

Safework을 이용한 쾌적한 운전좌석 설계 연구

김원식*, 박세진*, 이정우**, 허윤숙*

* 한국표준과학연구원 인간공학그룹

** 전주대학교 산업공학과

ABSTRACT

본 연구에서는 safework 소프트웨어를 이용하여 쾌적한 운전좌석에 대한 3차원 모델링을 하였다. 자동차 시트와 운전대의 조절 범위 및 레이아웃(layout), 그리고 운전자의 눈의 위치 등을 결정하기 위하여, 한국인과 미국인 체형의 95th percentile의 성인 남자와 5th percentile의 성인 여자, 그리고 50th percentile의 성인 남자에 대한 최적 운전상태에서의 엉덩이 점(hip point), 운전대 중심(steering wheel center), 눈의 위치(eye point) 등의 3차원상의 위치를 측정하였다. 인간의 모든 치수와 형태학적 윤곽 뿐만 아니라, 신체의 유동성, 기능적 제한 등이 충실히 반영된 safework 마네킹(mannequin)을 이용하였으며, 여러 신체 부위의 복합적 움직임을 결정하는 역기구학(inverse kinematics)에 근거하여 운전좌석을 모델링 하였다. Safework을 이용함으로써 기존의 마네킹이나 실물모형(mockup)의 제작에 필요한 시간과 비용을 절약할 수 있을 뿐만 아니라, 인간의 신체 특성과 유사한 마네킹을 이용하여 인간과 환경사이의 인터페이스를 보다 효율적으로 모델링 할 수 있을 것이다.

1. 서론

자동차는 교통수단의 제공 뿐만 아니라, 레저 및 작업대상으로서 인간 생활과 매우 밀접하다. 국민의식이 향상되고 소비문화의 질적 고급화가 됨에 따라 자동차 기술의 많은 발전에도 불구하고, 사용상의 불편함을 느끼는 소비자들이 늘고 있어 보다 쾌적하고 안락한 자동차가 요구되고 있다. 따라서, 자동차 개발에 있어 하드웨어적인 기술 발전 뿐만 아니라 인간공학적 기술 발전이 뒤따라야 소비자 욕구의 질적 향상에 부응할 수 있을 것이다.

자동차의 인간공학적 설계 목적은 쾌적성 향상, 예방안전 확보, 피로의 경감 등이며, 차량설계의 제약조건, 차량구조, 스타일, 상품성, 법규제 등과 어떻게 연결시켜 인간 중심으로 설계하는가가 그 요점이다(한국공업표준협회, 1990). 운전좌석은 하나

의 작업 공간으로서 운전자와 승차자의 안전을 보장해야 하며, 제한된 공간에서 오는 피로와 불편함을 해소할 수 있도록 안락하게 설계되어야 한다. 운전자세는 내부기구나 조종장치들의 위치, 시야범위, 그리고 천정쪽의 가용공간 등의 조절 가능성 뿐만 아니라 시트면의 형상, 쿠션성, 등판과 좌판의 각도, 요추지지와 같은 시트 특성 등에 의하여 결정되고 영향을 받게 된다(박세진 등, 1995). 자동차 시트는 넓은 범위의 인체 특성치를 수용해야 하며, 진동과 쇼크로부터 운전자와 승차자를 보호해야 한다. 또한, 자동차 내부기구나 조종장치들의 레이아웃은 인간과 자동차의 원활한 상호작용을 위해 인간의 신체치수 제약과 잘 부합되어야 한다.

Wisner와 Rebiffe(1963)는 안락한 운전자세를 위한 각 관절 각도를 연구하였고, 작은 사람부터 큰 사람에 이르는 운전자들을 모두 수용할 수 있

는 운전대와 페달들에 대한 안락한 영역을 제시하였다. 선호하는 각도의 범위가 넓고 실제적인 3차원상의 각도가 아닌 2차원상의 평면 각도였지만, 자동차 내부 설계에 중요한 지침을 제공하였다. Drury와 Searle(1965)은 트럭 운전자를 위한 운전자세와 조종장치들의 선호 위치에 대해 연구하였는데, 그 최적 위치의 범위가 매우 넓게 분포되었다. Verriest(1986)는 선호하는 운전자세의 변수들을 측정할 수 있는 가변적인 시험장치를 소개하였으며, Schneider(1979) 등은 운전자의 선호하는 시트 위치 결정에 페달의 위치와 운전대의 위치 사이에 복합적인 상호작용을 보여 주었다.

