

# 인체 모델링과 시뮬레이션 기법의 조선산업 적용에 관한 연구

김동준 · 박주용\* · 민경철 · 장성록\*\*\*

부경대학교 조선해양시스템공학과 · \*한국해양대학교 해양시스템공학부 · \*\*부경대학교 안전공학부  
(2005. 11. 16. 접수 / 2006. 7. 19. 채택)

## Formulation of Human Modeling and Simulation in the Shipbuilding Industry

Dong Joon Kim · Ju Yong Park\* · Kyong Cheol Min · Seong Rok Chang\*\*\*

Department of Naval Architecture & Marine Systems Engineering, Pukyong National University

\*Division of Ocean System Engineering, Korea Maritime University

\*\*Division of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received November 16, 2005 / Accepted July 19, 2006)

**Abstract :** Recently, work-related musculoskeletal disorders(WMSDs) is one of the major issues in the shipbuilding industry. The number of injured workers has rapidly increased and demands for workers compensation, improvement of work condition and environment to prevent WMSDs become larger. To protect and reduce WMSDs in the shipbuilding industry, simulation technique which showed it's ability of increasing the manufacturing productivity will be applied, because simulation technique has the evaluation ability for a worker's danger level of production process by human activity analysis. In our research, we modeled worker's attitude and simulated worker's action. We evaluated the caution level, compared and analyzed the difference point of digital human which made on computer and actual worker's attitude to check feasibility of human modeling and simulation in the shipbuilding industry.

**Key Words :** work-related musculoskeletal disorders, RULA., human modeling, simulation, shipbuilding industry

### 1. 서 론

근골격계 질환(Work-Related Musculoskeletal Disorders : WMSDs)은 최근의 산업재해에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 발생건수 또한 급증하고 있다. 이로 인해 생산성 저하, 근로의욕 저하, 품질 저하 등의 경영손실은 물론 직접 의료비의 부담 등이 증가추세에 있다. 그리고 근골격계 질환에 대한 직원들의 보상과 작업 개선에 대한 요구가 점차 증가하고 있다. 이에 따라 가장 중요한 노·사간의 쟁점사항으로 부각되고 있다<sup>1)</sup>.

제조업에서의 근골격계 질환 발병율은 전체 산업의 약 80%를 차지하고 있다. 특히, 조선 산업에서의 작업관련성 근골격계 질환이 급증하고 있는 추세이다. 조선산업은 단순반복 작업, 중량물 취급, 부

적절한 자세, 진동 등의 요인으로 인하여, 다른 산업에 비해 근골격계 질환이 많이 발생하고 있다. 조선산업의 작업 대상물은 작업자가 작업하기 용이하도록 하기가 현실적으로 어렵기 때문에, 부적절한 자세를 취한 채 용접, 사상 등의 작업을 하게 된다. 이러한 작업이 지속적으로 이루어짐으로 인해 조선산업의 작업자가 근골격계 질환에 이환될 가능성이 높은 것으로 보고되었다<sup>2)</sup>.

본 연구에서는 인체 모델링과 시뮬레이션 기법(Human Modeling & Simulation, 이하 Human M&S)을 이용하여 작업자와 작업환경을 모델링하고, 작업자의 작업자세를 RULA 기법으로 인간공학 전문가에 의해 평가한 결과와 모델링한 Digital Human의 작업자세를 DELMIA의 Human Activity Analysis의 동일한 기법을 이용하여 평가한 결과를 비교, 분석하였다. 이를 통하여 모델링에 의한 Human M&S 작업자세 분석 방법을 적용하여, 근골격계 질환의 위

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
srchang@pknu.ac.kr

협성을 사전에 평가하고, 설계 단계에서부터 근골격계 질환 유발요인을 사전에 제거하고, 작업 전에 작업장 및 도구 등의 개선을 통하여 근골격계 질환 감소에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 인체 모델링 및 시뮬레이션 기법 (Human Modeling & Simulation)

Human M&S란 컴퓨터 프로그램을 이용하여 가상의 환경을 만드는 것이다. 여기에 실제 작업자의 작업동작과 동일하게 행하는 가상의 Digital Human을 만들고, 작업 환경 및 작업자 그리고 작업동작을 가상공간에서 유사하게 구현하는 것을 말한다.

