JESK J Ergon Soc Korea 2021; 40(4): 221-233
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2021.40.4.221
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

An Objective Evaluation Biomechanical Method of Seat Discomfort to Sedan Driver's Seat During Long-term Driving

Dong Hyun Kim[1], Seung Won Park[2], Jun Won Choi[3], Han Sung Kim[3]

[1]Hyundai Motor Group, R&D Division, Gyeonggi, 18280
[2]Yonsei University, Department of Biomedical Engineering, Seoul, 04066
[3]Yonsei University, Department of Biomedical Engineering, Wonju, 26493

생체역학 관점에서 장시간 운전 시 승용차 운전자석 불편함의 객관적 평가 방법 제시

김동현[1], 박승원[2], 최준원[3], 김한성[3]

[1]현대자동차
[2]연세대학교 신촌캠퍼스 의공학과
[3]연세대학교 원주캠퍼스 의공학과

Corresponding Author
Han Sung Kim
Yonsei University, Department of Biomedical Engineering, Wonju, 26493
Email : hanskim@yonsei.ac.kr

Received : April 26, 2021
Accepted : July 01, 2021

Copyright@2021 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The aim of this study is to suggest that an objective biomechanical evaluation method of seat discomfort to sedan driver's seat during long-term driving.

Background: Recent modern car seat has become increasingly complexed and sophisticated with ongoing seat discomfort problems. Consumers' demands for better seat comfort have also increased but most of them still choose car seats in the wrong way. Previous researches have recommended quantifying overall car seat discomfort based on questionnaire, analysis driving posture, pressure, physiological changes and etc. Although various studies have been presented to objectively evaluate the seat comfort, but the standard for objectively evaluating seat discomfort has not been established.

Method: Ten males were recruited to participate in a laboratory study. All participants performed three trials according to the seat back angle and each trials was conducted on different day. Each trial was consisted of 120 minutes of continuous driving on different day. The method proposed for the seat discomfort evaluation assumes that the driver's discomfort were related to the load of lumbar region, and that the load was only caused by the upper body of the driver. In order to calculate the load, the driver's driving posture was captured by using Kinect v2 sensors, and the reaction force was measured by attaching a pressure distribution mat to the seat back and pan. The questionnaire survey was conducted through long-term driving according to the backrest angle. The results were conducted with correlation analysis between results of the questionnaire and estimated lumbar moment calculated by load and reaction force.

Results: The results show that the discomfort of questionnaire rating increased over time at the lumbar region. Also, at 87° and 107°, the overall discomfort rating was higher than it at 97°. In addition, over time, we found an increase both seat pressure and estimated lumbar moment. The correlation analysis results show that the higher correlation between the changes of difference discomfort rating and the calculated lumbar moments, the lower the discomfort.

Conclusion: This study results suggest that an objective evaluation biomechanical method could be served as a standard for evaluating seat discomfort.

Application: The results of this study might help to prolong the 'good' driving posture during long term driving that can reduce the driver's seat discomfort by evaluating biomechanical method and a system that might be helpful to car seat development process through objective evaluation.

Keywords: Seat discomfort, Long-term driving, Biomechanical evaluation method, Driving posture, Markerless motion capture

1. Introduction

자동차 관련 기술들의 비약적인 발전으로 제조회사들 간의 기술 격차가 줄어들면서, 자동차를 구매하는 소비자들 입장에서 자동차의 디자인은 자동차를 선택하는 중요한 요소가 되었다. 자동차를 선택하게 되는 디자인 요소는 자동차의 외관뿐만 아니라 내관 인테리어 또한 중시되고 있다. 자동차의 내관 인테리어에서 큰 비중을 차지하는 자동차 시트는 운전이라는 작업을 수행하는 공간으로써 그 역할이 매우 중요하다. 최근에는 눈부신 자동차 산업의 발전으로 자동차 시트 공간은 작업을 수행하는 기능적 측면을 넘어서 운전자에게 안락감을 제공할 수 있는 공간에 대한 요구가 증대되고 있다(Runkle, 1994).

기존의 자동차 시트의 안락감을 평가하는 방법은 운전자가 자동차 시트에 착석하는 동안 느끼는 주관적인 평가로 분류되어 왔다. 자동차 시트의 안락감을 평가하는 가장 전통적이고 보편적인 방법은 좌석을 사용하는 잠재적 소비자가 짧은 시간 동안 시트의 안락한 느낌을 다른 시트와 비교하는 것으로 알려져 있다(Straker et al., 2009; Negrini and Negrini, 2007). 하지만 이전에 제시된 자동차 시트의 안락감 평가 방법은 소비자 개개인의 주관적인 감정과 시공간적 환경에 따라 그 결과가 달라지며 안락감이라는 주관적 감정은 평가자 개개인의 경험에 의해 결정되는 요소이기 때문에 객관적인 측정이 어렵다(De Looze et al., 2003). 또한 많은 비용과 시간이 소요되며 안락감 평가 결과의 재현성이 낮다는 단점이 있다.

자동차 제조회사들은 이러한 어려움을 극복하고 안락한 자동차 시트를 제공하기 위하여 다양한 방법들을 시도하였다. 대표적인 방법으로는 피험자를 대상으로 하는 설문조사(Kyung et al., 2007)와 시트 착석 시 발생하는 압력분포 데이터를 이용한 안락감 평가(Kolich and Taboun, 2004; Kyung and Nussbaum, 2008; Kolich, 2003; Kolich, 2004) 등이 있다. 설문조사의 경우 안락감을 평가하기 위해 다양한 방법론이 제기되어 왔지만, 직관적인 평가가 어렵고 시간이 오래 걸리며 결과의 재현성이 낮다는 단점이 있다. 압력분포 데이터의 경우 다양한 연구에서 활용되어 왔지만, 안락감을 평가하는 지표로 사용되기에 연구들 간의 상이한 결과가 발생하였다(Porter et al., 2003). 이를 보완하기 위해 불편함이 인체 근육의 피로에 의해 발생한다는 관점에서 인체 생리학적 변화를 관찰하는 연구들이 수행되어 왔다(Reynolds et al., 1996; Jianghong and Long, 1994). 하지만 착좌 자세에서 근피로를 야기할 수 있는 수치 확인이 어려웠고 불편함과 유의성이 낮은 것으로 확인되었다.

