

Digital Human Model Simulation을 위한 RAMSIS 추정 운전자세의 정합성 평가 및 개선

박장운¹ · 정기효¹ · 장준호² · 권정웅³ · 유희천^{1†}

¹포항공과대학교 기계산업공학부 / ²Pennsylvania State University Industrial and Manufacturing Engineering

³현대기아자동차 연구개발총괄본부 패키지기술 3팀

Evaluation of Predicted Driving Postures in RAMSIS Digital Human Model Simulation

Jangwoon Park¹ · Kihyo Jung¹ · Joonho Chang² · Jeongung Kwon³ · Heecheon You¹

¹Division of Mechanical and Industrial Engineering, Pohang University of Science and Technology, Pohang,

Gyeongsangbuk-do, 790-784, Korea

²Department of Industrial and Manufacturing Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, USA

³Corporate Research and Development Division HYUNDAI-KIA MOTORS 772-1, Jangduk-Dong, Hwaseong, Gyeonggi-do,

445-706, Korea

For proper ergonomic evaluation using a digital human model simulation (DHMS) system such as RAMSIS[®], the postures of humanoids for designated tasks need to be predicted accurately. The present study (1) evaluated the accuracy of driving postures of humanoids predicted by RAMSIS, (2) proposed a method to improve its accuracy, and (3) examined the effectiveness of the proposed method. The driving postures of 12 participants in a seating buck were measured by a motion capture system and compared with their corresponding postures predicted by RAMSIS. Significant discrepancies (8.7° to 74.9°) between predicted and measured postures were observed for different body parts and driving tasks. Two methods (constraints addition and user-defined posture) were proposed and their effects on posture estimation accuracy were examined. Of the two proposed methods, the user-defined posture method was found preferred, reducing posture estimation errors by 11.5% to 84.9%. Both the posture prediction accuracy assessment protocol and user-defined posture method would be of use for practitioners to improve the accuracy of predicted postures of humanoids in virtual environments.

Keyword: digital human model simulation, driving posture prediction, posture prediction accuracy, user-defined posture, RAMSIS

본 연구는 2008년 현대·기아자동차의 김상규 대리, 안중철 차장, 정찬복 부장의 기술적 조언, CMS Tech의 김창호 연구원의 RAMSIS 사용 교육 지원, SEED Technology의 전호준 부장과 Xtron I&T의 양길태 소장의 seating buck 개발 지원, 그리고 Motion Analysis Korea의 추권수 과장의 운전 자세 측정 지원을 받아 수행되었음.

† 연락저자 : 유희천 교수, 790-784, 경북 포항시 남구 효자동 산31번지 포항공과대학교 산업경영공학과, FAX : 054-279-2870,

E-mail: hcyou@postech.ac.kr

투고일(2009년 11월 14일), 심사일(1차 : 2009년 12월 18일), 게재확정일(2010년 02월 01일).

1. 서론

Digital human model simulation(DHMS)은 제품 및 작업공간의 설계 적합성 평가에 유용하게 활용되고 있다. Mavrikios *et al.*(2007)은 Safework[®]을 사용하여 조립 작업의 자세 부하 평가를 수행하였고, Lämkuull *et al.*(2008)은 RAMSIS[®]를 사용하여 자동차 조립 작업의 작업 부하를 평가하였다. 또한, You *et al.*(1997)은 Jack[®]을 사용하여 버스 운전공간의 설계 적합성을 평가하였고, Wang *et al.*(2006)은 RAMSIS를 활용하여 자동차 운전공간의 설계 적합성을 분석하였다.

DHMS는 설계 초기부터 인간공학적 평가를 가능하게 하나 실제 사용자 평가와 같은 양질의 정보를 얻기 위해서는 여러 가지 측면의 보완이 필요하다. DHMS를 통한 인간공학적 평가는 사용자의 인체크기에 보다 적합한 제품 설계와 개발 시간 및 비용을 효율적으로 절감할 수 있게 한다(유희천, 2007). 반면, DHMS는 3차원 그래픽 환경에서 가상인체모형을 이용하여 제품을 평가하기 때문에, 가상인체모형의 행동 특성(예: 자세 및 동작)에 대한 정확한 구현 정도에 따라 실제 사용성 평가 결과와 차이를 보일 수 있다(Wampler *et al.*, 1997). 따라서, DHMS를 적용해 실제 사용자 평가와 같은 양질의 결과를 얻기 위해서는 DHMS의 성능을 평가하고 보완하는 연구가 필요하다(Nemeth *et al.*, 1998).

