

가상현실 기반에서 차량 운전자 거동의 가시화

정운석¹⁾ · 손 권²⁾ · 최경현³⁾

부산대학교 기계설계공학과¹⁾ · 부산대학교 기계공학부²⁾ · 제주대학교 생산에너지시스템공학부³⁾

Motion Visualization of a Vehicle Driver Based on Virtual Reality

Yun-seok Jeong¹⁾ · Kwon Son²⁾ · Kyunghyun Choi³⁾

¹⁾School of Mechanical Design Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³⁾Department of Mechanical Energy and Production Engineering, Cheju National University, Jeju-do 690-756, Korea

(Received 18 February 2003 / Accepted 20 June 2003)

Abstract : Virtual human models are widely used to save time and expense in vehicle safety studies. A human model is an essential tool to visualize and simulate a vehicle driver in virtual environments. This research is focused on creation and application of a human model for virtual reality. The Korean anthropometric data published are selected to determine basic human model dimensions. These data are applied to GEBOD, a human body data generation program, which computes the body segment geometry, mass properties, joints locations and mechanical properties. The human model was constituted using MADYMO based on data from GEBOD. Frontal crash and bump passing test were simulated and the driver's motion data calculated were transmitted into the virtual environment. The human model was organized into scene graphs and its motion was visualized by virtual reality techniques including OpenGL Performer. The human model can be controlled by an arm master to test driver's behavior in the virtual environment.

Key words : Dummy(인체모델), Scene graph(장면 그래프), Frontal crash(정면 충돌), Bump passing(범프통과), Virtual reality(가상환경), MADYMO(Mathematical Dynamic Model), GEBOD(Generator of Body Data)

1. 서론

가상현실(virtual reality)이란 컴퓨터를 이용하여 가상공간(virtual environment)속에서 현실세계의 문제를 간접적으로 해결하는 정보활동 분야의 새로운 패러다임중 하나이다. 컴퓨터 그래픽스 기술의 발전과 하드웨어 가격이 저렴해짐에 따라 제품의 설계에서도 이러한 가상현실 기술을 응용하는 것이 보편화되었다.¹⁾

차량 분야에서도 시간 및 경비를 절약하기 위해 다양한 방면에서 가상현실 기술이 응용되고 있다. 클레이 모델(clay model)을 제작하지 않고 가상현실 기술을 이용해 차량의 스타일링(styling)을 평가하며, 작업자의 안전성 평가를 위해 작업시의 인간공학 적 평가를 시뮬레이션하고 있다. 운전실 내부의 인체 공학적 설계를 위해 운전자의 신체적 조건, 시트의 세팅 등에 따라 운전자의 시야, 팔의 도달성, 편의성 등을 평가하고, 시제품 이전에 가상공간에서 충돌 모의 실험을 통해 운전자의 거동을 관찰하는 등 여러 가지 형태로 활용되고 있다.²⁻⁶⁾ 특히 차량

*To whom correspondence should be addressed.
kson@pusan.ac.kr

내부의 운전자를 표현하고 시뮬레이션 하는 데는 인체 모델이 필요하다. 인체 모델은 동역학 및 기구학적으로 정교한 해석이 가능해야 하고, 가상환경 속에서 표현하기 위해서는 가상공간에서 자신의 분신을 의미하는 가상 캐릭터인 아바타(avatar)의 역할도 가능해야 한다.

기존의 개발된 인체 모델들은 특정 상용 프로그램에서 해석을 주목적으로 만들어진 모델들로서 가상환경과의 연계가 곤란하며 범용성이 부족하다. 따라서, 시뮬레이션 및 가상환경에서 적용이 가능한 인체 모델의 개발 및 시스템의 구축이 필요하다.

본 연구에서는 가상현실 기술을 바탕으로 인체 모델과 차량의 통합 시스템을 구축하였다. 한국인의 인체측정자료를 바탕으로 GEBOD(Generator of BODy Data)을 이용하여 15개 지체의 인체 모델을 생성하였고, 모델의 동작성을 보완하기 위해 17개 지체 모델을 구성하였다. 구성된 인체 모델을 차량에 탑재시키고 정면 충돌과 범프 통과시 운전자의 거동을 MADYMO로 해석하였다. 가상공간상에 신 그라프(scene graph)를 이용하여 인체 모델을 자료화하고 DCS(Dynamic Coordinate System)를 이용해 애니메이션 기능을 개발하여, 차량 내 운전자의 거동을 가시화하였다. 마지막으로 암 마스터를 이용하여 외부입력에 대응할 수 있도록 시스템을 확장하였다.

2. 인체 모델

2.1 인체 측정 자료

한국인 인체모델 제작에 필요한 기초자료로는 국민 표준체위 조사 보고서를 사용하였다⁷⁾. 이 조사는 0세의 영아부터 70세까지의 노인 층에 이르는 각 연령층의 전국민을 모집단으로 하여 남자 6,578명, 여자 6,484명의 총 13,062명을 표본으로 선정하여 조사하였다. 측정방법은 마틴자를 이용하여 직접 측정되었으며, 측정항목은 키, 몸무게, 발등높이 등 120개 항목이었다.

