

승용차 도어의 인간공학적 설계 및 생체역학 시뮬레이션 Ergonomic Design and Biomechanics Simulation for Car Door System

김재호¹, 이한수¹, 이진화², 김성원², 박현기², *이상현²
J.H.Kim¹, H. S. Lee¹, J. H. Lee², S. W. Kim², H. K. Park², *S. H. Lee(shlee@kookmin.ac.kr)²
¹국민대학교 자동차공학전대학원, ²국민대학교 기계자동차공학부

Key words : Ergonomics, Automotive Door Design, Ingress/Egress, Comfort Evaluation, Motion Simulation

1. 서론

삶의 질이 향상 되면서 인간을 고려한 제품설계의 중요성은 의류, 신발, 가구와 같은 경공업 소비재로부터 자동차, 항공기, 선박의 중공업 제품에 이르기까지 널리 파급되고 있다.^[1] 특히 자동차의 경우 최종 소비자가 직접 조작하는 제품으로서 운전자와 승객의 안전 문제가 중요하기 때문에 일찍부터 인간을 고려한 제품 설계와 테스트가 심도있게 수행되어 왔다. 더욱이 최근 소비자의 제품구매에 있어 안전뿐만 아니라 안락에 대한 요구가 높아짐에 따라 기존의 운전조작의 편의 및 안전에 덧붙여 시트의 안락, 승하차의 편의성이 중요한 이슈가 되어가고 있다.^[2-5] 이가운데 승하차는 특히 노약자나 장애자의 입장에서 중요한 고려 사항으로서 최근 고령화사회의 급속한 진전에 따라 그 중요도가 높아지고 있다. 또한 우리나라와 같이 주차공간이 협소한 곳에서는 인접 주차 차량에 의해 승하차의 불편을 많이 느끼는 상황이며 이러한 형편은 유럽이나 일본과 같은 인구밀도가 높은 나라에서 공통적으로 발생한다. 이에 본 연구에서는 자동차 승하차의 안락을 고려한 자동차 도어 설계 프로세스를 정립하고 좁은 곳에서의 승하차가 용이한 도어 시스템을 개발하고자 한다.

2. 가상설계 및 시험 프로세스

기존의 인체와 제품의 상호작용을 고려한 제품설계 및 시험 과정은 시제품과 인체더미(dummy) 또는 사람을 이용한 실험적인 방법을 사용하였다. 이와 같은 실험을 이용한 제품개발 방법은 시작품 제작과 실험에 상당한 비용과 시간을 필요로 하며 실험 대상에 한계가 있기 때문에 이를 개선하기 위한 노력이 꾸준히 진행되어 왔다. 그런데 일반 제품설계 과정을 살펴보면 최근 시제품을 이용한 테스트를 상당부분 가상 프로토타입을 이용한 해석으로 대체함으로써 개발 기간 단축과 경비 절감의 효과를 거두고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 가상엔지니어링 기법을 인체를 고려한 제품설계에 적용시킨다면 가상의 인간을 가상의 시작품과 같이 만들어 필요한 각종 시험을 실시하고 그에 대한 결과를 재설계에 반영함으로써 시작품 제작 대수와 실험 횟수를 크게 줄일 수 있을 것이다.

이러한 가상인간 및 시제품을 이용한 제품개발 방법을 자동차 도어 시스템 설계에 반영한다면 Fig. 1과 같은 제품개발 프로세스가 가능할 것이다. 먼저 그림의 왼편에서와 같이 가상실험을 위한 데이터베이스 구축 작업을 실시한다. 여러 가지 도어 시스템에 대해서 다수의 피실험자를 동원하여 승하차 모션을 캡처하고 그에 대한 EMG 측정과 안락도 설문 조사를 실시하여 이들 데이터로 데이터베이스를 구축한다. 다음, 그림의 오른편에서와 같이 제품의 가상설계와 그에 대한 가상 시험을 실시한다. 설계된 자동차의 디지털 모델에 대해 가상의 인간들과 그들의 동작이 자동으로 만들어져 각각의 가상인간이 설계된 자동차에 승하차를 실시하며 승하차시의 각 조인트 각도와 근육에 걸리는 힘들을 생체역학 시뮬레이션 시스템을 통하여 계산한다. 계산결과를 바탕으로 안락도를 평가하며, 이를 근거로 새로운 도어시스템을 설계한다. 본 연구는 위와 같은 가상설계 및 시험 프로세스의 구축을 궁극적인 목표로 설정하였

으며, 현 단계에서는 모션캡처 자료로부터 생체역학 시뮬레이션을 실시하여 현 설계안과 새로운 설계안에 대한 승하차 안락도를 평가하는 연구를 수행하고 계속하여 데이터베이스 구축 작업과 가상 인간 및 동작 생성 연구를 수행하고 있다.