기존의 방법들을 단점을 극복하고자 인체 해부학 정보가 반영된 생체역학적 관점에서의 착좌 자세 평가 방법들이 고안되었다. 기존 연구들에 따르면 잘못된 운전 자세에 의해 운전자의 상체 무게가 요추와 골반 부위에 하중이 집중되는 현상을 보여 불편함을 야기할 수 있다고 보고하였고 좋은 착좌 자세를 제시하면 불편함을 제거할 수 있을 것으로 기대하였다(Meakin et al., 2008; McGil et al., 2006; Gregory et al., 2006; Zenk et al., 2012). 특히 요추 부위 불편함의 경우 골반 후방 회전에 의해 요추 부위 근육과 인대에 하중이 인가되어 통증을 일으켜 발생하는 것으로 알려져 있다(Adams et al., 1999; McGil et al., 2006). 불편함을 유발하는 착좌 자세에 측정과 이를 해석하여 불편함을 예측하는 다양한 연구들이 이루어져 왔다.

하지만 불편함을 예방하기 위해 자동차 운전 시 좋은 착좌 자세에 대한 연구들은 단시간 불편함 해소 효과에 초점을 맞추고 있다(Kolich, 2008). 대부분의 소비자들은 시트 안락감에 대해 자동차 전시 공간에서만 판단하며 장시간 운전 시 발생하는 불편함에 대해서 간과하는 경향이 있다고 알려져 있다(Mansfield, 2004). 이전 연구들을 토대로 시트 안락감을 정확하게 평가하기 위해서 80~110분 정도의 시간이 필요하다고 알려져 있다(Porter and Gyi, 1998; Kolich, 2003). Porter et al. (2003)의 견해에 따르면 기존의 시트 안락감 평가

방식은 장시간 운전 시 발생하는 누적 피로 영향을 고려하지 않고 단시간 피험자의 주관적 견해 및 생체역학적 해석에만 국한되어 있다고 지적하였다. Adler et al. (2006)의 연구에 따르면, 운전자는 인체에 가해지는 변화에 대응하여 인체 항상성을 유지하기 위해 무의식적으로 몸을 움직인다고 하였으며 이로 인해 장시간 운전 시 착좌 자세는 시간에 따라 계속 변화하는 것으로 나타난다고 주장하였다. 시트 안락감을 측정하기 위해 다양한 연구들이 수행되어왔지만, 장시간 운전 효과에 대한 객관적인 시트 불편도 측정에 대한 방법론이 정립되어 있지 않았다.

이에 본 연구에서는 생체역학적인 관점에서 장시간 운전 시 간접적 요추 모멘트 계산 결과와 피험자 실험을 통한 주관적인 불편함 간의 상관성 분석을 통해 객관적인 승용차 운전석의 불편함에 대한 평가법을 제시하고자 하였다.

2. Method

2.1 Participants

성인 20대 남성 중 Size Korea에서 7차 측정치에 제시된 50%tile 기준(Height: 1.73m, Weight: 72.6kg)을 만족하는 10명(Age: 25.83±2 years, Height: 1.79±0.02m, Weight: 74.18±3.94kg)을 대상으로 실험을 수행하였다(Size Korea Home Page, 2021). 모든 피험자는 운전면허 취득일이 2년 이상 지나고 장거리 운전 경험이 년 10회 이상의 대상자로 선정하였다. 장거리 운전의 기준은 왕복 운전 2시간 이상으로 설정하였다. 또한, 모든 피험자는 과거 근골격계 질환 병력이 없고 근골격계 질환 관련 수술을 받은 적이 없으며 현재 허리디스크 관련 질환을 겪지 않은 대상자로 선정하였다.

2.2 Procedure

승용차 운전을 기준으로 120분 이상 연속적인 운전을 장시간 운전으로 판단하여 실험 시간을 120분으로 선정하였다. 각 피험자는 승용차 시트의 지면 대비 각도(87°, 97°, 107°)에 따라 실험에 참여하였다. 피험자는 실험실 환경과 운전 모사 장치에 적응하기 위해 30분 간의 모의 운전이 수행하였다. 이후 각 피험자는 운전 시 자신에게 편한 시트 조정 거리를 설정하도록 하였다. 마지막으로 본 연구에서 제시한 요추 모멘트의 간접적 측정을 위해, 각 시트 각도에서 시험 시작 이전에 시트 위에 누워서 피험자들의 압력분포를 측정하였다. 자동차 시트 각도에 따른 실험의 누적 피로를 최소화하기 위하여 하루 1회 실험이 수행되었고 실험 시작 전후 장시간 운전을 금지하였으며 실험에 영향을 미칠 수 있는 과격한 운동, 음주, 부족한 수면 등의 요인에 대하여 제한하였다.

ISO 2631-1 설문지를 응용하여, 실험 시작부터 시험 종료 사이에 30분 마다 허리 요통에 대한 불편함을 구두로 표현하도록 하였다 (Figure 1). 불편함에 관한 설문지의 효과를 높이기 위해 실험 시작 전 30분의 모의 운전에서 설문지의 점수에 대해 피험자 자신의 상

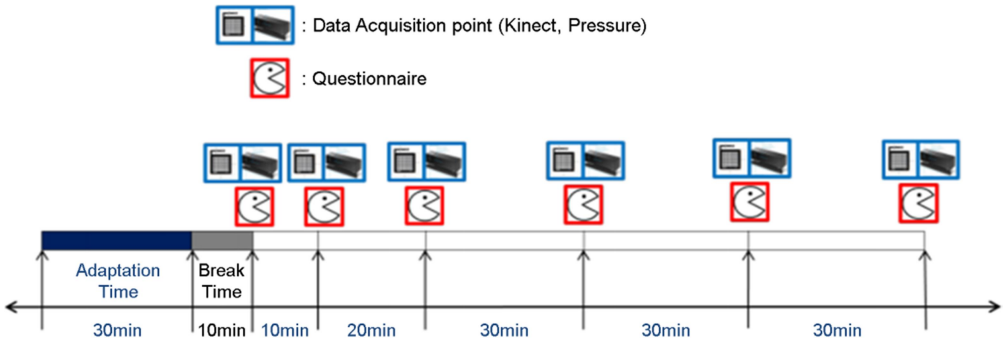

Figure 1. Procedure of this study. Each trial consisted of 120min continuous driving on the driving simulator housed at Yonsei University. Each trial was conducted on different days considering fatigue of the subjects, since the experiment was carried out for 120 minutes at each seat back angle. Participants were required to provide subjective discomfort ratings verbally every 30 minutes via the use of questionnaire. And also measured pressure and Kinect data every 30 minutes

태를 표현 할 수 있도록 예비 실험을 수행하였다.

