creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사 학위논문

사용자 중심의 전동 킥보드 주행 안전성 평가 지표 개발

Development of a User-centered Safety Evaluation Index for E-Scooter

2023 년 2 월

서울대학교 대학원

산업공학과

하 성 윤

사용자 중심의 전동 킥보드 주행 안전성 평가 지표 개발

Development of a User-centered Safety

Evaluation Index for E-Scooter

지도교수 윤 명 환

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2023 년 1 월

서울대학교 대학원

산업공학과

하 성 윤

하성윤의 공학석사 학위논문을 인준함

2023 년 2 월

위 원 장 _____ 이덕주 _____ (인)

부위원장 _____ 윤명환 _____ (인)

위 원 _____ 장우진 _____ (인)

초 록

본 연구의 목적은 주행 맥락에 따른 사용자 중심의 전동 킥보드 주행 안전성에 대한 탐구를 하는 데에 있다. 전동 킥보드 주행 안전성 평가 지표 실험은 원동기면허 이상의 운전면허를 취득한 20·30대 남녀 8명(남성 5명, 여성 3명, 28.75±3.55세)에 의하여 수행되었다. 실험 참여자는 모션 캡처 시스템이 구축된 통제된 환경에서 임의로 조합된 실험 순서에 맞추어 직진·좌회전·우회전 경로에 따라 급정지 및 회피 과업을 수행하였다. 매 실험마다 수행 시간과 더불어 물리적 측면 지표인 모션 분석 데이터 및 거리 데이터와 인지적 측면 지표 측정값을 수집하였다. 인지적 측면 지표에서 단일 문항으로 측정되는 변수를 제외하고는 설문 문항의 적합성을 검증하기 위하여 신뢰도 분석을 하였으며, 분석 결과 요인 내 항목들이 일관성이 있음을 확인하였다. 전동 킥보드 탑승 및 자동차 운전 경험과 무관하게, 급정지 과업에서는 직진 경로에서 수행 시간이 가장 짧았으며, 회피 경로에서는 좌회전에서 가장 짧았던 반면 직진 경로에서 가장 긴 수행 시간이 측정되었다. 과업 맥락에 대하여 측정 변수가 주행 방향에 따라 차이가 유의한지 검정하기 위하여, 정규성 검정에 따라 One-way ANOVA 또는 Kruskal-Wallis 검정을 이용하였다. 검정 결과 물리적 측면의 경우, 급정지 과업에서 목의 X축 방향에 대해 유의적인 각도 차이가 있었으며, 회피 과업에서는 허리의 Y축 방향에 대해 유의적인 각도 차이가 있었다. 제어 거리는 급정지 및 회피 과업 모두에서 방향에 따른 유의한 차이가 있었다. 인지적 측면의 경우, 방향에 따른 유의적인 차이는 회피 과업에서만 나타났다. 방향에 대한 제어 용이성은 유의하였으나, 자세 유지에 대한 제어 용이성 및 위험 심각도는 약한 유의성을 띠었다 본 연구의 실험 결과는 두 맥락에 대하여 방향에 따른 차이를 보여주었다. 추후 주행 안전성의 세부적 평가 지표를 설계하는 데 도움을 줄 수 있으며, 장래 PM 관련 안전성을 평가하는데 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 주행 안전성, 사용자 중심 설계(UCD), 전동 킥보드, 개인형 이동수단(PM), 모션 분석
학번: 2019-23762

목 차

제 1 장 서 론 1
1.1. 연구 배경 1
1.2. 연구 목적 3

제 2 장 선행 연구 5
2.1. 전동 킥보드 안전성 5
2.2. 모션 분석 6

제 3 장 전동 킥보드 주행 안전성 평가 지표 8
3.1. 물리적 측면 9
3.2. 인지적 측면 11
3.3. 실험 참여자 선정 15
3.4. 실험 장비 18
3.5. 실험 환경 20
3.6. 실험 절차 22
3.7. 데이터 분석 23
3.7.1. 모션 분석 데이터 수집 23
3.7.2. 모션 분석 데이터 처리 26
3.7.3. 데이터 측도 31

제 4 장 실험 결과 32
4.1. 수행 시간 32
4.2. 물리적 측면에서의 주행 안전성 34
4.2.1. 골절 위험도 36
4.2.2. 제어 거리 38
4.3. 인지적 측면에서의 주행 안전성 41
4.3.1. 제어 용이성 45
4.3.2. 위험 심각도 46

제 5 장 토 의 48
5.1. 수행 시간 48
5.2. 물리적 측면에서의 주행 안전성 48
5.2.1. 골절 위험도 48
5.2.2. 제어 거리 49
5.3. 인지적 측면에서의 주행 안전성 49
5.3.1. 제어 용이성 49
5.3.2. 위험 심각도 50

제 6 장 결 론 51
6.1. 결론 51
6.2. 연구의 의의 및 한계 52

참고문헌 54

Abstract 58

표 목차

[표 1-1] 연도별 PM 교통사고 발생 건수 2
[표 1-2] 연도별 전동 킥보드 교통사고 보험 접수 건수 3
[표 2] 광학 모션 캡처 시스템의 장·단점 7
[표 3] 전동 킥보드 주행 안전성에 대한 측정 변수 및 측정값 8
[표 4] Borg RPE 척도 12
[표 5] Borg CR10 척도 12
[표 6] 제어 용이성 항목 13
[표 7] 제어 용이성 신뢰도 분석 13
[표 8] 불안감 항목 14
[표 9] 불안감 신뢰도 분석 15
[표 10] 위험 심각도와 불편함 항목 15
[표 11] 각 실험 참여자의 인구통계 16
[표 12] 국내 자전거전용도로 폭 기준 21
[표 13-1] 실험 참여자 1번~4번 실험 표 25
[표 13-2] 실험 참여자 5번~8번 실험 표 26
[표 14] 수행 시간 기술 통계량 32
[표 15-1] 전동 킥보드 탑승 경험 유무에 따른 체감 난이도 차이 ... 33
[표 15-2] 자동차 운전 경험 유무에 따른 체감 난이도 차이 33
[표 16] 물리적 측면 기술 통계량 34
[표 17-1] 급정지에서의 물리적 측면 정규성 검정 35
[표 17-2] 회피에서의 물리적 측면 정규성 검정 36
[표 18-1] 급정지에서의 골절 위험도 K-W 검정 37
[표 18-2] 회피에서의 골절 위험도 K-W 검정 37
[표 19-1] 급정지에서의 목 각(X축) 사후분석 37
[표 19-2] 회피에서의 허리 각(Y축) 사후분석 38
[표 20-1] 급정지에서의 제어 거리 ANOVA 및 K-W 검정 39
[표 20-2] 회피에서의 제어 거리 ANOVA 및 K-W 검정 39
[표 21-1] 급정지에서의 제어 거리 사후분석 40
[표 21-2] 회피에서의 제어 거리 사후분석 40
[표 22] 인지적 측면 기술 통계량 41
[표 23-1] 급정지에서의 인지적 측면 정규성 검정 43
[표 23-2] 회피에서의 인지적 측면 정규성 검정 44
[표 24-1] 급정지에서의 인지적 측면 K-W 검정 및 ANOVA 45
[표 24-2] 회피에서의 인지적 측면 K-W 검정 45
[표 25] 회피에서의 제어 용이성 사후분석 46
[표 26] 회피에서의 위험 심각도 사후분석 47

그림 목차

[그림 1] 전동 킥보드 안전성 평가 지표의 필요성 3
[그림 2-1] 급정지 과업 시 전동 킥보드 주행 제어 거리 측정 10
[그림 2-2] 회피 과업 시 전동 킥보드 주행 제어 거리 측정 10
[그림 3] 충돌 방지를 위한 차량 궤도 11
[그림 4] 실험 참여자의 만 나이, 키, 몸무게 및 성별 분포 17
[그림 5] 실험 참여자의 운전 경력 및 월별 운전 빈도 분포 17
[그림 6] 적외선 카메라 18
[그림 7] 유테크 ㈜ 무선 충전 공유 전동 킥보드 및 헬멧 18
[그림 8] 칼라콘 19
[그림 9] Modified Helen-Hayes 방법을 활용한 마커 부착 위치 20
[그림 10] 주행 환경 21
[그림 11] 과업 시작점 P 및 칼라콘 배치 22
[그림 12] 전동 킥보드 주행 편의성 측정 실험 절차 23
[그림 13] 본 실험 절차 24
[그림 14] 조정(Calibration) 작업 24
[그림 15] 마커 순서 25
[그림 16] 허리 각도 데이터 평행이동 작업 27
[그림 17] 부위 별 마커 표시 28
[그림 18] 뼈대의 X축, Y축, Z축 29
[그림 19] 데이터 추출 절차 29
[그림 20] 전체 구간 모션 분석 데이터 30
[그림 21] 과업 구간 모션 분석 데이터 30
[그림 22] 맥락에 따른 방향별 수행 시간 32
[그림 23] 골절 위험도 Kruskal-Wallis 검정 38
[그림 24] 제어 거리 Kruskal-Wallis 검정 41
[그림 25] 제어 용이성 Kruskal-Wallis 검정 46
[그림 26] 위험 심각도 Kruskal-Wallis 검정 47
[그림 27] 회피 과업에서의 직진 방향과 좌회전 방향 48

