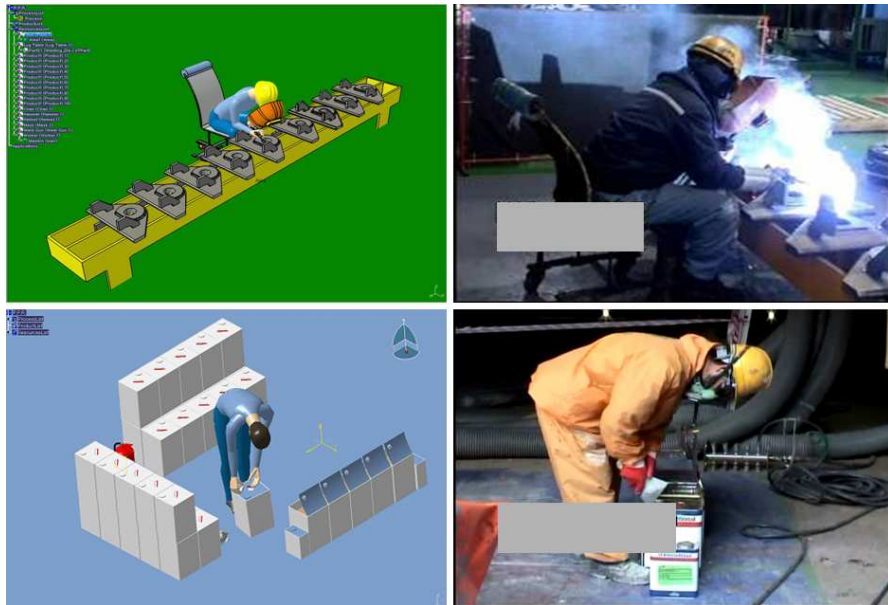


Fig. 15 Example of working posture models.

4. 연구 결과

10개의 공정을 대상으로 실제 작업자를 RULA로 분석하였고, 또한 DELMIA를 이용하여 작업환경을 구축한 뒤 DH의 작업 자세를 RULA로 분석하였다. 그래서 실제 작업자와 DH의 RULA 점수 및 세부요인 점수들을 아래와 같이 비교 분석하였다.

4. 1 앉아서 위보기 용접

앉아서 위보기 용접작업은 대블록 조립공장 안에서 이루어지고 있는 공정이다. 대블록 하부를 용접하기 위해 핀 지그 위에 놓인 대블록 밑에서 작업자가 앉아서 위보기 용접작업을 수행하고 있다.

작업을 수행하기 위해서는 대블록과 핀 지그와 같은 기본적인 설비 지원이 필요로 하며, 생산 도구인 용접건과 용접 머신, 슬러지 제거용 망치, 의자, 용접 작업자 등이 필요하다. 위에서 나열한 설비 및 장비들을 Product 및 Resource로 모델링하였다.

P.P.R로 구축된 앉아서 위보기 용접작업의 전체 레이아웃은 Fig. 16과 같다. 또한 실제 작업자를 Modeling한 앉아서 위보기 용접작업의 자세는 Fig. 17과 같다.

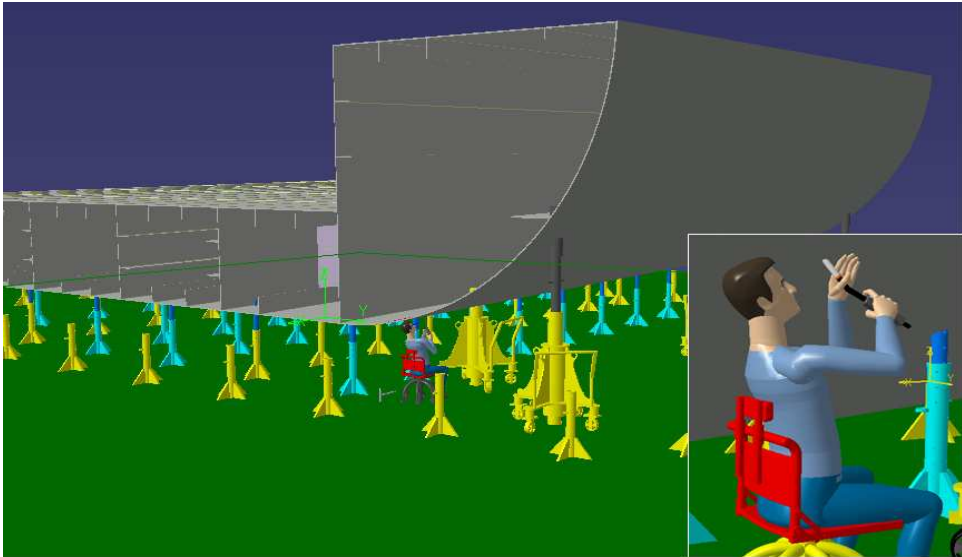


Fig. 16 Layout of overhead welding in sitting posture.



Fig. 17 Posture model of overhead welding in sitting posture.

앞아서 위보기 용접 작업의 RULA 평가 점수와 DH의 RULA 평가 점수는 Table 8과 같다.

Table 8 RULA score of overhead welding in sitting posture.

RULA Component		Score	Details	
그룹 A	상완의 위치	3	- Upper Arm:	4
	어깨 들림	0	- Shoulder elevation	Auto: No
	상완의 벌어짐	1	- Arm abduction	Auto: Yes
	팔이나 몸을 기댐	0	- Forearm:	1
	전완의 위치	1	- Arm rotation	Auto: No
	전완의 추가사향	0	- Wrist:	2
	손목의 위치	2	- Wrist deviation	Auto: No
	손목의 요골, 척골 편향	0	- Wrist Twist:	1
	손목의 회전상태	1	- Wrist twist	Auto: No
	근육사용정도	1	Posture A:	4
	무게/힘에 대한 사항	2	Muscle:	1
			Force/Load:	2
그룹 B	목의 위치	4	Wrist and Arm:	7
	목의 좌, 우 편향	0	- Neck:	4
	목의 회전	0	- Neck twist	Auto: No
	목통의 위치	1	- Neck side-bending	Auto: No
	목통의 회전	0	+ Trunk:	1
	목통의 좌, 우 편향	0	Leg:	1
	다리의 위치	1	Posture B:	2
	근육사용정도	0	Neck, Trunk and Leg:	5
	무게/힘에 대한 사항	0	Score	
			Final Score: 7	
최종점수		7	Investigate and change immediately	

Table 8에서 실제 작업자와 DH의 RULA 점수를 비교한 결과 최종점수가 7점으로 일치 했다. 최종점수 7점은 작업부하수준 4에 해당이 되며, 작업 자세를 즉시 바꾸어야 한다는 것을 의미한다. 그리고 세부 항목을 비교해 본 결과 실제 작업자의 평가 점수와 DH의 평가 점수가 모두 일치함을 알 수 있다.

4. 2 서서 위보기 용접

서서 위보기 용접 작업은 앉아서 위보기 용접 작업의 블록 반대편에서 이루어지는 작업이다. 대블록의 구조상 핀 지그 위에 놓일 때 한쪽이 기울어져 있는 상태이다. 그래서 블록의 한쪽은 앉아서 위보기 용접 작업이 이루어지고, 반대편은 발판을 설치한 후 발판 위에서 서서 위보기 용접 작업을 하게 된다.

위보기 용접 작업을 수행하기 위해서는 용접건과 용접 머신, 작업 발판, 슬러지 제거용 망치, 용접 작업자가 필요하고, Product 및 Resource로 Modeling하였다. Fig. 18은 Modeling한 위보기 용접 작업의 전체적인 레이아웃을 나타내고 있다. 또한 실제 서서 위보기 용접 작업을 바탕으로 DH의 RULA 평가를 하기 위해 Modeling한 작업 자세는 Fig. 19와 같다.

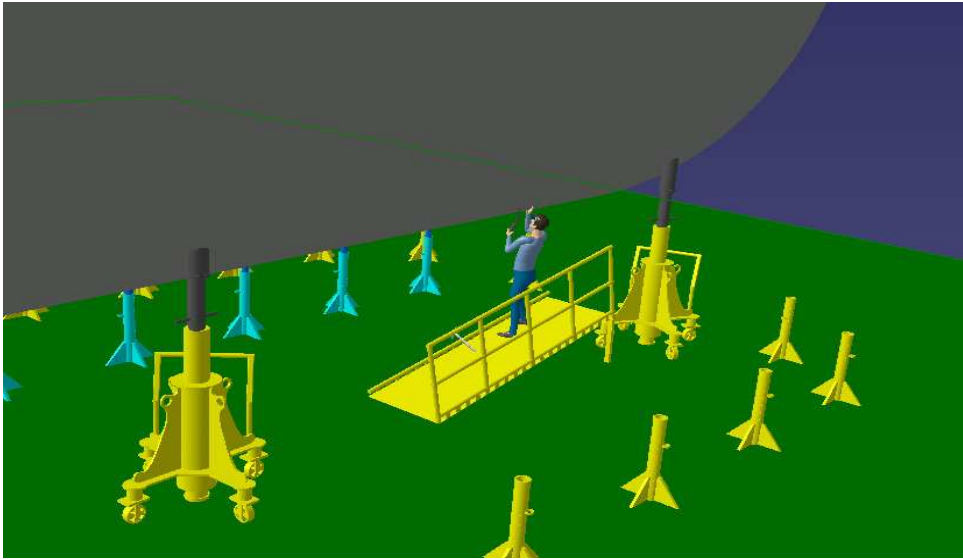


Fig. 18 Layout of overhead welding in standing posture.