실험 시작 전, 피험자에게 실험 절차에 대해 충분한 설명을 제시하였고, 실험에 대한 동의를 얻은 후에 진행되었다.

2.3 Simulator & Equipment

실제 승용차 주행 환경을 모사하기 위하여 운전 시뮬레이터를 구성하였다. 자동차 시트의 경우 현대자동차의 아반떼 차량(Avante MD, Hynudia Motor group, Inc., Korea)의 시트를 사용하였고 실제 크기의 스티어링 휠과 페달로 구성하였다. 자동차 시뮬레이터(Seating Buck)는 스티어링 휠과 페달 그리고 시트 간의 거리의 SAE 기준(J1100, J4002)을 토대로 제작되었다. 승용차 운행에 있어 발생하는 진동은 스티어링 휠 시스템(Thrustmaster T300RS, Thrustmaster, France)과 시트 바닥 부분에 장착한 음향진동기기(Buttkicker Gamer 2, Buttkicker, USA)를 통해 모사하였으며, 주행 시 회전에 의해 발생하는 좌우 움직임과 주행 감/가속도를 구현하기 위해 3축 모션 플랫폼(Pagnian V2, Next Level Racing, Australia)을 시트 밑에 장착하였다. 마지막으로 시뮬레이터에 실제 승용차 주행 시야를 모사하기 위하여 32 inch 3대의 모니터를 구성하였다(Figure 2).

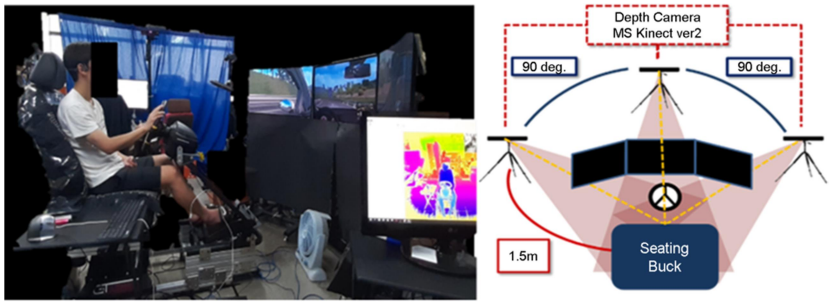

Figure 2. Design of seating buck during long-term driving and consist of measurement system

장시간 운전을 모사하기 위해 사용된 시뮬레이터로는 Euro truck 2 (SCS Software, Czech)를 이용하였다. 피험자에게 운전 내용은 2시간을 수행할 수 있는 거리로 수행하였다. 시뮬레이터 내 현실성을 높이기 위하여 브레이크 및 회전 횟수 제한을 두지 않았지만, 게임의 특수성을 배제하기 위하여 속도 제한을 프로그램 상에서 제어하였으며 시뮬레이터 상에서 사고 발생 시 진동 소음 자극이 주어졌다. 10분 동안의 적응 훈련을 통해 진동 소음 자극으로 안전 운전을 유도하게 되었다. 시뮬레이터 내 지도는 유럽을 바탕으로 제작되었기 때문에 세부적인 표지판 등으로 인한 인지 오류를 제거하기 위해 고속도로를 대상으로만 수행되었고 시험 시작 전 실험자가 길을 선정하였다. 길안내는 시뮬레이터 소프트웨어 프로그램에서 제공하는 오디오와 네비게이션 화면을 통해 제시되었다.

장시간 운전으로 인한 피험자의 자세 변화를 확인하기 위해 3대의 Kinect v2 (Microsoft, USA)를 시뮬레이터 주위에 설치하였다(Figure 2). 또한 자세 변화 및 요추 모멘트를 예측하기 위해 시트 팬과 등받이 부위에 압력분포기(X3 LX100, XSENSOR, Canada)를 부착하였다. Kinect 기반 ToF (Time of Flight) 데이터와 압력분포 데이터는 구두 설문이 시행되는 시점에서 1분간 측정하였고 초당 30프레임으로 측정하였다. 피험자의 운전 자세에 변화를 최소화 하기 위해 Kinect v2와 압력분포기가 측정되는 시점을 피험자에게 알리지 않은 상태에서 측정이 이루어졌다.

2.4 Evaluation method for car seat comfort

기존 연구들에 따르면 잘못된 운전 자세에 의해 운전자의 상체 무게가 요추와 골반 부위에 하중이 집중되는 현상을 보여 불편함을 야기할 수 있다고 보고하였다(Meakin et al., 2008; McGil et al., 2006; Gregory et al., 2006). 특히 Zenk et al. (2012)는 상체 자세 변화에 따라 추간판에 가해지는 압력 변화를 측정하고 확인 하였다. 이러한 연구를 바탕으로 가설을 확인하기 위해 이에 본 연구에서는 기

존 연구들의 관점을 수용하면서 동시에 불편함을 객관적으로 측정할 수 있는 새로운 측정법을 제시하기 위해 두 가지 가설을 설정하였다. 첫 번째 가설은 승용차 주행 시 발생하는 허리 불편함은 요추부(L5-S1 Joint)에 발생하는 모멘트가 주요 요인일 것이라는 점이다. 두 번째는 요추 부위에 발생하는 모멘트는 자세 변화에 따른 골반 각도와 상체의 무게에 의해서만 발생한다는 점이다. 두 가지 가설을 토대로 간접적인 요추 모멘트 측정 방법을 제시하였다.