양질의 DHMS 평가 결과를 얻기 위해 DHMS를 통해 추정된 자세의 정합성(accuracy and adequacy)에 대한 다양한 연구들이 수행되고 있다. Loczi *et al.*(1999)은 자동차 운전자세 평가를 위해 RAMSIS에서 추정된 가상인체모형의 eye point(EP)와 hip point(HP)의 위치를 실제 운전자와 비교하였는데 추정 위치와 실제 위치의 차이가 평균 1.3cm인 것으로 보고하였다. 또한, Nemeth *et al.*(1998)은 Jack에서 추정된 도달 영역과 실제 사람의 도달 영역의 정합성을 비교 평가하여 실험 참여자($n = 100$)의 50%(과소추정 : 35%, 과대추정 : 15%)에 대해 추정된 도달 영역이 실제 영역과 상이하다고 보고하였다.

DHMS 추정 자세의 정합성 평가에 대한 연구들이 수행되고 있으나, 정합성 향상을 위해 개선이 요구되는 신체부위의 체계적 파악과 정합성 개선에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 기존 정합성 평가 연구는 추정된 가상인체모형의 신체부위 위치(예 : eye point)와 실제 측정된 위치의 차이를 평가하였다. 그러나, DHMS 추정 자세의 정합성 평가와 개선 신체부위를 파악하기 위해서는 추정된 자세와 측정된 자세의 신체부위별 각도의 정량적 비교가 필요하다. 또한, 기존 연구는 추정된 자세가 실제 자세와 부합하도록 추정 자세를 개선하는 방법을 개발하고 관련 개선 효과를 파악하는 분석은 수행하지 않았다.

본 연구는 RAMSIS를 활용해 추정된 자동차 운전자세를 측정된 실제 운전자세와 비교 평가하고 추정된 자세의 정합성을 개선하는 방안을 개발하였다. RAMSIS 운전자세는 RAMSIS의 task editor 기능을 사용하여 추정되었으며, 실제 운전자세는 동작 측정 시스템을 사용하여 seating buck상에서 측정되었다. 정

합성 평가는 다양한 운전 자세에 대해 이루어졌으며, 신체부위 11개(자유도 : 29개)에 대한 정합성이 통계적으로 분석되었다. RAMSIS 추정 자세의 정합성 개선 방안은 실제 자세와 통계적으로 차이가 있는 신체부위의 자세를 실제 측정 자세와 유사하도록 개발되었으며, 개발된 개선 방안의 효과가 정량적으로 분석되었다.

2. 평가 방법

2.1 운전 자세 측정

(1) 실험 참여자

DHMS 추정자세의 정합성 평가 실험에 운전경력이 1년 이상인 20대 남성 12명이 참여하였다. 본 연구는 키와 몸무게 측면에서 다양한 사람이 참여할 수 있도록 Size Korea(2004) 자료의 남성 키와 몸무게를 각각 4개(25th percentile 이하, 25th~50th percentile, 50th~75th percentile, 75th percentile 이상)와 3개(33th percentile 이하, 33th~66th percentile, 66th percentile 이상) 영역으로 구분해 선발된 사람이 참여하였다. 실험 참여자의 키는 평균 175.4cm (SD = 5.3; 범위 = 168.8~187.5)이며, 몸무게는 평균

표 1. 실험 참여자의 인체크기

(단위 : mm)

순번	인체 변수	Mean	SD	SE
1	키	1754	53.4	15.4
2	위팔수직길이	73	12.1	3.4
3	팔꿈치손팔수평길이	363	16.4	4.7
4	윗팔둘레	469	19.0	5.4
5	아래팔둘레	289	32.7	9.4
6	어깨너비	263	15.3	4.4
7	가슴너비	304	26.2	7.9
8	가슴두께	304	26.2	7.5
9	허리둘레	217	19.7	5.6
10	선영덩이너비	785	65.3	18.8
11	선넙다리둘레	339	19.6	5.6
12	선장단지둘레	557	48.8	14.1
13	안쪽복사뼈높이	384	25.2	7.2
14	발너비	91	9.0	2.6
15	발직선길이	96	5.1	1.4
16	머리수직길이	257	12.1	3.5
17	머리두께	240	10.6	3.0
18	머리너비	193	6.9	2.0
19	앞은키	163	5.8	1.6
20	앞은영덩이무릎수평길이	929	35.1	10.1
21	앞은무릎높이	575	23.8	6.8

73.5kg (SD = 12.1; 범 위 = 58.4~101.5)으로 파악 되었다.

본 연구는 RAMSIS humanoid를 생성하기 위해 실험 참여자에 대해 21개 신체부위의 크기를 측정하였다. 측정된 인체변수는 표 1과 같이 RAMSIS humanoid 생성 시 입력이 요구되는 21개 변수로 선정되었고, 인체 측정은 RAMSIS의 인체측정 지침서 (Speyer, 2005)에 따라 이루어졌다. 또한, 인체측정의 오류를 최소화하기 위해 동일 인체변수에 대해 2회를 측정하였으며, 측정치 간의 차이가 1cm 이상인 경우 재 측정하였다.

