◎ 논 문

http://data.doi.or.kr/10.22680/kasa2024.16.1.055

자율주행자동차 탑승객의 편의자세 연구를 위한 실험기구 설계

김성호* · 방승환** · 조영주* · 신재호***,†

Design of Experimental Equipment for Evaluating Relaxed Passenger Postures in Autonomous Vehicle

Seongho Kim*, Seunghwan Bang**, Youngju Jo*, Jaeho Shin***,†

Key Words: Seat design(시트 설계), Relaxed posture(편의자세), Comfort(안락성), Driving simulator(주행 시뮬레이터), Autonomous vehicle(자율주행자동차)

ABSTRACT

The advancement of autonomous driving technology is expected to transform cars beyond mere transportation into multifunctional spaces for relaxation and entertainment. As autonomous driving technology becomes more sophisticated, with no need for direct driver control, the interior space of vehicles is anticipated to be utilized for various purposes. Consequently, the importance of car seats, the component most frequently interacted with by passengers during travel, is expected to significantly rise. However, existing car seats are designed according to a seated posture, necessitating verification for passenger safety and seat structure considerations in the context of autonomous driving, where comfortable postures may differ. For these reasons, it is anticipated that the seats of future autonomous vehicles will evolve with the incorporation of additional safety and convenience features. In this study, a three-axis car simulator was employed to investigate seat angles for comfortable postures of passengers in autonomous driving scenarios. Representative postures were identified to enhance passenger convenience. Furthermore, functional design factors contributing to passenger comfort were applied to conduct seat design, seat structure, and collision analysis, with an analysis of the interrelationships among design factors.

1. 서 론

자율주행자동차는 운전자 또는 승객의 조작 없이 스스로 운행 가능한 자동차를 의미하며 자율주행의 기술발전으로 사람이 운전하는 전통적인 자동차에 비해 자동차 운행 시 교통사고를 최소화하여 승객의 안전 확보를 획기적으로 개선할 것으로 예상되고 있다.(1)

이러한 추세에 맞게 자동차 제작사들은 자율주행 기술이 탑재되어 있는 자동차를 앞다투어 출시하고 있으며, 미국자동차공학회(SAE)의 자율주행자동차 Level 기준으로 3단계에 해당하는 자율주행자동차를 선보이고 있다. 자율주행자동차는 시간이 지남에 따라 단순히 운전자가 없는 운송수단뿐만 아니라 사물인터넷과 친환경 기술 등이 어우러진 새로운 개념의 융합 모델로 움직이는 전자제품, 움직이는 로봇, 움직이는 생활공간 등으로 정의되고 있다.(2) 특히 이러한 자동차의 변화로 자동차 실내 공간의

* 경일대학교 대학원 기계공학과, 학생
** 경일대학교 스마트디자인공학부, 학생
*** 경일대학교 스마트디자인공학부, 교수
†교신저자, E-mail: jhshin@kiu.k

자동차안전학회지: 제16권, 제1호, pp. 55~61, 2024
논문접수일: 2023.12.5, 논문수정일: 2023.12.12, 게재확정일: 2023.12.13

중요성이 확대되고 있고 특히 탑승객과 가장 많은 접촉을 하고 탑승객의 편의성을 제공하는 부품인 자동차 시트의 설계가 매우 중요해질 것으로 예상되어 자율주행자동차 시트는 탑승객에게 더 안락하고 편안한 승차 경험을 제공하도록 진화할 것으로 전망된다. 또한 자율주행자동차의 유연한 좌석 배치를 위해 자동차 실내 공간은 넓어지고, 스위블 시트(Swivel seat) 등이 적용되어 뒷좌석의 탑승객과 마주 보거나 좀 더 다양한 탑승객의 편의자세 등이 가능할 것으로 예상된다.[3,4] 반면에 릴랙스 착좌 모드에서 정면충돌 시 상해위험도는 최대 2.5배 이상 발생하며 스위블 시트 착좌 시 회전 각도에 따른 좌석의 방향에 따라 승객 부상의 위험이 있을 수 있다.[5,6] 또한 자동차 시트가 독립적으로 움직이면 자동차 센터필라와 연결되어 있는 기존 시트벨트시스템이 시트 부품에 고정되는 BIS(Belt in seat) 방식으로 변경될 것이고, 기존 자동차의 트림에 내장되어 있는 에어백 중의 일부는 시트 자체에 내장되는 방식으로 설계되어 자율주행자동차 시트와 시트 부품의 설계에 많은 변화가 예상된다. 한편 자동차 탑승객이 느끼는 편안함은 시트 폼의 물성과 폼의 형상, 시트 폼 커버 재질의 차이 등 자동차 시트의 다양한 요소들이 복합적으로 작용하여 탑승객의 안락감에 영향을 미친다. 안락감은 탑승객의 주관적인 느낌이기 때문에 자동차 시트의 안락성을 정량화하여 시트를 제작하기에는 한계가 있다. 또한 자동차 시트의 안락성은 시트 탑승객의 자세와 밀접한 관련이 있고 탑승객이 느끼는 안락감은 본능적으로 생리학적, 생체역학적으로 가능한 한도 내에서 에너지 소비를 최소화하는 자세를 찾으려고 하는 것으로 알려져 있다.[7,8]