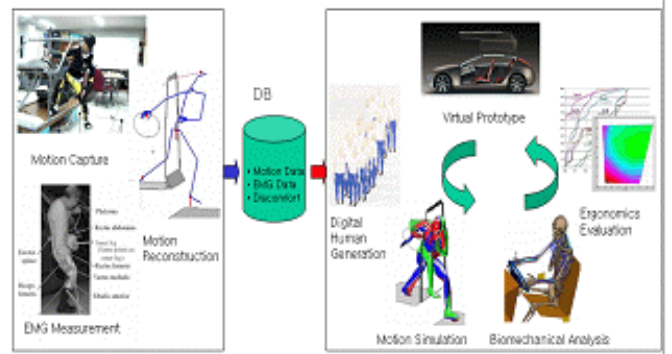


Fig. 1 Virtual door design and analysis cycle based on ingress/egress biomechanical analysis.

3. 실험 장치의 구성

승하차시 사람이 느낄 수 있는 불편함에 대한 실험을 하기 위한 시제품을 제작하였다. 시제품은 현재 소비자들이 사용하고 있는 대표적인 승용차량과 본 연구에서 개발한 새로운 유형의 승용차의 운전석 부분을 대상으로 만들어졌다. Fig. 2(a)는 CATIA V.5로 모델링된 현재 차량의 가상 프로토타입이며, Fig. 2(b)는 승하차 실험을 하기 위해 만들어진 실험 프로토타입이다. 광학식 모션 캡처 장비를 용이하게 사용하기 위하여 불필요하게 가려지는 부분은 모두 제거한 모습을 보여주고 있다.

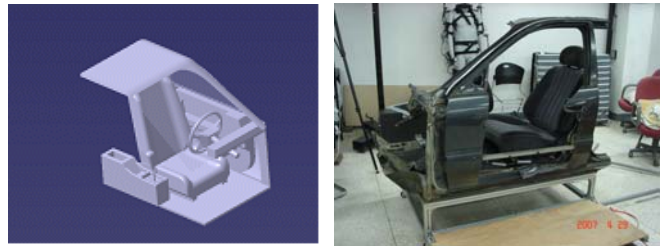


Fig. 2 Prototypes of a current passenger car for ingress/egress test: (a) virtual prototype, (b) physical prototype.

4. 모션 캡처

본 실험에서 승하차의 모션 캡처는 Fig. 3과 같이 Gypsy Gyro 장비를 사용하여 실시하였다. 이 장비는 자이로센서를 장착하여 각 관절의 회전각을 측정하는 방식으로 착용이 간편하고 광학식과 달리 가려지는 부분이 발생하지 않기 때문에 본 실험장치에 적합한 장비라고 할 수 있다. 실제로 본 연구에서는 기계식 모션캡처 장비인 Extra, 광학식 모션캡처 장비인 Qualisys를 사용하여 모션캡처를 실시했으나 만족할만한 결과를 얻지 못하였다. 먼저 Extra는 사용자가 입는 장치의 로드들이 실험장치에 걸리는 문제점이 있었으며, 광학식 장치는 실험장치에 가려지는 부분이 발

생하여 어려움을 겪었다. 이에 비해 Gypsy Gyro 는 기존 장비의 문제점을 모두 극복하고 있으며, 다만 두 발이 떨어지는 순간 z 값을 인지하지 못한다는 문제가 있으나 차량의 높이를 알고있는 상황에서는 큰 문제가 되지 않는다.



Fig. 3 Motion capture using a Gypsy Gyro system

본 실험에서의 얻어진 모션을 Gypsy Gyro 장비와 직접적으로 실시간 연동되는 프로그램 안에서의 재현하는 모습과 Motion Builder 프로그램으로 재현하는 모습이 Fig. 4 (a)와 (b)에 각각 나타나있다. 이 과정은 측정된 모션데이터가 제대로 얻어졌는지 검증하는 필수적인 단계이며, 특히 얻어진 파일의 포맷을 이후 생체해석과 같은 응용 소프트웨어에서 요구하는 다른 포맷으로 변환하는데 필요한 과정이다.

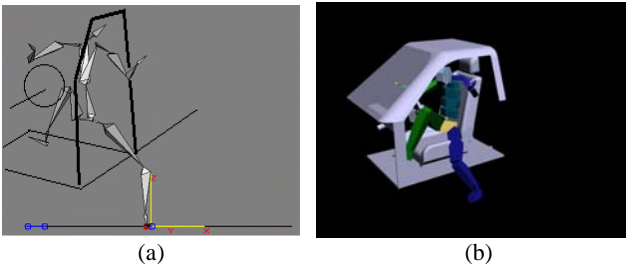


Fig5. Motion simulation: (a) a software directly connected with Gypsy Gyro system, (b) Motion Builder 7.5