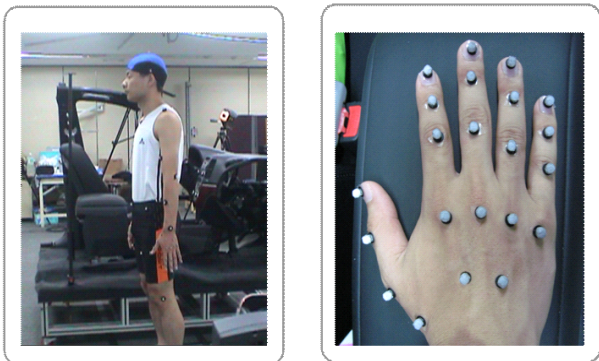
(2) 실험 장비

본 연구는 실험 참여자의 운전자세를 측정하기 위해 <그림 1>과 같은 seating buck이 활용되었다. Seating buck은 H사의 운전석 및 차체 frame을 구입하여 조립 제작되었으며, 제작된 seating buck은 주행 화면과 연동되어 있어 운전 상황을 연출할 수 있도록 개발되었다.

본 연구의 운전자세는 12대의 카메라를 활용한 광학식 동작 측정 시스템을 활용하여 측정되었다. 동작 측정 시스템의 카메라는 전신자세 측정용 Hawk-I(Motion Analysis Co., USA) 6대와 손 자세 측정용 Eagle(Motion Analysis Co., USA) 6대가 사용되었다. 카메라는 효과적으로 운전자세를 측정할 수 있도록 seat-



그림 1. 운전 자세 측정을 위한 seating buck



(a) 전신

(b) 손

그림 2. 운전자세 측정을 위해 부착된 marker

ing buck 주변에 설치되었으며, sampling rate는 60Hz로 설정되었다. 또한, 운전자세 측정을 위한 marker는 <그림 2>에 나타난 것과 같이 전신에 23개(지름 = 1.2cm)와 양손에 44개(지름 = 0.8cm)를 부착하였다.

(3) 평가 대상 운전자세

본 연구의 자동차 조작자세 측정은 7개 부분의 총 33개 운전석 장치에 대해 이루어졌다. <그림 3>을 예로 들면, steering wheel 부분에는 손잡이, 전조등, 방향지시등을 포함한 7개 세부 장치가 있고, center fascia 부분에는 CD인출 스위치, 비상 경고 등 버튼, 에어컨 스위치를 포함한 14개 장치가 있다. 평가 대상 장치의 선정은 장치의 조작 방식과 위치를 고려해 중복이 최소화되도록 이루어졌다.

(4) 실험 절차

Seating buck을 이용한 운전 자세 측정은 <그림 4>에 나타난 것과 같이 6단계로 이루어졌다. 첫째 단계에서는 실험 목적과 방법을 실험참여자에게 설명한 후 실험 참여 동의서를 받았다. 둘째 단계에서는 Martin식 인체계측 장비를 활용하여 실험참여자의 인체크기를 측정하였다. 셋째 단계에서는 모의 주행을 하면서 seating buck의 운전석 높이와 등받이 각도를 자신의 신체크기에 맞게 조정하였다. 넷째 단계에서는 운전 자세 측정을 위해 실험참여자에 marker를 부착하였다. 다섯째 단계에서는 약 3시간(중간 휴식 시간 30분 포함)에 걸쳐 운전석 장치 조작 자세를 측정하였다. 마지막 단계에서는 실험 참여자의 실험 소감을 설문한 후 실험 참여비를 지급하였다.



그림 3. 평가 대상 장치



그림 4. Seating buck을 이용한 동작 측정 실험 절차

2.2 RAMSIS 자세 생성

DHMS 추정 자세의 정합성 평가를 위해 RAMSIS humanoid의 자세를 두 가지 방법(motion data 적용 생성, RAMSIS의 *task editor* 적용 추정)으로 생성하였다. 먼저, motion data 적용 자세 생성은 3단계 절차(reference point 정의, reference point 위치 보정, reference point와 marker 연동)를 통해 이루어졌다. 첫째, 측정된 67개 marker를 humanoid에 연동시키기 위해 marker 부착 위치에 해당하는 humanoid의 신체부위에 reference point를 정의하였다. 둘째, reference point의 위치가 marker 위치와 일치하도록 marker들 간의 거리 정보를 이용해 reference point들 간의 위치가 보정되었다. 마지막으로, RAMSIS의 *animation simulator* 기능을 이용해 motion data의 marker와 humanoid의 reference point를 연동시켜 자세를 생성하였다. 한편, task editor 이용 자세 추정은 다양한 자세 생성 제약요건 설정을 통해 이루어졌다. RAMSIS의 task editor 기능은 6가지 제약 요건(예: 신체 접촉 부위와 위치)이 주어졌을 때 자체 내장된 inverse kinematics algorithm을 적용해 자세를 추정하게 된다. 예를 들면, 기본 운전 자세는 손바닥, 엉덩이(hip point), 발바닥의 접촉 위치에 대한 제약 요건 설정을 통해 추정된다.