제 1 장 서 론

1.1. 연구 배경

최근 5년간 1인용 이동장치인 전동 킥보드의 사용자가 급증하였다. 2018년 9월 국내에 출시된 공유 서비스를 시작으로 친환경 이동수단으로 각광받고 있는 개인형 이동수단(Personal Mobility; PM) 시장이 성장하면서 이용자 수가 급증하고 있다(정광복 외, 2022). PM은 전기를 동력으로 하는 친환경 차세대 교통수단으로 도시 내 주차 공간 부족, 교통 체증 심화 및 대기오염 악화와 같은 교통 문제의 해결책으로 제시되었다(빌리티 외, 2019; 김수재 외, 2021). 그 중 전동 킥보드는 운행을 위한 별다른 학습성이 요구되지 않아 다양한 연령대와 직업군에서 이용되고 있으며, 사회적 거리두기 및 공유 서비스에 힘입어 빠른 추세로 사용자가 증가하고 있다(홍지영 외, 2022). 스마트폰과의 연동을 통해 쉽게 이용할 수 있으며 대중교통 수단만큼 이동이 편리하고, 도보로 약 1시간 정도 소요될 거리를 15분 내외로 줄여줄 수 있어 새로운 친환경 교통 수단으로 주목받고 있다(Joo 외, 2021). 또한 정해진 승강자에서 여러 사람들이 함께 이용하는 다른 교통수단과 달리 단거리 이동 시 편리하게 이용할 수 있다(박태한 외, 2018). Nielsen Koreanclick (2020)에 따르면 “2020년 10월 기준 국내 개인형 이동장치 이용자는 작년에 비해 2배 가까이 성장한 180만 명으로 집계되었으며, 그 중에서도 전동 킥보드는 1년 새 이용자가 314% 성장할 만큼 폭발적인 증가 추이를 보였고, 개인형 전동 킥보드 보유자 수를 포함하면 이용 규모는 더 클 것으로 예상” 할 수 있다.

교통사고분석시스템(TAAS, 도로교통공단) 통계에 따르면 PM 관련 교통사고는 최근 4년간 큰 폭으로 증가하는 추세이다(표 1-1). 또한 PM 교통사고가 증가함에 따라 전동 킥보드 사건·사고가 지속적으로 증가함을 알 수 있다(삼성교통안전문화연구소, 2022). 표 1-2는 삼성화재 자동차보험에 접수된 전동 킥보드 사고 건수이며, 최근 3년간 총 4,502건의 교통사고가 발생하였다. 이에 따라 전동 킥보드 충돌 사고 역시 급증하고 있다. 그러나 이에 대한 대부분의 연구들은 부상 부위 및 정도를 보고하는 데 집중되어 있다. 부상 유형의 대부분은 정형외과적 및 두개골 부상으로 구성되었다(Pazzini 외, 2022). 미국 전역의

응급실에 발생하는 부상에 대한 국가 추정치를 제공하는 NEISS(National Electronic Injury Surveillance System)에 따르면, 2014년부터 2018년까지 전동 킥보드와 관련된 부상에 대해 전동 킥보드 공유 서비스가 도입된 해인 2017년에서 2018년 사이에 부상과 입원이 극적으로 증가하였다. 2018년 발생한 총 14,651건의 부상 중 약 32%인 4707건이 머리와 관련되었다(Namiri 외, 2020). 2009년 1월부터 2019년 12월까지 미국 국가 데이터베이스에서 수집된 전동 킥보드 부상으로 미국 응급실에 내원한 환자 중 머리와 목 부상은 전체 부상의 28.5%를 차지하였다(Kappagantu 외, 2021). 또한 American Journal of Otolaryngology에 따르면 2008년과 2017년 사이에 전동 킥보드로 인한 두부 및 안면 부상에 대한 응급실 방문은 3배가 증가하였다. 2017년 9월부터 2018년 8월 사이에 남부 캘리포니아에 있는 학술 의료 센터와 관련된 2개 도시의 응급 부서에서 전동 킥보드와 관련된 의료 기록에 따르면, 249명의 환자 중 228명(91.6%)은 탑승자였으며 탑승자가 아닌 보행자는 21명(8.4%)에 불과하였다(Tarak 외, 2019). 경찰통계자료에 따르면 교통사고 접촉사고에서 목(46.6%), 두안부(27%) 및 허리(8.7%)가 가장 많은 부상 부위였으며, 전체 부상부위의 82.3%를 차지하였다. 일반적으로 목이 갑자기 움직여서 목의 근육이나 인대가 손상을 받는 경추부염좌(Whiplash injury)를 포함한 목 부상은 교통사고에서 목의 충격 하중이나 관성이 증가함에 따라 생명에 치명적일 수 있으며, 경추의 척추 탈구는 허리가 감싸는 척수를 자극하여 신경 증상을 유발할 수 있다(Li 외, 2019). 목은 총 7개의 얇고 작은 뼈로 구성(이금숙, 2011)되어 있어 구조적으로 약하며, 추돌 등의 사고에서 목 부위의 과도한 굴곡운동으로 척추체손상이 발생한다. 게다가 머리, 목 및 허리를 안전하게 잡아주는 전동 킥보드 부품이 없기 때문에 다른 신체 부위에 비해 부상 위험이 높다.

표 1-1 연도별 PM 교통사고 발생 건수

	2018년	2019년	2020년	2021년	계
사고건수	225건	447건	897건	1,735건	3,304건
사망자수	4명	8명	10명	19명	41명
부상자수	238명	473명	985명	1,901명	3,597명

표 2-2 연도별 전동 킥보드 교통사고 보험 접수 건수

	2019년	2020년	2021년	계
사고건수	878건	1,447건	2,177건	4,502건

삼성화재 자동차보험 접수 건 기준

차별화 PM으로서 전동 킥보드의 이용자를 효과적으로 확보하기 위해서는 안전성이 먼저 확보되어야 한다. 주행자의 수행력은 신체적인 기술과 인지 기술 요소간의 상호 작용으로 나타난다(송영훈, 2018). 따라서 전동 킥보드 안전성을 파악하기 위해서는 기기 자체의 안전성 검토도 중요하나, 주행 시 탑승자의 인지적 측면에서의 안전성 탐구도 중요하다. 또한 전동 킥보드 관련 부상을 줄이기 위해 탑승자의 관점에서 사고 경위 및 안전 문제를 분석할 필요가 있지만, 설문 또는 인터뷰 응답자의 상황에 대한 주관적 해석 등으로 인해 데이터의 신빙성이 떨어질 수 있으므로, 이를 뒷받침해줄 수 있는 객관적인 측정도 필요하다. 전동 킥보드는 작은 회전각에도 급 가속되는 능력을 제어할 수 있는 안전장치가 부족하므로(이정복, 이중식, 2019), 전동 킥보드 이용 시 부상 발생 비율이 가장 높은 머리와 체간 부위에 대한 각도 및 거리 측정을 통한 물리적 지표와 주행자가 실제로 느꼈던 인지적 지표를 함께 고려하는 전동 킥보드 안전성 평가 지표가 필요하다.

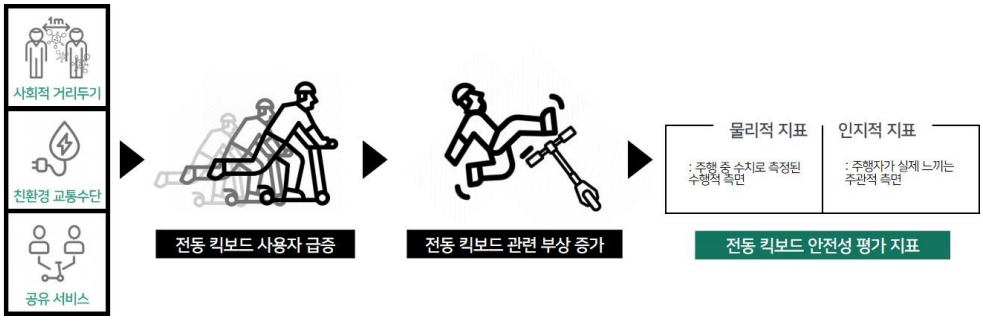


그림 1 전동 킥보드 안전성 평가 지표의 필요성

1.2. 연구 목적

본 연구의 목적은 주행 맥락에 집중한 전동 킥보드 주행 안전성에 관한 인간공학적 탐구를 하는 데에 있다. 전동 킥보드 주행 안전성은 수치적으로 측정된 수행도에 해당하는 물리적 측면과 주행 시 탑승자가

실제로 느꼈던 인지적 측면으로 분류할 수 있다. 객관적 측정을 위해 모션 분석을 기반으로 손잡이 및 발판 프레임으로부터 멀리 떨어져 부상의 위험이 높은 목과 허리에 대해 과업 및 방향에 따른 전동 킥보드 탑승자의 신체 각도를 측정하고, 각 상황에서의 실제 조작 거리와 체감 거리의 차이의 유무를 확인하고자 한다. 또한 전동 킥보드 주행 시 사용자가 입장에서 느낀 주관적인 판단을 Borg CR10, STAI 등을 활용하여 정량적인 척도로 측정하고자 한다. 전동 킥보드 주행 안전성 평가 지표는 사용자의 특성 또는 전동 킥보드 자체의 안전성을 다룬 기존의 연구와는 달리 사용자의 주행 특성을 중심으로 안전성을 평가하는데 근거 자료로 활용될 것으로 기대된다.

