

디지털 인간공학 시뮬레이션 기법을 이용한 작업자세 분석

김남두¹ · 임현준² · 박희석³ · 차태인⁴

¹홍익대학교 대학원 기계공학과 / ²홍익대학교 기계·시스템디자인공학과 /
³홍익대학교 정보산업공학과 / ⁴(주)지노스

Work Posture Analysis Using Digital Ergonomic Simulation

Nam Du Kim¹, Hyunjune Yim², Hee Sok Park³, Tae In Cha⁴

¹Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Hongik University, Seoul, 121-791

²Department of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791

³Department of Industrial and Information Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791

⁴DM Team, XINNOS, Co., Ltd, Seoul, 137-060

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the validity of the digital ergonomic simulation (DES) method as a prospective alternative to the ergonomic analyses conducted by experts. The DES method utilizes commercial digital manufacturing software, and can compute the RULA scores continuously throughout the simulated work cycle. It was shown in a case study that the accuracy and objectivity of the DES method are superior to those obtained by experts. Also, it was demonstrated that the DES method has a distinct capability to simulate and validate a proposed work plan. Major limitations of the current DES method lie in the extensive time and efforts required for accurate digital simulation, which may be overcome through an automatic module for RULA data acquisition and a motion capture system.

Keyword: Musculoskeletal disorders, Digital ergonomic simulation, RULA, Digital manufacturing

1. 서 론

최근 우리나라 제조업에서는 작업을 반복 수행함으로써 손, 손목, 팔, 어깨, 목으로 이루어지는 상지(upper extremity)와 허리에 통증을 호소하는 작업자가 급증하고 있다. 또한 산업구조 상 서비스업의 비중이 커지고 있고 사무 작업이 자동화되는 추세에 따라 작업시간의 대부분을 컴퓨터로 수행하는 작업자가 증가하고 있다. 온종일 컴퓨터 앞에서 작업을 하는 경우에도 시각적 피로와 더불어 상지 및 허리에 통

증을 느끼는 경우가 많다. 이렇게 작업관련성 위험요인에 의해서 근육, 인대, 힘줄, 디스크, 연골 또는 뼈나 관련 신경 및 혈관에 통증이나 기능저하를 가져오는 질환을 작업관련성 근골격계질환(work-related musculoskeletal disorders)이라 한다. 물리적 위험요인은 반복성, 부자연스러운 자세, 힘을 가하는 작업, 날카로운 면과의 압박, 진동, 저온 등이다. 근골격계질환을 예방하고 관리하기 위해서는 전술한 위험요인들을 조사, 분석하는 것이 필요하며, 위험요인이 매우 다양하므로 그에 대한 조사 역시 체계적 방법에 의해 이루어져야 한다.

특히 작업자세를 비롯한 부하의 정도를 정량적으로 평가하는 기법으로서 OWAS(Karhu et al., 1977), RULA(McAtamny and Corlett, 1993), REBA(Hignett and Mc-Atamny, 2000) 등이 우리나라에서 흔히 사용되고 있다. 이들은 관찰적인 기법으로서, 비디오카메라 등의 장비 이외의 특별한 장비를 요하지 않고 작업수행에 큰 영향을 미치지 않으므로 현장연구에 많이 적용되고 있다. 또한 한국산업안전공단, 근로복지공단, 한국산업안전연구원 등 산업안전 전 공단의 근로복지부담작업 유해요인 조사지침에서도 이들 세 기법을 평가도구로 권고하고 있다. 이들의 미국 내 사용 빈도는 RULA 51.6%, OWAS 21.4%, REBA 17.9% 순으로 나타났다고 보고되었고(박재희와 곽원택, 2006) 국내에서도 유사한 순서를 보인다.

한편, 관찰적인 기법을 활용하는 데에는 몇 가지 문제점이 발생하게 된다. 우선, 작업자세를 분석하기 위해서 비디오 촬영을 많이 이용하고 있는데, 이를 이용하면 작업 방해 최소화하고, 빠른 작업을 반복적으로 관찰하거나 정지화면으로 볼 수 있으며, 많은 관찰 항목을 평가하는데 도움이 된다. 이때 평가자는 비디오 영상 중에서 근골격계에 부담을 줄 것으로 추정되는 동작의 snap shot을 선정하여 분석하는데, 이 단계에서 평가자가 부주의하거나 숙련도가 떨어지면 중요한 동작을 간과할 수 있다. 또한, 2차원 평면인 비디오 영상을 보고 분석하는 것은 입체적으로 관찰하는 직접관찰에 비하여 정확성이 떨어질 수 밖에 없다. 특히 관찰하는 시각에 따라 관절각 추정에 오차가 발생하게 되고 이는 평가 결과에 영향을 미치며, 각기 다른 7개의 관찰각도에서 관절각을 추정할 때, 관찰자세에 따라 평균 6.1~13.2°의 오차가 발생하게 된다고 보고된 바 있다(이인석, 2006). 이 오차로 인하여 동일한 평가대상에 대한 전문가별 결과가 달라질 뿐 아니라, 동일한 전문가가 시간이 지나 재평가를 할 때에도 다른 결과를 보일 가능성이 있게 된다. 또한 매우 민감한 문제이지만, 평가를 의뢰한 측에 유리하도록 평가하게 되는 개연성도 완전히 배제할 수 없는 문제점이 있다. 이와 같이 인간공학 전문가의 평가는 여러 이유로 주관성이 개입될 수 있어 그 신뢰성에 대해 의문이 제기되고 있다.