자동차 탑승객의 안락한 자세는 오래전부터 많은 연구가 진행되었으며, 여러 선행연구에서 운전자가 선호하는 자세를 측정하고 분석하여 안락한 자세 및 시트설계에 대해 연구하였다.[9,10] 또한 자동차 탑승객은 착좌자세에서의 압력 분포의 차이가 안락감과 연관이 있는데 인체와 자동차 시트 사이의 압력분포를 측정하고 분석하는 연구도 진행되었다.[11] 특히 자동차 탑승객의 자세와 위치에 따른 압력분포를 분석하기 위해 인체 유한요소모델(Human body model)을 적용한 연구도 증가하고 있다.[12,13]

현재 자율주행자동차의 승객 안전에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 자율주행자동차 탑승객의 예상되는 착좌 자세와 안락감에 대한 연구는 미흡한 편이다. 따라서 본 연구에서는 자율주행 시 탑승객이 선호하는 자세를 정량화하고, 탑승객의 착좌 자세를 평가하기 위해 실험기구를 제작하였으며. 동적인 상황과 정적인 상황에서의 탑승객의 자세를 비교 및 평가하고 자율주행자동차 전용 시트 및 시트 부품의 생체역학적 기본설계 자료를 제공하고자 연구를 수행하였다.

2. 실험 기구의 구성 및 설계

2.1. 시트의 안락감 평가 요소

자율주행자동차 탑승객의 자세를 분석할 수 있는 실험기구를 설계하기 위해 탑승객의 안락감에 영향을 줄 수 있는 요소를 분석하였다. 자동차 시트에서 가장 대표적 자세 제어 기능인 시트 등받이(Seat back) 각도 조절 기능은 대부분의 자동차 시트에 적용되고 있다. 하지만 시트 쿠션(Seat cushion)과 다리 받침대(Leg rest)의 각도 조절 기능은 고급 승용자동차나 고급 대형승합차 등에만 적용되고 있고 점차 시트 쿠션(Seat cushion)과 다리 받침대(Leg rest)의 각도 조절 기능을 적용한 자동차의 보급이 확대되고 있다. 기존 자동차에 적용되었던 기술과는 달리 자율주행자동차에서는 좀 더 편한 자세를 취하기 위해 다리 받침대(Leg rest)와 발판(Foot rest)의 유무에 따라 탑승객의 선호 자세 및 안락감 등에 영향이 미칠 것으로 예상된다. 스위블 시트 형식을 고려할 경우 시트의 회전 등으로 팔걸이(Arm rest)의 유무에 따라 안락감에 영향을 줄 것이라고 생각되고, 기존 시트의 머리 받침대(Head rest)는 베개와 같은 기능은 아니지만 편의자세에서 주행 중 머리를 지지하는 기능이 추가되어 탑승객 안락감에 영향을 주는 요소로 변화될 것으로 보인다. 또한 승객마다 신체 크기가 다르기 때문에 시트 자체의 길이를 조절하는 기능은 탑승객의 안락감에 많은 영향을 줄 것으로 판단된다. 탑승객의 선호하는 자세를 평가하기 위한 자동차 시트의 주요 요소는 Fig. 1과 같다.