제 2 장 선행 연구

2.1. 전동 킥보드 안전성

기존의 전동 킥보드 관련 연구에서는 발판이나 손잡이 등에 센서를 부착하여 전동 킥보드 자체의 안전성을 다루었다. Violin(2020)은 안정성, 편안함 및 기동성 측면에서 전동 킥보드의 안전성을 다루기 위한 연구를 하였다. 기동성에 따른 제동력을 분석한 그의 논문에서는 9명(남: 7명, 여: 2명)의 실험 참여자들은 전동 킥보드 안정성 및 편안함 측면에서는 우수한 성능을 보였으나, 제동 성능에서는 낮게 나와 안전성 측면에서 일반 자전거 및 전기 자전거보다 덜 안전하다고 느꼈다(Violin 외, 2020). Yang(2020)은 충돌 특성을 정략적으로 분석하여 전동 킥보드의 안전성을 다루었다. 전동 킥보드 관련 충돌 사고를 다룬 언론 보도 데이터를 활용하여 탑승자 인구통계, 충동 유형 및 위치와 같은 주요 충돌 요소를 분석하였다. 전동 킥보드 충돌 사고에서 어린이와 노인 모두 심하게 다치는 경향이 있고, 치명적인 충돌 사고는 야간에 발생할 가능성이 높았으며, 특히 여성 탑승자의 충돌 사고 비율이 높았다(Yang 외, 2020). Ma(2021)는 전동 킥보드 주행 시 안전 위험을 조사하기 위해 경험한 진동, 속도 변화 및 주변 물체와의 근접성 측면에서 전동 킥보드 주행과 환경 설정 간의 상호작용을 연구하였다. 증가된 진동, 속도 변화 및 다른 물체의 접근에 따른 승차 환경의 제한으로 인해 안전 위험도가 증가함을 확인하였다(Ma 외, 2021). 하지만 해당 연구에서는 주변 환경과의 관계 측면에서 안전성을 다루고 있어, 전동 킥보드 주행자에 대한 분석을 다루고 있지 않다. 전동 킥보드 안전성을 다루기 위해서는 기기 자체의 안전성뿐만 아니라 탑승자의 주행 안전성을 평가하는 연구가 필요하다. 안타깝게도 탑승자에 대한 다양한 인간공학적 연구가 이루어지는 자동차와는 달리, 전동 킥보드 주행자의 움직임에 초점을 맞춰 안전성을 다루는 연구는 거의 없었다. Pazzini(2022)는 전동 킥보드 사용자 행동을 분석하기 위하여, 노르웨이 Trondheim의 6개 도로에서 총 204대의 전동 킥보드를 관찰하였다. 연구 결과 대부분의 전동 킥보드 사용자는 젊은 남성이었으며, 성별과 연령은 기기의 속도에 영향을 미치지 않았다(Pazzini 외, 2022). 전동 킥보드 탑승자의 특성 및 위험요인을

살펴본 연구에서도 남성 사용자 비율이 더 높았으며, 여성이 남성에 비해 전동 킥보드 관련 충돌 및 부상의 위험이 상당히 높았다(Tian 외, 2022). 따라서 본 연구에서는 남성 비율이 높은 실험 참여자를 대상으로 동일한 속도 범위 하에서 탑승자의 행동 특성을 분석하여 전동 킥보드 주행 안전성을 살펴보고자 하였다. 모션 캡처 시스템을 통한 모션 분석은 사용자의 행동이나 관찰 대상의 움직임을 측정하고 분석하는 여러 분석 방법 중 가장 보편적으로 사용되고 있다(공세진, 2019).

2.2. 모션 분석

모션 캡처 시스템은 물체 또는 인체의 움직임을 데이터로 변환하고, 이를 분석하는 장치이다. 과거에는 보행 분석에 국한되어 사용되었으나(임우택, 2022), 현재는 애니메이션과 의료, 스포츠 과학, HCI 그리고 인간공학 등 다양한 분야까지 확장되어 활발하게 사용되고 있다(이제희, 2003). 현재 시중에 나와있는 모션 캡처 시스템은 크게 음향식, 기계식, 자기식, 광학식의 4가지 종류로 나눌 수 있다(이인호, 박찬종, 1999). 여러 가지 모션 캡처 시스템 중 임상 연구 분야에서 가장 널리 사용되는 광학 모션 캡처 시스템은 대상체의 주요 관절 지점에 반사 마커를 부착하고, 적외선을 비추어 반사되는 영상을 카메라(광학 장치)로 촬영하여 각 카메라에서 인식한 인체 분절을 2차원 좌표로 생성하고, 분석된 각 좌표 데이터는 3차원 공간상의 좌표로 재구성된다(임우택, 2022). 광학 모션 캡처 중 마커 기반 모션 캡처는 동작을 감지하는 광학 카메라가 설치된 장소에 사람을 비롯한 동적 및 정적 사물에 마커를 부착시키고, 이를 통해 포착된 동작 정보를 컴퓨터로 잡아내어 그 움직임의 데이터를 모델링 된 3D 객체에 부여해서 동작을 시각적, 산술적으로 분석하는 기술이다(임우택, 2022). 그렇지만 표식이 카메라로부터 가려질 가능성이 있기 때문에 6대에서 24대 정도의 카메라를 이용하여 가려지는 부위를 최소화하는 것이 일반적이다(이제희, 2003). 표 2에 광학식 시스템 중 대표적인 몇 가지의 장·단점을 요약하였다(이인호, 박찬종, 1999; 임우택, 2022).

표 2 광학 모션 캡처 시스템의 장·단점

장점	단점
높은 샘플링 빈도는 빠른 동작을 캡처할 때 유용함	표식이 작거나 가까운 거리에서 움직임을 캡처할 때 하나 이상의 마커가 차폐될 수 있음
마커의 크기가 작고 별도의 유선 장치가 필요하지 않고 가벼우며 개수에 제한이 없어, 다양한 움직임을 수행할 수 있음	마커가 빛에 매우 민감하여 통제된 환경에서만 인체 동작을 측정할 수 있음
다른 시스템에 비해 광범위에서 캡처가 가능하며 정밀도가 높음	다른 시스템에 비해 금액이 높고 사전 준비 작업이 오래 걸리며, 측정 후 분석에도 상당한 시간이 소요됨

광학 모션 캡처 시스템은 크기가 작은 마커를 빠르게 움직이는 물체의 관절에 부착하여, 다양한 움직임을 비교적 정확하게 캡처할 수 있다. 본 연구에서는 광학식 시스템을 활용하여, 140m^2의 통제된 환경에서 전동 킥보드를 주행하는 탑승자의 빠른 움직임을 캡처함으로써 획득한 데이터를 손실 없이 분석하고자 하였다.

제 3 장 전동 킥보드 주행 안전성 평가 지표

전동 킥보드 탑승자에 대한 주행 안전성을 파악하기 위해 실험 설계 및 측정 가능한 지표가 필요하다. 본 연구에서의 과업 수행 시간과 더불어, 전동 킥보드 주행 안전성을 평가하는 데에 있어서 세부적인 평가 요소를 표 3과 같이 물리적 측면과 인지적 측면으로 분류하여 정의하였다. 또한 과업 수행 시간은 동일한 거리에 대하여 그 값이 커질수록 실험 참여자의 체감 난이도가 올라간다고 보았다.

표 3 전동 킥보드 주행 안전성에 대한 측정 변수 및 측정값

분류		측정 변수	측정값
전동 킥보드 주행 안전성	물리적 측면	골절 위험도	목 최대 각(기준: Trunk) 및 허리 최대 각(기준: Pelvis Lab) [deg]
		제어 거리	- 급정지 과업: 장애물에서 멈춘 지점까지의 거리인 제어 파악 거리 - 회피 과업: 주행 경로와 중첩되는 장애물을 동심원으로 하는 최대 반지름 길이인 제어 안전 거리
	인지적 측면	운동자각도	운동의 신체적 요구에 대한 개인의 인식을 정량화한 척도인 Borg CR10 척도 값
		제어 용이성	주행 시 방향, 속도 및 자세 유지에 대한 5점 리커트 척도 값
		불안감	정상 성인의 불안 상태를 측정하는 척도인 STAI 문항 중 주행 시 탑승자가 느낀 안전함, 긴장감, 불쾌감, 압박감, 편안함 및 차분함에 대한 척도 값들의 총 합
		위험 심각도	주행 시 탑승자가 느낀 위험 심각도에 대한 5점 리커트 척도
		불편함	주행 시 탑승자가 느낀 불편함에 대한 5점 리커트 척도

3.1. 물리적 측면

본 연구에서는 물리적 측면을 평가하기 위해 두 가지의 주행 맥락에 집중한 평가 지표를 설계하였다. Coelho(2021)에 따르면 2019년 5월부터 2020년 5월까지 전동 킥보드 관련 부상으로 Hospital del Mar 응급실에 방문한 환자 중 46.9%가 골절이었다. 이준행(2015) 및 장민혜(2017)의 연구에 따르면 신체활동량과 골절률의 연관성이 높으며, 대체로 남성이 여성보다 활동수준이 높은 경향이 있어 여성의 골절 발생률이 높다는 결과는 Yang(2020)과 Tian(2022)의 연구에서 여성의 전동 킥보드 부상 위험이 높다는 결과와 일치하였다. 최귀원(2003)의 연구에서는 충격 각도가 증가함에 따라 뼈의 강도를 감소시켜 골절 가능성이 높아지는 것을 확인하였다. 따라서 골절 위험도에 대한 지표로 급정지 및 회피에서의 전동 킥보드 탑승자의 목과 허리에 대한 각도를 모션 캡처 시스템을 이용하여 측정하였다.

제어 거리에 대한 지표는 그림 2-1과 그림 2-2와 같이 장애물과의 거리 관계를 측정하여 나타냈다. 먼저, 급정지 맥락에서 탑승자가 전동 킥보드를 주행하는 동안 장애물과 충돌하지 않는 범위 내에서 최대한 장애물과 가깝게 과업을 수행하여 이동 수단이 멈춘 지점부터 장애물 지점까지의 떨어진 거리를 측정하였다. 따라서 측정된 거리가 짧을수록 탑승자가 제어력이 있다고 판단하였으며, 이 때 측정된 거리를 제어 파악 거리로 보았다.