수집된 자료는 연령 및 성별에 따라 11개 범주로 분류하였다. 연령별로는 영 유아(0-5세), 초등(6-11세), 중등(12-17세), 청년1(18-24세), 청년2(25-39세), 장년(40-59세), 노년(60세 이상)으로 분류하였으며,

영유아와 초등, 중등층은 남녀의 구별 없이 각 나이별로 측정항목의 평균값이 주어지고, 청년1과 청년2, 장년과 노년 층은 남녀 각각의 부위별 통계량을 평균과 백분위수(5, 10, 25, 50, 75, 90, 95percentile)로 나타내었다. 인체 측정 자료는 데이터 접근의 용이성을 위해 마이크로소프트(Microsoft)사의 엑셀을 이용하여 데이터베이스화되었다.

2.2 인체 모델의 데이터 생성

인체모델의 데이터를 생성하기 위해 미 공군에서 개발한 인체자료 생성 프로그램인 GEBOD을 사용하였다.⁸⁾ GEBOD은 인체 모델의 치수, 관절의 위치 좌표, 지체의 질량, 지체의 주관성모멘트를 계산한다. GEBOD에서 인체모델은 Fig. 1처럼 15개의 지체와 14개의 관절로 구성된다. GEBOD의 데이터는 모두 지체의 국소 기준 좌표계에 의해 기술되며 각각의 지체 좌표계 원점은 지체의 질량 중심으로 정의한다. 발끝을 아래로서 있는 자세에서 국소 기준 좌표계의 +z축은 아래, +x축은 전방, +y축은 오른쪽으로 정의한다. 인체 모델의 구조와 형태는 접촉 타원 반축(contact ellipsoid semiaxis)과 관절의 상대위치에 의해 결정된다. 각 지체들은 접촉 타원의 형태로 표현되며 물리적 관절로 결합되어 있고 질량과 관성모멘트를 가진다. 그리고 접촉 타원은 외부와 지체 사이의 접촉을 정의하고, 관절은 지체를 연결하며 회전축의 중심이 된다.

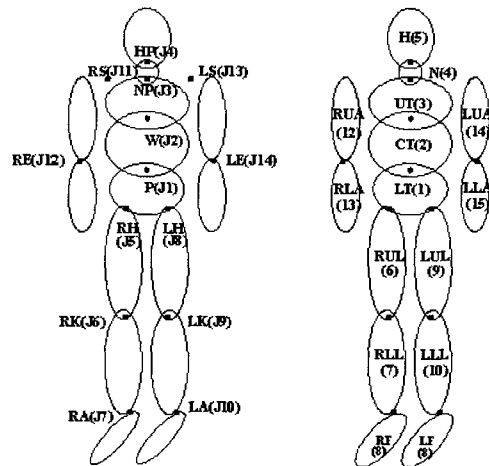


Fig. 1 Segments and joints of human dummy

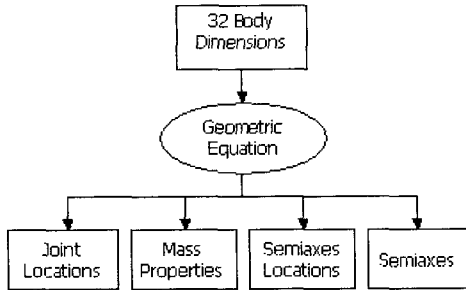


Fig. 2 Human inertial data generation process

GEBOD에서 인체 모델의 데이터 생성 방식에는 크게 두 가지가 있다. 하나는 인체측정학적 조사와 입체사진술 연구에 기초하여 프로그램에 내장된 데이터를 출력하는 것이고, 또 다른 하나는 특정한 인체 자료의 입력에 의해 인체 데이터를 생성하는 것이다. 입력 자료로 사용되는 인체 치수는 총 32가지이며, 본 연구에서는 32가지 인체치수와 국민 표준체위 조사 보고서의 120개 항목과 비교하여 정의가 가장 유사한 것을 입력 자료로 사용하였다. 인체 측정 자료를 입력하면 Fig. 2의 4가지 그룹의 회귀방정식을 이용하여 15개 지체를 가진 인체모델의 치수, 관절 위치좌표, 지체의 질량, 지체의 주관성모멘트에 대한 데이터를 얻을 수 있다.

GEBOD으로 구성된 인체모델의 아래팔(lower arm)은 손을 포함하여 하나의 지체로 구성되어 있다. 손의 조작과 관련하여 동적 평가를 위해 아래팔에서 손을 분리하고 손과 아래팔을 각각의 독립된 지체로 구성하여 17개 지체의 인체모델을 완성하였다. 기하학적 데이터는 국민 표준체위 조사 보고서로부터 얻어진 결과를 사용하였다.