이와 같은 문제를 개선하기 위하여 최근에는 디지털제조(digital manufacturing) 기법(노상도 외, 2006) 중 하나인 디지털 인간공학 시뮬레이션(digital ergonomics simulation: 이하 DES) 기법을 적용하고자 하는 노력이 경주되고 있다. 여기서 DES란 제품, 장비, 작업자의 형상과 동작을 모두 컴퓨터 내에서 정확하게 모델링하고 작업 동작을 시뮬레이션함으로써 제품, 장비, 작업자 간의 간섭여부를 검토할 뿐 아니라 작업자의 동작에 대한 인간공학적 분석을 수행하는 기법을 말한다. DES 기법을 적용하면 작업의 전체 과정에 대한 인간공학적 분석이 가능하므로 중요 동작만을 선정하는데 개입될 수 있는 주관성이나 2차원 분석으로 인한 오류

가능성이 해결될 수 있다. 그뿐 아니라, 도출된 개선책을 시뮬레이션을 통해 검증해 볼 수 있는 강한 장점이 있다. 최근에는 BOSCH, TOYOTA와 같은 외국 회사뿐만 아니라 국내 산업계에서도 DES 기법을 도입하기 위한 시도가 이루어지고 있다(차태인 등, 2004).

본 논문에서는 DES 기법을 간략히 소개하고, 현장에서 널리 사용되고 있는 RULA 기법을 사용하여 인간공학 전문가가 평가한 결과와 DES 기법을 사용한 평가 결과를 비교하여 DES 기법의 장단점을 검토하고자 한다. 또, 개선안의 효과를 DES를 사용하여 검증하는 과정을 보이고자 한다.

2. DES 기법 개요

그림 1은 DES기법의 적용 절차를 보여주고 있다.

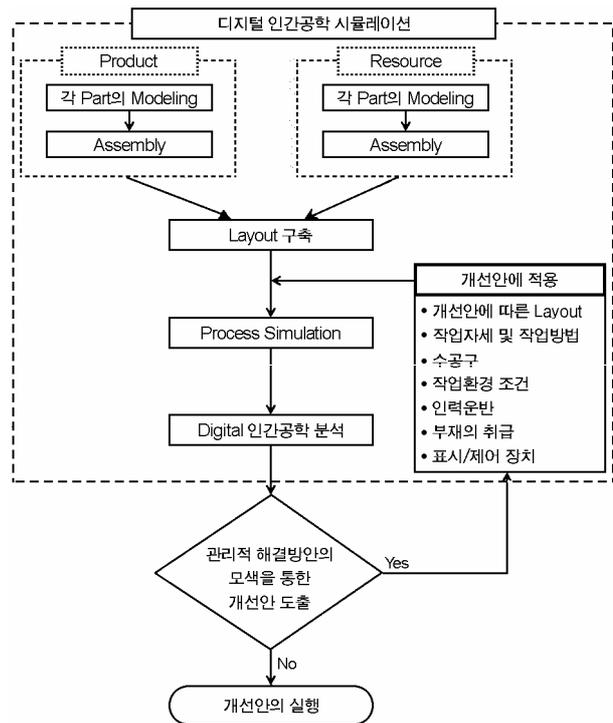


그림 1. DES의 적용 절차

우선 컴퓨터 상에서 제품과 설비 등을 모델링한 후 레이아웃(layout)을 구축한다. 그 다음으로 공정(process)을 구현하는데 이는 제품, 설비, 작업자가 공간 상에서 움직이는 동작을 모델링하는 것으로서, 이 단계에서는 특히 작업자의 동작 및 자세를 정확히 모델링하는 것이 중요하다. 이 때 작업자의 다양한 신체조건을 고려할 수 있어 각 작업에 적합한

신체조건도 찾을 수 있다. 이와 같이 구현된 공정의 동작 시뮬레이션을 통해 인간공학적인 분석을 수행하고 그 결과를 검토하여 유해요인을 찾는다. 유해요인이 있을 경우 개선안을 제안하고, 이 개선안의 효과를 검증하기 위해 제안된 작업자세 및 작업방법, 설비 변경 등을 고려하여 레이아웃을 재구축하고 개선된 공정을 다시 시뮬레이션한다. 이러한 과정을 반복하면서 최적의 개선안을 선택할 수 있다. 또한 새로운 공정 및 장비의 도입 시에도 이 기법을 이용하면 산업 재해의 발생을 최소한으로 줄일 수 있다.