요추 모멘트를 간접적으로 예측하기 위해 압력분포기와 Kinect 기반의 동작분석 데이터를 이용하였다. 요추 모멘트는 상체 무게와 골반 각도에 의한 것으로 가정하고 요추 관절의 굴곡(Flexion) 모멘트와 신전(Extension) 모멘트의 차로 계산하였다. 굴곡 모멘트의 경우 시트 팬에서 측정되는 상체 반력(Reaction force) 값과 동작분석 데이터를 통해 도출된 골반과 요추 관절 각도 그리고 상체의 무게 중심(COM)에 의해 계산되었다. 상체의 무게 중심은 머리(Head)와 몸통(Torso) 부분만 이용하였고 사람의 신체 부위 별 무게를 이용하여 계산하였다. 신체 부위 별 무게는 Dumas et al. (2007)의 연구를 인용하였다. 신전 모멘트의 경우 등받이에서 측정되는 반력 값과 동작분석 데이터를 통해 도출된 요추 관절 각도에 추간판 중심에서 등 표피 부분까지의 거리를 이용하여 계산하였다. 계산에 사용된 반력은 압력분포기를 통해 측정된 압력(Pressure) 데이터에 면적을 곱하여 도출하였다. 모든 계산은 시상면(Sagittal Plane) 기준에서 계산되었다(Figure 3).

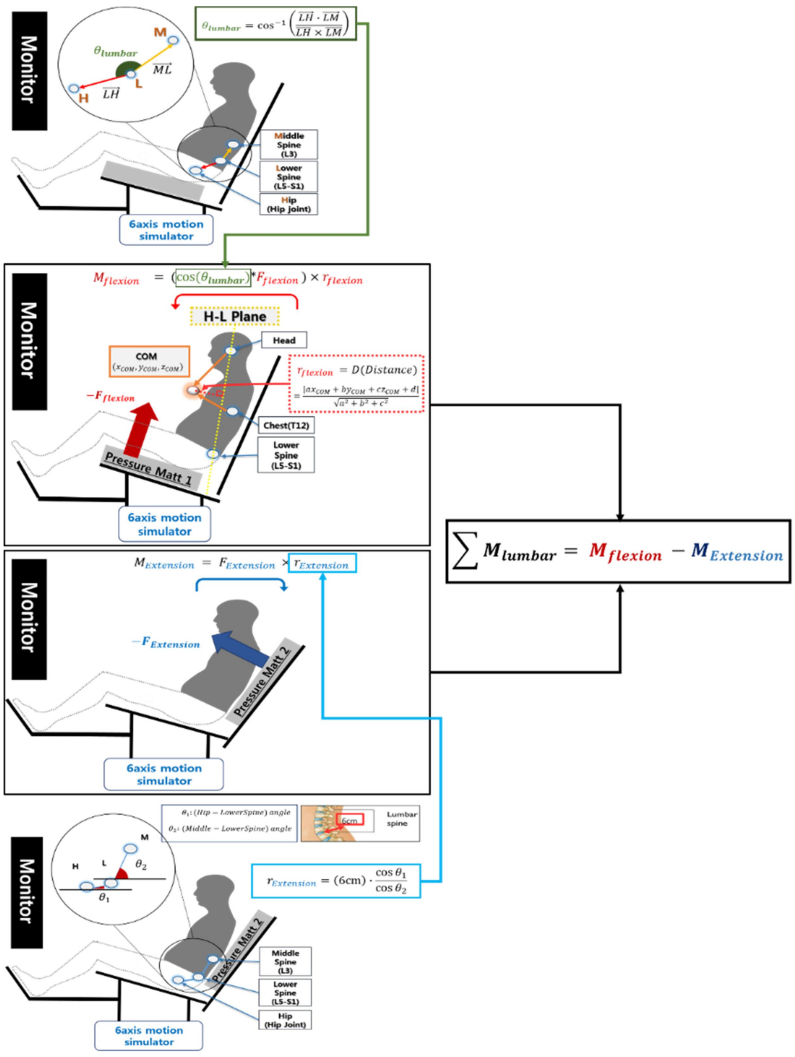

Figure 3. Schematic of the lumbar moment calculation for objective seat discomfort

2.5 Analysis

Kinect V2를 이용하여 획득한 ToF 데이터에서 동작분석 데이터로 변환하기 위해서 iPi Mocap Studio와 iPi Mocap (iPi Soft, Russia)을 이용하였다. ToF 데이터에서 측정된 피험자의 형체에 iPi Mocap Studio에서 제공된 인체 모델을 투영하여 장시간 운전 시 변화하는 피험자의 자세를 디지털화하였다. 압력분포 데이터는 XSENSOR X3 Pro v7.0 (XSENSOR, Canada)를 이용하여 시간에 따른 시트 팬, 등받이의 힘 변화와 압력분포를 분석하였다. 1분 동안 측정된 데이터 중 앞뒤 15초을 제외하고 가운데 30초만을 택하여 분석하였다. 측정된 데이터를 기반으로 요추 모멘트는 MATLAB (Mathworks, USA)을 통해 계산되었고 각 피험자의 요추 모멘트는 피험자의 몸무게를 이용하여 정규화를 수행하였다. 시간에 따른 등받이 각도 별 모멘트는 일원분산분석(One way ANOVA)을 수행하였고 유의수준 0.05에서 분석되었다. 또한 장시간 승용차 주행에 따른 피험자의 불편함과 요추 모멘트 변화간의 상관분석(Correlation analysis)을 수행하였다.

3. Results

피험자 10명을 대상으로 시트 등받이 각도에 따라 120분 동안 장시간 운전을 모사한 상황에서 시간에 따른 운전 자세 변화와 요추 부위 불편함에 대한 설문을 수행하였다. 본 실험을 통해 시트 등받이 각도에 따른 요추 부위 불편함의 설문조사 데이터, 시트 팬과 등받이에 부착된 압력분포기 데이터 그리고 요추 부위 모멘트 예측 데이터를 통해 결과를 제시하였다.