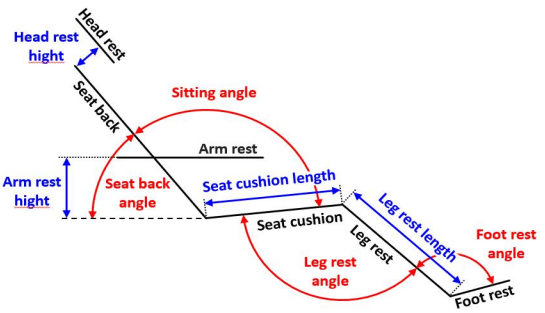


Fig. 1 Comfort elements of a concept model

2.2. 실험 기구 설계

탑승객의 편의자세를 평가할 수 있는 시트 실험기구를 설계하기 위해 시트의 기본 구조인 시트 등받이(Seat back), 시트 쿠션(Seat cushion), 다리 받침대(Leg rest), 머리 받침대(Head rest) 등으로 구성하고 탑승객의 안락감 요소인 각도 조절 기능과 길이 조절 기능 등을 시트 실험 기구에 적용하기 위해 부하 하중 2500 N, 무부하 시 2 mm/s의 속도를 가지는 리니어 액추에이터에 의해 구동될 수 있도록 구성하였다. 3차원 설계 프로그램인 CATIA V5를 사용하여 설계를 수행하였으며, 설계된 시트 등받이(Seat back)의 가로, 세로 길이는 500 mm × 600 mm, 시트 쿠션(Seat cushion)의 가로 길이는 350 mm ~ 550 mm, 세로 길이는 500 mm, 다리 받침대(Leg rest)의 가로, 세로 길이는 250 mm × 500 mm로 설계하였으며, 실험기구의 전체적인 형상은 Fig. 2와 같다.

시트 등받이(Seat back) 각도 조절 기능은 자율주행 상황에서는 탑승객이 Full-flat 자세를 취할 가능성이 있기 때문에 0°에서 90°까지 움직일 수 있도록 설계하였으며, Full-flat 상태에서 피실험자의 하중이 집중되는 것을 분산하기 위해 2개의 액추에이터를 적용하여 구조적 안전성을 확보하였으며, 작동 형상은 Fig. 3과 같다.

시트 쿠션(Seat cushion)는 0°에서부터 90°까지의 자유도를 부여하였으며, 시트 쿠션(Seat cushion)에는 탑승객의 대부분의 하중이 분포하여 역시 2개의 액추에이터를 적용하였다. 또한 시트 쿠션(Seat cushion)의 길이 조절 기능을 구현하기 위해 슬라이드가 되는 형태로 설계하였으며, 최소 350 mm에서 최대 550 mm까지 길이 조절이 가능하도록 설계하였다. 시트 쿠션(Seat cushion)의 대략적인 구조는 Fig. 4와 같다.

다리 받침대(Leg rest)는 시트 등받이(Seat back)의 구동방식과 동일하며, 시트 쿠션(Seat cushion) 길이가 변경되면 함께 움직이도록 설계하였다. 또한 Foot support을 추가하여 다리 받침대(Leg rest)의 움직이는 각도에 따라 탑승객이 발을 고정할 수 있는 발판이 같이 움직이도록 하였으며, 탑승객이 원하지 않으면 발판을 제거할 수 있도록 설계하였다. 다리 받침대(Leg rest)에도 시트 쿠션(Seat cushion)과 동일하게 슬라이드 형식으로 다리 받침대(Leg rest)의 길이 조절이 가능하도록 하였으며, 최소 310 mm에서 최대 510 mm까지 길이 조절이 가능하도록 설계하였다. 다리 받침대(Leg rest)의 대략적인 구조는 Fig. 5와 같다.

머리 받침대(Head rest), 팔걸이(Arm rest)는 단순히 상하 운동을 하는 기능만 고려하였으며, 모듈 형식의 동일한 구조로 설계하였다. 머리 받침대(Head rest)와 팔걸이(Arm rest)의 작동 방식은 각각 Fig. 6과 Fig. 7에서 보여주고 있다.