그림 2-1 급정지 과업 시 전동 킥보드 주행 제어 거리 측정

그림 2-2 회피 과업 시 전동 킥보드 주행 제어 거리 측정

회피 과업은 급정지 과업과 달리, 탑승자가 전동 킥보드를 주행하는 동안 멈추지 않고 충돌하지 않는 범위 내에서 최대한 가깝게 장애물을 회피하도록 하였다. Su와 Ordys(2010)는 정지한 장애물에 대해 차량의 충돌 방지 기동(manoevre) 연구에서 그림 3과 같이 차량 궤도가 차량과 장애물 사이의 거리를 일정한 값 이상으로 유지해야 충돌이

발생하지 않는다고 하였다. 본 연구의 회피 주행에서 제어 거리 지표는 회피한 최대 지점에서 장애물 지점까지 떨어져 있는 거리를 측정하였으며, 이 때 측정된 거리를 제어 안전 거리로 보았다.

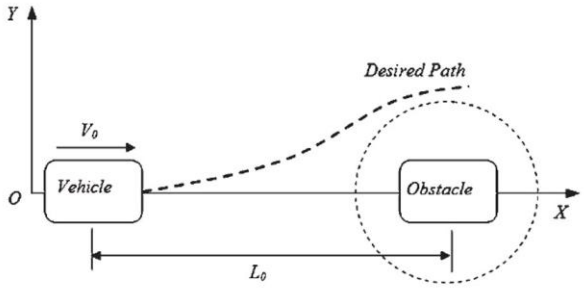


Fig. 2 Vehicle trajectory for collision avoidance

X, Y = coordinates of the vehicle in the reference frame
V_0 = the initial velocity of the vehicle
L_0 = initial distance between the vehicle and a stationary obstacle

그림 3 충돌 방지를 위한 차량 궤도 (Su와 Ordys, 2010)

두 점의 제어 파악 거리인 d(p,q)와 장애물과 전동 킥보드 사이의 최대 거리인 제어 안전 거리 d_{max}는 표면적으로 측정된 거리뿐만 아니라 탑승자의 장애물에 대한 체감거리 지표로도 볼 수 있다.

3.2. 인지적 측면

주어진 과업에 대해 최상의 수행력을 발휘하는 것은 불안 및 긴장된 심리를 안정된 상태로 유지하여 최적의 각성수준에서 신체적인 기술을 발휘하는 것을 의미한다(홍성택, 2011). 본 연구에서는 인지적 측면을 평가하기 위해 운동자각도, 제어 용이성, 불안감, 위험 심각도 및 불편함을 정신신체적 측정치로 사용하였다. 스웨덴의 심리학자인 Borg(1970)가 운동의 신체적 요구에 대한 개인의 인식을 정량화한 운동자각도는 RPE(Rating of Perceived Exertion) 척도 또는 Borg 척도라 불린다. Borg가 운동자각도와 심박수와의 상관관계가 0.85라고 보고한(Borg, 1970) 이후로, 계속적으로 측정이 어려운 심박수 반응을 측정이 용이하게 피로 감각을 단계별로 척도화한 RPE 척도를 사용하여 운동자각도를 측정하였다(선상규 외, 1999). Borg는 운동자각도를 건강한 성인의 일반적인 심박동수를 10으로 나누어 6~20 단계로 구성하였으나(표 4)(Borg, 1970), 극도의 활동 강도를 나타내는 숫자 10에 고정된 범주 비율(Category Ratio) 척도인 Borg CR10 Scale을

개발하였다(표 5)(Borg, 1982). 본 연구에서는 0~10 단계로 구성된 Borg CR10 척도를 사용하여 전동 킥보드 주행 시의 운동자각도를 측정하였다.

표 4 Borg RPE 척도 (Borg, 1970)

Borg RPE 척도	
점수	노력 수준
6	노력이 전혀 없음
7	
7.5	대단히 가벼움
8	
9	아주 가벼움
10	
11	가벼움
12	
13	다소 심함
14	
15	심함
16 17	아주 심함
18	
19	대단히 심함
20	최고로 심함

표 5 Borg CR10 척도 (Borg, 1982)

Borg CR10 척도	
점수	노력 수준
0	노력이 전혀 없음
0.5	대단히 가벼움 (겨우 느낄 정도)
1	아주 가벼움
2	가벼움
3	보통
4	약간 심함
5	심함
6	
7	아주 심함

8	
9	대단히 심함
10	최고로 심함

제어 용이성은 운전자가 전동 킥보드를 조종하는 동안 차량의 방향, 속도 및 자세를 제어 가능한 정도를 나타내는 척도이다. 5점 리커트 척도를 사용한 자체 설문지로 측정하였으며, 3개의 항목으로 구성되었다.

표 6 제어 용이성 항목

측정 변수	항목
제어 용이성	기기의 방향을 제어할 수 있었는가?
	기기의 속도를 제어할 수 있었는가?
	기기 위에서 자세를 유지할 수 있었는가?

응답자가가 방향, 속도 및 자세 유지에 대한 제어 용이성 설문 문항에 대하여 얼마나 일관성 있게 측정을 하였는지 판단하기 위하여 신뢰도 분석을 진행하였다. 신뢰도 분석 결과 Cronbach의 알파 계수가 0.7보다 훨씬 높은 수치로 나타났다. 따라서 제어 용이성을 구성하는 3개 문항은 내적 일관성이 높아 측정도구의 신뢰도는 받아들일 수 있는 수준으로 평가되었다. 또한 항목 총계 통계량 결과표를 살펴보면 제어 용이성 3개 항목의 신뢰도를 검증했을 때, 어떤 항목이라도 삭제를 하게 되면 Cronbach 알파 계수가 실제 알파 계수인 0.811보다 작아지므로 신뢰도 지수가 떨어짐을 알 수 있었다. 따라서, 제어 용이성을 파악하기 위해 방향, 속도 및 자세 제어를 묻는 문항이 타당한 척도임을 확인할 수 있다.

표 7 제어 용이성 신뢰도 분석

신뢰도 통계량				
Cronbach의 알파			항목 수	
0.811			3	
항목 총계 통계량				
항목이 삭제된 경우	척도 평균	척도 분산	상관계수	Cronbach 알파

방향 제어	4.27	3.042	0.648	0.754
속도 제어	4.27	3.021	0.703	0.704
자세 유지	4.04	2.630	0.645	0.768

상태-특성 불안 척도(STAI; State-Trait Anxiety Inventory)는 Spielberger(1970)가 정신적으로 장애가 없는 정상 성인의 불안 상태를 측정하기 위해 제작하였다. STAI는 응답자가 현재의 상황에서 어떻게 느끼는지에 대한 일시적인 불안 상태인 '상태 불안'과 응답자가 일반적으로 어떻게 느끼는지에 대한 일반적인 불안 성향인 '특성 불안'을 평가하는 4점 척도로 이루어진 자가 보고 설문지이다. 각 문항의 점수를 총 합한 값을 활용하며, 점수가 높을수록 불안 성향이 높다는 것을 의미한다. 불안과 수행 능력은 밀접한 관계가 있으므로(전병관, 2000), 본 연구에서는 불안감을 측정하기 위해 STAI 문항 중 전동 킥보드 주행 시 탑승자가 느낀 안전함, 긴장감, 불쾌감, 압박감, 편안함 및 차분함에 대하여 4점 척도로 이루어진 6개의 문항을 구성하였다. 불안감 지표는 6개의 문항에 대한 합산된 값을 사용하였다. 문항 중 안전함, 편안함 및 차분함은 긍정 문항이므로 역채점을 하였다.

표 8 불안감 항목

측정 변수	항목
불안감	주행 시 안전함을 느꼈는가? 주행 시 긴장감을 느꼈는가? 주행 시 불쾌감을 느꼈는가? 주행 시 압박감을 느꼈는가? 주행 시 편안함을 느꼈는가? 주행 시 차분함을 느꼈는가?
	의 총 합

불안감도 제어 용이성과 마찬가지로 응답자의 일관성을 판단하기 위하여 신뢰도 분석을 진행하였다. 신뢰도 분석 결과 Cronbach의 알파 계수가 긍정 문항, 부정 문항 및 수정된 전체 문항에서 각각 0.852, 0.737, 0.845로 0.7보다 높은 수치로 나타났다. 따라서, 불안감을

파악하기 위해 안전함, 긴장감, 불쾌감, 압박감, 편안함 및 차분함을 묻는 문항이 타당한 척도임을 확인할 수 있다.

표 9 불안감 신뢰도 분석

신뢰도 통계량	
Cronbach의 알파	항목 수
긍정 문항: 0.852	3
신뢰도 통계량	
Cronbach의 알파	항목 수
부정 문항: 0.737	3
신뢰도 통계량	
Cronbach의 알파	항목 수
긍정 문항에만 역채점 적용한 전체 문항: 0.845	6

위험 심각도는 전동 킥보드를 타는 동안 탑승자의 안전에 대한 위험 또는 위협의 수준을 의미한다. 불편함은 과업을 수행하는 동안 탑승자가 느끼는 불편한 정도를 의미한다. 두 지표 모두 5점 리커트 척도를 사용한 자체 설문지로 측정되었다.