자동차의 실내공간 및 시트의 레이아웃을 위해 마네킹, 실물모형 등이 제작되어 활용되고 있는데, 이들 마네킹은 요추곡선을 고려하지 않았기 때문에 실제 앉은 자세와 마네킹 간의 차이를 피할 수 없다(Hubbard and Reynolds, 1984). Kohara와 Sugi(1972)는 착좌시의 안락감은 시트의 외형적인 형상이 아니라 앉은 사람이 유지하는 최종적인 안정된 자세에 의해 결정된다고 하였으며, 그 자세를 평가하기 위해 3-D 마네킹을 개발하였다. 그러나 이러한 방법들은 마네킹, 실물모형 등의 제작에 필요한 많은 경비와 시간이 소요될 뿐만 아니라, 마네킹들은 실제 인체가 갖는 수 많은 자유도 및 유동성을 충실히 반영하지 못하고 있다.

또한, landmark를 이용한 2차원, 3차원 영상 측정법과 사진 측정법이 사용되고 있으나, 카메라 설치상의 제약이나 설치조건의 정밀한 측정 등의 한계점이 있다. 그리고 3차원 동작분석은 카메라 고정, 이미지의 선형 또는 비선형 왜곡의 고정, 다분절 객체의 형태를 정의하는 좌표값들의 계산 등과 같은 복잡한 작업을 포함한다(박세진 등, 1995).

Safework은 3차원 인체 모델링을 위하여 개발된 소프트웨어이다. Safework은 다양한 기하학적 형태를 결합하여 주어진 환경을 구성하고, 여기에 인간의 신체 특성이 충실히 반영된 마네킹을 생성시켜 주어진 환경과 인간과의 관계를 분석할 수 있다. Safework의 마네킹은 인간의 모든 치수와 형태학상의 윤곽 뿐만 아니라, 신체의 유동성, 기능적 제한도 충실히 반영하며, 각 골절의 모든

운동은 사실성에 입각하여 제한되어 있다. 그리고 safework 마네킹은 각 관절이 서로 복합적으로 연관되어 움직이는 역기구학에 기초하여 움직이기 때문에 실제 인간의 움직임과 비슷하게 조작 가능하다. 따라서, safework을 이용함으로써 기존의 마네킹이나 실물모형 제작에 필요한 시간과 예산을 절약할 수 있으며, 특히 인간의 신체 특성과 유사한 safework 마네킹을 이용함으로써 보다 사실적이고 효과적으로 인간과 환경을 모델링 할 수 있다.

따라서, 본 연구에는 safework을 이용하여 한국인 체형에 맞는 쾌적한 운전좌석에 대한 3차원 모델링을 하고자 한다. 이를 위해 한국인과 미국인 체형의 안락한 운전자세에서의 자동차 시트, 운전대, 그리고 자동차 설계에 있어서 중요한 설계 기준인 운전자 눈의 위치(eye point)등에 대한 3차원 상의 레이아웃 및 조절 범위 등을 결정하고자 한다.

2. Safework을 이용한 3차원 인체 모델링

Safework은 3차원 인체 모델링을 위한 강력한 컴퓨터 도구이다. Safework을 이용하여 주어진 환경에서의 인간을 모사하고 환경과 작업장을 설계하는데 있어서 안전, 안락, 생산성 등의 조건을 최적화 시키는 시나리오를 구성할 수 있다. 더욱이 safework으로 설계하고자 하는 주변환경이나 시스템을 나타내는 그래픽 파일을 불러 들여 올 수 있고, 수 초 이내에 인간의 거의 모든 특징을 갖춘 마네킹을 생성시킬 수 있다(GENICOM, 1995).