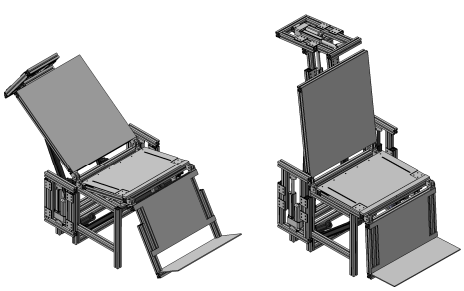


Fig. 2 Seat designed with comfort elements

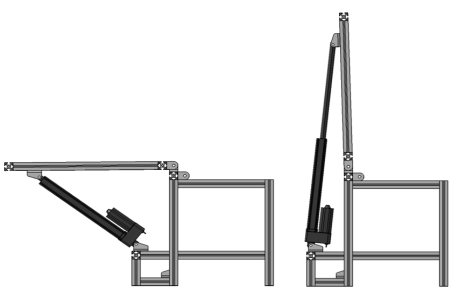
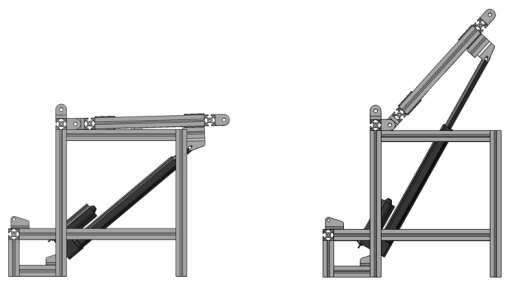
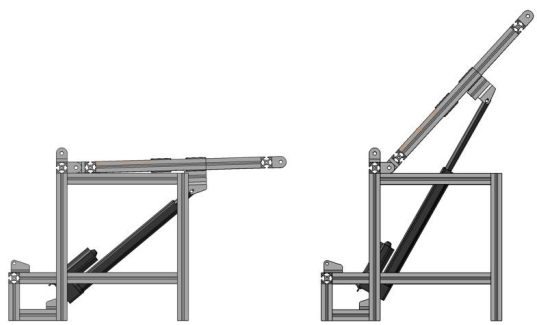


Fig. 3 Seat back mechanism operations (Left 0°, Right 90°)

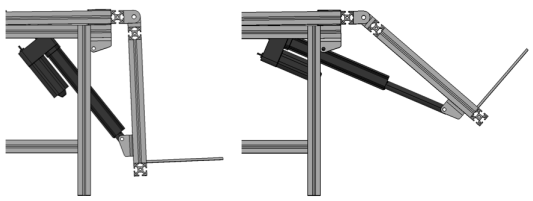


(a) Minimum length of seat bottom

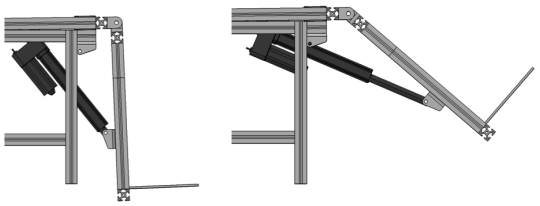


(b) Maximum length of seat bottom

Fig. 4 Seat bottom operation mechanism



(a) Minimum length of leg rest



(b) Maximum length of leg rest

Fig. 5 Leg rest operation mechanism

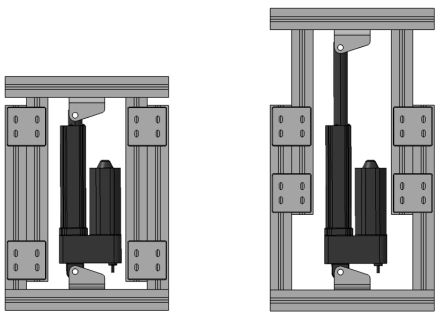
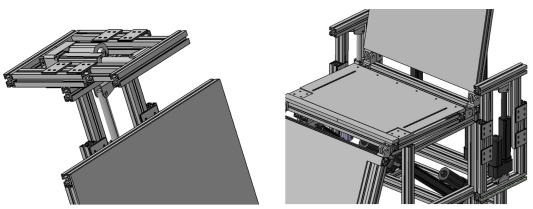


Fig. 6 Operating mechanism of the designed module (Left: Inoperative, Right: Operative)



(a) Head rest (b) Arm rest

Fig. 7 Operation mechanism of head rest and arm rest

3. 실험 기구 제작 및 제어

3.1. 실험 기구 제작

앞서 분석한 탑승객의 안락감에 영향을 줄 수 있는 요소 중 시트 실험 기구의 기본 구조와 기능을 고려한 시트 등받이(Seat back), 시트 쿠션(Seat cushion), 다리 받침대(Leg rest), 머리 받침대(Head rest)와 주요 작동 기능 요소를 반영하여 시트 실험 기구를 제작하였다. 실험 기구는 설계한 도면을 바탕으로 제작되었으며, 사용된 주요 부품은 알루미늄 프로파일(30 mm × 30 mm)과 프로파일을 고정하기 위한 부속품 등이다.