3.1 Questionnaire

장시간 운전 시 등받이 각도에 따른 피험자의 요추 부위 불편함은 Figure 4과 같이 나타났다. 등받이 각도 별 시간에 따른 불편도에 대한 회귀식을 구하였고, 불편도가 높을수록 R^2가 증가되는 것을 확인 할 수 있다. 모든 등받이 각도 조건에서 시간이 지남에 따라 불편도가 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 실험이 수행되기 전, 등받이 각도가 커질수록 시간에 따른 불편도의 결과가 다른 조건에 비해 낮을 것으로 기대하였으나 97도 조건에서 불편도가 낮게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 초기 30분의 경우 107도 조건에서 가장 높은 불편도가 나타났지만 시간이 지남에 따라 87도 조건에서 높게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 기존 연구들에서 지적한 단기간 안락감 평가의 문제점을 확인할 수 있는 부분으로 사료된다.

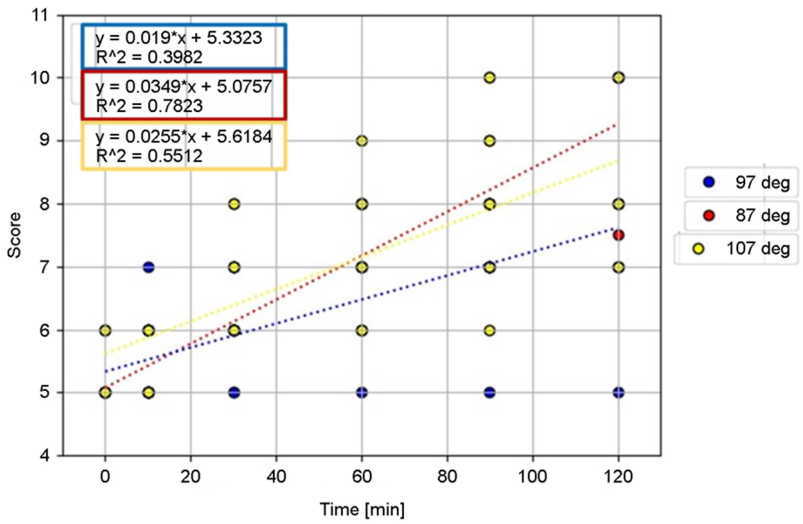

Figure 4. The results of questionnaire of seat discomfort according to the seat back angle during long-term driving

3.2 Pressure at seat pan and back

장시간 운전 시 등받이 각도에 따른 시트 팬과 등받이에서 발생하는 압력 분포의 평균은 Figure 5과 같이 나타났다. 압력 분포기를 통해 획득한 반력과 압력분포 넓이는 다음과 같이 나타났다(Table 1). 등받이 각도가 87도의 경우, 시트 팬에서 나타나는 반력 값이 다른 조건에 비해 큰 것을 확인 할 수 있다. 하지만 등받이 각도에 따라 시트 등받이와 시트 팬 부분에서의 반력 값에서 유의미한 결과 차이를 확인 할 수 없었다.

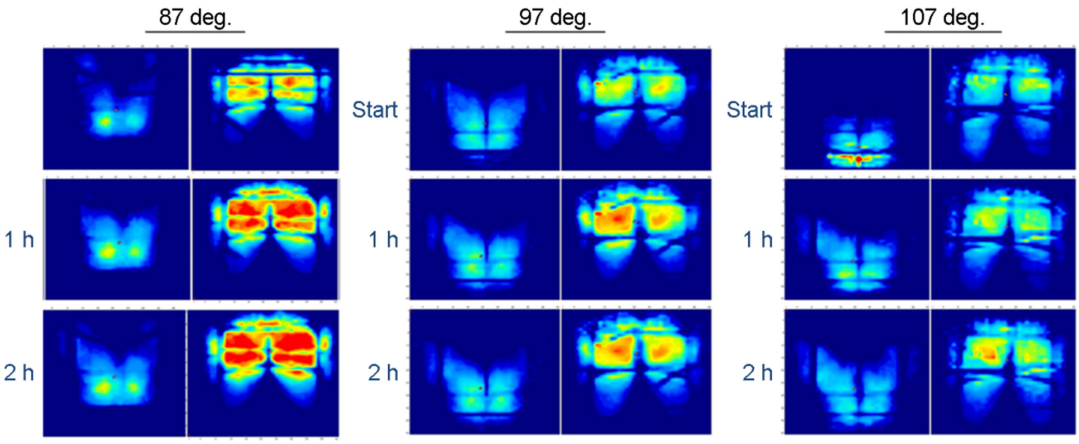

Figure 5. The average of participant's pressure distribution according to the seat back angle during long-term driving

Table 1. The result of seat back/pan reaction force and seat back/pan area according to the seat back angle during long-term driving (Mean ± Standard Deviation)

Seat back angle	Time	Seat back reaction force (N)	Seat back area (N/cm^2)	Seat pan reaction force (N)	Seat pan area (N/cm^2)
87 deg.	Start	143.73±25.68	657.53±96.92	497.79±73.42	1205.38±161.41
	1h	166.24±33.87	684.95±101.74	625.36±59.58	1325.81±138.15
	2h	170.92±30.87	708.87±92.48	649.73±80.05	1348.66±127.45
97 deg.	Start	175.73±38.69	699.46±169.91	401.81±66.25	1171.77±95.55
	1h	207.44±24.13	806.18±141.90	506.44±65.10	1305.38±148.51
	2h	228.11±30.01	834.41±151.37	533.26±71.86	1341.13±122.17
107 deg.	Start	146.71±39.83	555.65±212.45	385.57±52.27	1197.85±122.15
	1h	216.90±11.24	843.28±155.98	451.36±43.20	1297.31±116.76
	2h	228.42±21.72	874.20±164.81	463.82±56.04	1277.15±134.15

시간에 따른 압력분포 중심(COP) 변화는 Figure 6과 같이 나타났다. 97도와 107도의 등받이 각도 조건에서는 유사한 경향성이 나타났다. 압력분포에서 측정된 반력 데이터와 압력 중심 변화를 확인하였을 때 모든 등받이 각도 조건에서 시간이 지남에 따라 몸을 등받이에 기대고 하체는 앞으로 전진하는 양상을 예측 할 수 있고 이로 인해 골반 후방 회전이 발생함을 예상할 수 있었다.