Safework에는 5가지 형태의 safework 객체(mannequin, geometry, camera, distance, angle)가 있으며, 각 객체는 하위객체들을 포함하는 계층적 구조를 가진다. 그리고 이러한 객체의 조사를 위한 기준으로서 x축, y축, z축의 3차원 좌표계가 있다. 특정 작업환경은 여러 가지 기하학적 객체(geometry object)들을 결합시키거나 그래픽 파일을 불러들여 구성할 수 있다.

Safework 마네킹은 인체측정변수(anthropometric variables)로 알려진 여러 가지 인체치수들간의 다양성과 상관성을 고려한 것이다. Safework 마

네킹의 특징은 인체의 형태학적 윤곽 뿐만 아니라 신체의 거의 모든 치수와 유동성, 기능적 제한을 충실히 반영하고 있다는 것이다. 또한, 그림 1과 같이 카메라 객체(camera object)의 조작을 통해 원하는 위치(view point)에서 환경과 마네킹을 관찰 또는 조작 할 수 있으며, 화면의 확대, 축소도 가능하다.

인간의 각 신체 부위는 서로 독립적으로 움직이지 않고 골절, 근육 등의 유동성, 기능적 제한에 따라 서로 복합적으로 움직이는, 즉 역기구학에 근거한 운동을 한다. 기존의 마네킹들은 이러한 인체의 유동성을 반영하지 못한다. 마네킹의 각 부위를 단지 독립적으로 조작 가능하기 때문에 기구학(direct kinematics)에 근거한 운동만이 가능하다. Safework의 마네킹은 92개의 부위(segment)와 7개의 조절점(control point)으로 구성되어 있다. 각 부위의 조작을 통해 기구학에 입각한 운동을 할 수 있을 뿐만 아니라, 여러 부위를 동시에 조작하는 데 사용하는 조절점의 조작을 통해 역기구학에 근거한 운동도 가능하다.

사람을 직접 피험자로 실험 할 경우에는 모든 피험자에게 동일한 자세를 유지시키기 어렵지만, safework에서는 자세를 복사할 수 있는 기능을 통해 신체 치수 특성이 서로 다른 여러 마네킹에 대한 동일한 자세의 반복 실험이 가능하다.

이와 같이 safework은 마네킹이나 실물모형 제작에 필요한 예산과 시간을 절약할 수 있을 뿐만 아니라, 실제 작업환경과 같은 3차원상의 특정 환경을 구성하고 신체 특성이 충실히 반영된 마네킹을 사용하기 때문에 신체의 특성에 맞는 쾌적한 운전좌석을 설계하는 데 유용하게 활용될 수 있다.

3. Safework을 이용한 운전좌석 설계

자동차의 설계는 보통 자동차 내부에서 인간과 차량의 관계를 추구하기 위한 인체 기준점을 설정하고, 이 점을 중심으로 차량설계를 추진하는 식으로 행해지고 있다. 인체 기준점으로는 운전 중 비교적 움직이지 않는 원점으로서, 상반신과 하반신의 회전중심에 해당하는 HP(Hip Point)가

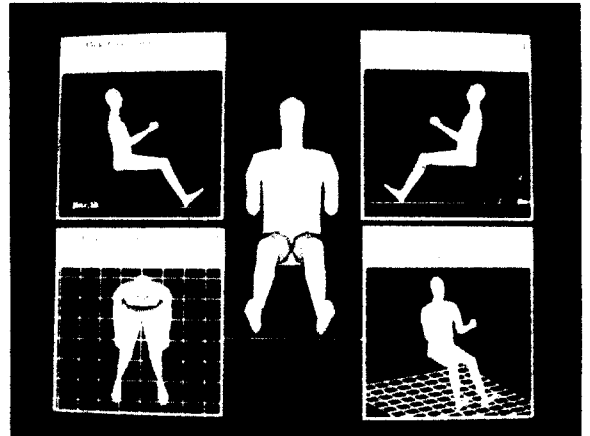


그림 1. Safework을 이용한 인체 모델링

대표점으로 사용된다. 이밖에 사용되는 인체 기준점으로는 액셀러레이터 페달에 얹는 인간의 발꿈치점에 해당하는 AHP(Accelerator Heel Point), 운전자의 눈의 위치에 해당하는 EP(Eye Point), 손조작의 원점에 해당하는 EO(Ergosphere Origin) 등이 사용된다(한국표준과학협회, 1990).