질량은 Clauser 등⁹⁾과 Chandler 등¹⁰⁾의 연구 결과로부터 얻어진 인체의 전체 질량에 대한 각 지체의 질량비를 이용하여 계산하였다. 관성모멘트는 McConville 등¹¹⁾의 연구 결과로부터 얻어진 다음의 회귀방정식을 사용하여 계산하였다.

$$Moment\ of\ inertia = Coefficient1 \cdot Stature \pm coefficient2 \cdot Weight \pm Constant \quad (1)$$

식 (1)의 회귀방정식으로부터 인체의 신장과 체중을 입력값으로 하여 각 지체의 관성모멘트를 계산한다.

3. 동역학 해석

3.1 MADYMO 인체 모델

본 연구에서는 정면 충돌 및 범프 통과 시 인체 모델의 거동을 해석하기 위해 MADYMO를 이용하였다. MADYMO는 TNO사의 충돌 해석 프로그램이며 이를 이용해 50percentile 한국인 성인 남성 인체 모델을 구성하였다.^{12,13)} MADYMO에서 인체 모델은 세그먼트와 관절로 구성된다. 세그먼트는 관성량(질량 관성 모멘트, 질량)과 기하학적 형상(접촉타원)에 대한 정보를 포함하고, 관절은 운동을 구속하며 관절 저항력에 대한 정보를 포함해야 한다. 손을 제외한 15개 지체의 정보는 GEBOD에 한국인 인체 치수를 입력하여 생성된 데이터를 그대로 사용하였다. 나머지 2개 지체인 손은 앞장의 결과를 사용하여 구성하였다. 그리고 관절 특성은 정면 충돌용 국제표준 인체모델인 Hybrid III의 관절 정보를 선별하여 사용하였다. Hybrid III는 목 부위의 관절 구성이 대단히 복잡하다. 때문에 모델을 단순화하기 위해 목의 관절은 Hybrid II의 정보를 사용하였다. Hybrid II에서는 목과 몸통을 연결하는 관절(4번 관절) 그리고 목과 머리를 연결하는 관절(5번 관절)이 모두 구 조인트(spherical joint)이다. 이를 바탕으로 17지체 한국인 인체 모델을 구성하였다.

3.2 정면 충돌 시뮬레이션

해석은 Hybrid III의 정면 충돌 테스트와 동일한 환경에서 이루어졌다. 구성된 인체 모델을 머리받침이 있는 시트에 앉히고 어깨와 무릎은 안전벨트로 구속하였다. 앉은 자세에서 인체 모델이 움직임 없이 동적 평형을 이루도록 하였다. 차량 운동 정보는 20 G, 50 km/h의 정면 충돌 상황의 테스트 결과를 사용하였다. 차량 운동정보는 가속도장의 형태로 MADYMO 입력파일에 들어가게 된다. 차량을 감속시키는 것이 아니라 차량을 고정시키고 상대적인 가속도가 인체 모델에 가해지게 된다. 해석은 200 ms동안 이루어졌다.

구성한 모델의 타당성을 검증하기 위해 Hybrid III와 한국인 인체 모델의 해석 결과를 비교하였다. Fig. 3은 Hybrid III(좌)와 한국인 인체 모델(우)의 정면 충돌 시 인체 거동을 보여주고 있으며 전반적인

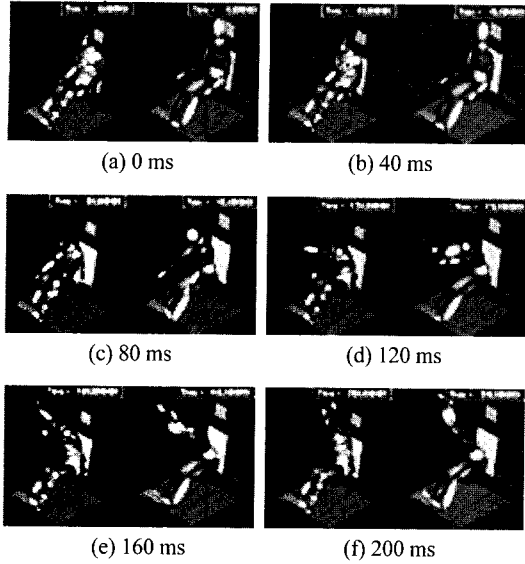


Fig. 3 Dummy behavior simulation

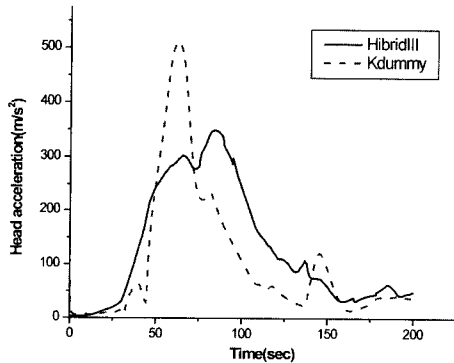


Fig. 4 Head acceleration

거동은 두 모델이 비슷함을 알 수 있다. 부위별 가속도의 비교 결과는 Figs. 4~6과 같다. 가속도의 경우 Hybrid III와 경향은 비슷하나 머리와 흉부의 가속도는 전반적으로 가속도가 크게 나타나며 골반 가속도는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다. 골반은 안전 벨트로 지지되어 상대적으로 움직임이 크지 않아 가속도의 차이가 적은 것으로 판단된다. 머리와 흉부의 경우 골반을 중심으로 운동이 전파되어 미국인이나 유럽인보다 체중이 작은 한국인이 동일한 충격에 대해 가속도가 크게 나타나는 것으로 판단된다.