3. 사례 연구

본 논문에서는 조선업에서 수행되는 두 가지 작업을 고려하였는 바, 하나는 airless pump를 정비하는 작업(작업 A)이며, 다른 하나는 종격벽(longitudinal bulkhead) 용접 작업(작업 B)이다. 하루에 6~10번 정도 행하는 작업 A의 한 사이클은 분해, 세정, 조립으로 크게 구분된다. 본 연구에서는 인간공학적으로 문제가 되지 않는다고 판단되는 세정 작업을 제외하고 분해와 조립 작업에 대한 비디오 영상만을 연결하여 165초의 비디오 영상으로 편집하였다. 작업 B는 마그네틱 운반 기계를 사용하여 종격벽을 원하는 위치로 운반한 후 망치와 철제 삼각자를 이용하여 정확한 위치를 설정하고 가용접하는 작업을 블록(block)마다 5회 이상 수행하는 작업이다. 작업 B의 비디오 영상은 반복되는 작업 중에서 인간공학적으로 문제가 될 수 있는 부분만 발췌하여 총 67초의 동영상으로 편집, 제작하였다. DES 기법을 사용한 분석에서는 전문가 1인이 CATIA V5를 사용하여 모델링한 설비와 부품들을 비디오 화면과 함께 구성한 후, DELMIA V5를 사용하여 시뮬레이션을 수행하고 매 초마다 RULA 분석(본 소프트웨어에서 제공됨)을 수행하였다. 전문가에 의한 분석에서는 작업분석 경험이 풍부한 인간공학전공 석사 과정 학생 3명이 편집된 비디오 영상을 보고 snap shot 선정을 하여 RULA 평가시트를 사용하였다.

그 결과, 작업 A에서 6개, 작업 B에서 3개의 작업자세가 선정되었다(그림 2). 그림 2의 6개의 snap shot 중 작업 A-1~작업 A-3은 정비를 위해 분해하는 장면이고, 작업 A-4~작업 A-6번은 정비를 마친 후 조립하는 장면이다. 작업 B에서 선정된 작업은 용접하는 장면 2개(작업 B-1, 작업 B-2)와 종격벽의 각을 측정하는 장면(작업 B-3)이다.

인간공학 전문가들은 선정된 9개의 자세에 대해 RULA 평가를 수행하였으며, DES에서는 동영상 전체의 시뮬레이션을 먼저 제작한 후 매 초마다 RULA 분석을 수행하였다. 본



그림 2. 선정된 snap shot

장에서는 두 가지 분석 결과를 비교하고 장단점을 분석하고자 한다.

3.1 인간공학 전문가의 분석

표 1은 작업 A의 6개 snap shot에 대한 RULA 분석 값을 보여준다. Group A에 대하여 분석할 때에는 오른팔과

표 1. 작업 A에 대한 전문가 RULA 분석

구분	전문가	Group A 분석						Group B 분석				최종 분석				
		뒷팔	아랫팔	손목 자세	손목 비틀림	근육 /힘	Score A B	목	몸통	다리	근육 /힘	Score C D	Final Score	Action Level		
작업 A-1	가	3	2	1	1	0	3	3	1	5	1	0	6	6	5	3
	나	3	1	2	1	0	4	4	1	5	1	0	6	6	6	3
	다	2	1	1	1	0	2	2	1	4	1	0	5	5	4	2
작업 A-2	가	4	3	3	1	0	5	5	2	5	1	0	6	6	7	4
	나	4	3	3	1	0	5	5	4	5	1	0	7	7	7	4
	다	4	3	1	1	0	4	4	5	4	1	0	8	8	6	3
작업 A-3	가	5	3	2	1	0	6	6	3	5	1	0	6	6	7	4
	나	5	2	3	1	0	6	6	3	4	1	0	5	5	6	3
	다	4	3	2	1	0	4	4	2	3	1	0	4	4	4	2
작업 A-4	가	1	3	2	1	1	3	4	2	4	1	1	5	6	6	3
	나	1	3	2	1	1	3	4	2	4	1	1	5	6	6	3
	다	2	2	2	1	1	3	4	2	4	1	1	5	6	6	3
작업 A-5	가	4	2	2	1	1	4	5	1	4	1	1	5	6	7	4
	나	4	2	2	1	1	4	5	1	4	1	1	5	6	7	4
	다	4	2	2	1	1	4	5	2	4	1	1	5	6	7	4
작업 A-6	가	4	2	2	1	1	4	5	1	4	1	1	5	6	7	4
	나	4	2	2	1	1	4	5	1	4	1	1	5	6	7	4
	다	3	3	3	1	1	4	5	1	4	1	1	5	6	7	4

원팔 중 높은 값이 나오리라 짐작되는 팔을 선택하여 분석하였다. Action Level이 주로 3~4단계로서 작업의 빠른 개선을 요구하거나 즉각적인 개선을 요구한다. 이 표에서 전문가 사이에서 평가점수가 가장 큰 차이를 보이는 것은 작업 A-2의 목에 대한 평가이다. 전문가 '가'는 목이 10~20° 굴절되는 것으로 판단하여 2점을 부여하였으나, 전문가 '나'는 신전이 되었다고 판단하여 4점을, 전문가 '다'는 목이 신전된 상태에서 동시에 회전되었다고 판단하여 5점을 부여하였다.

서론에서 언급하였듯이 관찰각도에 따른 오차가 클 수 있음을 보여준다. 이렇게 큰 평가자 간 오차는 다소 숙련도가 낮다고 볼 수 있는 전문가(석사과정 대학원생)의 실수로 보이지만, 숙련된 전문가의 경우에도 여전히 평가자 간 오차가 있을 수 있겠다. 이렇게 오차가 누적되면 RULA의 특성 상 최종 판정에서 큰 차이를 보일 수 가능성을 역시 예상할 수 있다.

표 2는 작업 B의 3개의 snap shot을 분석한 결과이다. 역시 각 평가 항목에서 관절각도 추정 시에 평가자 간 차이가 있음을 알 수 있다 또한 표 1 과 표 2를 전문가 별로 관찰해 보면 전문가의 성향에 따라 평가치가 일관되게 높거나 낮은 경향을 보임을 알 수 있으며, 이는 상당한 주관성을 내포할 수 있다는 것을 의미한다.