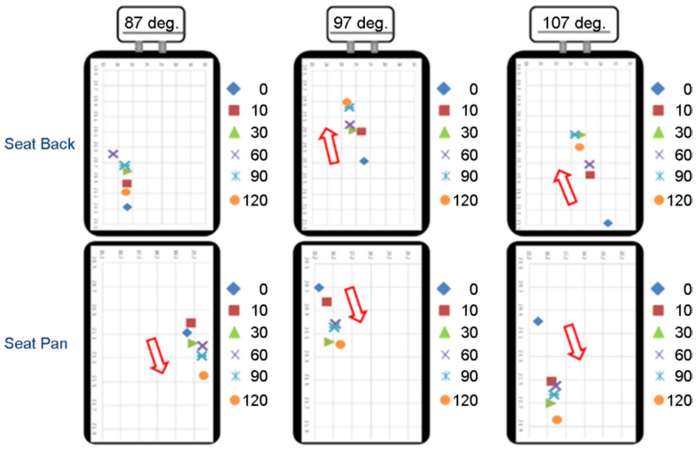

Figure 6. The average of participant's center of pressure (COP) according to the seat back angle during long-term driving

3.3 Driving posture

장시간 운전 시 등받이 각도에 따른 운전 자세 변화는 Figure 7과 같이 나타났다. 피험자의 운전자세는 투영된 3차원 인체 모델에서 시상면(Sagittal) 데이터 만을 이용하였다. 실험 진행 시 측정 시점에 따라 피험자들의 착좌 자세 변화를 관찰 할 수 있었다. 등받이 각도가 작은 경우에서는 변화가 미미하였으나, 등받이 각도가 97도, 107도의 경우 피험자들의 상체가 등받이에 붙으면서 척추 후만 현상이 나타났고, 무릎과 골반 각도 변화에 따른 골반 후방 회전도 동시에 발생하는 것으로 확인되었다. 특히 107도의 경우 다른 등받이 각도 대비 움직일 수 있는 공간이 넓어 시간에 따른 변화 양상이 큰 것을 확인 할 수 있었다.

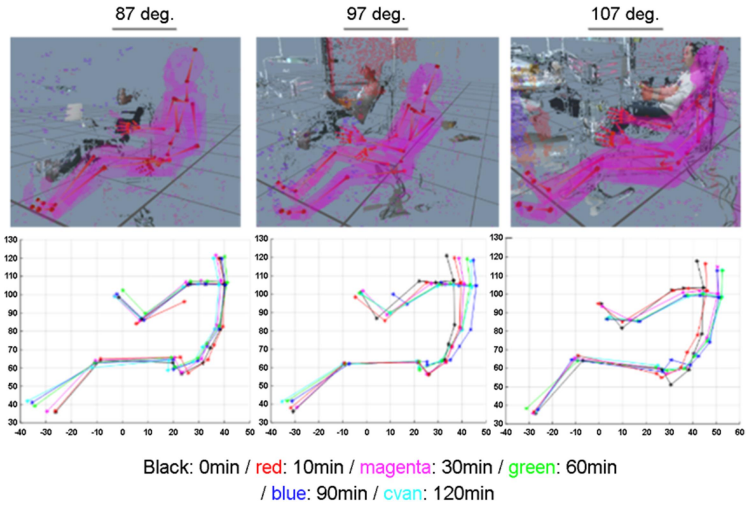

Figure 7. Driving posture according to the seat back angle using 3D mocap during long-term driving

3.4 Calculated lumbar moment and evaluation seat comfort

장시간 운전 시 등받이 각도에 따른 피험자의 정규화된 간접적 요추 모멘트 평균 예측 값은 Figure 8과 같이 나타났다.

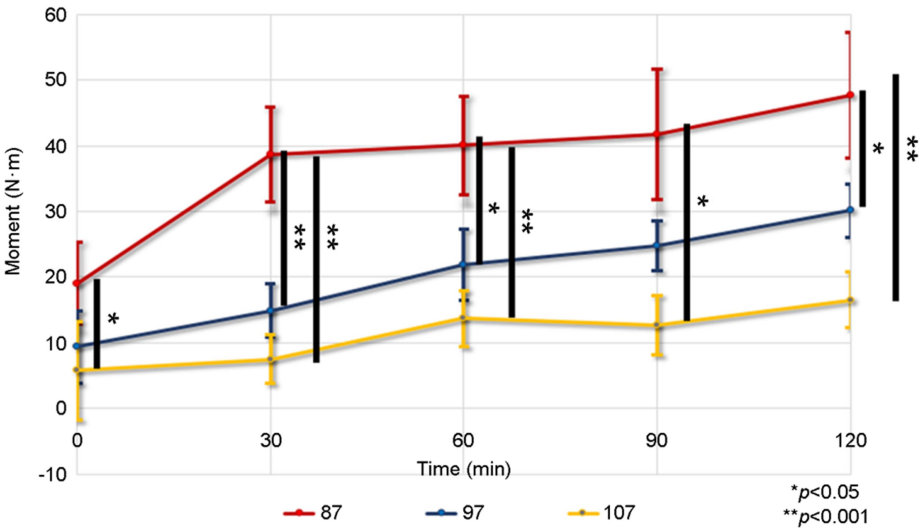

Figure 8. Lumbar moment according to the seat back angle during long-term driving

모멘트 계산 결과 등받이 각도 조건에 따른 차이를 확인 할 수 있었다. ANOVA 분석 결과 등받이 87도와 107도 조건에서는 모든 시간에 따른 모멘트 계산 결과값의 유의성을 확인 할 수 있었다. 97도의 경우 87도 조건과의 유의성이 특정 시간에서만 모멘트 결과값이 유의함을 확인 할 수 있었다. 97도와 107도의 경우 모든 시간에서 유의성을 확인 할 수 없었다(Table 2).