최종적으로 각 관절들의 오일러 파라미터(Euler parameters)를 해석 결과로 얻었다. 인체 모델의 거

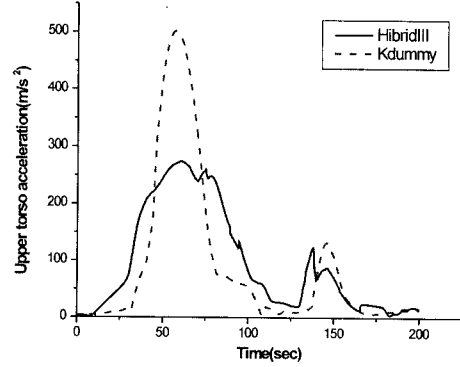


Fig. 5 Upper torso acceleration

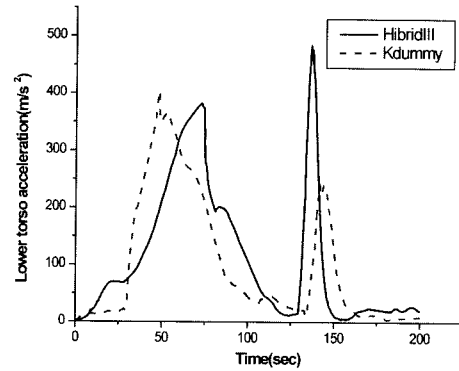


Fig. 6 Lower torso acceleration

동을 가상공간 속에 가시화하기 위해서는 관절의 자세 정보가 필요하며 MADYMO에서는 관절의 자세정보를 오일러 파라미터의 형태로 보여준다.

3.3 범프 통과 시뮬레이션

차량 충돌 외에 운전자가 가속도를 크게 받는 경우는 범프 통과가 있다. 범프 통과는 운전자가 빈번하게 만나는 상황이므로 운전자의 거동을 해석할 필요가 있다. 범프 통과 시 운전자의 거동을 해석하기 위해서는 차량의 가속도 데이터가 필요하다. 범프 통과 시에는 Hybrid III 정면 충돌 테스트처럼 일반적으로 나와있는 데이터가 없으므로 전차량 모델링을 통한 차량동역학 해석이 수행되어야 한다. 본 연구에서는 맥퍼슨 현가장치를 장착한 차량 모델의 동역학 해석결과를 사용하였다.

주행 환경으로 차량은 너비 2 m, 높이 0.1 m의 반사인커브 모양의 장애물을 일정속도(약 5 m/s)로 통과하는 것으로 가정하였다. 이 때 좌표계 설정은 차

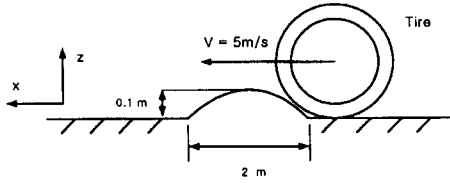


Fig. 7 Bump shape

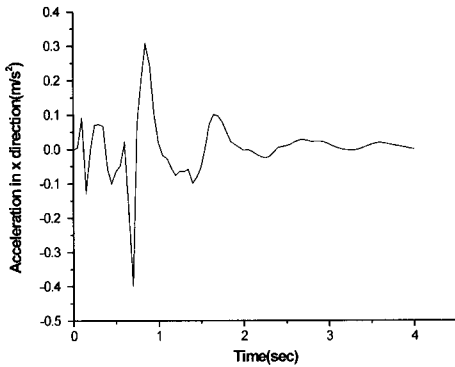


Fig. 8 Acceleration in x direction

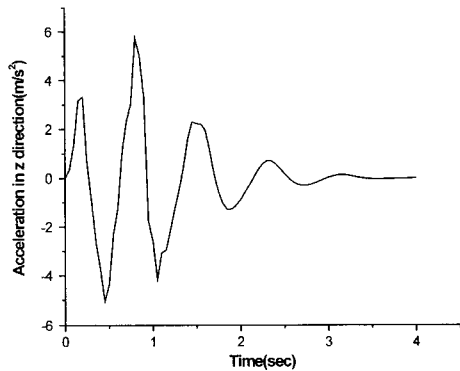


Fig. 9 Acceleration in z direction

량의 진행방향을 x, 차량의 측면방향을 y, 그리고 x와 y 평면에 대해 수직인 z축으로 구성된다. 범프 형상은 Fig. 7과 같다.