표 10 위험 심각도와 불편함 항목

측정 변수	항목
위험 심각도	주행 시 느낀 위험 심각도는 어땠는가?
불편함	주행 시 느낀 불편함은 어땠는가?

3.3. 실험 참여자 선정

본 실험은 총 8명의 근골격계 질환이 없는 건강한 20·30대 남녀 참가자들에 의해 수행되었다. 실험 참여자의 인구통계는 표 11과 그림 4에 요약되어 있다. 각 참여자의 성별, 만 나이, 키, 몸무게를 측정하고, 전동 킥보드 경험 및 주로 사용하는 손을 설문을 통해 수집하였다. 해당 연구는 인체측정학과 주행 수준에 따른 차이를 고려하여 다양한 체형 및 전동 킥보드 탑승 경험의 참여자를 선정하였다. 체형은 사이즈 코리아의 한국인 8차 인체치수조사 데이터를 참고하였다. 실험 참여자의 만 나이는 평균 28.75세(SD=3.55; 범위=24~34)이고, 키는 평균

174.29cm(SD=10.00; 범위=162~189)이며, 몸무게는 평균 76.63kg(SD=22.22; 범위=45~111)으로 파악되었다. 21년 개정 도로교통법에 따라 5명의 남성 참가자와 3명의 여성 참가자 모두 원동기면허 이상의 운전면허를 취득한 자로 구성하였다.

표 11 각 실험 참여자의 인구통계

실험 참여자	성별	만 나이	키	몸무게	신체질량지수 (BMI)	탑승 경험	손잡이
	(남/여)	(세)	(cm)	(kg)		(유/무)	(오른손/왼손)
1	여	32	172	60	20.28(정상)	유	오른손
2	남	27	189	106	29.67(중도비만)	유	오른손
3	여	25	162	45	17.15(저체중)	유	오른손
4	남	27	167	81	29.04(중도비만)	유	오른손
5	남	33	185	111	32.43(고도비만)	무	오른손
6	남	34	185	80	23.37(과체중)	유	오른손
7	남	28	181	77	23.5(과체중)	무	오른손
8	여	24	164	53	19.71(정상)	무	오른손

실험 참여자들의 운전 관련 설문지는 자동차와 전동 킥보드를 타본 경험에 관한 것이었다. 구체적으로 그들이 얼마나 오랫동안 또는 자주 차량을 이용하느냐 하는 것이었다. 선행 경험 질문의 결과는 그림 5에서 확인할 수 있다. 자동차와 전동 킥보드 모두 3명의 참여자가 운전 경력이 없는 것을 알 수 있다. 전동 킥보드의 경우, 1명을 제외하고는 공유 서비스 도입 이후에 운전에 대한 경험이 있었다. 또한 전동 킥보드 운전 경력이 있더라도, 한 달에 많아야 10회 정도의 운전을 하는 것으로 나타났다. 반면에, 자동차의 경우 운전 경력이 있음에도 아예 운전을 하지 않는 실험 참여자가 있었으며 그 외의 모든 참여자는 한 달에 21회 이상 운전을 하는 것으로 나타났다.

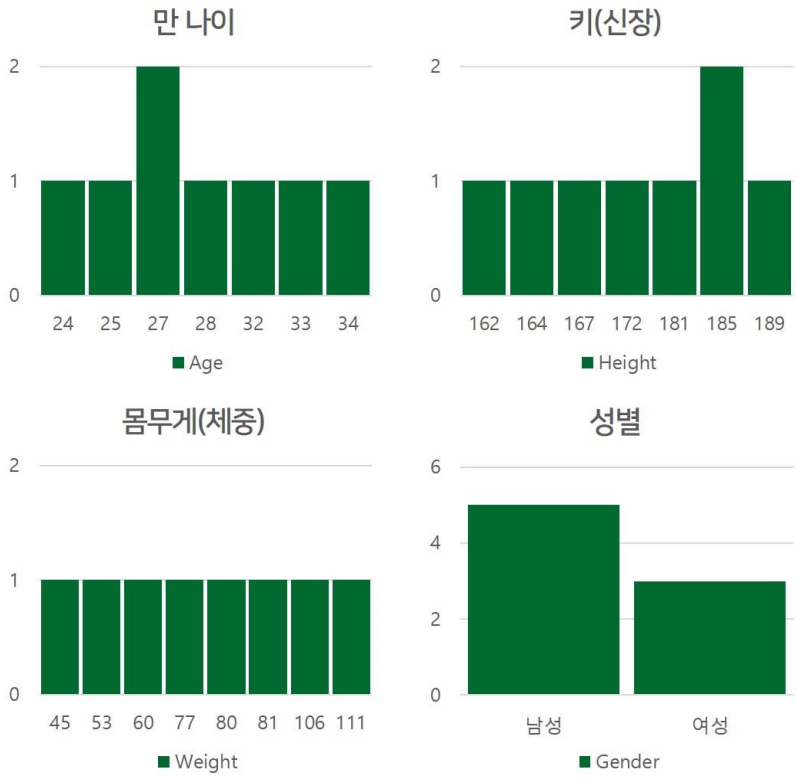


그림 4 실험 참여자의 만 나이, 키, 몸무게 및 성별 분포

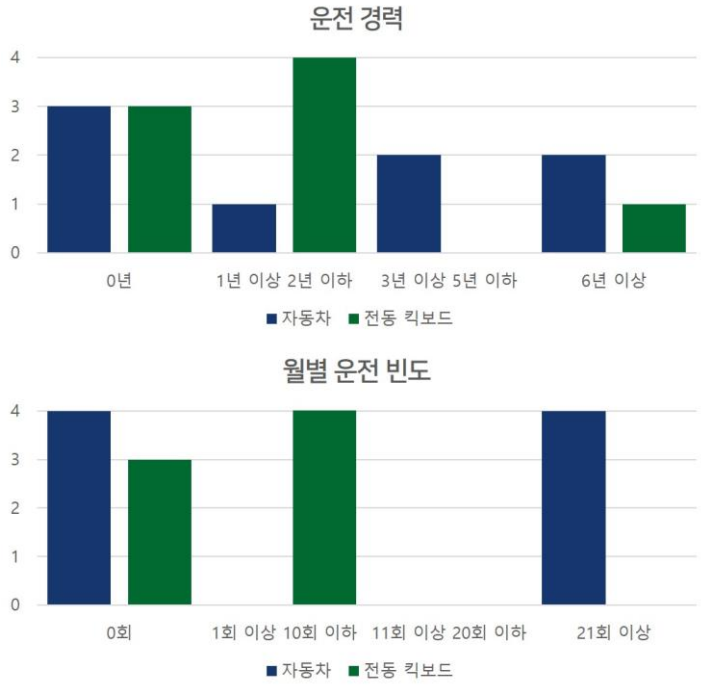


그림 5 실험 참여자의 운전 경력 및 월별 운전 빈도 분포

3.4. 실험 장비

본 연구는 실험 참여자의 전동 킥보드 주행 안전성에 대한 자료를 수집 및 분석하기 위해 3차원 동작 분석 시스템(Motion analysis Ltd, USA)을 사용하였다. 적외선 카메라 24대와 데이터 처리 장치로 구성된 동작 분석 시스템을 구축하였다.

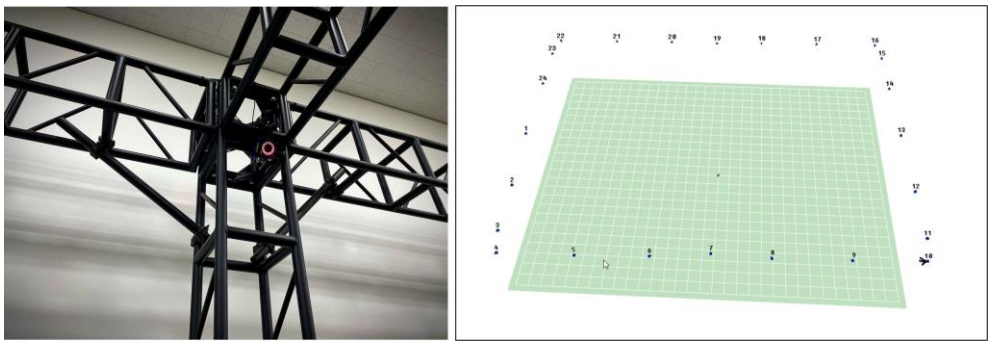


그림 6 적외선 카메라

도로교통법 제33조의 3(개인형 이동장치의 승차정원) 법에 따라 전동 킥보드의 탑승 인원은 1명으로 하였다. 주행에 사용된 전동 킥보드는 도로교통법 제2조 19의 2의 전동 킥보드 및 전동이륜평행차 안전기준 속도와 무게요건(최고속도 25km/h 미만, 총 중량 30kg 미만)을 충족하는 유테크 (주) 무선 충전 공유 전동 킥보드가 활용되었다. 또한 21년 개정 도로교통법에 따라 전동 킥보드 주행 시 안전모를 착용해야 하므로, 헬멧을 착용하여 실험하였다.

그림 7 유테크 ㈜ 무선 충전 공유 전동 킥보드(좌) 및 헬멧(우)

장애물은 가로×세로×높이가 38cm×38cm×70cm인 칼라콘을

사용하였으며, 마커의 민감성 때문에 칼라콘의 고휘도 반사지는 제거하였다. 마커는 Vicon 시스템에서 사용하는 반사 마커를 사용하였으며, 가장 일반적으로 사용되는 Helen-Hayes Marker Set Marker Placement를 참고하였다(Kim 외, 2009; Gallagher 외, 2009). 본 연구에서는 안전성 측정을 위해 목과 허리에 대한 각도를 측정하기 위해 마커 13개를 지정된 관절 부위에 부착하였고, 전상장골극(ASIS; Anterior Superior Iliac Spine)의 계산상의 편의성을 위해 추가로 좌·우측 후상장골극(PSIS; Posterior Superior Iliac Spine)에 2개의 마커를 부착하였다.