시트 등받이(Seat back)의 구동과 안전을 위해 2개의 액추에이터를 설계 사양으로 적용하였으나 제작 시 1개의 액추에이터를 적용한 경우에도 구동과 하중 지지에 무리가 없음을 확인하였다.

또한 시트 쿠션(Seat cushion)의 슬라이드 기능을 적용하여 프레임을 제작하였으나 시트 쿠션(Seat cushion)의 폼(Foam)의 길이를 조절할 수 없어 450 mm의 길이로 제작하였다. 실험 기구에 사용된 폼(Foam)은 실제 자동차 시트에 많이 사용되고 있는 단단한 경도의 25 kg/m^{3}의

Fig. 8 Manufactured experimental seat model

Fig. 9 Experimental seat model and a test subject

밀도를 가지는 폼(Foam)을 사용하여 제작되었으며, 시트 커버(Seat cover)는 실제 가죽이 아닌 인조가죽을 사용하여 시트를 완성하였다. 완성된 시트 실험 기구는 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

3.2 실험 기구 제어

자율주행자동차 탑승객의 편의자세 측정실험 진행 시 피실험자들이 실시간으로 자유롭게 시트의 주요 부위의 각도를 조정할 수 있도록 하기 위해 시트 등받이(Seat back), 시트 쿠션(Seat cushion), 다리 받침대(Leg rest)의 각도를 조절하는 컨트롤러를 구성하였다. 자세 컨트롤러에 정지, 상승, 하강 버튼을 구성하여 부위별 각도를 변경할 수 있도록 하였다. 또한 사고를 예방하기 위한 안전장치로 작동 정지 스위치도 함께 Fig. 10과 같이 컨트롤러에 적용하였다.

4. 실험 및 측정

4.1. 편의자세 실험방법

자동차 시트의 안락성 및 편의자세에 관한 연구는 대부분 자동차의 주행조건 등이 반영된 동적인 상황을 고려하지 않고 고정된 시트에서 피실험자의 자세 또는 안락성 평가를 수행하였다.[7~10,14] 자동차 주행 상황에서는 자동차가 정지된 상황과는 다르게 차량 가감속 및 회전에 따른 차량 및 시트의 진동과 승객및 시트의 동적인 접촉에 의한 상대 위치의 변화 등 여러 변수가 있기 때문에 탑승객이 실주행에서 느끼는 안락감에 다양한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 자동차가 정차한 경우의 정적인 상황과 실도로 주행의 동적인 상황을 각각 구현하여 탑승객의 편의자세를 평가하였다.

정적인 상황에서의 편의자세 측정은 단순히 시트 실험기구를 연구실 바닥 면에 고정 후 피실험자가 시트 실험기구의 각도를 변경시켜 가장 안락한 각도로 설정하도록 하여 시트각도를 측정하였다. 실도로 주행을 모사한 동적인 상황에서의 편의자세 측정은 주행 상황을 구현하기 위해 Fig. 11과 같이 3축 주행시뮬레이터에 시트 실험 기구를 장착하여 실험을 수행하였다.

자율주행 조건을 구현하기 위해 두 대의 주행시뮬레이터 구동 프로그램을 서로 연결하여 주행시뮬레이터의 조향과 가감속이 서로 공유되도록 설정하였고 1번 주행시뮬레이터(Master)의 주행환경이 원격주행으로 2번 주행시뮬레이터(Slave)에서 자율주행 상황으로 구현되도록 Fig. 12와 같이 설정하였다. 자율주행자동차와 유사한 환경을 구현하기 위해 주행시뮬레이션 프로그램을 승용자동차와 일반 도심 주행 도로로 설정하였다. 실제 도로 주행에 능숙한 운전자가 1번 주행시뮬레이터를 작동시키고 동일한