Table 2. ANOVA analysis result of lumbar moments of each time according to the seat back angle

Time [min]	Source of variance	SS	df	MS	*F*	*p*-value	Each group	*p*-value
0	Between	556.7	2	282.9	5.07	0.21	87 vs 97	0.097
	Within	837.1	15	55.81			87 vs 107	0.02*
	Total	1,403	17				97 vs 107	0.682
30	Between	3,167	2	1,583	23.24	p<0.01	87 vs 97	<0.001**
	Within	1,022	15	68.14			87 vs 107	<0.001**
	Total	4,189	17				97 vs 107	0.295
60	Between	2,187	2	1,093	15.15	p<0.01	87 vs 97	0.006*
	Within	1,082	15	72.17			87 vs 107	<0.001**
	Total	3,269	17				97 vs 107	0.251
90	Between	2,751	2	1,375	7.72	0.05	87 vs 97	0.082
	Within	2,674	15	178.3			87 vs 107	0.004*
	Total	5,425	17				97 vs 107	0.287
120	Between	3,063	2	1,531	15.81	p<0.01	87 vs 97	0.015*
	Within	1,453	15	96.85			87 vs 107	<0.001**
	Total	4,516	17				97 vs 107	0.074

등받이 각도 조건에 따른 모멘트 계산값의 유의성을 확인 할 수 있지만, 각각의 등받이 각도 조건에서 시간 변화에 따른 차이가 크게 나타나지 않았다. 모멘트 계산 결과와 설문조사 결과를 비교하였을 때, 장시간 운전 시 시간 변화에 따른 피험자가 느끼는 불편함 변화를 모멘트 결과값이 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 특히 등받이 각도가 107도인 경우, 모든 시간 대에서 요추 모멘트 예측 값이 가장 낮은 값으로 나타났지만 불편도는 시간이 지남에 따라 급격히 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 차이를 보정하기 위하여 설문조사 결과와 요추 모멘트 계산 결과 간의 상관성 분석을 수행하였다. 정규화된 요추 모멘트 값의 변화와 요추 불편도 설문조사 변화의 상관관계 분석 결과는 Figure 9과 같이 나타났다. 상관관계 분석 결과, 회귀식의 기울기 값이 모멘트 계산 결과와 설문조사가 반영된 시트 평가 결과가 나타났다. 기울기가 낮을수록 시트 불편도가 낮은 것을 확인 할 수 있었다.

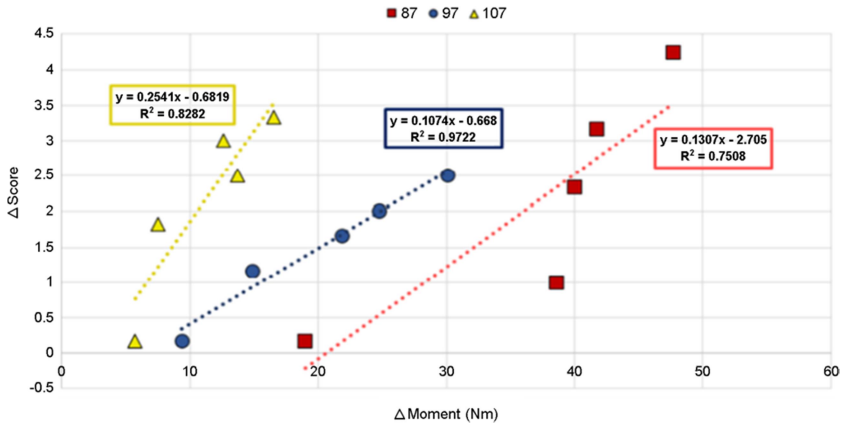

Figure 9. Correlation analysis between results of questionnaire and calculated lumbar moment according to time and the seat back angle during long-term driving

4. Conclusion

본 연구에서는 장시간 운전 시 간접적 요추 모멘트 계산 결과와 승용차 운전자 불편함의 상관분석을 통해 객관적인 시트 불편함 평가 방법을 제시하고자 하였다. 시트 등받이는 착좌 시 안락감을 높이기 위한 가장 기본적인 장비이지만, 기존에 장시간 운전 시 시트 등받이 각도와 불편함 간의 상관관계에 대한 연구가 적었다. 이에 본 연구에서는 자동차 장시간 운전을 직업으로 하지 않는 일반인이 시트 불편도에 대한 이해가 낮은 상태에서 잘못된 방법으로 시트 안락감을 평가하여 자동차를 구매한다고 가정하였다.

동작분석 데이터 해석 결과, 장시간 운전 시 시간이 변화함에 따른 피험자들의 착좌 자세 변화를 관찰 할 수 있었다. 특히 피험자들의 상체가 시트 등받이에 붙음과 동시에 척추 후만 현상이 발생함을 확인 할 수 있었고, 골반 후방 회전 또한 확인되었다. 착좌 자세 변화가 크고 본 연구에서 제시된 요추 모멘트 계산 값이 클수록 피험자의 불편함이 증가되는 것으로 확인되었다. 요추 부위 불편함의 경우 골반 후방 회전에 의해 요추 부위 근육과 인대에 하중이 인가되어 통증을 일으켜 발생하는 것으로 알려져 있다(Adams et al., 1999; McGil et al., 2006). 본 연구 설문조사 결과로 보았을 때 장시간 운전으로 인하여 착좌 자세가 변경되어 불편함이 증가됨을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 등받이 각도가 낮을수록 착좌 자세가 유지되어 시트 불편도가 낮아질 것으로 예상하였다. 하지만 실험 결과 적정한 등받이 각도에서 벗어날 경우 불편도가 증가되는 것을 확인 할 수 있었다. 등받이 각도가 클 경우, 골반 후방 회전과 동시에 척추 후만 현상이 일어날 공간이 많으며 등받이에 상체가 기대는 현상을 확인 할 수 있었다. 특히 스티어링 휠을 잡고 운전 시야가 고정되어 운전 자세를 유지하기 때문에 올바르지 않은 자세가 지속되면서 불편도가 증가되는 것으로 보여진다. 등받이 각도가 작은 경우 착좌 자세의 큰 변화는 없지만 좁은 공간으로 인한 불편도가 증가한 것으로 나타났다. Adler et al. (2006)의 연구에 따르면 장시간 운전 시 착좌 자세는 시간에 따라 계속 변화하는 것으로 나타났으며, 착좌 자세 변화는 불편함을 유발하는 것으로 알려진 인체 내 발생하는 기

계적 하중과 혈류 흐름을 개선하기 위해 무의식적으로 발생하는 일련의 과정으로 알려져 있다. 기존 연구 결과와 비교해 보았을 때, 개개인에 맞는 등받이 각도를 제안해 줄 수 있을 것으로 기대된다.