상용 프로그램인 MDI(Mechanical Dynamic Inc.)사의 아담스(ADAMS)를 이용하여 범프 통과 시 차량 모델 질량 중심에 작용하는 가속도의 합(resultant)을 구하였다. 시간에 따른 차량의 x, z축방향 가속도는 각각 Figs. 8과 9와 같으며 차량 측면 방향인 y축 가속도는 고려하지 않았다. 차량의 가속도를 입력 데이터로 하여 MADYMO를 통해 범프 통과 시 4초동안 인체 거동해석을 수행하였다. 해석 환경은

전방 충돌과 동일하게 인체모델에 안전벨트를 부착하고, 앉은 자세에서 인체모델이 움직임이 없이 동적 평형을 이루도록 하였다. 정면 충돌 시와 마찬가지로 오일러 파라미터를 해석 결과로 얻었다.

4. 가상환경

4.1 그래픽 라이브러리

본 연구에서는 3차원 가상 그래픽 환경을 구현하기 위해 그래픽 라이브러리로 실리콘 그래픽스사의 OpenGL Performer를 사용하였다.^{14,15)} 기존의 그래픽 라이브러리들에는 구조적 프로그래밍 방식의 OpenGL과 객체지향의 Open Inventor가 있으나, 실시간 처리, 멀티 프로세싱 등의 고기능이 부족하다. 이에 비해 리눅스 기반의 OpenGL Performer는 최적화된 알고리즘을 통해 그래픽 이미지의 실시간 처리, 효율적인 데이터베이스 관리, 장면의 효과적인 관리가 가능하므로 최적의 개발 환경으로 평가받고 있다.

4.2 인체 모델의 그래픽 모듈화

가상환경내의 인체 모델은 GEBOD에서 생성한 인체 치수와 관절의 위치좌표를 바탕으로 신 그래프를 이용하여 구현된다.¹⁶⁾ 신 그래프는 가상환경내에 계층적 구조를 가진 실시간 3차원 모델 데이터베이스이다. 신 그래프에는 물체의 기하학적 정보와 위치 및 자세 정보가 저장되어 있으며, 노드(node)에 의해 이루어진 트리 구조로 되어 있다. 인체 모델의 신 그래프 구성은 Fig.10과 같으며 17개의 지체와 16개의 관절로 이루어진 총 33개 노드로 구성되어 있다. 골반의 위치가 루트(root) 노드로 전역 좌표계에 대해 정의되며, 각 지체는 골반의 위치로부터 지역 좌표계로 정의된다.

인체 모델은 C++ 기반의 다른 시스템에 이식이 용이하도록 신 그래프 구조를 유지하며 클래스화 작업을 통해 모듈화 되었다.¹⁷⁾ 구성된 모듈은 인체 모델 데이터의 입력에 따라 성별, 연령별로 다양한 인체 모델의 구성이 가능하게 하였다. Fig. 11은 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95 percentile에 해당하는 한국인 성인 남성 인체모델을 가시화 한 것이다.

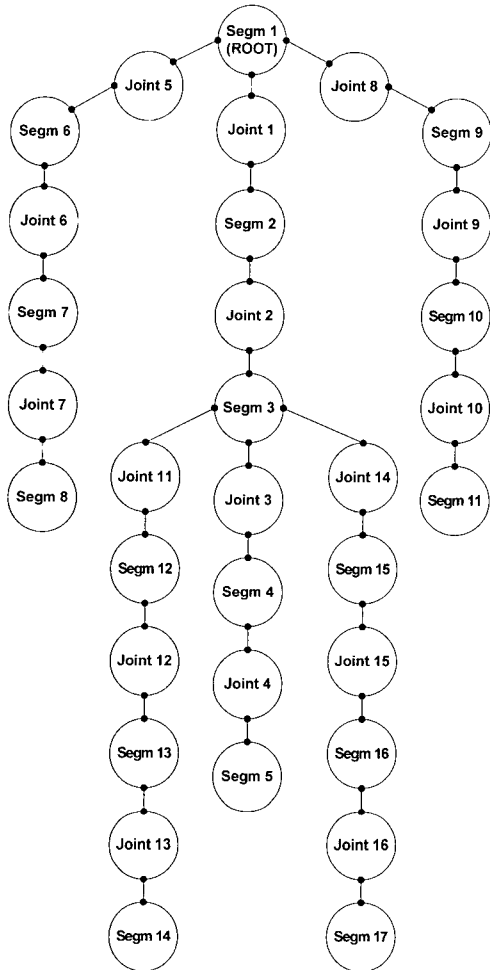


Fig. 10 Scene graph of human model

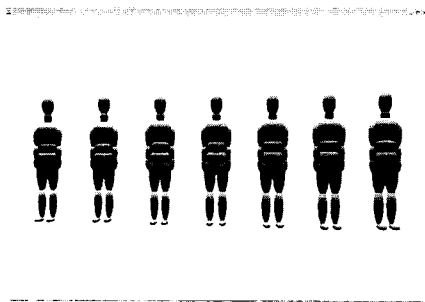


Fig. 11 Visualization of human model

4.3 멀티 채널 구성

Performer에서 3차원 시점을 표현할 경우 시점을 기준으로 보여주고자 하는 범위를 지정해 주어야 한다. 또한 시점이 이동하거나 회전하는 경우 기준