인체 기준점이 선택되면, 이를 기준으로 자동차의 내부기기 및 조종 장치에 관련된 인체의 주요 부위들의 상대적 위치를 계산하여 자동차 내부의 주요 조절 장치의 레이아웃을 결정할 수 있다. 본 연구에서는 AHP를 기준으로 하여 시트, 운전대, 그리고 자동차 내부 설계에 중요한 설계 기준이 되는 EP 등의 최적 설계 위치 및 조절 범위 등을 결정하였다.

자동차의 우측에서 좌측으로의 수평 방향을 x축, 바닥에서 천정으로의 수직 방향을 y축, 그리고 앞쪽에서 뒤쪽으로의 수평방향을 z축으로 설정하였다. 그리고 실험에 사용된 마네킹은 한국인 및 미국인 체형의 95th percentile 성인 남자와 5th percentile 성인 여자, 그리고 50th percentile 성인 남자를 사용하였다. 먼저, 자동차 내부의 바닥과 마네킹을 생성시킨 다음, 마네킹의 AHP를 바닥 위의 어느 한 지점으로 고정시키고 이를 차량설계의 기준으로 하였다.

본 연구에서 설정한 신체부위별 각도 변수는 그림 2와 같으며, 마네킹의 최적 운전자세 형성을 위한 주요 관절의 안락 각도는 Wisner와 Rebiffe(1963)가 제안한 운전작업을 위한 주요 안락 각도를 이용하였다.