2.3 정합성 분석 및 개선

본 연구에서 정합성은 11개 인체부위의 총 29개 자유도에 대해 motion data로 생성된 자세와 RAMSIS task editor로 추정된 자세 간의 차이 분석으로 평가되었다. 먼저, 정합성 분석 대상 신체부위는 평가 대상 장치들이 상반신을 주로 이용해 조작되

는 특성을 고려해 하지와 손을 제외한 상반신(예: 몸통, 머리, 팔)만 고려되었다. 정합성은 실제 자세와 추정된 자세의 관절 각도 차이로 분석되었으며, 정합성 차이의 통계적 유의성은 paired *t*-test($\alpha = 0.05$)를 적용해 이루어졌다. 한편, 정합성 분석을 통해 motion data 자세와 RAMSIS 추정 자세 간의 유의한 차이가 있는 경우, 두 가지 방법(constraint 추가 방법, user-defined 방법)을 적용해 정합성 개선이 이루어졌다. 첫째, constraint 추가 방법은 일부 신체부위에서만 추정된 자세와 실제 운전자세 차이가 유의한 경우 추정된 자세가 실제 자세와 유사하게 되도록 RAMSIS task editor의 constraint를 추가하는 방법이다. Constraint는 추정된 자세와 실제 운전자세 간의 정합성 분석을 통해 파악된 실제 운전자세의 특성 정보에 근간해 설정된다.

둘째, user-defined 방법은 운전자들을 대상으로 측정된 운전자세의 평균 값으로 초기 자세를 먼저 생성한 후, RAMSIS의 task editor를 적용해 최종 운전자세를 생성하는 방법이다.

3. 평가 결과

3.1 정합성

<표 2>는 평가 대상 33개 운전자세 중에서 대표적인 4가지 자세(기본운전자세, center fascia 버튼 조작, TGS 조작, 등받이 각도 조작)에 대한 정합성 평가 결과를 보여 주고 있다. 먼저, 기본운전자세에 대한 정합성은 쇄골, 어깨, 손목에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. <그림 5>에 예시된 바와 같이 기본운전자세는 양손을 운전대(steering wheel)의 3시와 9시 부분을 잡고 운전하는 자세로 정의되었으며, RAMSIS task editor를 이용해 추정된 자세는 어깨 및 손목 부분에서 실제 자세와 차이가 있는 것으로 나타났다. 추정 자세의 어깨 외전 및 회전 각도는 실제 운전자세보다 평균 18.2° ($t(8) = -3.35, p = 0.007$)와 19.2° ($t(8) = -4.01, p = 0.002$) 정도 유의하게 큰 것으로 나타났다. 또한, 추정 자세의 손목 굽힘과 외전 각도는 실제 운전자세보다 평균 15° 와 26° 정도 차이가 있는 것으로 파악되었다. 한편, 추정된 기본운전자세의 쇄골 부위는 <그림 5>와 같이 실제 운전자세보다 평균 9.5° (오른쪽: $t(8) = 4.54, p = 0.001$; 왼쪽: $t(8) = -3.72, p = 0.004$) 정도 올라가 있어 부자연스러운 것으로 나타났다.

Center fascia의 비상등 버튼 조작 자세는 <그림 6>에 나타난 것과 같이 오른쪽 손목에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 먼저, 추정된 비상등 버튼 조작 자세는 손목 펴미 평균 -19.6° 정도 발생하나, 실제 운전자세의 손목 펴미는 -4.6° 로 유의하게 작은 것으로 나타났다($t(4) = 2.57, p = 0.05$). 반면, 추정된 조작 자세의 손목 외전은 평균 1° 로 미미한 것으로 나타났으나, 실제 운전자세는 평균 -18.4° 로 유의하게 큰 것으로 파악되었다($t(4) = -3.21, p = 0.024$). 이러한 손목의 외전 경향성은 자연스러운 자세로 center fascia의 버튼에 접근하기 위해 손목