M&S를 이용하면, 새로이 개발한 기술을 가상공간에서 미리 적용하여 생산 단계에서 감수해야 할 위험요소를 사전에 제거할 수 있다. 그리고 현장 작업자의 작업 및 활동 공간을 설계단계에서부터 검증을 통하여 생산단계에서 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 보완할 수 있다<sup>3,4)</sup>.

이러한 기술들을 적용한 사례를 보면, 이탈리아의 Technical Engineering Service 회사인 Isselord는 조선분야의 정비 작업을 수행하기 위해, DELMIA(Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application) V5 DPM 솔루션을 이용하여 프로펠러 및 선체 그리고 Dry Dock을 모델링하였다<sup>5)</sup>.

세계 제일의 조선 생산국인 우리나라에서는 선박 생산과 관계되는 조선소 내의 객체인 Product, Process 그리고 Resource를 디지털 정보 모델로 구축하고, 이를 Virtual Manufacturing 기법을 이용하여 선박 건조 과정을 시뮬레이션할 수 있는 디지털 선박 건조 시스템을 연구되고, 이미 설계부서 등 일부에서는 적용되고 있다<sup>6)</sup>. 그리고 이상기 등은 Jack™을 이용하여 Overhead Crane에서 운전자의 작업 자세를 시뮬레이션하여 근골격계질환의 위험성을 줄이려는 연구를 했다<sup>7)</sup>.

본 연구에서는 자동차 및 우주항공 등에 널리 사용되고 있고, 우리나라의 대형조선소에서 사용하고 있는 설계 소프트웨어와 자료 공유가 가능한 3D Modeling & Simulation 프로그램인 DELMIA를 이용하여 Human M&S를 수행하였다.

DELMIA는 Fig. 1과 같은 모듈을 이용하여 가상의 공간에서 작업을 수행하는 Digital Human을 만들어 인간공학적인 분석을 할 수 있다.

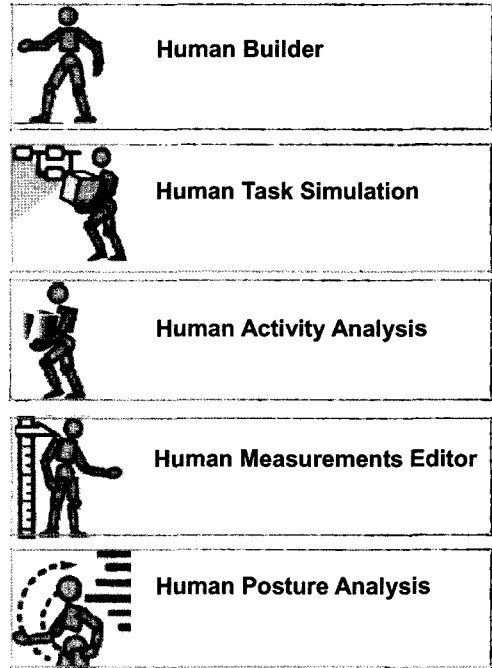


Fig. 1. Structure of digital human system.

## 3. 적용사례

연구는 조선 CAD팀, 시뮬레이션팀, 인간공학팀으로 구성하여 학제간으로 Fig. 2와 같이 이루어졌다. 실제 작업자의 작업 자세를 동영상 촬영하여, 인간공학 전문가 4명이 RULA를 이용한 인간공학적 분석을 하였다. 그리고 가상공간에서 모델링한 Digital Human의 작업 자세를 DELMIA의 Human Activity Analysis 모듈로서 분석하였다.