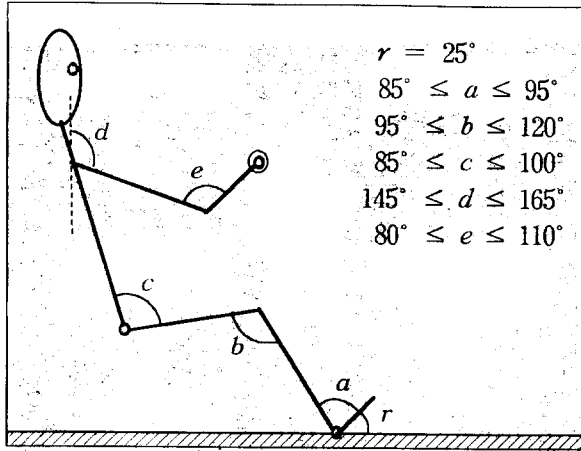


그림 2. 신체부위별 각도 변수 및 안락 각도

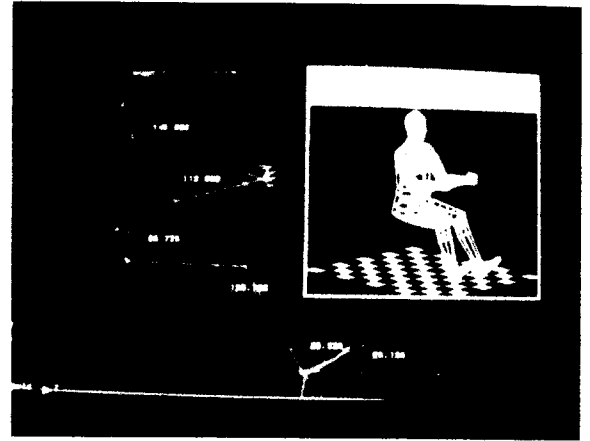


그림 3. 마네킹 및 관절의 각도 생성

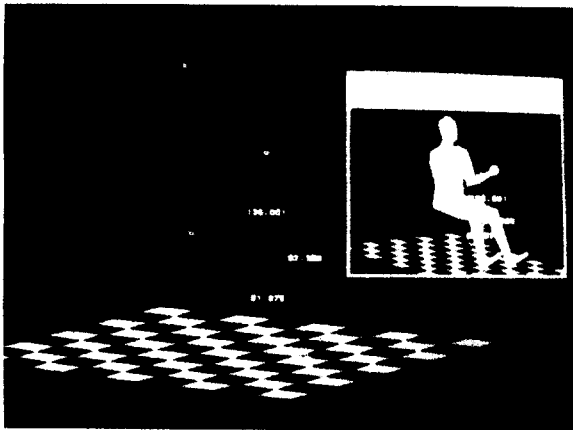


그림 4. 마네킹의 3차원 상의 거리 측정

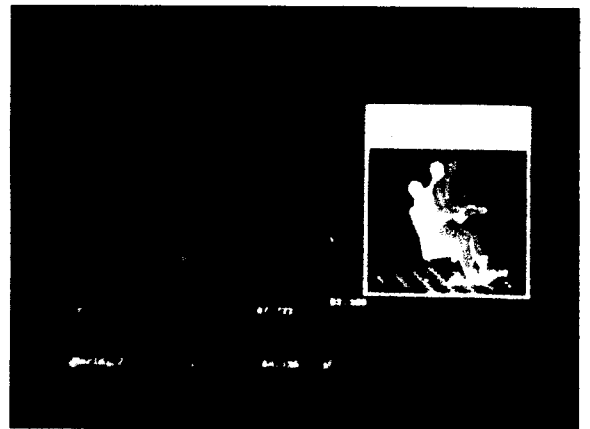


그림 5. AHP-HP간의 위치 변화 측정

그림 3과 같이 각 관절들의 안락 각도의 한도 내에서 마네킹을 최적 운전자세로 유지시킨 다음, 그림 4와 같이 AHP를 기점으로 각 마네킹의 HP, 운전대의 중심, 그리고 EP의 3차원상의 위치를 구하였다.

3.1 시트 조절 범위 결정

쾌적한 운전자세를 유지하기 위한 시트의 조절 범위를 결정하기 위해 AHP와 HP간의 거리를 이용하였다. 그림 5와 같이 각 관절의 안락 각도의 한도 내에서 마네킹의 자세를 변화시켜 가면서 HP의 3차원상의 변동 위치를 파악하였다. 마네킹의 조작은 역기구학에 근거한 움직임의 위해 마네킹의 상체와 하체의 각 부위들을 동시에 조작할 수 있는 요추 5 조절점(lumbar spine 5

control point)를 이용하였다. 거의 모든 성인남자와 성인여자를 수용하는 시트의 조절 범위를 구하기 위해, 5th percentile의 성인여자와 95th percentile의 성인 남자에 대한 한국인과 미국인 체형의 마네킹을 사용하여 서로 비교하였다. 측정 결과는 표 1과 같으며, 그림 6은 AHP를 기준으로 HP의 수평 거리(z축), 수직 높이(y축)에 대한 한국인과 미국인의 최대 및 최소 범위를 나타낸 것이다.

또한, 시트 높이가 고정형인 경우에 되도록 많은 운전자를 수용하기 위한 시트 높이를 결정하기 위해 성인남자의 50th percentile 마네킹을 이용하여 HP의 위치 변화를 측정하였다. 그 결과는 표 2와 같으며, 성인남자 50th percentile 마네킹의 AHP를 기준으로 한 HP의 수평 거리(z축), 수

직 높이(y축)의 범위는 그림 7과 같다. 그림 6과 그림 7에서 볼 수 있듯이 한국인과 미국인의 HP의 위치는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 미국인 체형의 마네킹을 국내 자동차 시트의 개발에 사용할 경우, 한국인의 인체 특성에는 맞지 않는 불편한 시트를 만들 수도 있음을 보여준다.

3.2 운전대의 위치 결정

안락한 운전자세를 유지하기 위한 운전대의 위치를 결정하기 위해 양손이 운전대와 접하는 두 지점을 연결한 직선상의 중앙을 운전대 중심(Steering Wheel Center; SWC)으로 설정하고, AHP와 SWC간의 거리를 측정하였다(그림 8).