그림 8 칼라콘

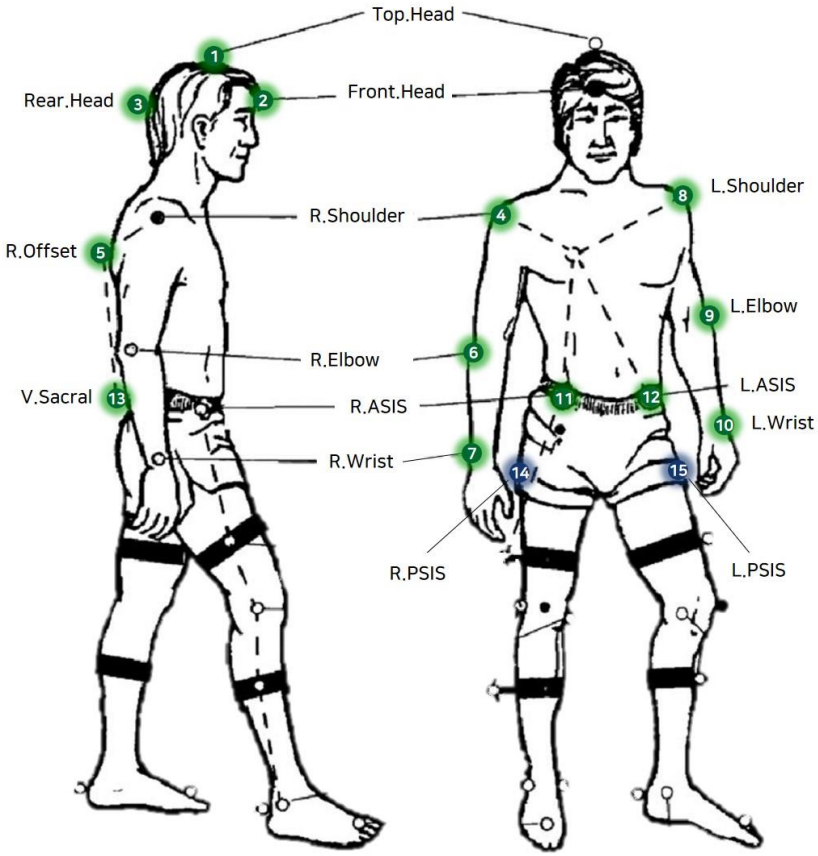


그림 9 Modified Helen-Hayes 방법을 활용한 마커 부착 위치

3.5. 실험 환경

전동 킥보드 주행 안전성 평가 환경은 통제된 실험 수행을 위한 실험 환경, 실험 장비(평가 도구), 실험 과업, 실험 조건 그리고 실험 절차를 정의함으로써 설계되었다. 본 연구는 전라남도 영광군에 위치한 한국자동차연구원(KATECH) E-모빌리티연구센터 내 동작분석스튜디오에서 진행하였다. 해당 스튜디오는 전동 킥보드뿐만 아니라 초소형 전기차, 전기 이륜차 및 전동 휠 등 E-모빌리티의 핵심부품 및 신개념 이동 서비스 개발을 위한 연구를 하는 센터에서 운영하는 실험실로, 전동 킥보드 주행 안전성을 평가하기 위한 동작 분석 시스템뿐만 아니라 주행 환경을 갖추고 있다.

행정안전부·국토교통부·경찰청은 전동 킥보드를 포함한 개인형 이동수단을 자전거도로 통행을 허용하는 도로교통법을 개정하였다(행정안전부, 2020). 행정안전부는 표 12와 같이 도로 너비와

도로 실정에 맞게 자전거 전용도로의 너비는 양방향 기준으로 2.4m 이상으로 하며, 일방향 자전거 도로의 너비는 1.5m를 적용하고 있다(행정안전부, 2016).

표 12 국내 자전거전용도로 폭 기준 (행정안전부, 2016)

구분	자전거전용도로 폭(m)		
	도시지역	지방지역	공원 및 하천
양방향	2.4	3.0	3.0
일방향	1.5	1.5	1.5

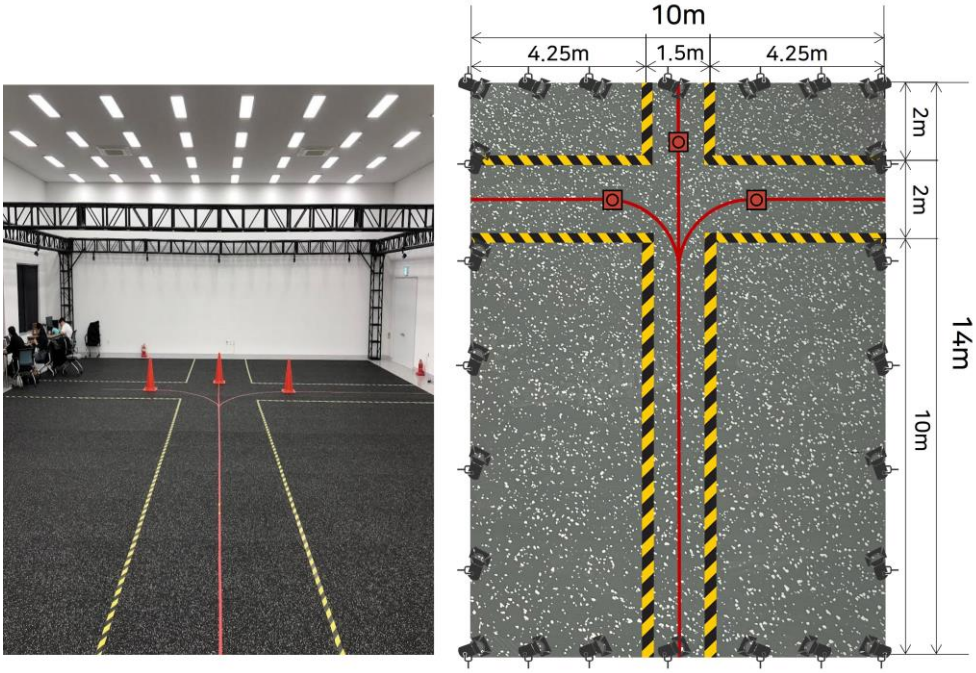


그림 10 주행 환경

따라서 행정안전부의 자전거전용도로 폭 기준인 1.5m를 적용하여, 그림 10과 같이 가상의 주행 환경을 구현하였다. 고휘도 반사지를 제거한 칼라콘은 줄자를 이용하여, 과업 시작점인 P점을 기준으로 그림 11와 같이 좌·우 곡선(원호) 및 직선 거리가 3.14m인 지점에 각각 배치하였다. 모션 분석을 위하여 주행 환경은 적외선 카메라 24대의 시야에 모두 들어와야 한다. 실험이 진행된 동작분석스튜디오의 실제 주행 거리는 약 13.14m이다. 따라서 실험 환경 특성상 안전한 주행 및 전동 킥보드 이용자의 평균 이동속도인 10.3km/h(김수재 외, 2021)가

반영되도록 실험 참여자들은 시속 10km/h에서 15km/h 사이에 맞춰서 실험이 진행되었다.

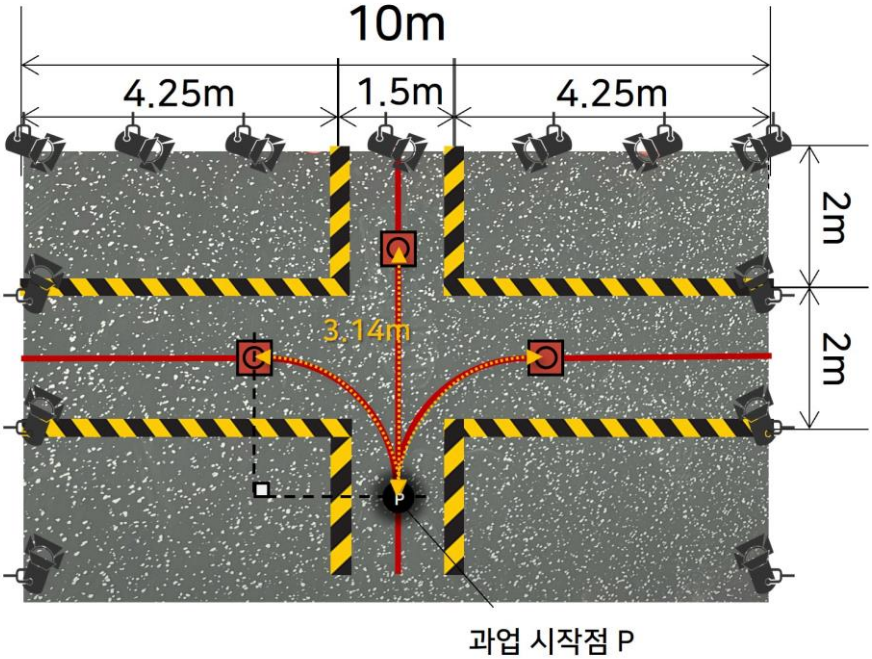


그림 11 과업 시작점 P 및 칼라콘 배치

3.6. 실험 절차

모션 캡처 시스템을 이용한 전동 킥보드 주행 안전성 측정은 그림12에 나타낸 것과 같이 6단계로 이루어졌다. 첫 번째 단계에서는 실험 목적 및 방법을 실험 참여자에게 설명한 후 실험 참여 동의서를 받았다. 두 번째 단계에서는 실험 참여 적합 여부를 확인하기 위해 운전면허 확인과 성별, 나이, 키, 몸무게 및 주행 관련 정보를 수집하였다. 세 번째 단계에서는 주행 자세 측정을 위해 Modified Helen-Hayes 방법을 참조하여 그림 8과 같이 동작센서를 부착하고, 과업 시작점 P에 피실험자를 서게 한 뒤 3D 객체 모델링을 위해 조정(Calibration)을 진행하였다. 네 번째 단계에서는 실험 참여자들의 실험 환경에서 속도감을 익히고 실험 내용 이해를 위해 총 3가지 조건(직진 단순 주행 과업, 좌회전 정지 과업, 우회전 회피 과업)을 10분 간 수행하였다. 다섯 번째 단계에서는 실험 참여자들이 경로 및 과업이 임의 조합된 6가지 조건을 두 번 반복하여 수행하였다. 매