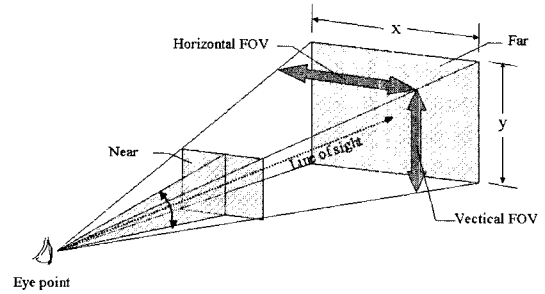


Fig. 12 Scene projection by view angle

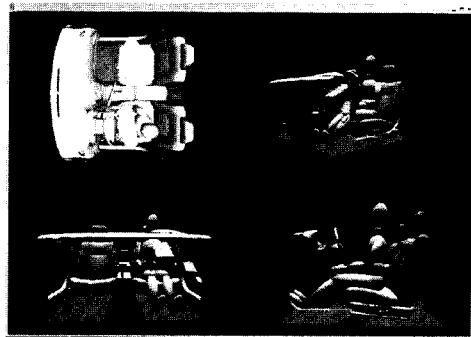


Fig. 13 Multi channel system

이 되는 좌표계와 회전축을 고려하여야 한다. 시점은 3차원 공간상의 임의의 점을 지정하며 Performer의 기본적인 시점의 위치는 원점이고, 방위는 +y 방향을 바라보도록 되어 있다. 표현할 수 있는 범위는 Fig. 12처럼 시점을 기준으로 사각뿔 모양으로 표현한다. 사각뿔은 시점을 기준으로 앞쪽 면과 뒤쪽 면을 정하고 수평 방향과 수직 방향의 각도로서 범위를 결정한다.

Performer에서는 멀티 채널(multi channel)을 이용하여 동시에 여러 가지 시점에서 가상 공간상의 물체를 관찰하는 것이 가능하다. 이를 이용해 다양한 시점에서 인체 모델의 거동을 관찰할 수 있게 하였다. 시점은 정면, 측면, 평면, 그리고 임의 위치의 총 4개로 하였다. 각각의 채널은 장면에 대해 고유한 시점을 가지며 시야각 내에 들어오는 그래픽 정보를 파이프(pipe)를 통해 하드웨어로 전달한다. 그리고 그래픽정보를 윈도우상에서 렌더링하게 되어 모니터 상에 나타나게 된다. Fig. 13은 멀티 채널을 이용하여 구축된 차량과 인체모델의 통합 시스템을 보여주고 있다.

4.4 운전자 거동의 가시화

MADYMO 해석 결과를 가시화 하기 위해서는 인체의 각 관절이 자유롭게 회전이 가능해야한다. 애니메이션 기능을 구현하기 위해 모델의 노드는 모두 DCS 노드(dynamic coordinate system node)로 구성되었다. Performer에는 SCS 노드(static coordinate system node)와 DCS 노드가 있다. SCS 노드는 사용자가 정의하는 변환행렬에 따라 노드간의 상호 위치를 결정하고, DCS 노드는 계층적 구조에 의해 상위 노드가 하위 노드의 위치를 결정한다.

MADYMO의 해석 결과로 나오는 오일러 파라미터를 DCS 노드에 적용이 가능하도록 브라이언트 앵글(Bryant angle)로 변환하였다.¹⁸⁾ DCS 노드는 x축을 중심으로 하는 피치(pitch) 회전, y축을 중심으로 하는 롤(roll) 회전, z축을 중심으로 하는 요(yaw) 회전으로 구성되며 각각 브라이언트 앵글의 ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 에 해당한다.

초기화 과정을 거쳐 인체 모델과 차량 모델은 신 그래프에 의해 정의된다. 브라이언트 앵글은 가상 공간 속으로 전달되고 인체 모델 관절의 DCS 노드를 회전시키게 된다. Fig. 14는 정면 충돌 시 차량 운