표 1. 최적 운전자세에 대한 HP의 위치 변화 (5th/95th percentile)

방향	범위	한국인 (cm)	미국인 (cm)	마네킹(percentile)	주요 관절의 각도(°)					
					r	a	b	c	d	e
X축	최대 위치	16.475	18.499	Man 95th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	13.930	14.005	Woman 5th	25	85	95	100	165	80
	최대-최소	2.545	4.494							
Y축	최대 위치	56.870	62.300	Man 95th	25	85	120	100	165	80
	최소 위치	22.244	24.078	Woman 5th	25	95	95	100	165	80
	최대-최소	34.626	38.222							
Z축	최대 위치	60.596	68.505	Man 95th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	44.947	49.014	Woman 5th	25	85	95	100	165	80
	최대-최소	15.649	19.491							

표 2. 최적 운전자세에 대한 HP의 위치 변화 (50th percentile)

방향	범위	한국인 (cm)	미국인 (cm)	마네킹(percentile)	주요 관절 각도(°)					
					r	a	b	c	d	e
X축	최대 위치	15.547	15.648	Man 50th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	15.547	15.648	Man 50th	25	85	95	100	165	80
	최대-최소	0	0							
Y축	최대 위치	53.607	58.018	Man 50th	25	85	120	100	165	80
	최소 위치	27.203	28.873	Man 50th	25	95	95	100	165	80
	최대-최소	26.404	29.145							
Z축	최대 위치	57.130	64.242	Man 50th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	49.935	56.394	Man 50th	25	85	95	100	165	80
	최대-최소	7.195	7.848							

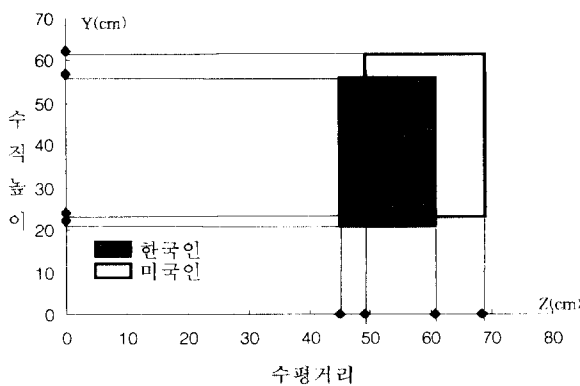


그림 6. HP의 수직 및 수평 거리의 변화 (5th/95th percentile)

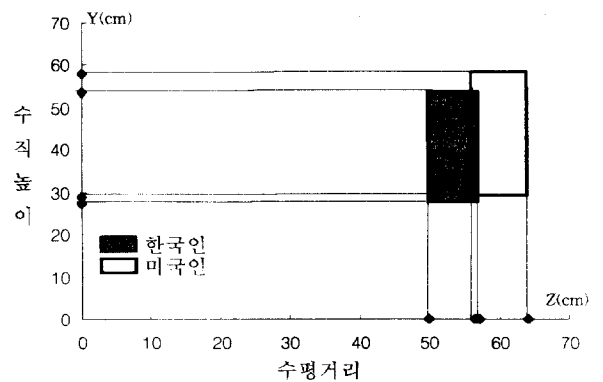


그림 7. HP의 수직 및 수평 거리의 변화 (50th percentile)

가능한 많은 운전자를 수용하기 위해 성인남자 50th percentile 마네킹을 사용하였다. 주요 관절의 안락 각도를 유지하기 위한 마네킹의 조작은 상체와 하체의 움직임을 조작하는 요추 5 조절점과 팔의 움직임을 조작하는 좌우의 전완 조절점(Forearm control point)을 이용하였다.

측정 결과는 표 3과 같으며, 그림 9는 AHP를 기준으로 SWC의 수평 거리(z축), 수직 높이(y축)에 대한 한국인과 미국인의 최대 및 최소 범위를 나타낸 것이다. 운전대의 위치는 수평 거리(z축)에 있어서 한국인과 미국인의 차이가 많은 것을 볼 수 있다. 시트의 조절 범위가 충분하다면, 어느 정도 차이를 줄일 수 있을 것으로 보인다. 운전대의 레이아웃을 결정하기 위해서는 시트의 조절 범위가 함께 고려되어야 할 것이다.