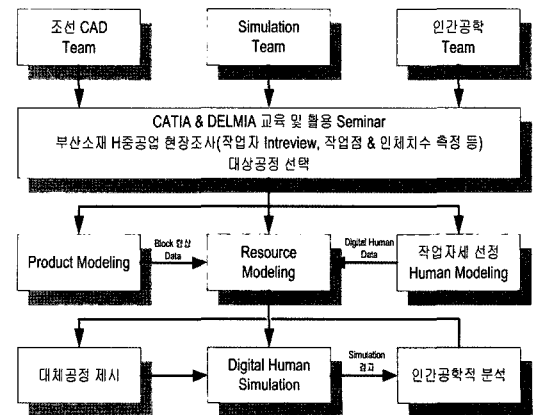


Fig. 2. Flow of multidisciplinary study.

작업자세의 사례로는 현장 전문가(생산과장, 작업반장, 작업자)들이 작업하기 힘들다고 공통적으로 답변한 위보기 용접작업을 선택하였다. 선택된 공정의 Product와 Resource를 DELMIA V5의 Product 및 Ergonomics 모듈에서 Human M&S를 하였다. 그리고 두 결과를 비교·분석하여 인간공학적 분석기법의 시뮬레이션 적용 가능성을 확인하였다.

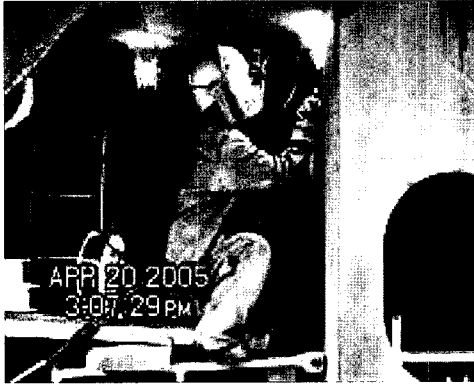


Fig. 3. Welding process on block.

### 3.1. 실제 작업자의 작업자세 분석

위보기 용접을 행하는 작업자의 자세를 디지털 캠코더로 촬영하였다(Fig. 3). 그리고 작업자 Interview와 작업점 및 작업자의 인체 치수 등을 측정하였다. 인체치수는 산업자원부 기술표준원의 인체측정 표준용어집을 참조하여 측정하였다<sup>8)</sup>.

측정된 자료를 바탕으로, RULA를 이용하여 위보기 용접을 하는 작업자의 자세를 4명의 인간공학 전문가가 브레인스토밍을 거쳐 정밀 평가하였다. Fig. 4는 현장조사와 동영상 분석으로 작성된 RULA 평가표이다.

### 3.2. Digital Human의 작업자세 분석

위보기 용접을 수행하는 작업자가 작업을 행하는 현장 및 작업자세를 시뮬레이션하기 위해서 Fig. 5와 6과 같이 Product(Block)와 Resource(Pin-Jig, 용접건 등)를 모델링하였다.

RULA SHEET	
작업자	김동준
작업점	3차원 측정실
작업명	위보기 용접
작업시간	3:07:29 PM
<b>1. 작업자 자세 분석</b> 1.1. 목 자세 분석: 목 굽힘 각도 10도, 목 굽힘 속도 10도/초, 목 굽힘 가속도 10도/초 <sup>2</sup> . RULA 점수: 1.0 1.2. 어깨 자세 분석: 어깨 굽힘 각도 10도, 어깨 굽힘 속도 10도/초, 어깨 굽힘 가속도 10도/초 <sup>2</sup> . RULA 점수: 1.0 1.3. 팔 자세 분석: 팔 굽힘 각도 10도, 팔 굽힘 속도 10도/초, 팔 굽힘 가속도 10도/초 <sup>2</sup> . RULA 점수: 1.0 1.4. 손목 자세 분석: 손목 굽힘 각도 10도, 손목 굽힘 속도 10도/초, 손목 굽힘 가속도 10도/초 <sup>2</sup> . RULA 점수: 1.0 1.5. 손가락 자세 분석: 손가락 굽힘 각도 10도, 손가락 굽힘 속도 10도/초, 손가락 굽힘 가속도 10도/초 <sup>2</sup> . RULA 점수: 1.0 1.6. 허리 자세 분석: 허리 굽힘 각도 10도, 허리 굽힘 속도 10도/초, 허리 굽힘 가속도 10도/초 <sup>2</sup> . RULA 점수: 1.0 1.7. 발 자세 분석: 발 굽힘 각도 10도, 발 굽힘 속도 10도/초, 발 굽힘 가속도 10도/초 <sup>2</sup> . RULA 점수: 1.0 1.8. 기타 자세 분석: 기타 자세 분석. RULA 점수: 1.0	
<b>2. 작업자 능력 분석</b> 2.1. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0 2.2. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0 2.3. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0 2.4. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0 2.5. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0 2.6. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0 2.7. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0 2.8. 작업자 능력 분석: 작업자 능력 분석. RULA 점수: 1.0	
<b>3. 작업자 능력 평가</b> 3.1. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0 3.2. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0 3.3. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0 3.4. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0 3.5. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0 3.6. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0 3.7. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0 3.8. 작업자 능력 평가: 작업자 능력 평가. RULA 점수: 1.0	
<b>4. 작업자 능력 종합 평가</b> 4.1. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0 4.2. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0 4.3. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0 4.4. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0 4.5. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0 4.6. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0 4.7. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0 4.8. 작업자 능력 종합 평가: 작업자 능력 종합 평가. RULA 점수: 1.0	