Fig. 10 Experimental apparatus controller

Fig. 11 Dynamic experimental test setup

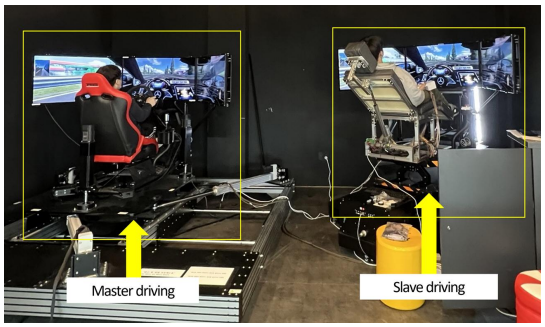


Fig. 12 Remote driving simulations (Left: Master driving, Right: Slave driving)

운전 상황이 원격주행으로 2번 주행시뮬레이터에 구현되어 2번 주행시뮬레이터에 탑승한 승객이 주행 중에 시트 각도를 조절하여 편의자세를 설정할 수 있도록 하였다.

4.2. 탑승객의 편의자세 측정

정적인 조건과 동적인 조건에서의 탑승객의 편의자세를 분석하기 위해 시트 실험 기구를 이용하여 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 키와 몸무게가 대한민국 성인 남자 평균에 가까운 피실험자(177 cm, 78 kg)가 실험에 참여하였다. 정적인 조건에서의 피실험자 편의자세의 세부 각도를 측정한 결과, Table 1과 같이, 시트 등받이 각도(Seat back angle)는 바닥면과 25.7°, 탑승객 착좌 각도(Sitting angle)는 125.9°이며, 무릎 각도(Leg rest angle)는 시트 쿠션(Seat cushion)을 기준으로 152.3°가 측정되었다. 반면에 동적인 조건에서의 편의자세는 시트 등받이 각도(Seat back angle)가 바닥면과 약 36.6°, 탑승객 착좌 각도(Sitting angle)는 115.9°, 무릎 각도(Leg rest angle)는 시트 쿠션(Seat cushion)을 기준으로 137.4°가 측정되었다.

정적 및 동적 조건에서의 편의자세를 비교한 결과, Fig. 13과 같이, 정적인 조건에서의 시트 등받이 각도(Seat back angle)가 동적인 조건 보다 11.6°만큼 더 기울여졌다. 또한 두 조건에 대한 탑승객의 착좌 각도(Sitting angle)는 9.8°, 무릎 각도(Leg rest angle)는 14.9°가 차이나는 것이 확인되었고 주행조건에서의 자세가 정적 조건에서의 자세보다 좀 더 곧추(Upright) 앉은 자세에 가까운 것으로 나타났다.

Table 1 Experimental results

Conditions	Seat back	Sitting	Leg rest
Static (°)	25.7	125.7	152.3
Dynamic (°)	36.6	115.9	137.4

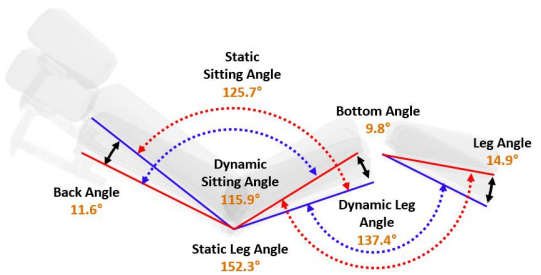


Fig. 13 Comparison of static and dynamic angle results

5. 결 론

본 연구에서는 자율주행자동차 탑승객의 편의자세를 정적인 자세와 동적인 자세로 평가하기 위해 여러 안락감에 영향을 줄 수 있는 요인들을 분석하여 시트 실험 기구를 설계하였다. 시트 등받이(Seat back), 시트 쿠션(Seat cushion), 다리 받침대(Leg rest), 머리 받침대(Head rest) 등 시트의 주요한 기능을 포함한 실험 기구로 1차 시트 모델로 제작하였다. 시트 실험 기구용 전용 컨트롤러를 장착하여 실험 수행 시 피실험자가 실시간으로 시트의 세부 각도를 제어할 수 있도록 하였다. 또한 자율주행 조건을 구현하기 위해서 두 대의 주행 시뮬레이터 장비를 이용하여 원격주행으로 시트가 움직이도록 구현하여 주행 중 시트의 편의자세를 측정하였다. 정적과 동적 실험결과를 비교하여 동적인 조건에서의 실험 결과가 좀 더 곧추 앉은 자세에 가까운 것으로 분석되었다. 정적인 조건에서 피실험자는 시트에 탑승 시 자신이 느끼는 안락한 자세를 찾기 위해 시트를 조절하였고, 동적인 주행조건에서는 주행 중 신체를 좀 더 구속하기 위해 시트 각도를 조절한 것으로 파악된다. 이러한 결과를 동적 조건의 안락감은 정적 조건의 안락감과의 차이가 분석되었다. 향후 다양한 신체조건의 여러 피실험자의 실험이 추가 수행되어 주행 중 편의자세의 종합적 분석이 필요하다. 또한 좀 더 다양한 주행조건(급가속, 급감속, 급회전 등)에서의 편의자세 연구도 필요하다고 판단된다.