3.3 운전자의 눈의 위치 결정

운전 중 운전자는 정보의 90% 이상을 시계에 의존하므로 EP는 자동차 설계의 중요한 기준을 제공한다. 운전시계를 연구하기 위해서는 우선 자동차 내부에서 운전자의 눈의 위치를 알아야 한다. 편안한 운전자세에서의 운전자의 눈 위치의 범위를 알아보기 위해 그림 10과 같이 AHP와 EP간의 거리를 이용하였다. 성인남자 50th percentile의 마네킹을 사용하였으며, 마네킹의 운전자세는 운전대의 위치를 결정할 때와 동일하다. 측정 결과는 표 4와 같으며, 그림 11에서 보는 바와 같이 AHP를 기준으로 EP의 수평 거리(z축)에서 한국인과 미국인의 차이가 많음을 볼 수 있다. EP의 위치는 시트의 앞 뒤 조절기능, 높낮이의 조절, 그리고 좌판과 등판의 각도 등에 따라 영향을 받는다.

표 3. 최적 운전자세에 대한 SWC의 위치 변화

방향	범위	한국인 (cm)	미국인 (cm)	마네킹(percentile)	주요 관절 각도(°)					
					r	a	b	c	d	e
X축	최대 위치	15.547	15.648	Man 50th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	15.547	15.648	Man 50th	25	95	125	100	165	80
	최대-최소	0	0							
Y축	최대 위치	103.652	104.138	Man 50th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	58.954	63.820	Man 50th	25	85	95	85	145	110
	최대-최소	44.698	40.318							
Z축	최대 위치	25.330	29.851	Man 50th	25	85	120	100	145	80
	최소 위치	7.042	12.560	Man 50th	25	95	95	85	165	110
	최대-최소	18.288	17.291							



그림 8. AHP-SWC간의 위치 변화 측정

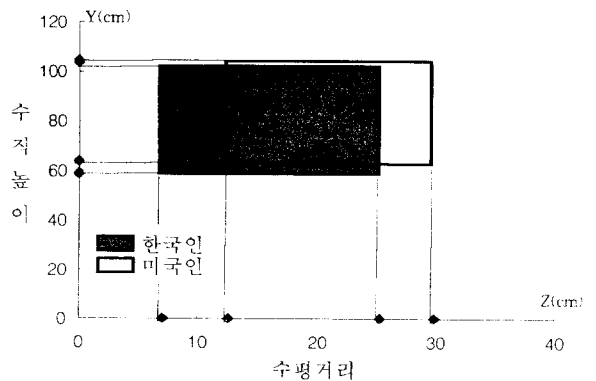


그림 9. SWC의 수직 및 수평 거리의 변화

표 4. 최적 운전자세에 대한 EP의 위치 변화

방향	범위	한국인 (cm)	미국인 (cm)	마네킹(percentile)	주요 관절 각도(°)					
					r	a	b	c	d	e
X축	최대 위치	15.547	15.648	Man 50th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	15.547	15.648	Man 50th	25	95	125	100	165	80
	최대-최소	0	0							
Y축	최대 위치	128.411	129.776	Man 50th	25	95	120	100	165	80
	최소 위치	104.439	105.293	Man 50th	25	85	95	85	145	110
	최대-최소	23.972	24.483							
Z축	최대 위치	60.429	67.072	Man 50th	25	85	120	100	145	80
	최소 위치	52.112	58.106	Man 50th	25	95	95	85	165	110
	최대-최소	8.317	8.966							