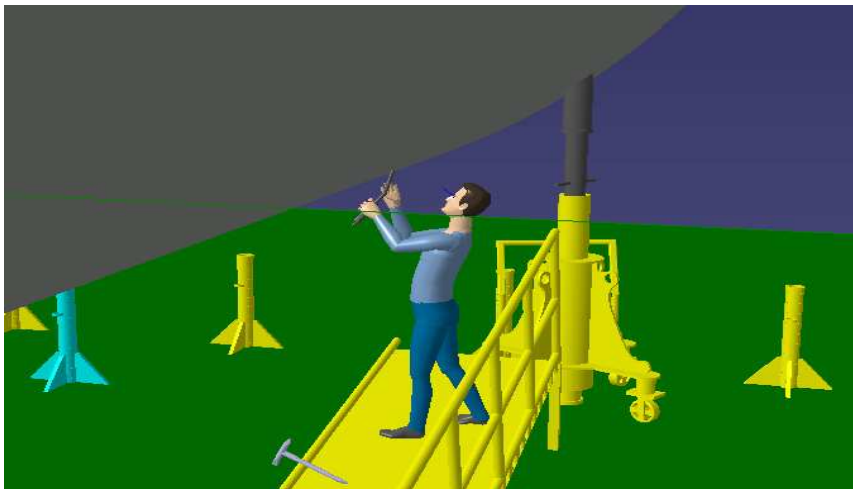


Fig. 19 Posture model of overhead welding in standing posture.

실제 작업자와 DH의 RULA 점수를 비교한 표는 Table 9와 같다.

Table 9 RULA score of overhead welding in standing posture.

RULA Component		Score
그룹 A	상완의 위치	3
	어깨 들림	0
	상완의 벌어짐	0
	팔이나 몸을 기댐	0
	전완의 위치	1
	전완의 추가사향	0
	손목의 위치	2
	손목의 요골, 척골 편향	1
	손목의 회전상태	1
	근육사용정도	1
	무게/힘에 대한 사항	2
그룹 B	목의 위치	4
	목의 좌, 우 편향	0
	목의 회전	0
	목통의 위치	1
	목통의 회전	0
	목통의 좌, 우 편향	0
	다리의 위치	1
	근육사용정도	1
	무게/힘에 대한 사항	0
최종점수		7

Details

Upper Arm: 3

- Shoulder elevation Auto: No
- Arm abduction Auto: No

Forearm: 1

- Arm rotation Auto: No

Wrist: 3

- Wrist deviation Auto: Yes

Wrist Twist: 1

- Wrist twist Auto: No

Posture A: 4

Muscle: 1

Force/Load: 2

Wrist and Arm: 7

Neck: 4

- Neck twist Auto: No
- Neck side-bending Auto: No

Trunk: 1

- Trunk twist Auto: No
- Trunk side-bending Auto: No

Leg: 1

Posture B: 2

Neck, Trunk and Leg: 5

Score

Final Score: 7

Investigate and change immediately

서서 위보기 용접 작업을 Modeling한 DH와 실제 작업과의 RULA 점수를 비교해 본 결과 최종점수 7점으로 일치하는 것을 알 수 있다. 최종점수 7점은 작업부하수준 4에 해당이 되며, 작업 자세를 즉시 바꾸어야 한다는 것을 의미한다. 그리고 각 신체 부위별 세부 항목의 점수를 비교해 보아도 모두 일치함을 알 수 있다.

4. 3 러그 브래킷 용접

러그 브래킷 용접 작업은 대블록에 부착 될 러그를 생산하기 위하여 자동용접 머신을 이용해 러그 본체를 생산하고, 최종적으로 작업자가 수동으로 브래킷을 용접하여 러그를 완성하는 공정이다.

러그 브래킷 용접을 위해 필요한 것은 용접 건, 용접 머신, 용접 마스크, 슬러지 제거용 망치, 작업의자, 러그 테이블, 러그 부재, 작업자가 필요하다. 위에서 나열한 것들을 Product 및 Resource의 3차원 형상으로 Modeling하였다. 그리고 전체적인 러그 브래킷 용접 작업의 레이아웃은 Fig. 20에 보는 바와 같다.

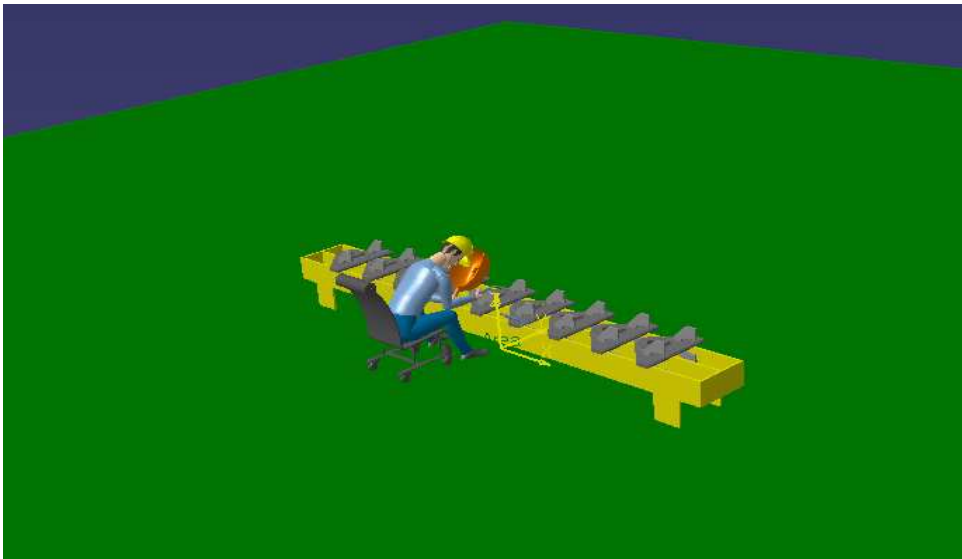


Fig. 20 Layout of lug bracket welding.

그리고 실제 러그 브래킷 용접 작업자의 자세를 바탕으로 Modeling한 DH의 작업 자세는 Fig. 21에서 보는 바와 같다.

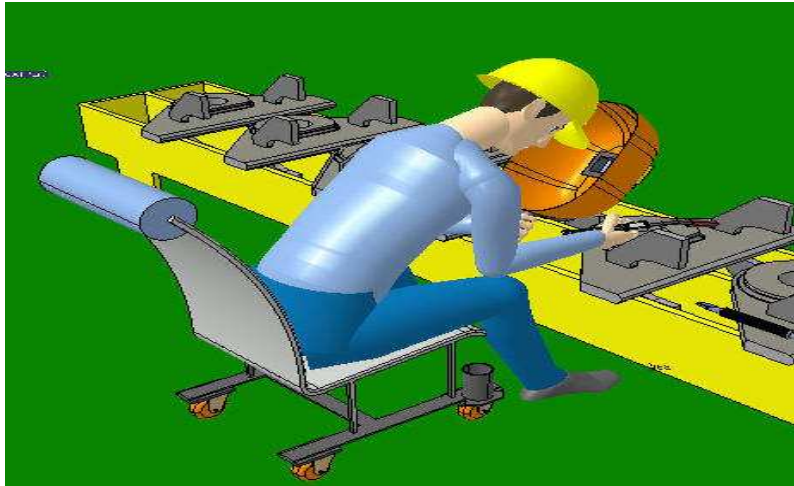


Fig. 21 Posture model of lug bracket welding.

러그 브래킷 용접 작업의 실제 작업자 RULA 평가 점수와 DH의 RULA 평가 점수는 Table 10과 같다.

Table 10의 RULA 점수를 비교해 본 결과 최종점수가 4점으로 일치하는 것을 알 수가 있다. 최종점수 4점은 작업부하수준 2에 해당되며, 작업 자세에 대한 추적 관찰이 필요하다는 것을 의미한다.