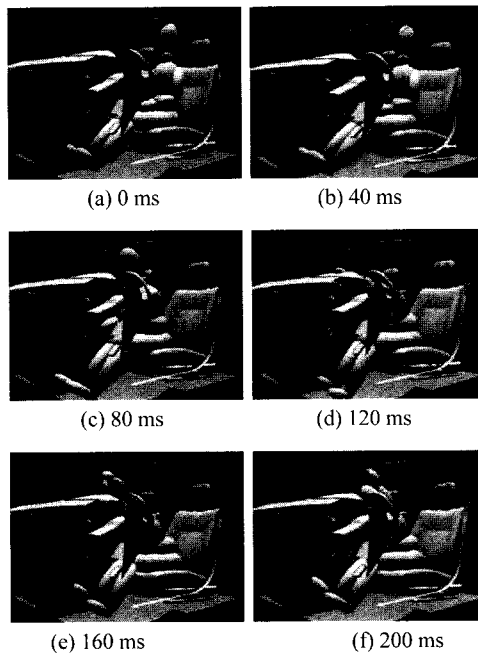


Fig. 14 Frontal crash visualization

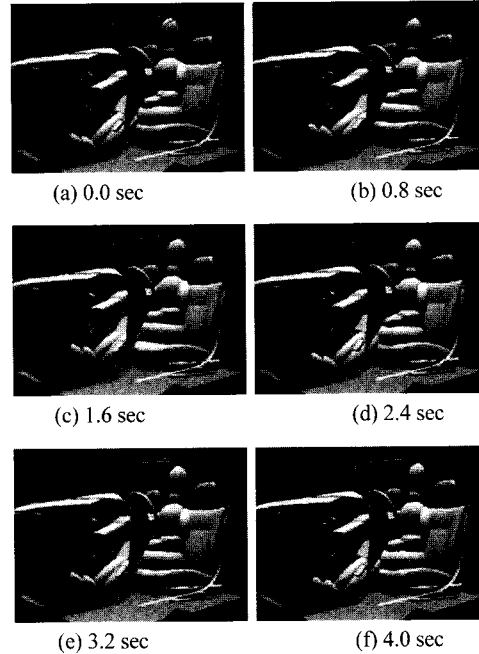


Fig. 15 Bump passing visualization

전자의 거동을 타임 스텝(time step)별로 나타낸 것이고, Fig. 15는 범프 통과 시의 거동이다.

4.5 운전자의 실시간 거동

인체 모델의 활용성을 높이고 가상현실 기법을 적용하기 위해서는 외부 입력에 대해 인체 모델의 거동을 실시간으로 가시화하는 것이 가능해야 한다. 본 연구에서는 개발된 인체 모델을 이용하여 가상환경 시스템을 구축하고, 팔 운동감 제시기와와의 실시간 연동에 관한 연구를 수행하였다.

인간의 팔 관절은 어깨, 팔꿈치, 손목 등으로 구성되어 있으며, 전체적으로 7자유도를 가지고 있다. 따라서 3차원 팔 운동을 구현할 수 있는 운동감 제시기를 제작하기 위해서는, 팔의 구조에 관한 해석을 수행하고 이를 설계에 적극 반영하여야 한다. Fig. 16에는 팔 운동감 제시기의 구조와 관절좌표계가 나타나 있다.¹⁹⁾

운전자의 조작에 의해 팔 운동감 제시기의 엔코더로부터 발생하는 5개의 위치 정보는 디바이스 서버(device server)로부터 관절 각의 형태로 렌더링 서버(rendering server)인 가상환경으로 전달되어 인체 모델과 아바타인 운전자가 동기화 되도록 한다. 실

시간 렌더링이 시간지연 없이 수행되도록 하기 위해 통신 프로토콜로는 UDP(user datagram protocol) 통신 프로토콜을 이용하였다. UDP는 TCP(transmission control protocol)와 같이 오류 정정이나 재송신 기능은 없지만 빠른 응답 특성을 가지고 있기 때문에 그래픽 환경의 구동에 적합하다. Fig. 17은 구축된 시스템의 테스트 장면을 보여주고 있다. 조작자가 팔 운동감 제시기를 착용하고 팔을 움직이면 인체 모델의 팔이 정확하게 움직임을 확인할 수 있었다.

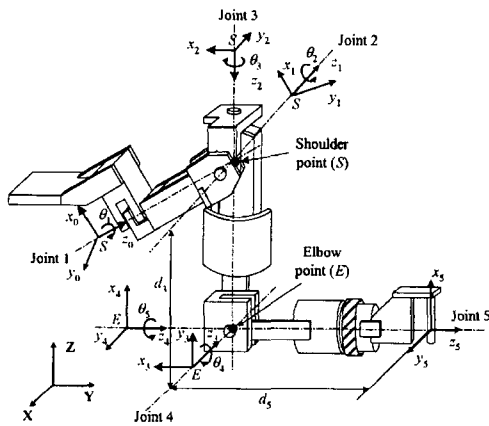


Fig. 16 Arm master

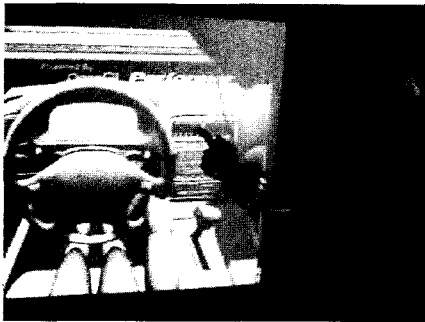


Fig. 17 Driver test

5. 결론

본 연구에서는 가상현실 기술을 바탕으로 가상 공간에 인체 모델을 구성하고 차량과 통합하여 운전자의 거동을 가시화 하였다. 그리고 팔 운동감 제시기를 이용하여 구축된 시스템을 테스트하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 한국표준과학연구원의 1997년 국민 표준 체위 조사 보고서를 분석하여 인체 모델 생성에 필요한 기초 자료를 선별하였고, 인체 자료 생성프로그램인 GEBOD을 이용하여 인체 모델의 동역학적 해석을 하기 위해 필요한 데이터를 생성하였다.