표 2. 작업 B에 대한 전문가 RULA 분석

구분	전문가	Group A 분석						Group B 분석						최종 분석		
		윗팔	아랫팔	손목 자세	손목 비틀림	근육 /힘	Score		목	몸통	다리	근육 /힘	Score		Final Score	Action Level
							A	B					C	D		
작업 B-1	가	3	2	1	1	0	3	3	1	2	1	0	2	2	3	2
	나	3	1	1	1	0	3	3	3	3	1	0	4	4	4	2
	다	2	2	1	1	0	3	3	3	3	1	0	4	4	4	2
작업 B-2	가	3	3	1	1	0	4	4	1	5	1	0	6	6	6	3
	나	3	3	1	1	0	4	4	1	5	1	0	6	6	6	3
	다	3	1	1	1	0	3	3	3	5	1	0	6	6	5	3
작업 B-3	가	3	1	1	1	0	3	3	1	5	1	0	6	6	5	3
	나	3	2	3	1	0	4	4	2	5	1	0	6	6	6	3
	다	3	1	1	1	0	3	3	3	4	1	0	5	5	4	2

3.2 DES에 의한 분석

작업 A의 동영상의 전반부 44초는 분해 공정이며 후반부 121초는 조립 공정이다. 편집된 영상을 토대로 작업 A에 대해 분해 공정(44초)과 조립 공정(121초)의 두 개 시뮬레이션 제작하였다.

그림 3, 4는 각각 작업 A의 시뮬레이션에서 오른팔과 왼팔에 대하여 분석한 것이다. 두 그래프에서 같은 평가 항목에 대해서는 같은 종류의 선을 사용하여 비교를 용이하게

하였으며, 두 개 이상의 커브가 겹치는 경우에는 혼동을 막기 위해 겹치는 커브들을 0.05점씩 상하로 이동하여 그렸다. 가는 실선이 가리키는 상완의 부하지수는 Group A의 모든 항목을 통합한 Score A와 전반적으로 같은 움직임을 보이고 있다. 전완은 대부분 기본점수인 1점을 유지하지만 최고 점수인 3점으로 나타나는 부분도 상당수 존재한다. 손목의 부하지수는 두 그래프 모두에서 Score A가 최고일 때 가장 높게 나타났다. 손목의 비틀림 부하지수는 두 그래프에서 전 구간에서 걸쳐 기본점수인 1점을 유지하고 있다. 이것은 과도한 손목의 비틀림이 없음을 의미한다. 두 그래프에서 알 수 있는 것은 총 4개의 평가 항목 중 2개 이상의 항목에서 높은 부하지수가 주어지면 Score A도 높은 부하지수를 나타낸다는 것이다.

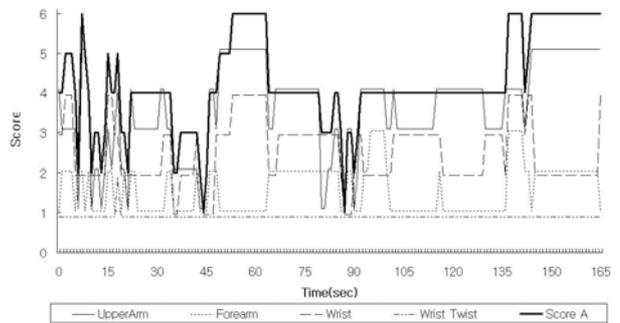


그림 3. 작업 A 오른쪽 Group A의 DES 분석 결과

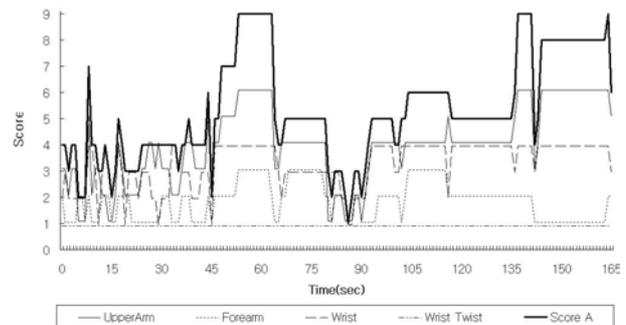


그림 4. 작업 A 왼쪽 Group A의 DES 분석 결과

그림 5는 좌우 구분이 없는 목, 상체, 다리를 분석한 것이다. Group B 전체에 관한 부하지수는 Score B로 표현된 굵은 실선이다. 다리의 부하지수가 기본점수인 1점을 유지하고 있는 것은 체중의 분포가 고르게 되어 있음을 의미한다. 결국 Score B는 Group B의 총 3개의 평가 항목 중 목과 상체에 의해서 결정되었으며, 전반적으로 목보다는 상체에 의한 부하지수가 큰 것을 한 눈에 알 수 있다. 상체의 부하지수는 대부분의 구간에서 5점을 유지하고 있다. 이것은 상체의 최대 부하지수가 6점인 것을 감안하면 상당히 높은

점수이므로, 조속한 개선이 필요함을 의미한다.