신체 부위별 세부 항목들의 점수를 비교해 볼 때, 다른 항목들은 모두 일치했으나 손목의 회전상태에서 1점의 점수 차이가 발생했다. 이것은 손목의 회전이 거의 한계 직전일 때 2점을 부과하게 되어 있는데, DHM 작업시 실제 작업자 보다 비틀림이 더 많은 것으로 모델링 되어서 발생

하였고, 이것은 각도에 민감한 손목이 작업점 측정과 작업자 인체 치수 측정 시 발생한 미세한 오차로 인해 차이가 발생한 것으로 사료된다. 이런 오차들을 줄이기 위해서는 작업점 측정 시 정밀한 측정 도구의 사용이 필요하고, 작업자의 신체검사를 통한 정확한 인체 치수 데이터 확보가 필요하다. 그러나 손목 비틀림의 1점 차이는 위험성의 범주를 구분하는 데에는 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

Table 10 RULA score of lug bracket welding.

RULA Component		Score
그룹 A	상완의 위치	3
	어깨 들림	0
	상완의 벌어짐	0
	팔이나 몸을 기댐	-1
	전완의 위치	1
	전완의 추가사향	0
	손목의 위치	2
	손목의 요골, 척골 편향	0
	손목의 회전상태	1
	근육사용정도	1
	무게/힘에 대한 사향	0
그룹 B	목의 위치	1
	목의 좌, 우 편향	0
	목의 회전	1
	몸통의 위치	3
	몸통의 회전	0
	몸통의 좌, 우 편향	0
	다리의 위치	1
	근육사용정도	0
	무게/힘에 대한 사향	0
최종점수		4

Details	
- Upper Arm:	2
- Shoulder elevation	Auto: No
- Arm abduction	Auto: No
- Forearm:	1
- Arm rotation	Auto: No
- Wrist:	2
- Wrist deviation	Auto: No
- Wrist Twist:	2
- Wrist twist	Auto: Yes
Posture A:	3
Muscle:	1
Force/Load:	0
Wrist and Arm:	4
- Neck:	2
- Neck twist	Auto: Yes
- Neck side-bending	Auto: No
- Trunk:	3
- Trunk twist	Auto: No
- Trunk side-bending	Auto: No
Leg:	1
Posture B:	3
Neck, Trunk and Leg:	4
Score	
Final Score: 4	
Investigate further	

4. 4 핀 지그 설치 및 해체

핀 지그 설치 및 해체 작업은 블록을 올려놓기 전에 이루어지는 작업으로, 수동으로 이루어지는 작업과 반자동, 자동으로 이루어지는 작업 등 3종류의 작업이 있다. 여기에서 Modeling한 작업은 수동으로 이루어지는 작업으로 전적으로 인력에 의해서 이루어지고 있다. 특히 수동으로 이루어지는 작업은 작업자가 12kg의 중량물인 핀을 지그에 반복적으로 삽입해야 하므로 A조선소 보고서에는 근골격계에 유해성이 높은 것으로 분류되어 있다. 따라서 RULA 평가도 수동으로 핀 지그를 설치, 해체하는 작업의 자세를 선정하여 평가하였다.

핀 지그 설치 및 해체 작업에서 Product 및 Resource로 Modeling한 것으로는 수동 핀 지그, 반자동 핀 지그, 작업자 등이 있다. 작업의 전체적인 작업의 레이아웃은 Fig. 22에서 보는 바와 같다. 또한 실제 작업자를 Modeling한 DH의 작업 자세는 Fig. 23과 같다.

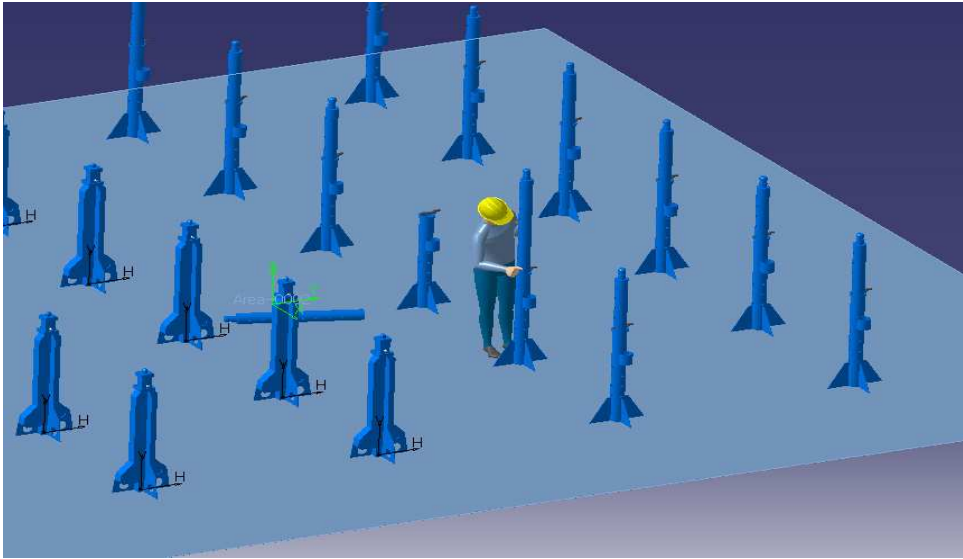


Fig. 22 Layout of pin jig setting.

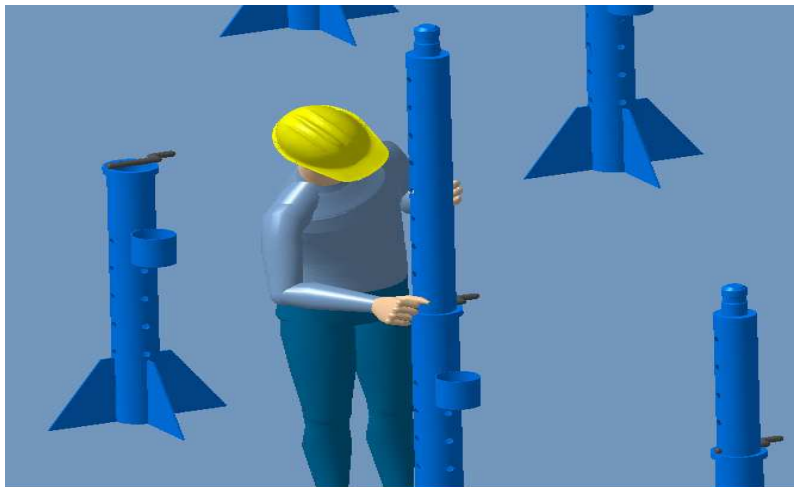


Fig. 23 Posture model of pin jig setting.

실제 작업자의 작업 자세와 DH의 작업 자세를 RULA로 평가한 결과는 Table 11과 같다.

Table 11 RULA score of pin jig setting.

RULA Component		Score	Details
그룹 A	상완의 위치	2	- Upper Arm: 3 - Shoulder elevation: Auto: No - Arm abduction: Auto: Yes - Forearm: 1 - Arm rotation: Auto: No - Wrist: 3 - Wrist deviation: Auto: Yes - Wrist Twist: 1 - Wrist twist: Auto: No Posture A: 4 Muscle: 1 Force/Load: 3 Wrist and Arm: 8 - Neck: 3 - Neck twist: Auto: Yes - Neck side-bending: Auto: Yes - Trunk: 3 - Trunk twist: Auto: No - Trunk side-bending: Auto: Yes Leg: 1 Posture B: 3 Neck, Trunk and Leg: 7 Score Final Score: 7 Investigate and change immediately
	어깨 들림	0	
	상완의 벌어진 정도	1	
	팔이나 몸을 기댈	0	
	전완의 위치	1	
	전완의 추가사향	0	
	손목의 위치	2	
	손목의 요골, 척골 편향	1	
	손목의 회전상태	1	
	근육사용정도	0	
	무게/힘에 대한 사항	3	
그룹 B	목의 위치	2	
	목의 좌, 우 편향	1	
	목의 회전	0	
	몸통의 위치	2	
	몸통의 회전	1	
	몸통의 좌, 우 편향	0	
	다리의 위치	1	
	근육사용정도	1	
무게/힘에 대한 사항		0	
최종점수		7	

Table 11에서 RULA 점수를 비교해 보면, 최종점수가 7점으로 실제 작업자 점수와 DH의 점수가 일치하는 것으로 나타났다. 최종점수 7점은 작업부하수준 4에 해당되며, 작업 자세를 즉시 바꾸어야 한다는 것을 의미한다. 그리고 각 신체 부위별 세부 항목을 비교한 결과 실제 작업자와 DH의 점수가 일치하는 것으로 나타났다. 핀 지그 설치 및 해체 작업의 RULA 최종점수가 높게 나온 이유는 12kg의 핀을 인력으로 설치하므로 무게/힘에 대한 사항의 점수가 높았기 때문이다.