Fig. 4. RULA sheet of actual worker.

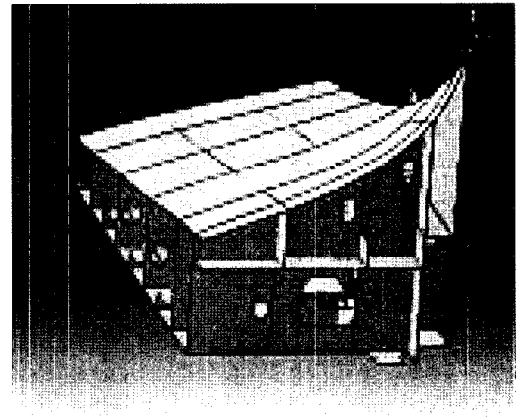


Fig. 5. Product model.

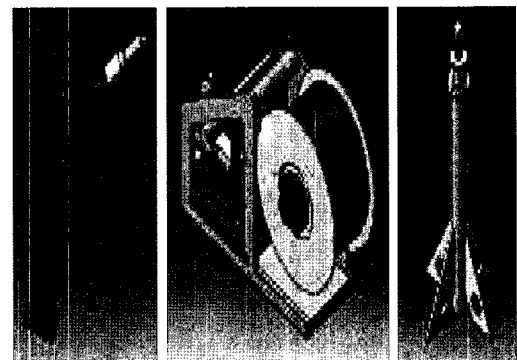


Fig. 6. Resource model.

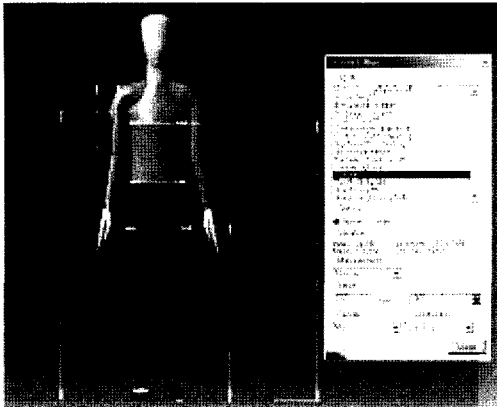


Fig. 7. Human modeling by HME.

실제 작업자와 동일한 속성을 가진 Digital Human을 구축하기 위해, Human Measurement Editor 모듈을 사용하였다(Fig. 7). 그리고 실제 작업자와 동일한 신체 치수를 가진 Digital Human을 Human Builder에서 생성하였다.

Digital human의 시뮬레이션을 위하여 실제 작업 환경과 동일한 조건을 생성하기 위해 Product, Resource, 기타 작업환경의 데이터들을 이용하여 가상 작업 공간을 형성하였다. 그리고 Digital Human에 작업을 부여하여 가상공간에서의 작업을 시뮬레이션하였다. Fig. 8은 전체적인 작업장의 Layout을 나타낸 것이다.