그림 6은 Score A와 B에 힘과 근육의 부하지수를 합친 좌우의 Score C와 Score D를 나타내고 있다. 이것이 가능한 이유는 실제 작업 A에서 간혹 작용하는 힘은 양손에 똑같이 작용하였으며, 이러한 힘 부하를 제외하고 나머지는 모두 반복적인 작업으로 인한 근육 부하지수였기 때문이다. 이러한 반복성은 상체의 좌우와 하체에도 똑같이 적용할 수 있었으므로 똑같은 Force/Muscle 부하지수가 나왔다. 점선으로 표현된 우측의 Score C와 2점 쇄선으로 표현된 좌측의 Score C를 비교해 보면 좌측이 우측보다 높은 부하지수를 나타냄을 알 수 있다.

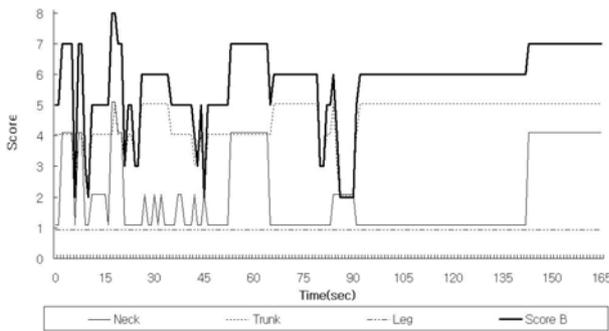


그림 5. 작업 A Group B의 DES 분석 결과

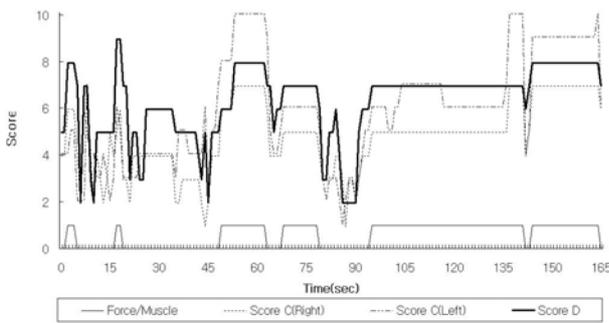


그림 6. 작업 A RULA 2단계의 DES 분석 결과

이와 같은 그래프를 통해 좌·우 중 어느 측에서 더 많은 부하가 걸리는지를 객관적으로 알 수 있다.

그림 7은 시뮬레이션 분석을 통한 좌·우측의 Final Score를 나타내고 있다. 또한 Final Score가 그림 6의 Score C와 D의 그래프 추이와 같이 특정구간에서 높게 나오는 것을 알 수 있다. 그림 7의 그래프를 살펴보면 초기에는 간헐적으로 높은 부분이 나타나다가 45초 이후에 약 35초간 지속적으로 높은 점수를 유지하고, 95초 이후로는 시뮬레이션이 끝날 때까지 70초간 높은 점수를 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 우선적으로 개선되어야 할 부분은 0~20초 구간, 45~80초 구간, 95초 이후 구간에 존재하는 간헐적인 높은 부

분됨을 그래프를 통해 알 수 있다.

작업 B는 기계를 이용한 운반, 삼각자를 이용한 측정, 가용접, 망치질 등의 작업으로 이루어지므로 각 세부 작업의 비디오 영상에 맞게 3개의 시뮬레이션을 제작하였다. 이를 이용하여 작업 A에서와 같이 RULA 분석을 하였으며 최종적인 결과는 그림 8과 같다.

작업 B의 경우에는 작업 A에서와 같이 지속적인 부하를 보이지는 않으나 주기적으로 높은 점수를 보이며, 우측의 부하 값이 특정부분에서 더 높게 나타났음을 알 수 있다. 또한, Action Level 4 (Final Score 7)에 해당하는 부분이 상당수 존재하므로 즉시 개선되어야 하는 작업임을 알 수 있다.

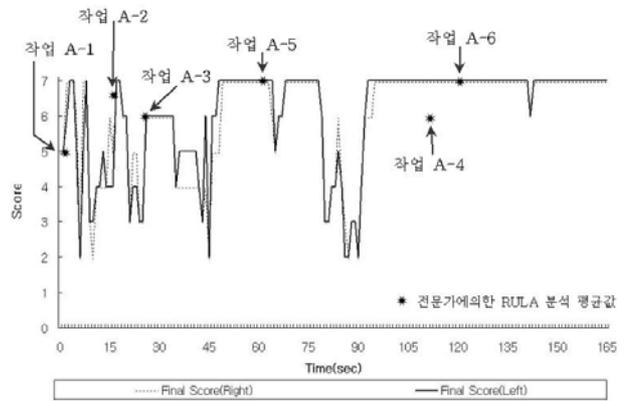


그림 7. 작업 A RULA 3단계의 DES 분석 값과 전문가에 의한 분석 평균 값

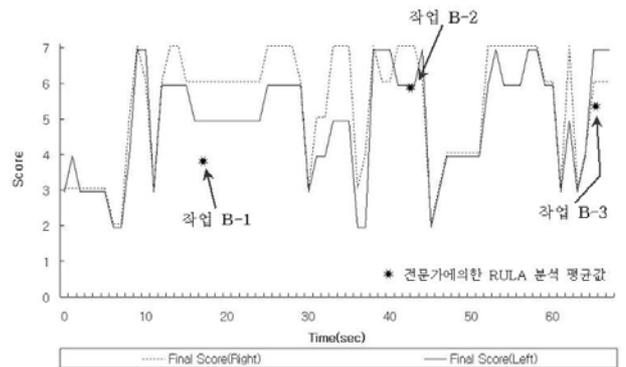


그림 8. 작업 B RULA 3단계의 DES 분석 값과 전문가에 의한 분석 평균 값

3.3 전문가 평가와 DES 평가의 비교

그림 7과 8에서 별표(*)로 표시된 전문가의 평균 점수 값과 DES 결과를 비교하면, 전문가가 선정한 대부분의 snapshot들이 대체로 DES 기법에서도 유해요인이 큰 것으로 나타나므로 snapshot 선정은 대체로 적절한 것으로 보인다.