4. 5 쇼트 와이어 패일 팩 이동

쇼트 와이어 패일 팩은 용접작업에 필요한 재료인 용접 심을 담고 있는 통이다. 2가지 종류가 있으며, 무게는 각각 100kg과 200kg이다. 쇼트 와이어 패일 팩 이동은 저장소에서 목적지까지 운반하는 작업으로 1회 운반 시 3~5분이 소요되고, 하루 또는 이틀에 한번 정도 운반을 한다. 이동시킬 때에는 패일 팩의 무게 때문에 운반 전용 수레를 사용하여 운반한다.

쇼트 와이어 패일 팩 이동 작업을 위해 필요한 것은 운반 수레, 쇼트 와이어 패일 팩, 운반 작업자 등이 있다. 이것들을 모두 Product 및 Resource로 Modeling하였다.

쇼트와이어 패일 팩 이동 작업에 대한 DH의 작업 자세는 Fig. 24와 같다.



Fig. 24 Posture model of short wire pail pack transportation.

Table 12 RULA score of short wire pail pack transportation.

RULA Component		Score	Details	
그룹 A	상완의 위치	1	- Upper Arm:	1
	어깨 들림	0	- Shoulder elevation	Auto: No
	상완의 벌어짐	0	- Arm abduction	Auto: No
	팔이나 몸을 기댔	0	- Forearm:	1
	전완의 위치	1	- Arm rotation	Auto: No
	전완의 추가사향	0	- Wrist:	2
	손목의 위치	2	- Wrist deviation	Auto: No
	손목의 요골, 척골 편향	0	- Wrist Twist:	1
	손목의 회전상태	1	- Wrist twist	Auto: No
	근육사용정도	0	Posture A:	2
그룹 B	무게/힘에 대한 사항	1	Muscle:	0
	목의 위치	1	Force/Load:	1
	목의 좌, 우 편향	0	Wrist and Arm:	3
	목의 회전	0	- Neck:	1
	몸통의 위치	2	- Neck twist	Auto: No
	몸통의 회전	0	- Neck side-bending	Auto: No
	몸통의 좌, 우 편향	0	- Trunk:	2
	다리의 위치	1	- Trunk twist	Auto: No
	근육사용정도	1	- Trunk side-bending	Auto: No
	무게/힘에 대한 사항	0	Leg:	1
최종점수		3	Posture B:	1
			Neck, Trunk and Leg:	2
			Score	
			Final Score: 3	
			Investigate further	

실제 작업자의 RULA 평가 결과와 DH의 RULA 평가 결과는 Table 12에서 보는 바와 같다.

Table 12의 RULA 점수를 비교해 보면, 최종점수가 4점으로 실제 작업자와 DH의 최종점수가 일치하고 각 신체 부위별 세부항목 점수를 비교해 보아도 모두 일치하는 것을 알 수 있다. 최종점수 4점은 작업부하 수준 2에 해당되며, 작업 자세에 대한 추적 관찰이 필요하다는 것을 의미한다.

4. 6 소부재 배열

소부재 배열 작업은 소부재들을 용접하기 위해 소부재가 쌓여 있는 소부재 랙(Lack)에서 소부재들을 작업자가 직접 인력으로 꺼내어 배열하는 작업이다. 이 작업은 약 3.2~8kg의 소부재들을 아주 낮은 높이에서 배열하기 때문에 작업자의 근골격계에 유해성이 높다고 평가되고 있다.

소부재 배열 작업을 위해서는 여러 형태의 소부재와 소부재를 적재해 놓는 소부재 랙, 소부재가 용접되어질 강판, 작업자 등이 Modeling되어야 한다. 이러한 것들을 Product 및 Resource로 Modeling 되었고, 전체적인 레이아웃은 Fig. 25와 같다. 또한 RULA 평가를 위해 실제 작업자의 자세를 Modeling한 DH의 작업 자세는 Fig. 26과 같다.

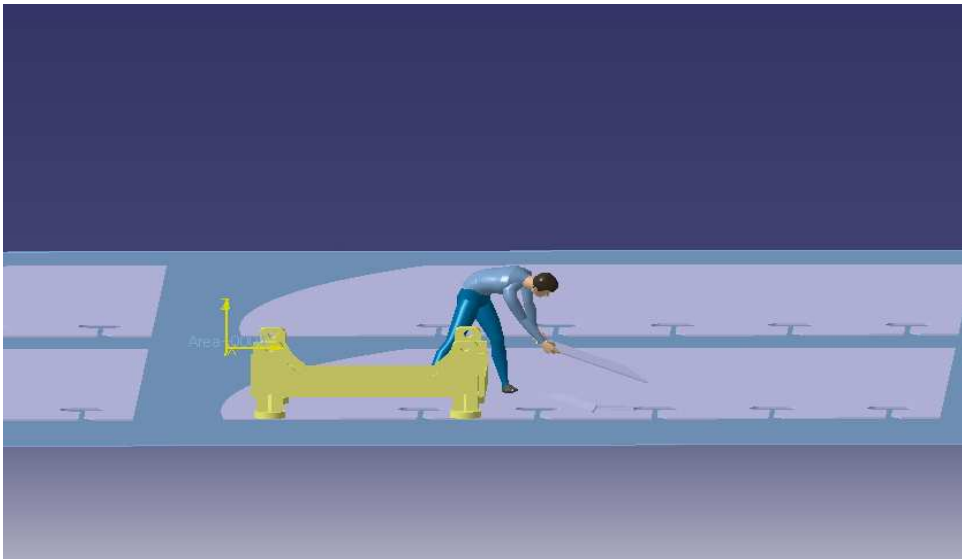


Fig. 25 Layout of small material arrangement.



Fig. 26 Posture model of small material arrangement.

실제 작업자와 DH의 작업 자세를 RULA로 평가한 점수는 Table 13과 같다.

Table 13 RULA score of small material arrangement.

RULA Component		Score	Details
그룹 A	상완의 위치	4	Upper Arm: 4 - Shoulder elevation: Auto: No - Arm abduction: Auto: No Forearm: 2 - Arm rotation: Auto: No Wrist: 2 - Wrist deviation: Auto: No Wrist Twist: 1 - Wrist twist: Auto: No Posture A: 4 Muscle: 0 Force/Load: 2 Wrist and Arm: 6 Neck: 1 - Neck twist: Auto: No - Neck side-bending: Auto: No Trunk: 5 - Trunk twist: Auto: Yes - Trunk side-bending: Yes Leg: 1 Posture B: 4 Neck, Trunk and Leg: 6
	어깨 들림	0	
	상완의 벌어진짐	0	
	팔이나 몸을 기댐	0	
	전완의 위치	2	
	전완의 추가사항	0	
	손목의 위치	2	
	손목의 요골, 척골 편향	0	
	손목의 회전상태	1	
	근육사용정도	0	
	무게/힘에 대한 사항	1	
그룹 B	목의 위치	1	Score Final Score: 7 Investigate and change immediately
	목의 좌, 우 편향	0	
	목의 회전	0	
	몸통의 위치	4	
	몸통의 회전	0	
	몸통의 좌, 우 편향	1	
	다리의 위치	1	
	근육사용정도	0	
	무게/힘에 대한 사항	1	
최종점수		7	

Table 13의 표에서 알 수 있듯이 각각의 RULA 최종점수는 7점으로 일치했다. 또한, 각 신체 부위별 세부 항목을 비교해 보아도 모두 일치했다. RULA 점수가 높게 나온 이유는 소부재 랙의 높이가 낮아 허리의 굽힘이 크게 발생되고 소부재를 잡기 위한 상완의 각도도 높기 때문이다. RULA 최종점수 7점은 작업부하수준 4에 해당되며, 작업 자세를

즉시 바꾸어야 한다는 것을 의미한다.

4. 7 소형 론지 취부

소형 론지 취부 작업은 절단 공장에서 이송된 강판에 수동 마그네틱 크레인을 이용하여 부착할 곳에 소형 론지를 위치시킨다. 그리고 미세한 이동을 위해 해머를 이용하여 소형 론지를 정확하게 맞추고, 용접건을 이용하여 소형 론지를 가조립하는 작업이다.

소형 론지 취부 작업을 Modeling하기 위해서 해머와 용접건, 소형 론지, 론지가 부착될 강판, 작업자 등이 필요하며, 이런 것들을 Product 및 Resource로 Modeling하였다.

Product 및 Resource로 구축된 전체적인 레이아웃은 Fig. 27과 같다. 그리고 Fig. 28은 RULA 평가를 위해 실제 작업자를 Modeling한 DH의 작업 자세이다.