또한, Human Activity Analysis를 이용하여, 시뮬레이션한 작업자의 자세를 RULA로 평가하였다.

Fig. 9는 블록 내부에서 위보기 용접을 하는 작업자의 작업자세를 바탕으로 모델링된 Digital Human을 Human Activity Analysis의 RULA 기법으로 분석한 결과이다.

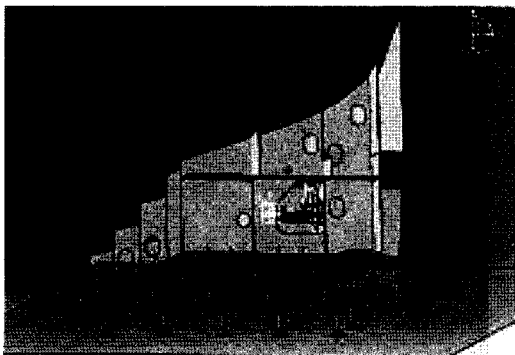


Fig. 8. Human task simulation layout.

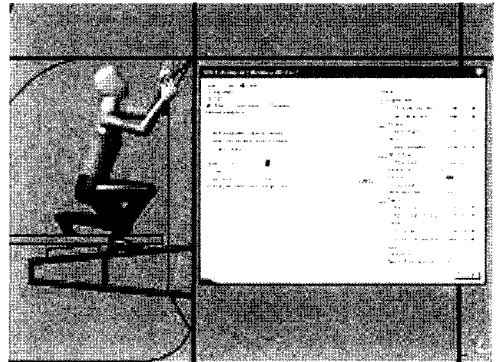


Fig. 9. RULA of digital human.

### 3.3. RULA 분석 결과 비교

Digital Human의 RULA 분석 결과, Fig. 10에서 보는 바와 같이 최종 평가점수는 6점으로 실제 작업

Group A: Arm, Wrist		Group B: Neck, Trunk, Leg	
RULA Component	score	RULA Component	Score
Upper Arm	3	Neck	4
Shoulder elevation	0	Neck twist	0
Arm Abduction	0	Neck side-bending	0
Arm supported/Person leaning	-1	Trunk	2
Forearm	1	Trunk twist	0
Arm rotation	0	Trunk side-bending	0
Wrist	2	Leg	1
Wrist deviation	1	Muscle	1
Wrist twist	1	Force/Load	0
Muscle	1		
Force/Load	0		
Final Score: 6			

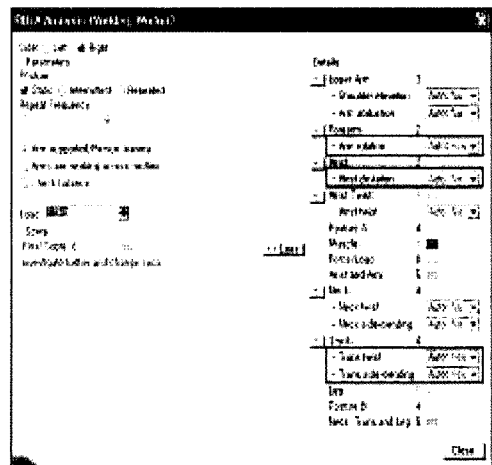


Fig. 10. Comparison of real worker and digital human in RULA score.

자의 RULA 평가점수와 Digital Human의 RULA 평가점수가 동일하게 나왔다. 그러나 신체 부위별 세부 분석에서는 실제 작업자를 분석한 결과와 전완, 손목, 몸통에서 차이가 발생했다. 즉, Digital Human 분석에서 전완이 몸의 중심선 안에 있고 몸통의 좌, 우 편향 및 회전이 있는 것으로 평가되었다. 그 원인으로는 실제 작업자의 경우 용접을 하는 작업점이 작업자의 몸 중심선 중앙에 있었다. 그러나 시뮬레이션한 Digital Human의 경우 작업점이 중심선 좌측에 위치하여 몸통의 비틀림과 좌, 우 편향이 있었다. 손목 편향은 실제 작업자가 사용하는 용접건과 모델링한 표준 용접건의 차이로 인해 발생한 것으로 사료된다.