표 2. Task별 정합성 분석 결과 예시

운전작업	신체부위	신체위치	동작	추정자세(°)	실제자세(°)	차이(°)	통계량	
							t-value	p-value
기본운전 자세	쇄골	오른쪽	내림	7.6	17.8	-10.2	$t(8) = 4.54$	0.001
		왼쪽	내림	-7.6	-16.6	9.0	$t(8) = -3.72$	0.004
	어깨	오른쪽	회전	67.4	49.2	18.2	$t(8) = -3.35$	0.007
			외전	72.8	53.6	19.2	$t(8) = -4.01$	0.002
		왼쪽	회전	-67.6	-44.8	-22.7	$t(8) = 3.95$	0.003
			외전	71.6	60.8	10.8	$t(8) = -2.60$	0.027
	손목	오른쪽	굽힘	-6.3	-25.9	19.6	$t(8) = -4.48$	0.001
			외전	4.7	-22.6	27.3	$t(8) = -4.58$	0.001
		왼쪽	굽힘	6.5	19.5	-12.9	$t(8) = 2.97$	0.014
			외전	4.5	-21.2	25.7	$t(8) = -4.95$	0.001
비상등 버튼조작	손목	오른쪽	펼침	-19.6	-4.6	-15.0	$t(4) = 2.57$	0.050
			외전	1.0	-18.4	19.4	$t(4) = -3.21$	0.024
TGS조작 (N단)	쇄골	오른쪽	내림	7.8	20.1	-12.8	$t(6) = 8.74$	0.000
	어깨		회전	47.9	18.8	29.1	$t(6) = 5.20$	0.002
	팔꿈치		회전	-64.2	-41.2	-23.0	$t(6) = -2.70$	0.035
			굽힘	-44.9	-67.3	22.4	$t(6) = 3.53$	0.012
	손목		외전	0.2	-21.2	21.4	$t(6) = 2.70$	0.043
좌석등받이 각도조작	어깨	왼쪽	회전	-59.3	15.6	-74.9	$t(5) = 4.26$	0.005
			외전	67.7	29.0	38.8	$t(5) = -3.82$	0.009
	팔꿈치		회전	7.0	-27.7	34.7	$t(5) = -2.73$	0.034
			굽힘	-6.1	-51.2	45.1	$t(5) = -5.35$	0.002
	손목		외전	-22.9	-31.5	8.7	$t(5) = -2.49$	0.047

이 편향됨을 나타내고 있다.

TGS N단 조작 자세는 <그림 7>에 나타낸 것과 같이 오른쪽 팔의 자세가 유의하게 차이가 있는 것으로 파악되었다. 먼저, 추정된 자세는 어깨 회전이 평균 47.9°로 실제 운전자세의 18.8°보다 유의하게 크게 나타났다($t(6) = 5.2, p = 0.002$). 반면, 추정된 자세의 팔꿈치 굽힘과 손목 외전은 평균 -44.9°와 0.2°로서 실제자세의 -67.3°와 -21.2°보다 유의하게 작은 것으로 파악되었다(팔꿈치 굽힘: $t(6) = -2.7, p = 0.035$; 손목 외전: $t(6) = 2.7, p = 0.043$).

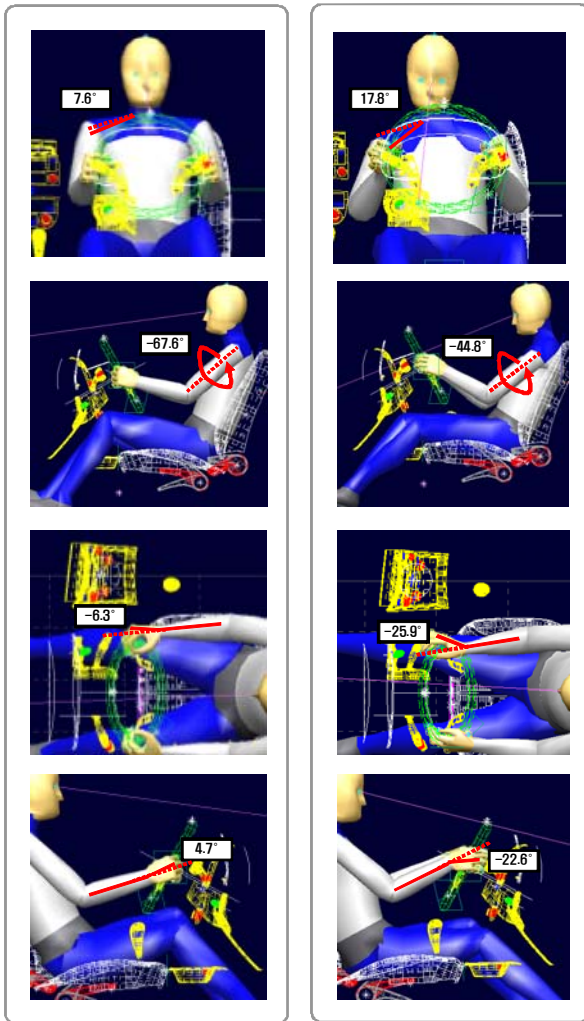
마지막으로, 좌석등받이 각도 조작 자세는 <그림 8>에 나타낸 것과 같이 팔 부위에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 추정된 자세의 어깨 회전과 외전은 평균 -59.3°와 67.7°로 실제 자세의 15.6°와 29°보다 유의하게 큰 것으로 나타났다(어깨 회전: $t(5) = 4.26, p = 0.005$; 어깨 외전: $t(5) = -3.82, p = 0.009$). 반면, 추정된 자세의 팔꿈치 굽힘 및 회전과 손목 외전은 평균 -6.1°, 7°, -22.9°로서 실제 운전자세의 -51.2°, -27.7°, -31.5°보다 유의하게 작은 것으로 파악되었다(팔꿈치 회전: $t(5) = -2.73, p = 0.034$; 팔꿈치 굽힘: $t(5) = -5.35, p = 0.002$; 손목 외전: $t(5) = -2.49, p = 0.047$).