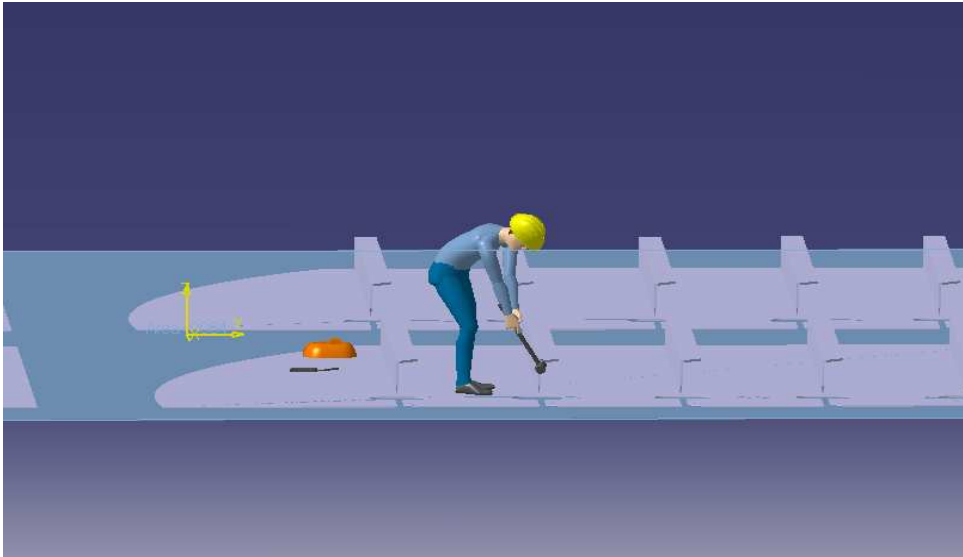


Fig. 27 Layout of small longi attachment.



Fig. 28 Posture model of small longi attachment.

이렇게 Modeling한 DH와 실제 작업자를 평가한 RULA 점수는 Table 14와 같다.

Table 14 RULA score of small longi attachment.

RULA Component		Score	Details	
그룹 A	상완의 위치	3	- Upper Arm:	4
	어깨 들림	0	- Shoulder elevation	Auto: No
	상완의 벌어짐	1	- Arm abduction	Auto: Yes
	팔이나 몸을 기댐	0	- Forearm:	2
	전완의 위치	2	- Arm rotation	Auto: No
	전완의 추가사향	0	- Wrist:	3
	손목의 위치	2	- Wrist deviation	Auto: Yes
	손목의 요골, 척골 편향	0	- Wrist Twist:	1
	손목의 회전상태	1	- Wrist twist	Auto: No
	근육사용정도	0	Posture A:	4
	무게/힘에 대한 사항	1	Muscle:	0
그룹 B	목의 위치	1	Force/Load:	1
	목의 좌, 우 편향	1	Wrist and Arm:	5
	목의 회전	0	- Neck:	2
	몸통의 위치	3	- Neck twist	Auto: No
	몸통의 회전	0	- Neck side-bending	Auto: Yes
	몸통의 좌, 우 편향	0	- Trunk:	3
	다리의 위치	1	- Trunk twist	Auto: No
	근육사용정도	0	- Trunk side-bending	Auto: No
	무게/힘에 대한 사항	0	Leg:	1
최종점수		5	Posture B:	3
			Neck, Trunk and Leg:	4
			Score	
			Final Score: 5	
			Investigate further and change soon	

실제 작업자와 DH의 RULA 평가 점수를 비교해보면, 최종점수 5점으로 일치했다. 그러나 신체 부위별 세부 항목을 비교해 보면 손목의 추가 점수에서 1점의 점수 차이가 발생한 것을 알 수 있다. 손목의 추가점수를 분석해 본 결과, DELMIA Human 솔루션이 DH의 손목에서 척골편향이 있는 것으로 인식하고 추가점수를 부여하였다. 이것은 해머를 잡게 하는 Modeling 과정에서 2.5°의 척골편향이 발생하였다. 이것은 각도에 민감한 손목이 해머를 잡게 하는 Modeling과정에서 파지법 차이로 인해 발생한 것으로 사료된다. 이런 오차를 줄이기 위해서는 수공구의

정확한 Modeling 및 파지법에 대한 세밀한 분석이 필요하다. 그러나 손목의 추가점수 1점이 위험성의 범주를 구분하는 데에는 크게 영향을 미치지 않았다. 최종점수 5점은 작업부하수준 3에 해당되며, 작업 자세를 가능한 한 빨리 바꾸는 것이 낫다는 것을 의미한다.

4. 8 선체 외판 도장

선체 외판 도장 작업은 블록의 결합이 끝난 선박의 선체 외판을 도장하는 작업으로 도크 안에서 이루어지는 작업이다. 선체 외판의 높이가 높기 때문에 작업은 고소차를 타고 수행되며, 도장 작업은 스프레이건을 사용하여 분사하는 방식으로 이루어진다. 2인 1조 작업으로 한 명은 스프레이건으로 페인트를 분사하는 작업을 수행하고, 나머지 한 명은 고소차를 운전하면서 도장 작업이 연속적으로 이루어질 수 있도록 도와주는 역할을 한다.

선체 외판 도장 작업을 Modeling하기 위해서는 스프레이건, 고소차, 선체, 작업자 2명이 필요하며, 모두 Product 및 Resource로 Modeling하였다.

Fig. 29는 Product 및 Resource로 구축된 선체 외판 도장의 전체적인 레이아웃을 보여주고 있으며, RULA 평가 대상은 주 작업인 스프레이건으로 페인트를 분사하는 작업자로 선정하였다. 실제 작업자를 Modeling한 선체 외판 도장 작업은 Fig. 30과 같다.

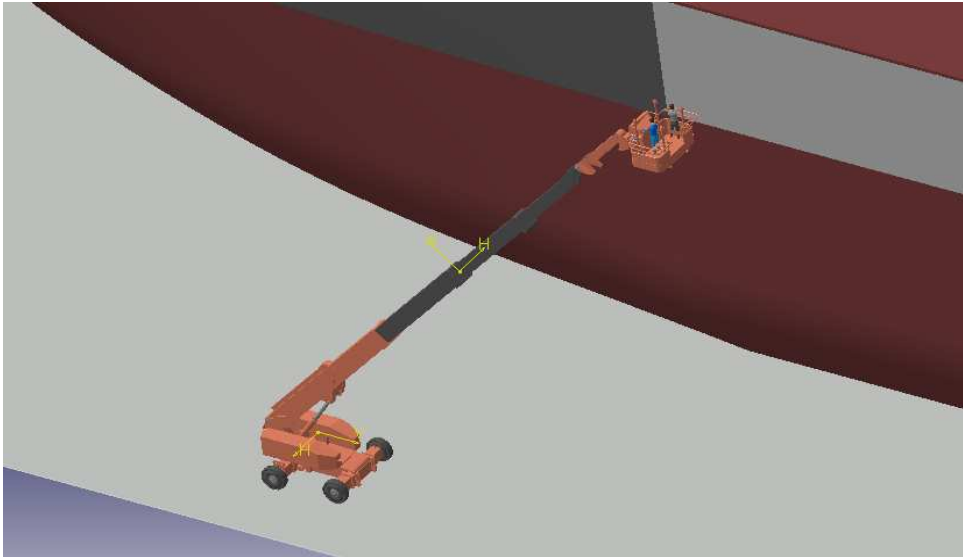


Fig. 29 Layout of painting outside of body of ship.

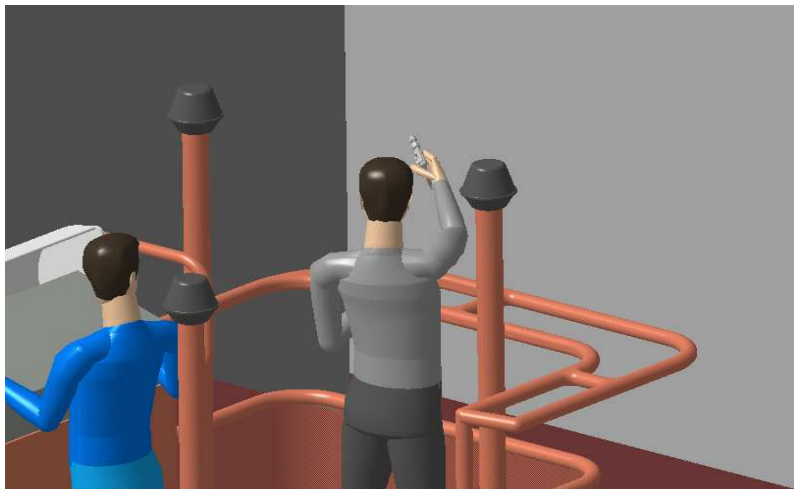


Fig. 30 Posture model of painting outside of body of ship.