2) MADYMO를 이용하여 인체 모델을 구성하였고 운전자의 전방 충돌과 범프 통과 시의 인체 거동을 해석하였다. 인체 모델은 국제 표준 인체 모델인 Hybrid III와의 비교를 통해 수정 보완되었다.

3) OpenGL Performer 라이브러리를 이용하여 차량과 인체 모델의 가상환경을 구축하였고 인체의 거동을 가시화 하였다. 가상환경 속의 인체 모델은 신 그래프를 이용하여 자료화되었다.

구축된 시스템은 MADYMO를 이용하여 해석한 인체 거동을 가시화 하는 것이 가능하고, 팔 운동감 제시기를 이용하여 차량 인터리어 평가 및 차량 내부 기기의 조작성을 테스트하는데 적용이 가능하다. 따라서 이를 통해 다양한 관점에서 차량 설계 시 자료로 활용하는 것이 가능하다.

앞으로 보완되어야할 사항은 다음과 같다. 국민 표준 체위조사 보고서의 인체 측정자료는 의류, 가구, 신발 등의 제작에 활용하기 위해 주로 인간공학적인 관점에서의 조사가 이루어졌다. 따라서 한국인의 특성을 반영한 인체 모델을 구성하기 위해서는 인체 치수뿐만 아니라 지체의 질량 및 질량 중심과 같은 인체 특성값에 대한 연구가 좀 더 이루어져야 할 것이다. 그리고 몰입감 향상을 위해 타원 형상이 아니라 실사에 근접한 인체 모델의 개발이 진행되어야 한다. 또한 향상된 가상환경의 구축을 위해 인체 모델뿐만 아니라 가상환경에 적합한 차량 모델의 개발도 이루어져야 할 것으로 보인다.

References

- 1) K. Pimentel, K. Teixerira, Virtual Reality, Mc-Graw Hill Co., 1993.
- 2) T. Dani, R. Gadh, "Virtual Reaility-A New Technology for the Mechanical Engineer," The Mechanical Engineers Handbook, Chap. 14, 2nd Ed., Wiley, New York, 1998.
- 3) S. Jayaram, J. Vance, R. U. Jayaram, H. Srinivasan, "Assessment of VR Technology

- and Its Applications to Engineering Problems," Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol.1, No.1, pp.72-83, 2000.
- 4) U. Jayaram, H. Tirumali, K. Lyons, S. Jayram, "A Tool/Part/Human Interaction Model for Assembly in Virtual Environment," Proceeding of the ASME Design Engineering Technical Conferences, Paper No.DETC2000/CIE-14584, 2000.
 - 5) I. B. Chyun, G. S. Choi, "Dynamic Stress Analysis of Vehicle Using Virtual Proving Ground Approach," Transactions of KSAE, Vol.7, No.4, pp.338-346, 1999.
 - 6) R. Maruthayappan, A. Rao, V. Gupta, R. Samaha, T. J. Trella, "Improved Finite Element SID for In-Vehicle Simulation," SAE 1999-01-0716, 1999.
 - 7) Korea Research Institute Standards and Science, Korean Anthropometric Survey, 1997.
 - 8) H. Cheng, A. Rizer, L. Obergefell, Generator of Body Data Manual, Springfield, NTIS, 1994.
 - 9) C. E. Clauser, J. T. McConville, J. W. Young, Weight, Volume and Center of Mass of Segments of the Human Body, AMRL-TR-69-70, WPAFB OH, 1969.
 - 10) R. F. Chandler, C. E. Clauser, J. T. McConville, H. M. Reynolds, J. W. Young, Investigation of Inertial Properties of the Human Body, AMRL-TR-74-137, WPAFB OH, 1975.
 - 11) J. T. McConville, T. D. Churchill, I. Kaleps, C. E. Clauser, J. Cuzzi, Anthropometric Relationships of Body and Body Segment Moments of Inertia, AMRL-TR-80-119 (AD A097238), Aerospace Medical Research Laboratory, WPAFB OH, 1980.
 - 12) TNO Automotive, MADYMO User's Manual 3D Version 5.4, TNO Automotive, 1999.
 - 13) TNO Automotive, MADYMO Theory Manual Version 6.0, TNO Automotive, 2001.
 - 14) G. Eckel, K. Jones, Open GL Performer Getting Started Guide, Mountain View, SGI, 2000.
 - 15) G. Eckel, K. Jones, OpenGL Performer Programmers Guide, Mountain View, SGI, 2000.
 - 16) O. Radek, Bounding Volume Hierarchy Analysis, FIMU-RS-2000-13, 2000.
 - 17) L. Jesse, B. David, Linux C++ Programming, Information Publishing, 2000.
 - 18) E. N. Parviz, Computer-Aided Analysis of Mechanical System, Prentice-Hall Inc., 1988.
 - 19) D. K. Min, U. C. Jeong, J. B. Song, Y. I. Kim, "Development of Arm Motion Generator and Implementation of Active Impedance," KSPE, Vol.1, pp.68-71, 1999.