3.2 개선 효과 분석

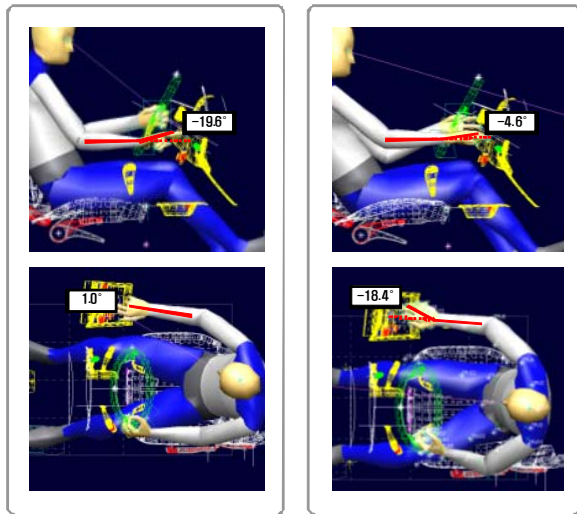
<그림 9>는 평가 대상 4가지 자세에 대해 추정된 자세의 정합성을 개선한 사례와 <표 3>은 관련 개선 효과 분석 결과를 보여 주고 있다. 먼저, 측정된 실제 운전자세에 근간해 추정된 자세를 개선할 경우 자세 정합성의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 예를 들면, 기본운전자세에 대한 실제 자세와 추정 자세 간의 차이는 평균 6° 였으나, user-defined 방법을 적용해 추정된 자세를 개선할 경우 차이는 평균 2°로 감소하는 것으로 분석되었다.

본 연구의 정합성 개선 방안은 특정 신체부위의 자세가 실제 자세와 과도한 차이가 발생하지 않도록 하는 것으로 나타났다. 예를 들면, 개선 전에 TGS 조작 자세는 최대 30°까지 실제 자세와 차이가 발생할 수 있었으나, 정합성을 개선한 후에는 차이가 최대 10° 정도로 감소하여 과도한 차이를 방지할 수 있는 것으로 파악되었다.

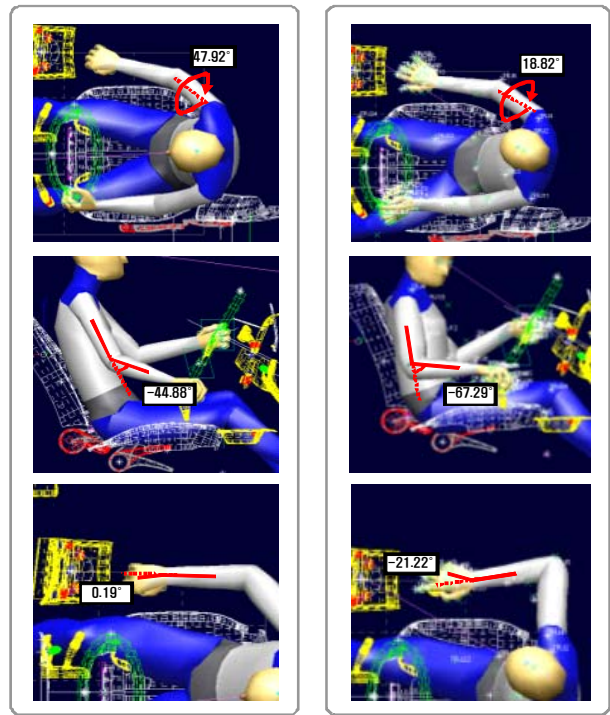
정합성 개선의 효과는 운전 공간의 장치를 조작할 때 관련되는 신체부위가 많을수록 더욱 큰 것으로 나타났다. 예를 들면, 비상등 버튼 조작과 같이 조작 자세가 간단한 경우는 개선



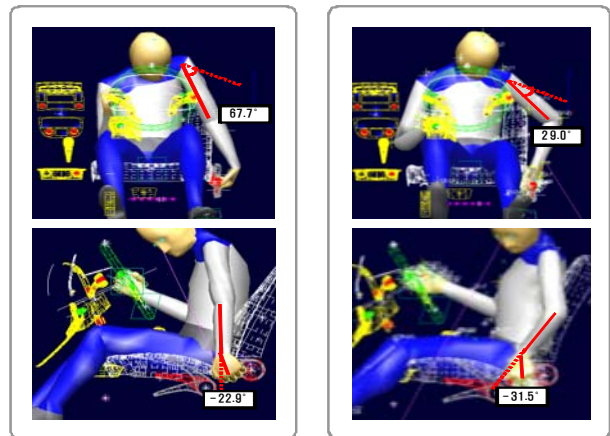
(a) 추정 자세 (b) 실제 자세
그림 5. 기본운전에 대한 추정 및 실제 측정 자세