선체 외판 도장 작업의 RULA 평가 점수와 DH의 RULA 평가 점수는 Table 15와 같다.

Table 15 RULA score of painting outside of body of ship.

RULA Component		Score	Details	
그룹 A	상완의 위치	3	- Upper Arm:	3
	어깨 들림	0	- Shoulder elevation	Auto: No
	상완의 벌어짐	0	- Arm abduction	Auto: No
	팔이나 몸을 기댐	0	- Forearm:	2
	전완의 위치	2	- Arm rotation	Auto: No
	전완의 추가사향	0	- Wrist:	3
	손목의 위치	3	- Wrist deviation	Auto: No
	손목의 요골, 척골 편향	0	- Wrist Twist:	1
	손목의 회전상태	1	- Wrist twist	Auto: No
	근육사용정도	1	Posture A:	4
그룹 B	무게/힘에 대한 사항	0	Muscle:	1
	목의 위치	1	Force/Load:	0
	목의 좌, 우 편향	0	Wrist and Arm:	5
	목의 회전	1	- Neck:	2
	몸통의 위치	2	- Neck twist	Auto: Yes
	몸통의 회전	0	- Neck side-bending	Auto: No
	몸통의 좌, 우 편향	1	- Trunk:	3
	다리의 위치	1	- Trunk twist	Auto: Yes
	근육사용정도	1	- Trunk side-bending	Auto: No
	무게/힘에 대한 사항	0	Leg:	1
최종점수		5	Posture B:	3
			Neck, Trunk and Leg:	4
			Score	
			Final Score: 5	
			Investigate further and change soon	

실제 작업자와 DH의 RULA 점수를 비교해 본 결과 최종점수가 5점으로 일치했다. 최종점수 5점은 작업부하수준 3에 해당되며, 작업 자세를 가능한 한 빨리 바꾸는 것이 낫다는 것을 의미한다. 그리고 신체 부위별 세부항목 점수를 비교해 보았을 때, 모두 일치했다.

4. 9 에어리스 펌프 정비

에어리스 펌프 정비 작업은 도장 작업에 사용되는 에어리스 펌프를 정비, 수리하는 작업이다. 정비나 수리가 필요한 부품을 탈·부착하기 위해 에어리스 펌프를 눕혀서 작업을 시작하며, 정비나 수리는 전용 작업대 위에서 작업이 이루어진다. 에어리스 펌프의 무게는 100kg이 넘기 때문에, 펌프를 눕히거나 세울 때 작업자의 근골격계에 유해성이 높기 때문에 RULA 평가를 위한 작업 자세는 에어리스 펌프를 눕히는 자세로 선정하여 평가하였다.

에어리스 펌프 정비 작업을 Modeling하기 위해서는 에어리스 펌프, 작업대와 수리에 필요한 파이프렌치, 끌 등의 수공구가 필요하며, 모두 Product 및 Resource로 Modeling하였다.

Product 및 Resource로 구축된 에어리스 펌프 정비 작업의 전체 레이아웃은 Fig. 31과 같다. 또한 RULA 평가를 위해 Modeling한 DH의 작업 자세는 Fig. 32와 같다.

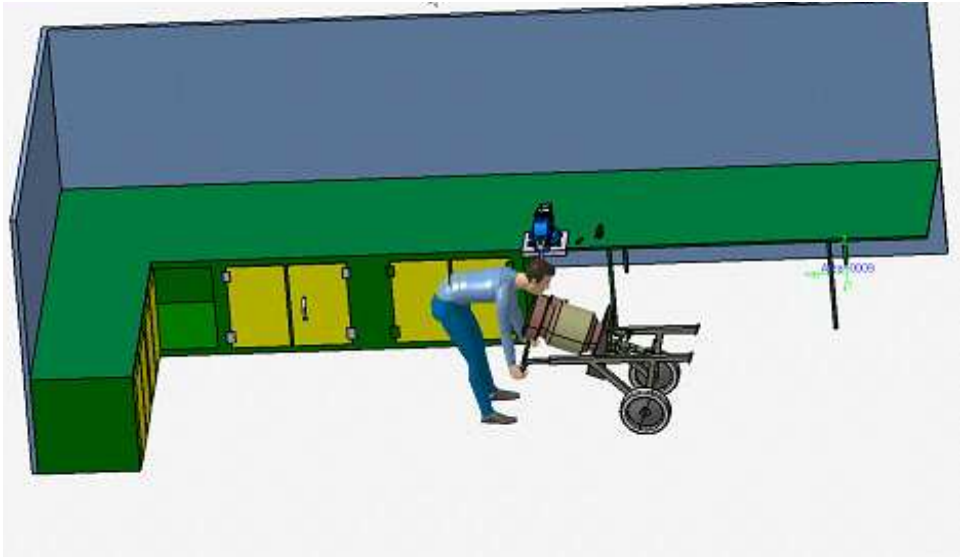


Fig. 31 Layout of airless pump maintenance.

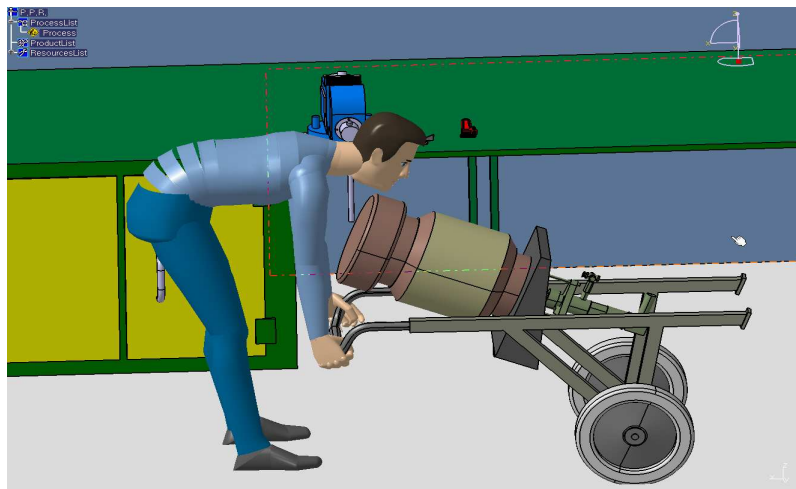


Fig. 32 Posture model of airless pump maintenance.

그리고 실제 작업자와 DH의 작업 자세를 평가한 RULA 점수는 Table 16과 같다.

Table 16 RULA score of airless pump maintenance.

RULA Component		Score
그룹 A	상완의 위치	3
	어깨 들림	0
	상완의 벌어짐	0
	팔이나 몸을 기댐	0
	전완의 위치	2
	전완의 추가사향	0
	손목의 위치	2
	손목의 요골, 척골 편향	0
	손목의 회전상태	1
	근육사용정도	0
	무게/힘에 대한 사항	3
그룹 B	목의 위치	4
	목의 좌, 우 편향	0
	목의 회전	0
	몸통의 위치	4
	몸통의 회전	0
	몸통의 좌, 우 편향	0
	다리의 위치	1
	근육사용정도	0
	무게/힘에 대한 사항	0
최종점수		7

Details

Upper Arm: 3

- Shoulder elevation Auto: No

- Arm abduction Auto: No

Forearm: 2

- Arm rotation Auto: No

Wrist: 3

- Wrist deviation Auto: Yes

Wrist Twist: 1

- Wrist twist Auto: No

Posture A: 4

Muscle: 0

Force/Load: 3

Wrist and Arm: 7

Neck: 4

- Neck twist Auto: No

- Neck side-bending Auto: No

Trunk: 4

- Trunk twist Auto: No

- Trunk side-bending Auto: No

Leg: 1

Posture B: 4

Neck, Trunk and Leg: 7

Score

Final Score: 7

Investigate and change immediately

Table 16에서 실제 작업자 평가와 DH 평가 점수를 비교해 보면 최종 점수가 7점으로 일치했다. 점수에 큰 영향을 미친 것은 에어리스 펌프의 무게로 인해 무게/힘에 대한 사항의 점수가 높았기 때문이다. RULA 최종점수 7점은 작업부하수준 4에 해당이 되며, 작업 자세를 즉시 바꾸어야 한다는 것을 의미한다. 그러나 신체 부위별 세부 항목을 보면 손목 점수에서 실제 작업자는 2점, DH는 3점을 나타내고 있어 차이가 발생했다. 이것은 에어리스 펌프를 Modeling할 때 손잡이의 각도 차이로 발

생했다. Modeling한 에어리스 펌프의 손잡이가 실제 펌프의 손잡이보다 더 많이 꺾여 있어서 손목의 요골 편향이 발생했다. 이것은 설비 Modeling시 발생한 오차로 인해 차이가 발생한 것으로 사료되고, 이런 오차를 줄이기 위해서는 설비의 설계도 확보로 정확한 Modeling이 필요하다. 그러나 손목 점수의 1점 차이가 위험성의 범주를 구분하는 데에는 영향을 미치지 않았다.