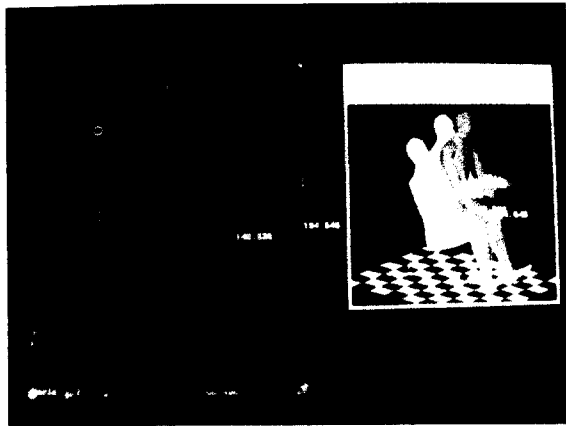


그림 10. AHP-EP 간의 위치 변화 측정

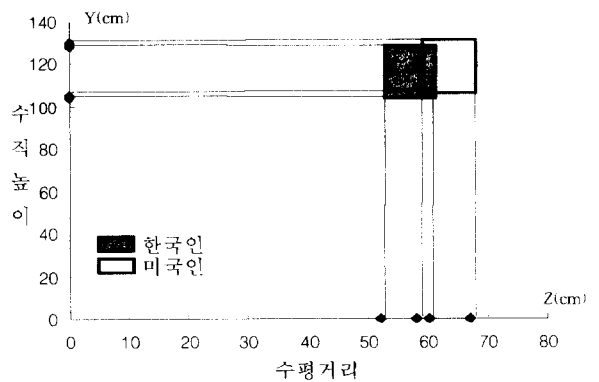


그림 11. EP의 수직 및 수평 거리의 변화

4. 결론

본 연구에서는 쾌적한 운전좌석 설계를 위한 시트와 운전대의 조절범위 및 레이아웃, 그리고 운전자 눈의 위치 등을 결정하기 위하여 3차원 인체 모델링 소프트웨어인 safework을 이용하여 운전좌석을 모델링 하였다. Safework을 이용함으로써, 기존의 자동차 설계를 위한 마네킹이나 실물모형의 개발에 필요한 시간과 예산을 상당히 줄일 수 있었다. 더욱이 safework의 마네킹은 인간의 신체 특성을 충실히 반영할 뿐만 아니라, 역기구학에 근거한 조정이 가능하기 때문에 인간의 실제 동작과 유사한 시뮬레이션이 가능하였다.

보다 쾌적한 운전좌석의 설계를 위해서는 자동차의 내부기구나 조종장치의 레이아웃 문제 뿐만

아니라, 시트의 각종 지지 기능, 체압분포, 진동 및 소음 등 운전자에게 영향을 줄 수 있는 많은 요소들을 고려한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한, 한국인 체형의 최적 운전자세 상태에 대한 주요 관절의 안락 각도에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 이를 위해 운전자세 모니터링 시스템과 safework의 자세 모듈(postural module)을 이용한 최적 운전자세에 관한 연구를 수행 중이다.

자동차 시트는 운전 중 운전자와 가장 밀접할 뿐만 아니라, 다른 자동차 내부기기 및 조종장치의 레이아웃 결정에 매우 중요하다. 따라서, 체압분포 측정 시스템을 이용하여 보다 안락한 시트 개발을 위한 연구를 수행 중이다. 또한, 운전중의 운전자의 시계는 운전자의 안전 뿐만 아니라, 자동차 설계에 있어서 매우 중요한 설계 기준을 세

공하프로, safework의 시야 모듈(vision module)을 이용한 운전자의 시계에 관한 연구를 수행 중이다.

참고문헌

- [1] 박세진, 박수찬, 윤정선, "자동차 시트의 감성 평가 기술", KRISS-95-081-IR, 한국표준과학연구원, 1995.
- [2] 한국표준과학협회, 도해 에르고노믹스, 1990.
- [3] Dury, C.G. and Searle, J.A., "A study of the seating and control position in commercial vehicle cabs", Report No. 1965-17, Motor Industry Research Association, Warwickshire England, 1965.
- [4] GENICOM, SAFEWORK 2.50 USER'S MANUAL, Montreal, Canada, 1995.
- [5] Kohara, J. and Sugi T., "Development of biomechanical manikins for measuring seat comfort, SAE Paper No. 720006, 1972.
- [6] Hubbard, R.P. and Reynolds, H.M., "Anatomical geometry and seating", SAE Paper No. 840506, 1984.
- [7] Schneider, L.W., Anderson, C.K., and Olson, P.L., "Driver anthropometry and vehicle design characteristics related to seat positions selected under driving and non-driving conditions", SAE Paper No. 790384, 1979.
- [8] Verriest, J.P., "Driving posture and comfort", Recherche transport Securite, PP.38-44, 1986.
- [9] Wisner A. and Rebiffe, R., "L'utilisation des donnees anthropometriques dans la conception du poste de travail", Le Travail Humain, XXVI, , pp.193-217, 1963.