자동차 탑승객의 편의자세를 분석한 연구결과는 인체공학적 시트개발 및 자율주행자동차 전용 시트의 설계기술개발의 기초연구자료로 제공될 수 있을 것으로 예상된다. 추후 연구에서는 피실험자 수의 확대와 시트 폼의 형태와 물성에 따른 탑승객의 안락감의 분석 등이 수행될 예정이고, 시트 실험 기구를 개선하여 머리 받침대(Head rest), 팔걸이(Arm rest), Foot support, 시트 쿠션(Seat cushion) 길이 조절 등을 반영한 2차 시트 실험 기구 제작 및 편의자세 측정실험 등이 수행될 예정이다.

후 기

본 연구는 '자율주행기술개발혁신사업, 주행 및 충돌상황 대응 안전성 평가기술 개발'의 연구 결과로서 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자분들께 감사드립니다.

참고문헌

(1) 국토교통부, 2020, “자율주행자동차 윤리 가이드 라인,” https://www.molit.go.kr/USR/policyData/m_34681/dtl.jsp?id=4508

(2) 김필수, 2016, “최근 자율주행차 개발 현황 및 향후 발전가능성은?,” SW정책연구소 석학세미나 발표.

(3) Jorlöv, Sofia, Katarina Bohman, & Annika Larsson, 2017, “Seating positions and activities in highly automated cars–a qualitative study of future automated driving scenarios,” International research conference on the biomechanics of impact, pp. 13~22.

(4) 한만용, 최형연, 2023, “자율주행차 선호 좌석 및 착석 자세에 대한 연구,” 안전문화연구, Vol. 21, No. 21, pp. 165~180.

(5) 이석민, 정가람, 이동오, 박해권, 이규상, 고영경, 이재현, 2020, “릴렉스착좌 모드 대응 동승석 에어백 개발,” 한국자동차공학회 추계학술대회.

(6) Zhao Li, Ruth Gao, Robert Mccoy, Hongyu Hu, Lei He, Zhenhai Gao, 2023, “Effects of an integrated safety system for swivel seat arrangements in frontal crash,” Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, Vol. 11, No. 1153265.

(7) Elton, Bob, and Robert Hubbard, 1993, “Using anthropometric data to improve seat back comfort in current and future passenger car seats,” SAE Technical Paper, No. 930111.

(8) Judic, J. M., Cooper, J. A., Truchot, P., Van Effenterre, P., & Duchamp, R., 1993, “More objectives tools for the integration of postural comfort in automotive seat design,” SAE Technical Paper, No. 930113.

(9) Matsuoka, Y., & Hanai, T., 1988, “Study of comfortable sitting posture,” SAE Technical Paper, No. 880054.

(10) Park, S. J., Kim, C. B., Kim, C. J., & Lee, J. W., 2000, “Comfortable driving postures for Koreans,” International journal of industrial ergonomics, Vol. 26, No. 4, pp. 489~497.

(11) Reed, M. P., 1998, “Statistical and Biomechanical Prediction of Automobile Driving Posture,” University of Michigan Transportation Research Institute.

(12) Grujicic, M., Pandurangan, B., Arakere, G., Bell, W. C., He, T., & Xie, X., 2009, “Seat–cushion and soft–tissue material modeling and a finite element investigation of the seating comfort for passenger–vehicle occupants,” Materials & Design, No. 10, pp. 4273~4285.

(13) Du, X., Ren, J., Sang, C., & Li, L., 2013, “Simulation of the interaction between driver and seat,” Chinese Journal of Mechanical Engineering, No. 26, pp. 1234~1242.

(14) Jain, R., & Pandey, R., 2009, “A study on the role of body posture on static seating comfort,” SAE Technical Paper, No. 2009–26–0080.