4. 10 페인트 믹싱

페인트 믹싱 작업은 도장 작업 전에 이루어지는 작업으로, 도장에 사용될 18.58kg의 페인트와 경화제를 인력으로 섞는 작업이다. 페인트와 경화제 통을 끝로 개봉한 후 믹싱 용기에 일정 비율로 첨가시키고 믹스 머신을 사용하여 경화제와 페인트를 골고루 섞는 작업을 수행한다. 페인트 믹싱 작업은 모두 인력으로 이루어지고 있으며, 섞는 작업의 작업점이 낮고 작업의 빈도가 높아 근골격계에 유해성이 높은 것으로 평가되고 있다. 일련의 작업 중에 RULA로 평가한 작업 자세는 페인트를 믹스 용기에 첨가시키는 자세이다.

페인트 믹싱 작업을 Modeling하기 위해서는 페인트 통과 경화제 통, 그리고 통을 개봉하기 위해 사용되는 끝과 섞는 작업에 사용되는 믹스 머신, 소화기, 작업자 등이 있다.

페인트 믹싱 작업을 Product 및 Resource로 구축한 전체적인 레이아웃

웃은 Fig. 33과 같다. 또한 RULA 평가를 위해 Modeling한 DH의 작업 자세는 Fig. 34와 같다.



Fig. 33 Layout of paint mixing.



Fig. 34 Posture model of paint mixing.

실제 작업자와 DH의 RULA 평가 점수는 Table 17과 같다.

Table 17 RULA score of paint mixing.

RULA Component		Score	Details
그룹 A	상완의 위치	2	Upper Arm: 3 - Shoulder elevation Auto: No - Arm abduction Auto: Yes Forearm: 2 - Arm rotation Auto: Yes Wrist: 2 - Wrist deviation Auto: No Wrist Twist: 1 - Wrist twist Auto: No Posture A: 4 Muscle: 0 Force/Load: 3 Wrist and Arm: 7 Neck: 1 - Neck twist Auto: No - Neck side-bending Auto: No Trunk: 3 - Trunk twist Auto: No - Trunk side-bending Auto: No Leg: 1 Posture B: 2 Neck, Trunk and Leg: 5
	어깨 들림	0	
	상완의 벌어진	1	
	팔이나 몸을 기댐	0	
	전완의 위치	1	
	전완의 추가사향	1	
	손목의 위치	2	
	손목의 요골, 척골 편향	0	
	손목의 회전상태	1	
	근육사용정도	0	
	무게/힘에 대한 사항	3	
그룹 B	목의 위치	1	
	목의 좌, 우 편향	0	
	목의 회전	0	
	몸통의 위치	3	
	몸통의 회전	0	
	몸통의 좌, 우 편향	0	
	다리의 위치	1	
	근육사용정도	1	
무게/힘에 대한 사항		0	
최종점수		7	Score Final Score: 7 Investigate and change immediately

평가된 각각의 RULA 최종점수는 7점으로 실제 작업자와 DH의 점수가 일치했다. 최종점수 7점은 작업부하수준 4에 해당이 되며, 작업 자세를 즉시 바꾸어야 한다는 것을 의미한다. 그리고 신체 부위별 세부항목을 비교해본 결과 모두 일치했다. 페인트 믹싱 작업이 단순한 작업이지만, 18.58kg의 페인트 통을 인력으로 들어서 반복적으로 붓는 작업이

다. 그래서 반복성과 페인트 통의 무게로 인해 무게/힘에 대한 사항에서 3점의 높은 점수가 나왔고, RULA 최종점수에 큰 영향을 미쳤다.

4. 11 공정의 비교 분석

10개 공정에 대한 실제 작업자와 DH의 RULA 평가 점수를 비교한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

Table 18 Compare with RULA score between real workers and Digital Human models about 10 works.

	공정명	실제 작업자 RULA 점수	DH RULA 점수	오차 부위
1	앉아서 위보기 용접	7	7	
2	서서 위보기 용접	7	7	
3	러그 브래킷 용접	4	4	손목의 회전상태
4	핀 지그 설치 및 해체	7	7	
5	쇼트 와이어 패일 팩 이동	3	3	
6	소부재 배열	7	7	
7	소형 론지 취부	5	5	손목의 척골편향
8	선체 외판 도장	6	6	
9	에어리스 펌프 정비	7	7	손목의 요골편향
10	페인트 믹싱	7	7	

- ① 실제 작업자의 RULA 평가 점수 결과와 DH의 RULA 평가 점수 결과는 모두 일치.
- ② 러그 브래킷 용접과 소형 론지 취부, 에어리스 펌프 정비의 세부 항목 점수는 손목 부위에서 1점의 차이가 발생.

- ③ 리그 브래킷 용접에서는 손목의 회전상태, 소형 론지 취부는 손목의 척골 편향, 에어리스 펌프 정비는 손목의 요골 편향에서 점수가 1점씩 부가된 결과를 보임.
- ④ 각도에 민감한 손목이 작업점 측정과 작업자 인체 치수, 수공구 파지법, 설비 Modeling시 발생한 미세한 오차로 인해 차이가 발생한 것으로 사료됨.
- ⑤ 오차들을 줄이기 위해서는 작업점 측정 시 정밀한 측정 도구의 사용이 필요하고, 작업자의 신체검사를 통한 정확한 인체 치수 데이터 확보 및 수공구 파지법에 대한 정확한 Modeling, 설비의 설계도 확보가 필요.
- ⑥ 손목 부위의 Modeling 차이로 인해 발생한 점수는 차이가 크지 않았고, RULA 평가 점수에 변화가 없음.
- ⑦ 위험성의 범주를 구분하는 데에는 영향을 미치지 않음.

5. 결론

본 연구는 비정형적으로 이루어지는 조선업의 대표 공정 10개를 선정하여 현장 조사를 수행하였으며, 각각의 공정을 기존의 M&S 기술을 이용하여 DHM으로 구축하였다. 그리고 실제 작업자와 DH의 작업 자세를 RULA를 사용하여 평가하였다.

이 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

- ① 조립 작업 등의 정형적인 작업뿐만 아니라 비정형적인 조선업 작업에도 DHM을 적용하여 인간공학적 분석이 가능
- ② 인간공학적 개선에서 큰 영향을 미치는 설비 및 수공구 등의 설계에 적용할 경우, DHM의 적용으로 설비 투자 이전에 설계의 단계에서 작업자의 작업부담 평가가 가능하므로 인간공학적인 개선이 가능할 것으로 사료됨
- ③ 인간공학적으로 잘못 설계된 설비 등의 투자로 발생하는 비용과 근골격계질환으로 인한 손실 비용 절감 효과가 있을 것으로 사료됨.

추후 DHM&S가 구축되면, 대표 작업 자세 하나에 대한 RULA 평가보다 자세의 변화에 따른 세밀한 RULA 평가가 필요할 것이다. 그리고 RULA 평가뿐만 아니라 중량물 취급 작업, 밀고 당기는 작업에 대한

DH의 인간공학적 분석 결과와 실제 작업의 분석 결과를 비교하는 것이 필요하다. 또한 근골격계질환의 발생 위험성이 높은 작업의 개선안을 DHM&S로 구축한 뒤, 실제 개선이 이루어졌을 경우와 비교하는 것이 필요하다.