다. 그러나 DES 분석에서 높은 점수가 발생하는 순간을 전문가가 놓치는 실수가 발생하기도 하였다. 즉, DES 기법을 이용한 분석 결과는 작업 전 구간에 걸친 것이므로 중요한 자세를 누락할 염려가 없을 뿐 아니라, 시간에 따른 신체 각 부위의 부하 추이도 관찰할 수 있는 장점이 있다.

한편, 본 논문의 전문가 평가(표 1 및 2)는 좌우측 팔 중에서 높은 값이 나오리라고 생각되는 팔을 선정하여 얻은 점수이므로 좌우측이 구분되는 DES 값(그림 3 및 4)과 직접 비교하기는 어려우나, 총점수를 나타내는 그림 7과 8을 보면 그 차이가 지나치게 크지는 않음을 확인할 수 있다.

작업 A의 경우 비디오 화질이 깨끗하지 못하였고 하나의 고정된 각도에서 촬영된 것이어서 평가자가 관찰각을 추정하는데 어려움이 있었다. 그러나 DES 기법에서는 2장에서 설명한 바와 같이 실측을 통해 정확히 3D로 모델링된 설비 및 가상 작업자가 상호 접촉 및 운동을 하도록 시뮬레이션 되므로, 비디오 촬영각도와 동일한 관찰각에서 가상의 작업자를 움직여 봄으로써(그림 9) 정확한 작업동작을 구현할 수 있다. 또한, 촬영 중에 사물이나 작업자에 가려졌거나 화면이 흐려 정확히 보이지 않는 자세도 어느 정도 유추할 수 있다. 뿐만 아니라, DES 기법에는 작업자세와 작업자의 시야와의 관계를 이용하여 목이나 허리 등의 관절을 조정하면서 작업자의 시야를 볼 수 있는 기능이 있으며(그림 10), 본 연구에서도 이를 활용하여 작업자세를 보다 정확하게 추정할 수 있었다. 이와 같이 DES 기법을 활용함으로써 분석의 정확도를 높일 수 있었다.

3.1절과 3.2절에 보인 전문가와 DES 기법에 의한 분석 결과를 비교해 보면 주로 손목에서 큰 차이를 보였는데, 이는 비디오 화질이 좋지 않거나 사물 등에 가려 보이지 않을 경우에 대충 부하치수를 정한 전문가와는 달리, DES에서는 도구를 잡기 위해 팔이나 손의 동작을 보다 정확히 추정할 수 있었기 때문이다. 그 밖에 큰 차이를 보인 것은 목 관절로서, 원인은 중립위치에서 0~10°를 굴절(1점)하였는지 신전(4점)하였는지의 차이인데, 이는 앞에서 설명한 바와 같이 작업자의 시야를 볼 수 있는 DES의 기능(그림 10)을 통해 보다 정확한 분석이 가능하였다고 본다.

한편, 분석과정에 있는 추가 사항들의 모호성은 RULA 분석 기법 자체가 가지고 있는 문제점이라고 사료된다. 추가 사항에는 어깨의 올라감, 목과 상체의 회전이나 굽힘 등에 대하여 정확한 관찰각이 명시되어 있지 않아 인간공학 전문가들이 주관적으로 결정하게 된다. DELMIA V5에서도 사용자가 점수를 입력할 수도 있지만 보통은 default 값으로 정해진 RULA parameters를 따른다. 물론, 필요한 경우에는 이들 parameters를 사용자가 조정할 수 있지만 분석할 때마다 이 값을 바꾸지 않는다면 적어도 일관성 있게 추가 사항에 대한 평가가 이루어진다고 볼 수 있다. 본 논문에 사용

된 모든 시뮬레이션 결과는 default 값을 일괄 적용한 것이다.