#### 4. 결론 및 토의

본 연구는 Human M&S를 이용하여 작업자와 작업환경을 모델링하고, 작업자의 작업자세를 RULA 기법으로 인간공학 전문가에 의해 평가한 결과와 모델링한 Digital Human의 작업자세를 DELMIA의 Human Activity Analysis의 동일한 기법을 이용하여 평가하여 조선산업의 Human M&S 적용 가능성을 평가하기 위하여 이루어졌다.

이를 위하여 작업자가 작업하고 있는 환경과 동일한 환경을 가상공간에 구축하기 위해 Product, Resource Modeling을 하였다. 그리고 용접 작업자의 신체 치수를 정확히 반영한 Digital Human을 생성하였다. 본 연구를 통해 실제 작업자의 작업자세를 가상 환경에 유사하게 표현할 수 있었다. Digital Human의 RULA 분석 결과는 전통적인 방법에 의한 RULA 분석 결과와 유사한 값이 나왔다. 또한, 작업자세 개선안에 Human M&S를 이용하면, 복잡한 생산설비의 개선에 따른 비용 및 작업자의 위험도 저감 분석 등에 활용이 가능할 것이다. 특히 작업환경이 인간공학적으로 바람직하지 못한 구조로 설계되었다고 평가되는 작업의 경우, 작업 및 작업환경을 개선을 하기 위하여 가상으로 설계된 환경에서 작업자의 동작을 시뮬레이션 하는 것이 가능하므로 조선업에 있어서 적합한 작업환경을 구축하는데 효과적인 방법으로 사용될 수 있을 것이다. 이를 통하여 선체의 설계단계나 생산계획 단계에서 사전 안전성 확보가 가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 인체 모델링과 시뮬레이션 기법의 조선산업 적용 타당성을 검토하기 위해 이루어졌다. Digital Human을 구축하기 위해서 한국인의 표준 인체 측정자료의 활용이 가능한 것으로 평가되었으나, 분석 대상작업이 위보기 용접작업 한가지로 조선산업의 다양한 작업자세를 분석하지 못하였다. 향후 연구에서는 기존에 구축된 Product, Resource, Digital Human 모델을 이용하여 근골격계 질환의 위험성의 차이가 있는 조선업의 대표적인 작업으로 확대하여 Human M&S의 조선산업 적용 타당성을 검증하고 사전에 근골격계 질환의 위험성을 제거하거나 줄이는 방안을 제시하고자 한다.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2004-000-10113-0)지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

- 1) 김홍태, “조선업 근골격계 질환에 대한 공학적 접근 방안”, 대한조선학회지, 제40권, 제3호, pp. 36~46, 2003.
- 2) 이윤혁, 이상도, “조선업 산업재해예방을 위한 안전의식 실태조사”, 한국산업안전학회지, 제13권, 제1호, pp. 119~130, 1998.
- 3) 차태인, 정성원 최양렬, 이장현, 신종계, 박주용, “Digital Human 모델링을 이용한 조선산업에서의 작업자세 개선 방안”, 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 422~429, 2004.
- 4) 이창민, 이장현, 김용균, 김원돈, 신종계, “3차원 디지털 목업 및 시뮬레이션 기반의 합정 설계 검증”, 대한조선학회논문집, 제40권, 제1호, pp. 63~68, 2003.
- 5) PLM Network.
- 6) 신종계, 최양렬, 우종훈, 이광국, “디지털 조선소 구축”, 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 589~595, 2004.
- 7) 이상기, 이민정, 조영석, 권오채, 박정철, 유희천, 한성호, “Digital human simulation을 통한 overhead crane의 인간공학설계 개선 및 평가”, 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 57~60, 2005.
- 8) 산업자원부 기술표준원, “인체측정 표준 용어집”, 2004.