이후 연구에서는 공정의 변화나 새로운 공정의 도입으로 인해 발생할 수 있는 부적절한 자세 등을 미리 평가 하고 확인하여 효율적인 공정 개선이 이루어 질수 있는지를 확인하는 것이 필요하다. 또한 작업에 국한된 개선보다 설계 및 전체 생산 공정을 고려한 개선을 도출하는데 활용이 가능한지를 검증하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 대한산업안전협회, 근골격계질환예방을 위한 인간공학과정 (전문과정), pp. 5~35, 2004.
- 2) 장성록, 산업인간공학, 다솜출판사, pp. 306~316, 2004.
- 3) 노동부, 산업재해통계분석, 2001~2004.
- 4) 김철홍, "국내 자동차 산업의 근골격계질환 실태에 관한 연구", 산업경영시스템 학회지, Vol 24, No. 67, pp. 1~10, 2001.
- 5) 김홍태, "조선업 근골격계질환에 대한 공학적 접근 방안", 대한조선학회지 제40권 제3호. pp. 36~46, 2003.
- 6) 노동부, 산업안전보건법 제 24조 제 1항 제 5호, 2002.
- 7) 한국산업안전공단, 근골격계부담작업 유해요인조사 지침 (H-30-2003), 2003.
- 8) 이창민, 이장현, 김용균, 김원돈, 신종계, "3차원 디지털 목업 및 시뮬레이션 기반의 함정 설계 검증", 대한조선학회 논문집, Vol. 40, No. 1, pp. 63~68, 2003.
- 9) 우중훈, 이광국, 정호림, 이장현, 황규옥, 신종계, "디지털 조선소 구축을 위한 물류 모델 프레임 워크", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 133~142, 2004.
- 10) 우중훈, 오대균, 이광국, 이춘재, 신종계, 권영대, "디지털 조선소 구

- 축을 위한 프레임워크 그리고 활용 방안에 대한 사례 및 제언", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 25~35, 2005.
- 11) 신중계, 이장현, 박철성, 이종갑, 김형만, "3차원 제품 모델 기반의 선박 PDM 구축 연구", 대한조선학회 논문집, Vol. 40, No. 1, pp. 63~68, 2003.
- 12) 우중훈, 이광국, 정호림, 이장현, 황규옥, 신중계, "디지털 조선소 구축을 위한 물류 모델 프레임워크", 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 133~142, 2004.
- 13) 주무현, 윤진호, “토요타 생산시스템의 진화와 노동의 인간화”, 산업노동연구, Vol.7 No.1, 2001.
- 14) 차태인, 정성원, 최양렬, 이장현, 신중계, 박주용, "Digital Human 모델링을 이용한 조선산업에서의 작업자세 개선방안", 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 422~429, 2004.
- 15) 윤석준, 시뮬레이션과 시뮬레이터, 선학사, pp. 27~31, 2003.
- 16) 이석순, 황영진, 김효진, CATIA V5 기초 Ver. 5.11, 과학기술, 2004.
- 17) 이석순, 황영진, 김효진, CATIA V5 응용 Ver. 5.11, 과학기술, 2004.
- 18) 신중계, 김훈주, "조선작업공정과 디지털 휴먼", 대한조선학회 추계 학술대회 논문집, pp. 234~238, 2005.

- 19) 손유식, 김유창, "Simulation을 이용한 조선 작업의 인간공학적 분석", 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 239~244, 2005.
- 20) www.delmia.com
- 21) McAtamney. L., E. N. Corlett., "RULA: A rapid upper limb assessment tool", Ergonomics for all, pp. 286~291, 1994.
- 22) Waters, T. R., V. Putz-Anderson, A. Garg, "Applications Manual for the Revised NIOSH lifting equation, Cincinnati, OH: DHHS(NIOSH)", pp. 4~35, 1994.
- 23) Chaffin, D. B., G. Andersson, B. Martin, Occupational Biomechanics, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 292~297, 1999.
- 24) Snook, S. H., V. M. Ciriello, "Design of Manual Handling Tasks: Revised tables of Maximum Acceptable Weights and Forces", Ergonomics, 1991.
- 25) 한국산업안전공단 교육원, 인간공학적 작업장 개선, 영진 인쇄, pp. 201~210, 2001.
- 26) 다쏘시스템 한국지사, PLM NETWORK, Vol. 18, 2000.
- 27) 다쏘시스템 한국지사, PLM NETWORK, Vol. 21, 2004.
- 28) 이상기, 이민정, 조영석, 권오채, 박정철, 유희천, 한성호, "Digital human simulation을 통한 overhead crane의 인간공학적 설계 개

- 선 및 평가” , 대한인간공학회/한국감성과학회, 춘계학술대회 논문
집, pp. 57~60, 2005.
- 29) Nikkei Digital Engineering, 8월호, 2002.
- 30) DaimlerChrysler TIMES, 11월호, 2001.
- 31) DELMIA Newsletter, No. 3, pp. 6~7, 2001.
- 32) DELMIA Newsletter, No. 7, pp. 27~28, 2002.
- 33) DELMIA Newsletter, No. 7, pp. 14~15, 2002.
- 34) Chaffin, D. B., “Improving digital human modelling for
proactive ergonomics in design” , Ergonomics, Vol. 48, No. 5,
pp. 478~491, 2005.
- 35) 노동부, 산업안전보건법 개정, 2003.
- 36) 노동부, 산업보건 기준에 관한 규칙, 2003.
- 37) 노동부, 근골격계질환 예방업무 편람, 2004.
- 38) 한국산업안전공단, 사업장 근골격계질환 예방·관리 프로그램
(KOSHA CODE, H-31-2003), 2003.
- 39) 한국산업안전공단, 안전보건경영시스템 구축에 관한 지침(KOSHA
CODE, G-4-2003), 2003.
- 40) 대한인간공학회, A조선평 인간공학프로그램 보고서, 2002.
- 41) 산업자원부 기술표준원, 인체측정 표준용어집, 2004.

A Basic Study of Digital Human Modeling in Shipbuilding Industry

Hyun Soo Oh

Department of Safety Engineering,
Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Recently, the Digital Human Modeling & Simulation technology has been actively applied to product process to maximize productivity in assembly industry. But it has been applied to shipbuilding industry. If using this technology, ergonomics concept can be applied to the early stage of equipment design and working process. Thus, the workers could be previously prevented from Musculoskeletal Disorders (MSDs). It can also reduce additional costs of equipments that are caused by the wrong design. The purpose of this study is therefore confirming the application possibility of Digital Human Modeling & Simulation in assembly industry as well as shipbuilding industry. This study was performed to survey and analyze the real workers of ten works, and then they were modeling to Digital Human models. So real workers and Digital Human models of ten works was compared with Rapid Upper Limb Assessment (RULA). In the result, all RULA final scores of Digital Human models were equalled to those of real workers.

감사의 글

학부생 때부터 관심과 사랑으로 이끌어 주시고, 대학원 2년 동안 인간공학에 대해 많은 가르침을 주신 장성록 교수님께 제일 먼저 깊은 감사의 말씀을 올립니다. 그리고 제 논문을 위해 지도교수님이 되어주시고, 세심한 논문 지도를 해 주신 최재욱 교수님과 부족함이 많은 저의 논문에 아낌없는 지도를 해 주신 권오현 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 또한 안전공학도로서의 길을 열어주신 목연수 총장님, 이내우 교수님, 이동훈 교수님, 박외철 교수님께도 감사드립니다.

대학원 2년 동안 프로젝트를 수행하면서 저에게 많은 가르침과 도움을 주신 홍익대학교 이관석 교수님, 충북대학교 임현교 교수님, 서울산업대학교 이근오 교수님, 호서대학교 이광원 교수님, 동의대학교 김유창 교수님 정말 감사합니다. 그리고 프로젝트를 통해 알게 되었고, 어느새 정이 든 윤철이 형, 형택이 형, 홍식이 형, 정규형, 이경선 소령님, 충북대 대학원 신입생들, 태인이 형, 성원이 형, 남두, 영수, 서울산업대 승룡이 형과 호서대 승룡이 형, 종민이, 정근이, 유식이형, 준팔이, 그리고 논문에 많은 도움을 주신 조선공학과 민경철 선생님, 해양대 동환이에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

그리고 대학원 입학 초기에 인간공학실험실에서 저에게 많은 도움을 주신 배동철 박사님, 이종빈 선생님, 창한이 형, 재훈이 형, 승엽이 형, 상준이 형, 경희와 이후 1년 동안 함께 동고동락했던 97학번 동기 남중이, 저에게 일 배운다고 많이 고생한 현우, 묵묵히 일하던 무중이, 항상 열정적인 상은이에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 그리고 항상 실험실의 청결과 선배들 뒷바라지를 해준 방장 대현이와 형구, 육진이, 원철이, 상현이, 권락이, 성민이, 경수, 승욱이, 은향이, 혜원이, 경민이, 형선이 등 인간공학실험실 후배들과 제 논문 때문에 많이 고생하신 학과 사무실 강지웅 선생님 및 안전공학과 여러 선배님들께 깊은 감사의 말을 전하고 싶습니다.

또한 일본어 해석에 많은 도움을 준 나의 10년 지기 친구 대우와 10년 넘게 저를 지켜봐왔던 제민이, 바다, 진현이, 지영이, 재웅이, 태희, 선형이, 중현이, 종혁이, 상섭이 등 나의 친구들, 그리고 부경대학교 안전공학과 97학번 동기들에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

마지막으로 저를 길러주시고 대학원 진학까지 아낌없이 배려해 주시던, 그리고 저의 정신적 기둥이 되어주신 아버지 정말 감사합니다. 그리고 형을 위해 양보를 많이 했던 동생 만수, 힘들거나 지칠 때 항상 옆에서 챙겨주고, 많은 조언과 조건 없는 사랑을 베풀어준 사랑하는 영주에게 깊은 감사의 말을 전하고 싶습니다.

2006년 1월

부경대학교 오 현 수 올림