기존 연구들에서 시트 안락감을 평가하기 위해서 80~110분의 시간이 필요하다고 알려져 있었다(Porter and Gyi, 1998; Kolich, 2003). 본 연구 결과 요추 모멘트 계산을 통해 30분 정도의 시간이 있으면 객관적인 시트 불편도 평가가 가능할 것으로 기대된다. 이 연구 결과를 바탕으로 시트 불편도의 객관적인 평가와 시트 평가의 기준을 제시할 수 있을 뿐만 아니라 운전자의 착좌 자세를 평가하고 기준을 제시하여 근골격계 질환을 예방 할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 제한된 피험자 숫자, 연령, 체형 등으로 인하여 한정된 인구만 반영된 결과이기 때문에 추후 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 다양한 자동차 제조회사의 시트에 대한 평가가 이루어지지 않은 점과 다양한 시트 기술이 반영되지 않은 한계점이 있다. 추후 연구를 통해 운전자의 자세 평가뿐만 아니라 시트 안락감의 객관적인 평가 기준을 제시 할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This work was funded by grants from BrainKorea21 (II21SS7606007).

References

Adams, M.A., Mannion, A.F. and Dolan, P., Personal risk factors for firsttime low back pain, *Spine*, 24, 2497-2505, 1999.

Adler, S., Friedrichs, A. and Blickhan, R., Analysis of Driver Seated Posture to Objectively Measure Long-term Discomfort, *Proceedings of 6th World Congress on Ergonomics*, Maastricht, the Netherlands, 2006.

De Looze, M.P., Kuijt_Evers, L.F.M. and Dieen, J.V., Sitting Comfort and Discomfort and the Relationship with Objective Measures, *Ergonomics*, 46(10), 985-997, 2003.

Dumas, R., Cheze, L. and Verriest, J.P., Adjustments to McConville et al. and Young et al. body segment inertial parameters, *Journal of Biomechanics*, 40(3), 543-553, 2007.

Gregory, D.E., Dunk, N.M. and Callaghan, J.P., Stability ball versus office chair: comparison of muscle activation and lumbar spine posture during prolonged sitting, *Human Factors*, 48, 142-153, 2006.

Jianghong, Z. and Long, T., An evaluation of comfort of a bus seat, *Applied Ergonomics*, 25(6), 386-392, 1994.

Kolich, M. and Taboun, S., Ergonomics modelling and evaluation of automobile seat comfort, *Ergonomics*, 47(8), 841-863, 2004.

Kolich, M., Automobile Seat Comfort: Occupant Preferences Vs. Anthropometric Accommodation, *Applied Ergonomics*, 34(2), 177-184, 2003.

Kolich, M., Predicting Automobile Seat Comfort Using a Neural Network, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33(4), 285-293, 2004.

Kolich, M., Review: A Conceptual Framework Proposed to Formalize the Scientific Investigation of Automobile Seat Comfort, *Applied Ergonomics*, 39(1), 15-27, 2008.

Kyung, G. and Nussbaum, M.A., Driver sitting comfort and discomfort—Part II: Relationships with and prediction from interface pressure, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2008.

Kyung, G., Nussbaum, M.A. and Babski-Reeves, K., Driver sitting comfort and discomfort—Part I: use of subjective ratings in discriminating car seats and correspondence among ratings, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2007.

Mansfield, N., Human Response to Vibration, 1st ed., *CRC Press*, 2004.

McGil, S.M., Kavcic, N.S. and Harvey, E., Sitting on a chair or an exercise ball: various perspectives to guide decision making, *Clinical Biomechanics*, 21, 353-360, 2006.

Meakin, J.R., Smith, F.W., Gilbert, F.J. and Aspden, R.M., The effect of axial load on the sagittal plane curvature of the upright human spine in vivo, *Journal of Biomechanics*, 41(13), 2850-2854, 2008.

Negrini, S. and Negrini, A., Postural effects of symmetrical and asymmetrical loads on the spines of schoolchildren, *Scoliosis*, 9, 2-8, 2007.

Porter, J.M. and Gyi, D.E., Exploring the optimum posture for driver comfort. *International Journal of Vehicle Design*, 19(3), 255-266, 1998.

Porter, J.M., Gyi, D.E. and Tait, H.A., Interface pressure data and the prediction of driver discomfort in rode trails, *Applied Ergonomics*, 34(3), 207-214, 2003.

Reynolds, H.M., Rayes, K., Eppler, M., Neal, D. and Kerr, R., Development of vehicle laboratory to investigate driver comfort from physical measurements, *SAE Technical Paper Series*, no. 960480, 1996.

Runkle, V.A., Benchmarking Seat Comfort, *SAE Technical Paper*, No. 940217, 1994.

Size Korea Home Page, http://sizekorea.kats.go.kr (retrieved June 14, 2021).

Straker, L.M., O'Sullivan, P.B., Smith, A.J. and Perry, M.C., Relationships between prologed neck/shoulder pain and sitting spinal posture in male and female adolescents, *Manual Theraphy*, 14(3), 321-329, 2009.

Zenk, R., Franz, M., Bubb, H. and Vink, P., Spine loading in automotive seating. *Applied Ergonomics*, 43(2), 290-295, 2012.

Author listings

Dong Hyun Kim: aspayul@gmail.com
Highest degree: PhD, Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
Position title: Research Engineer, Safety Performance CAE Team, Hyundai Motor Group
Areas of interest: Biomechanics, Ergonomics, CAE

Seung Won Park: parker0612@gmail.com

Highest degree: Undergrad. Student, Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
Position title: Undergrad. Student, Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
Areas of interest: Biomechanics, Ergonomics

Jun Won Choi: chle22@yonsei.ac.kr
Highest degree: Undergrad. Student, Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
Position title: Undergrad. Student, Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
Areas of interest: Biomechanics, Ergonomics

Han Sung Kim: hanskim@yonsei.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Mechanical Engineering, UMIST
Position title: Professor, Department of Biomedical Engineering, Yonsei University
Areas of interest: Biomechanics, CAE