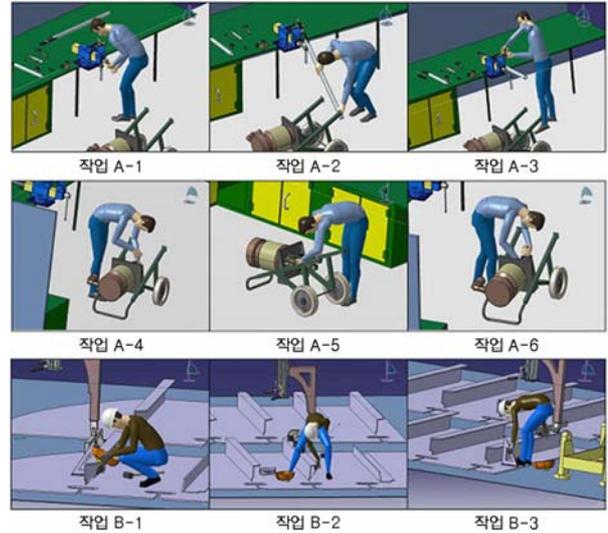


그림 9. DES 장면의 예

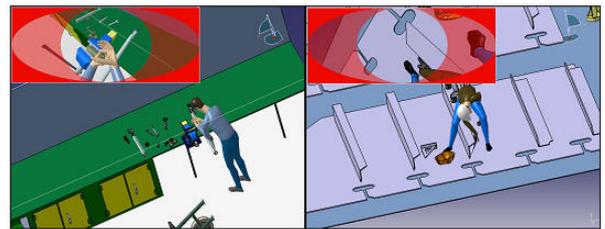


그림 10. DES에서 모델링된 가상 작업자의 시야

이와 같이 DES 기법이 많은 장점을 가지고 있지만 특히 모델링과 시뮬레이션에 적지 않은 시간과 노력이 소요되는 단점이 있다. 본 연구의 경우에는 DES를 위하여 작업장의 설비와 제품을 모두 모델링하여야 하였으므로 많은 시간이 소요되었다. 그리고 현재 가용한 모든 상용 프로그램들은 정지 동작에 대한 RULA 평가만 가능하게 되어 있으므로 3.2절에 제시된 결과를 얻기 위해서는 매초마다 시뮬레이션을 정지시키고 RULA 분석을 한 후 그 결과를 기록하는 번거로움을 감수하여야 하였고 이 작업이 소요시간의 상당부분을 차지하였다. 따라서, 이 수동 작업을 자동으로 처리해주는 기능이 추가된다면 디지털 분석에 소요되는 시간이 많이 줄어들 것이다.

작업은 airless pump를 조립하는 것으로서 허리에 부담이 되는 작업임을 알 수 있었다. 허리의 부담을 우선적으로 개선하기 위해서 바닥에 놓여있는 airless pump를 허리 높이로 올려야 한다. 이 때 현재의 작업자에 맞추어 개선안을 제시하는 것보다 모든 작업자를 고려하는 것이 옳다.

또한 airless pump는 총 무게가 30~40kg에 이르는 중량물이고 큰 힘을 주어 조립을 해야 하므로 단단히 고정시켜 원하는 높이까지 올릴 수 있는 장치의 도입을 개선안으로 생각하였다.

그림 11은 작업 A에 대한 개선안으로 제시된 장치이다. ㉔를 이용하여 airless pump를 단단히 고정시키고 ㉕와 ㉖를 이용해 전/후, 상/하로 움직일 수 있도록 고안하였다. 먼저 현장에 장치를 설치할 공간이 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이 장치는 편집된 비디오 영상의 후반부인 조립 공정에 모두 영향을 주었다. 작업 A의 후반부 3개의 작업자세가 이 장치의 도입으로 인하여 어떻게 변화되었는지 그림 12에 나타나 있다.

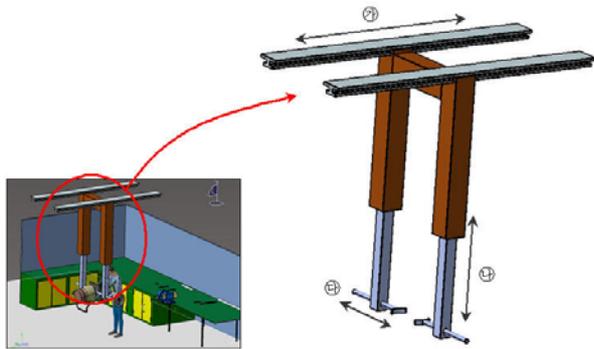


그림 11. 개선안 장치

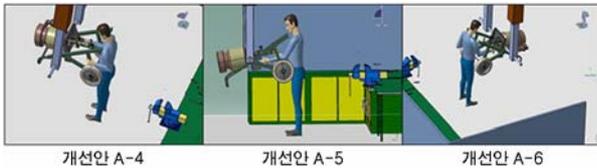


그림 12. 개선안이 적용된 작업자세

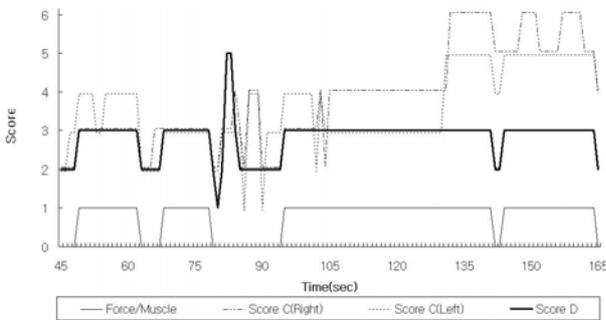


그림 13. 개선안 시뮬레이션을 이용한 Group B의 부하지수

그림 13에서 볼 수 있듯이 개선안의 도입으로 작업 전 구간에 걸쳐 작업부담이 잘 개선되었음을 알 수 있다. 허리의

자세가 좋아지면서 목의 자세도 같이 좋아졌음을 역시 알 수 있다.

그림 14는 시뮬레이션을 통해 개선안 적용 전후를 비교한 것이다. Action Level 4에 해당하는 값은 모두 개선이 되었으며 특히 좌측에 대하여 많은 개선이 이루어졌음을 알 수 있다. 좌측의 Final Score는 모두 4점 이하로 Action Level은 2점이 최대점수인데 반해, 우측은 Action Level 3에 해당하는 Final Score 5점이 존재한다. 이 구간은 개선안 시뮬레이션에서 초반에 설정한 airless pump의 높이를 작업이 끝날 때까지 유지하였기 때문이다. 높이 재설정에 걸리는 시간은 총 작업시간에 영향을 주므로 일일 목표치를 달성할 수 있는 범위 내에서 논의하여야 할 것이다. Airless pump의 높이를 재설정하여 적절한 높이로 조절한다면 유해요인을 좀 더 제거할 수 있을 것이다.