(a) 추정 자세 (b) 실제 자세
그림 6. 비상등 버튼에 대한 추정 및 실제 조작 자세



(a) 추정 자세 (b) 실제 자세
그림 7. TGS에 대한 추정 및 실제 조작 자세



(a) 추정 자세 (b) 실제 자세
그림 8. 등받이 각도 조절에 대한 추정 및 실제 자세



(단) N: 목(neck); C: 쇄골(clavicle); S: 어깨(shoulder); E: 팔꿈치(elbow); W: 손목(wrist)
○ : 통계적으로 유의한 차이가 있는 신체부위($\alpha=0.05$)
● : 5° 이상 차이가 있는 신체부위

그림 9. TGS 조작 자세에 대한 정확성 개선 예

표 3. 정합성 개선 효과 분석

운전작업	구분	차이(°)				개선율(%)
		평균	표준편차	최소값	최대값	
기본운전자세	추정 자세	6	7.9	0	28	-
	보정 자세	2	2.6	0	11	58.9
비상등버튼조작	추정 자세	8	5.8	1	19	-
	보정 자세	7	5.9	0	19	11.5
TGS조작(N단)	추정 자세	12	10.0	0	30	-
	보정 자세	3	2.7	0	10	77.9
좌석등받이가도조작	추정 자세	16	13.7	1	75	-
	보정 자세	2	3.0	0	11	84.9

효과가 11.5%로 작았으나, 좌석등받이가도 조작 및 TGS 조작과 같이 상대적으로 복잡한 조작 자세는 개선효과가 각각 84.9%와 74.9%로 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.

4. 토의

본 연구는 DHMS를 통해 추정된 자세의 정합성 평가 방법 개발 및 정합성 개선효과를 분석하였다. 개발된 정합성 평가 방법은 실제 자세와 추정된 자세 간의 차이를 정량적으로 분석할 수 있으며, 통계분석을 통해 실제 자세와 차이가 있는 신체 부위를 체계적으로 파악할 수 있다. 또한, 측정된 실제 자세에 근간한 두 가지 측면의 정합성 개선 방법(constraint 추가 방법, user-defined 방법)은 DHMS의 자세 추정 정합성을 전반적으로 개선할 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 정합성 평가 방법과 개선 방법은 DHMS의 자세 추정 정합성을 향상시키는 데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 연구의 정합성 평가 방법은 추정된 자세의 정량적 정합성을 평가할 수 있어 기존 연구의 미흡한 부분을 보완할 수 있다. Mavrikios *et al.*(2007)과 Lämkuil *et al.*(2008)은 DHMS 추정 자세의 정합성을 3차원 공간에 생성된 이미지 정보에 근간해 추정된 자세와 실제 자세의 정합성을 정성적으로 분석하였다. 그러나, 본 연구는 실제 자세와 추정된 자세의 차이를 신체 부위별로 정량적으로 비교 분석함으로써 보다 체계적이며 정량적으로 정합성을 평가할 수 있으며, 통계분석을 통해 개선이 요구되는 신체 부위를 과학적으로 파악할 수 있었다.

본 연구의 정합성 개선 방법을 적용하기 위해서는 실제 자세에 대한 측정이 필요하다. 예를 들면, user-defined 방법을 적용하기 위해서는 다양한 인체크기를 가지는 운전자에 대한 평균 자세가 필요하다. 또한, user-defined 방법의 평균 자세는 조작 장치의 위치와 형태에 따라 상이하므로 각 장치에 대한 측정이 필요하다. 따라서, 본 연구의 정합성 개선 방법은 고도의 자세 측정과 분석을 필요로 하고 있다는 제약이 있다.

Motion capture system을 활용해 측정된 운전자 자세를 RAMSIS에 적용할 때 두 가지 측면의 오차가 발생할 수 있다. 첫째, 본

연구는 marker와 reference point 간의 동기화를 통해 측정된 운전자 자세 정보를 RAMSIS humanoid에 연동시켰으나, marker와 reference 위치가 상이할 경우 연동 오차가 발생할 수 있다. 그로 인해, 본 연구는 marker와 reference 간의 위치 차이를 최소화하기 위해 marker들 간의 거리와 reference들 간의 거리가 유사하도록 보정하는 과정을 포함하였다. 둘째, 신체 움직임으로 인한 marker 위치의 변화로 인해 오차가 발생할 수 있다(Ryu, 2006). 즉, 최초 자세에서는 marker와 reference의 위치가 일치할 수 있으나, 동작에 따라 피부의 움직임이 발생하면서 신체에 부착된 marker의 위치에 오차가 발생할 수 있다. 본 연구는 이러한 오차 요인에 대한 영향까지 분석하지는 않았다.