4. 생체역학 시뮬레이션

본 연구에서는 전신에 대한 생체역학적 해석을 Life Modeler 를 사용하여 실시하였다. 이를 위하여 먼저 실험 대상자의 몸 전체 골격 및 기구에 대해 파라미터값을 측정하고, 인체와 기구를 적절히 통합한 후 인체와 기구와의 접촉 가능 영역에 접촉력(contact force)를 주어 최대한 실제의 실험 환경과 최대한 동등하게 설정한 후 모션 캡처 장비로부터 얻은 모션 데이터를 Life Modeler 에서 지원되는 포맷에 맞게 변환시켜 해당 동작에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 6 은 Life Modeler 에서 사용된 인체와 기구의 모델을 보여주고 있으며, Fig. 7 은 0 초부터 4.5 초까지의 승하차시 인체모델의 3 개 조인트에 걸리는 힘의 변화를 나타내는 그래프를 보여주고 있다.

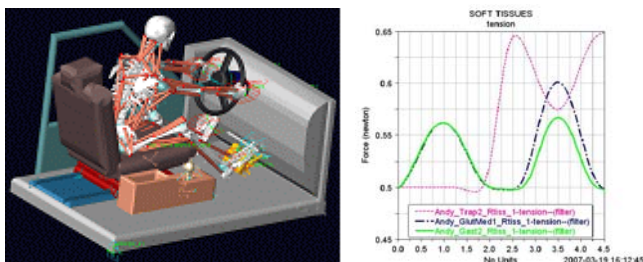


Fig. 6 Biomechanics analysis using Life Modeler: (a) human-car integrated model, (b) forces on joints of human body.

5. 안락도 평가

승하차의 안락도는 대표 근육(representative muscle)에 대한 MVC(maximum-voluntary-contraction)와 각 관절의 조인트 각도에 대한 값을 기준으로 판단할 수 있다.^{12, 31} 여기서 특정 모션에 대한 대표 근육(representative muscle)이란 특정 근육에 걸리는 응력의 비율이 30% 이상일 때 그 근육을 지칭하는 용어이며, MVC란 어느 한 근육의 최대 힘에 대하여 특정 운동시 걸리는 힘에 대한 퍼센트 비율을 의미한다. Fig. 6 (a)와 (b)는 placing inner foot, sitting, standing up 의 승하차에 관련되는 동작들의 대표근육 3 가지에 대한 MVC의 값과 무릎 조인트 각에 대한 MVC 값의 그래프를 보여주고 있다.

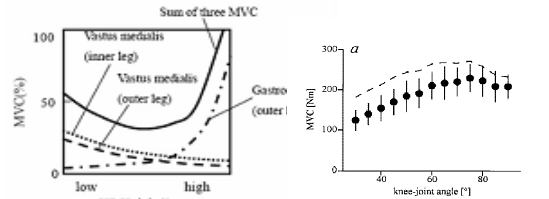


Fig. 6 MVC of representative muscles and knee-joint angle in ingress/egress motion

5. 새로운 도어 설계

위의 실험과 해석을 통하여 현재 양산되고 있는 승용차의 승하차시 운전자가 느끼는 안락도에 대해 분석한 결과 목과 무릎 그리고 어깨에 대한 근육과 관절에 들어가는 힘이 크다는 것을 알게 되었다. 이러한 불편을 해소시키기 위하여 새로운 타입의 도어 시스템을 설계하였다. 이 도어의 특징은 루프의 운전석 위부분이 문과 함께 위로 열려서 승하차시 머리를 숙일 필요가 없다는 것이다. 새로운 모델에 대해 모션 캡처를 하여 승하차의 동작을 시뮬레이션한 결과 운전자의 근육과 조인트에 걸리는 부하가 현저히 감소했음을 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 새로운 타입의 승용차 도어 시스템의 개발에 생체역학적인 해석을 통하여 그 안락도를 정량화시켜 판단하였으며, 나아가 이러한 실험 데이터를 계속 축적한다면 향후 완전한 가상 설계 및 시험 사이클을 돌릴 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해서 보다 많은 실험과 함께 가상 인체 모델 생성 및 모션 생성 기능이 개발되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 이상헌 외, "인간공학적 제품 개발을 위한 디지털 인체 모델링", 한국 CAD/CAM 학회지, Vol. 13, No.1, 2007.
2. Dufour, F., Wang, X., "Discomfort Assessment of Car Ingress/Egress Motions using the Concept of Neutral Movement", Digital Human Modeling for Design and Engineering Symposium, SAE Paper 2005-01-2706, 2005.
3. Namamoto, K. et al, "Quantitative analysis of muscular stress during ingress/egress of the vehicle", JSAE Review, Vol.24, pp.335-339, 2003.
4. Wang, X. et al, "A Motion Simulation Approach Integrated into a Design Engineering Process", SAE Paper 2006-01-2359.
5. Wang, X. et al, "From Motion Capture to Motion Simulation: An In-vehicle Reach Motion Database for Car Design", SAE Paper 2006-01-2362, 2006.