실험을 마칠 때마다 거리 측정과 함께 시작점 P에서 피실험자의 반사 마커를 조정하는 동안 주행자의 인지적 측면을 측정하는 설문을 하였다. 측정된 거리인 제어 거리 변수는 급정지 과업에서는 제어파악 거리로, 회피 과업에서는 제어 안전 거리로 분류하였다. 6회 실험을 수행하고 약 5분 간 휴식을 취하게 한 뒤 나머지 실험을 진행하여 약 40분 간 본 실험을 수행하였다. 여섯 번째 단계에서는 모든 장비를 탈착하고 실험 관련 피드백 및 기타 의견을 5분 간 수집하였다. 전체 실험은 대략 1시간 30분 정도 소요되었다.

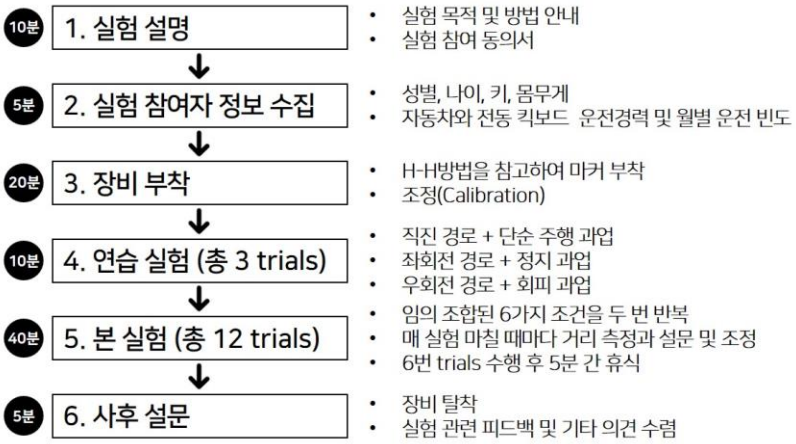


그림 12 전동 킥보드 주행 편의성 측정 실험 절차

3.7. 데이터 분석

3.7.1. 모션 분석 데이터 수집

3차원 동작 분석 시스템의 데이터 수집은 Cortex-64 및 MAC License Utility 프로그램을 활용하였다. 데이터 측정을 위해 본 실험에서 진행한 절차는 그림 13과 같다.

1. 프로그램 실행	• Cortex-64 8.0.1.1975 및 MAC License Utility 설치 • Cortex-64 8.0.1.1975 파일 실행 및 실험 환경에 맞게 피험자 별로 폴더 생성
↓ 2. 카메라 세팅	• 생성된 폴더에서 파일을 불러옴 • Load camera setup하고 Connect to camera 실행
↓ 3. 조정(Calibration) 작업	• 마커를 부착한 피험자에게 과업 시작점 P에서 정면을 보면서 팔을 들어 좌·우로 움직이다가 정면에서 멈춘 뒤 두 팔을 살짝 벌리게 요구하고 이를 기록함
↓ 4. 마커 ID 선택	• Load last capture를 클릭하고, Quick ID를 선택 • 위치에 맞게 15군데의 마커를 선택 (① Top.Head ~ ⑮ L.PSIS)
↓ 5. 데이터 수정 작업	• 불필요한 데이터를 제거하거나 잘못된 데이터를 바로 잡기 위해 Cubic join, Smooth, Delete unnamed를 활용
↓ 6. 실험 시작	• Calculate 버튼을 선택하여 뼈대를 생성 • 피험자를 과업 시작점 P 위치에 세워서 마커가 모두 출력되는지 확인 • 카메라를 실행하여 실험 시작
↓ 7. 실험 진행	• 마커의 민감성 때문에 피험자는 과업 이외의 행동을 제한하도록 하고, 진행자가 전동 킥보드 위치 조정 및 출발 전 킥 스탠드를 올리도록 함
↓ 8. 실험 종료	• 매 실험마다 조정(Calibration) 작업을 하면서, 감성 측정치 질문(12문항)에 대해 진행 • 피험자가 실험을 마치면 Disconnect camera를 눌러 카메라 종료 및 파일 확인

그림 13 본 실험 절차

Cortex-64를 실행하기 위해 필요한 프로그램을 설치한 뒤 파일을 실행하였다. 좌측 상단의 [File]에서 [Save setup as]를 선택하여 피험자 별로 폴더를 생성하였다. [File]의 [Load setup]을 클릭하여 생성된 폴더에서 파일을 불러오고, [Load camera setup]을 하였다. 좌측 하단의 [Connect to camera]를 실행하여 카메라를 킨 뒤, 마커를 부착한 피험자에게 과업 시작점 P에서 요구된 행동을 하도록 하고 이를 기록하였다(그림 14).

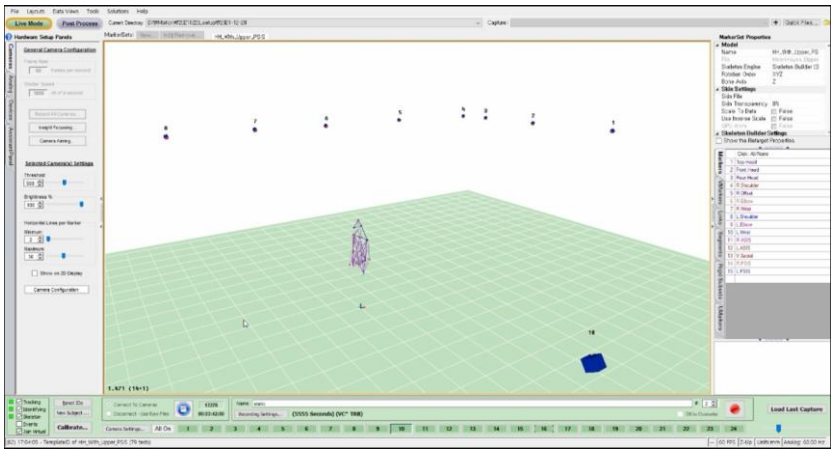


그림 14 조정(Calibration) 작업

기록된 데이터에서 3D 객체의 마커를 식별하기 위해 Modified Helen-Hayes 방법을 활용한 15개 마커 부착 위치(그림 8)와 같이 Top.Head,

Front.Head, Rear.Head, R.Shoulder, R.Offset, R.Elbow, R.Wrist, L.Shoulder, L.Elbow, L.Wrist, R.ASIS, L.ASIS, V.Sacral, R.PSIS, L.PSIS 순으로 지정해주었다(그림 15).

그림 15 마커 순서

마커들을 잇는 [Join]을 실행하기 전에 간격의 끝점을 수동으로 선택하여 간격을 선형 보간법으로 채우는 [Cubic join], 설정된 프레임 내의 데이터를 부드럽게 하는 [Smooth]와 모든 프레임에서 ID가 규정되지 않은 고스트 데이터를 삭제하는 [Delete unnamed]를 통해 데이터를 수정(Rectify)하였다. [Calculate]를 눌러 선택한 프레임에서 할당된 모든 가상 마커의 위치가 계산되어 뼈대가 생성되었다. 실험 시작 전 마지막 단계로 P 위치에서 마커가 모두 출력되는지 확인을 한 뒤 카메라를 실행하였다.

본 실험의 과업 및 경로 조합에 대한 순서는 표 13-1과 표 13-2와 같이 임의로 조합된 실험 순서를 따라 진행하였다.