추정된 자세의 정합성 분석에 있어 운전 자세에 대한 inter-subject, intra-subject variability에 대한 추후 연구가 필요하다. 본 연구의 정합성 평가는 다양한 인체크기를 가지는 실험 참여자들의 평균 자세를 기준으로 추정된 자세의 정합성을 분석하였다. 그러나, 사람들 간의 자세는 선호에 따라 차이가 발생할 수 있으므로(Reed and Flannagan, 2000) 이에 대한 세부적인 후속 연구가 요구된다.

참고문헌

- Lämkuil, D., Hanson, L., and Örtengren, R. (2008), A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality : A case study within manual assembly of automobiles, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2), 428-441.
- Loczi, J., Dietz, M., and Nielson, G. (1999), Validation and Application of the 3-D CAD Manikin RAMSIS in Automotive Design, *SAE Transactions*, 108(6), 2307-2314.
- Mavrikios, D., Pappas, M., Kotsonis, M., Karabatsou, V., and Chryssolouris, G. (2007), Digital humans for virtual assembly evaluation, *Digital Human Modeling, HCII2007*, LNCS 4561, 939-948.
- Nemeth, K., Ianni, J., and Wampler, J. (1998), *A Comparison of Virtual & Live Human Standing Reach*, United States Air Force Armstrong Laboratory(Report No. AFRL-HE-WP-TR-1999-0227).
- Reed, M. P. and Flannagan, C. A. C. (2000), Anthropometric and postural variability : Limitations of the boundary manikin approach (Technical Paper No.

2000-01-2172), *SAE Transactions: Journal of Passenger Cars- Mechanical Systems*, 109, 2247-2252.

Ryu, T. (2006), *A Direct Estimation of Anatomical Landmark Positions from Skin Markers by Identifying the Displacement Relationship*, Unpublished doctoral dissertation, POSTECH.

Size Korea (2004), *Report on the Fifth Survey of Korean anthropometry*, Korean Agency for Technology and Standards, Ministry of Commerce, Industry and Energy.

Speyer, H. (2005), *RAMSIS Definition of Anthropometric Measurements*, Human Solutions GmbH, Germany.

Wampler, J., Hale, R., Ziolk, S., and Bridgman, T. (1997), *Evaluation Method for Simulated Human Motion*, United States Air Force Armstrong Laboratory,

(Report No. AL/HR-TP-1997-0054).

Wang, X., Chevalot, N., Monnier, G., and Trasbot, J. (2006), From motion capture to motion simulation, An in-vehicle reach motion database for car design. *SAE Transactions*, 115(7), 1124-1130.

You, H., Bucciaglia, J., Lowe, B. D., Gilmore, B. J., and Freivals, A. (1997), An ergonomic design process for a US transit bus operator workstation. *Heavy Vehicle System, A Series of the International Journal of Vehicle Design*, 4(2-4), 91-107.

You, H. (2007), Digital human model simulation for ergonomic design of tangible products and workplaces. In *Proceedings of the 2007 Fall Conference of the Ergonomics Society of Korea*.



박 장 운

아주대학교 산업정보시스템공학부, 학사
 현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과,
 통합과정
 관심분야 : 인간공학적 제품 설계, 가상환경상
 제품 평가, 3차원 동작 분석



정 기 효

금오공과대학교 산업시스템공학과, 학사
 포항공과대학교 산업경영공학과, 석사
 포항공과대학교 산업경영공학과, 박사
 현재 : 펜실베니아 주립대학교 산업공학과,
 박사후 연구원
 관심분야 : 인간공학적 제품 설계, 가상환경
 상 제품 평가, 사용성 평가



장 준 호

성균관대학교 시스템경영공학부, 학사
 포항공과대학교 산업경영공학과, 석사
 현재 : 펜실베니아 주립대학교 산업공학과,
 박사과정
 관심분야 : 생체역학, 인간공학적 제품 설계,
 인체측정학적 설계, 감성적 제품 설계



권 정 응

한양대학교 기계공학부, 학사
 현재 : 현대자동차 패키지기술 3팀
 (패키지 레이아웃 업무)
 관심분야 : 휴먼 디지털 시뮬레이션, 패키지
 최적화



유 희 천

서울대학교 산업공학과, 학사
 서울대학교 산업공학과, 석사
 펜실베니아 주립대학교 산업공학과, 박사
 현재 : 포항공과대학교 산업경영공학과, 교수
 관심분야 : 가상환경상 인간공학 설계기술,
 제품설계, 상지근골격계 질환,
 산업인간공학