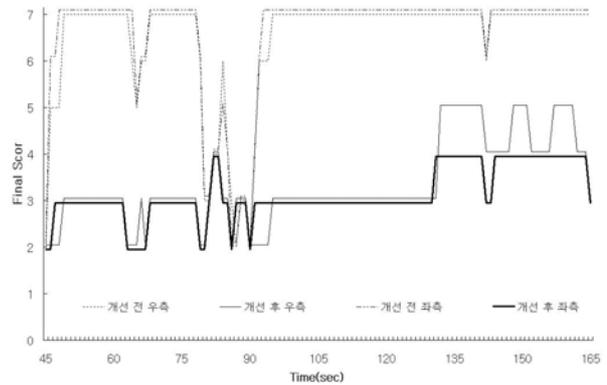


그림 14. DES를 이용한 개선 전·후의 RULA 3단계 분석

4. 결 론

본 논문에서는 작업자세에 대한 인간공학적 분석을 전문가가 수행할 때 발생할 수 있는 주관성과 부정확성을 개선하기 위한 대체적인 방법으로서 DES 기법을 소개하고, 현장 작업을 두 가지 방법으로 분석한 후 그 결과를 비교하여 장단점을 검토하였다. 그 결과, DES 기법이 전문가에 의한 평가보다 신뢰성 있는 결과를 제공할 수 있음을 확인하였다. 이는 DES의 다음의 특징점에 의한 것인데, 우선 DES에서는 시뮬레이션이 진행되는 시간 전체에 걸쳐 연속적으로 인간공학적 분석을 할 수 있으므로 중요한 snap shot를 놓치는 일이 없으며 부하의 시간에 따른 추이를 관찰할 수 있다 (물론 전문가의 평가에 있어서도 모든 snap shot에 대해 평가를 한다면 시간에 따른 추이를 구할 수 있을 것이다). 두 번째로, DES에서는 인간모델과 상호 작용하는 주위의 모든

물체가 정확히 3D로 모델링 되므로 작업자의 동작을 잘못 모델링할 우려가 크게 줄어든다. 마지막으로 작업자의 시야를 확인할 수 있는 DES의 기능도 모델링의 정확도를 높여 준다.

또한, DES 기법을 이용하면 개선안을 미리 시뮬레이션하여 그 효과를 정량적으로 예측할 수 있으므로 최적의 해결 방안을 쉽게 찾을 수 있는 장점도 있다. 이와 같은 개선안의 검증이나 비교는 전문가에 의한 평가로는 매우 어려운 것으로서 DES의 큰 장점이라고 할 수 있다.

DES 기법의 가장 큰 한계점은 모델링과 시뮬레이션에 많은 시간이 소요된다는 점이다. 하지만 digital manufacturing system이 구축되어 있는 작업장에서는 기존 모델링을 활용할 수 있으므로 추가적인 모델링 시간이 적게 소요될 수 있겠다. 나아가 작업자세를 보다 정확하고 빠르게 구현하기 위해서 motion capture system과의 연계가 필요하다. 그리고 연속적인 분석 결과를 도출할 수 있는 자동화 모듈이 추가된다면 분석시간을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 노상도, 신중계, 지해성, 임현준, *CAD, 디지털 가상 생산과 PLM*, 시그마프레스, 2006.
- 박재희, 광원택, 근골격계 부담작업 평가에 개별장면의 대표값들과 전문가관정 결과 간의 비교. *대한인간공학회지*, 25(2), 205-210, 2006.
- 이인석, 2차원 면에서의 자세 관측시 시야각이 관절각 추정에 미치는 영향. *대한인간공학회지*, 25(2), 51-61, 2006.
- 차태인 등, Digital Human 모델링을 이용한 조선산업에서의 작업자 세 개선 방안. *대한조선학회 춘계학술대회 논문집*, 422-429, 2004.
- Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA),

Applied Ergonomics, 31(2), 201-205, 2000.

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

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.

● 저자 소개 ●

- ❖ 김 남 두 ❖ namdu.kim@ugs.com
 홍익대학교 기계공학과 석사
 현 재: SIEMENS UGS PLM Software 컨설턴트
 관심분야: Industrial Ergonomics / Safety
- ❖ 임 현 준 ❖ hjyim@hongik.ac.kr
 M.I.T. 기계공학과 박사
 현 재: 홍익대학교 기계공학과 교수
 관심분야: Digital Manufacturing, PLM
- ❖ 박 희 석 ❖ hspark@hongik.ac.kr
 미시간대학교 산업공학과 박사
 현 재: 홍익대학교 정보산업공학과 교수
 관심분야: Industrial Ergonomics, HCI
- ❖ 차 태 인 ❖ taein_cha@xinnos.com
 한국해양대학교 해양시스템공학과 석사
 현 재: XINNOS 선임 컨설턴트
 관심분야: Industrial Safety / Human Sensibility

논문 접수 일 (Date Received) : 2007년 03월 21일

논문 수정 일 (Date Revised) : 2007년 05월 14일

논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 05월 19일