표 13-1 실험 참여자 1번~4번 실험 표

실험 구분	실험 순서	과업	경로
A	1	급정지	직진
	2	회피	좌회전
	3	급정지	좌회전
	4	회피	직진
	5	급정지	우회전
	6	회피	우회전

B	7	회피	우회전
	8	급정지	좌회전
	9	급정지	직진
	10	회피	좌회전
	11	급정지	우회전
	12	회피	직진

표 13-2 실험 참여자 5번~8번 실험 표

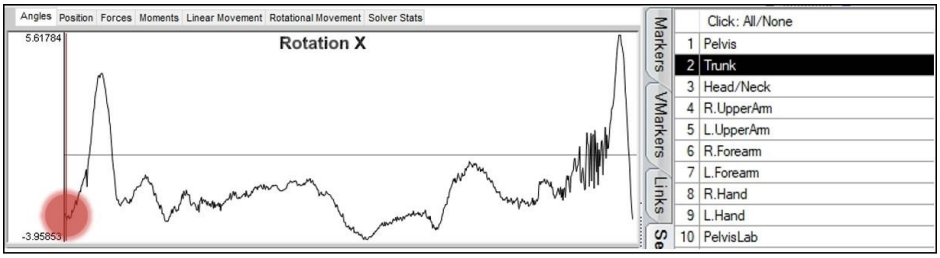
실험 구분	실험 순서	과업	경로
B	1	회피	우회전
	2	급정지	좌회전
	3	급정지	직진
	4	회피	좌회전
	5	급정지	우회전
	6	회피	직진
A	7	급정지	직진
	8	회피	좌회전
	9	급정지	좌회전
	10	회피	직진
	11	급정지	우회전
	12	회피	우회전

반사 마커가 빛에 민감하기 때문에 실험은 통제된 환경 내에서 진행을 하며, 피험자는 가능하면 과업 이외의 행동을 제한하도록 하였다. 실험 진행자는 피험자가 실험에만 집중할 수 있도록 전동 킥보드 위치 조정 및 출발 전 킥 스탠드를 올리도록 하고 실험을 시작하였다. 피실험자마다 총 12회 실험을 진행하며, 매 실험을 마칠 때마다 거리 측정을 하였다. 또한 피험자는 P점에 위치한 채로 인지적 측면을 측정하는 설문에 대해 점수를 매기며, 그동안 실험 진행자는 마커 출력이 올바르게 되는지 확인 및 조정을 하며 다음 실험을 준비하였다.

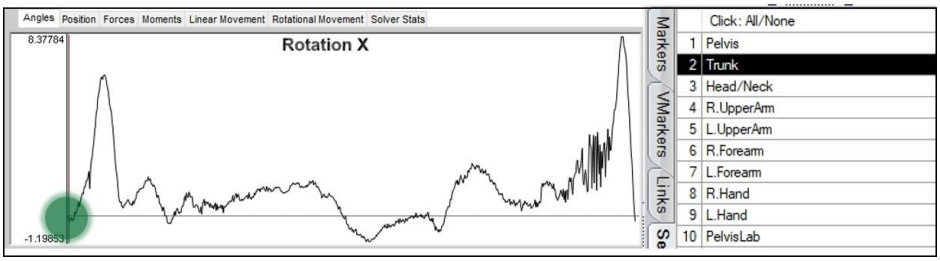
3.7.2. 모션 분석 데이터 처리

3차원 동작 분석 시스템의 데이터 처리도 Cortex-64 및 MAC License Utility 프로그램을 활용하였으며, 전동 킥보드 주행 시 골절 위험도를 파악하고자 목과 허리에 대한 각도를 측정하였다. Cortex-64 파일을 실행하여, 좌측 상단의 [File]에서 [Load capture]를 선택하여

처리할 파일을 불러왔다. 실험을 시작할 때의 실험 참여자들에게 꼿꼿한 자세에서부터 주행을 하도록 지시하였다. 따라서 골반을 기준으로 허리 각도를 0으로 시작하도록 그림 16과 같이 데이터를 수정하였다. 방법은 다음과 같다. [Data views]의 [Skeleton graphs]를 선택하고, 우측 중앙의 [Segments] 탭에서 2. Trunk를 선택하여 Rotation X 그래프의 시작점의 숫자를 확인하고 10. PelvisLab을 선택 후 우측 하단의 RX Offset에 적혀 있던 기존 값에 시작점의 숫자를 더하여 입력하고나서 좌측 하단의 [Calculate]를 실행하였다.



<실험을 통해 측정한 허리 각도(Rotation X)>



<Pelvis Lab 기준으로 수정한 허리 각도(Rotation X)>

그림 16 허리 각도 데이터 평행이동 작업

해당 작업을 마치면, 계산상의 정확도를 높이기 위해 [Tools]의 [Mass model editor]에서 각 피험자의 체중과 신장 정보를 입력하였다. 또한 특이 데이터인 데이터 점프 및 가속에 대한 기준을 정하기 위해 [Post process tools]의 [Search] 탭에서 [Spike]에 6, [Acceleration]에는 100을 입력하였다. 프레임마다 마커가 잘 찍혔는지 확인하기 위해 오른쪽 마우스를 클릭하여 [Subject]의 [Markers names]를 선택하여 각 마커의 이름이 표기되도록 하고, 프레임을 조정하며 각 부위 별 마커를 확인하였다(그림 17). 인식되지 않은 마커가 확인되는 프레임에서는 다른 부위의 마커를 이용하여 마커 데이터를 계산하는 [Virtual join]을 이용하였다.

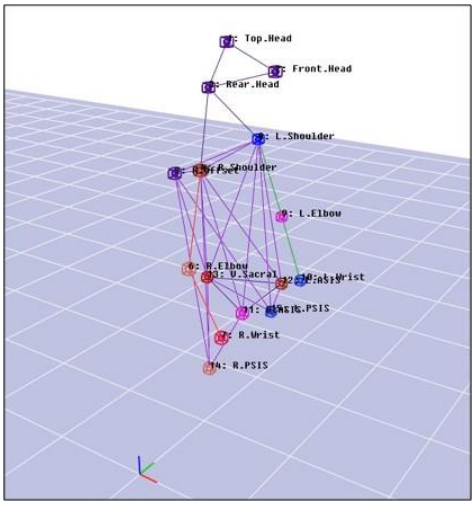


그림 17 부위 별 마커 표시

본 실험의 데이터를 처리할 때 탑승자의 갑작스러운 자세 변화 등의 이유로 13. V.Sacral 데이터가 손실되는 경우가 많이 발생하였다. 이를 해결하기 위해 조정(Calibration)했을 때의 파일에서 [Markers]의 11. R.ASIS부터 15. L.PSIS를 선택하고 한 프레임을 클릭(→|←)하여 복사하고, 13. V.Sacral 데이터가 유실된 파일의 11. R.ASIS부터 15. L.PSIS까지의 마커 데이터의 한 프레임에 붙여넣기 하였다. 다만, 과업 시작점 P에서 측정한 데이터를 복사하여 붙여넣기 했으므로, 11. R.ASIS부터 15. L.PSIS의 마커가 점 P에 위치하기 때문에 [Markers]에서 13. V.Sacral을 선택 후 [Virtual join] (Origin marker: R.ASIS - Long Axis marker: L.ASIS - Plane marker: R.PSIS)을 이용하여 계산하였다. 계산을 마친 후, 모든 [Markers]를 선택한 다음에 두 번째 프레임을 클릭(→|←)하여 복사하고, 첫 번째 프레임에 가서 붙여넣기를 하였다.

마커가 잘 찍혔는지 확인을 마치고나서, [Spike] 및 [Acceleration] 같이 특이 데이터가 존재하는 경우 확대/축소 기능을 이용하여, 그래프를 살펴보고 해당 부분을 선택한다. 선택된 프레임 구간은 [Cubic join]을 이용하여 데이터가 끊긴 지점의 커브를 부드럽게 처리하였다. 그래프가 잘 나타났다면, [Calculate]를 선택하여 뼈대를 생성해주었다. [Data views]의 [Skeleton graphs]를 선택하고, 우측 중앙의 [Segments]를 눌러 2. Trunk와 3. Head/Neck 데이터를 살펴봐야 한다.

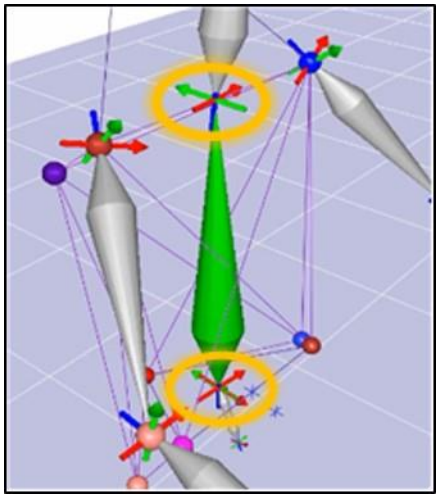


그림 18 뼈대의 X축, Y축, Z축

그림 18에서의 빨간 축은 X축, 녹색 축은 Y축, 파란 축은 Z축을 나타낸다. X축은 직진하는 주행 방향과 일치하도록 전·후의 방향성을 나타내며, Y축은 회전하는 주행 방향과 일치하도록 좌·우의 방향성을 나타내고, Z축은 수직 방향과 일치하도록 상·하의 방향성을 가진다. Head/Neck의 Parent segment는 Trunk이며 다시 말해 머리/목 데이터는 허리 데이터를 참조하여 계산되기 때문에, 피험자가 앞으로 기울어 있을 때 X축의 값이 양수가 나와야 한다. 따라서 그림 18의 표시한 부분의 축 방향이 서로 같은지를 확인해야 한다. 위의 그림의 경우 빨간 축인 X축의 방향이 서로 일치함을 알 수 있다. 우측 상단의 [Rotation order]는 뼈대에 대해 정의된 하위-상위 각도(child-parent angles)에 대한 것으로, Euler angle order에 의해 XYZ로 설정하여 변화량이 큰 축을 우선으로 잡아주었다.

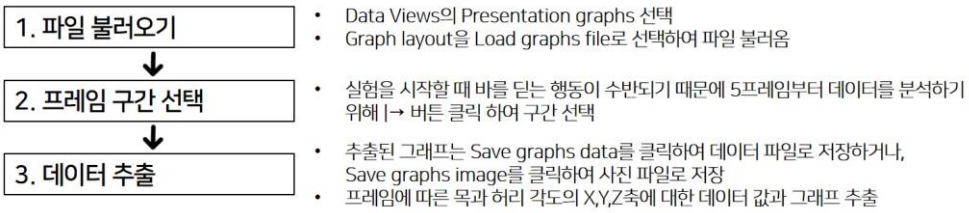
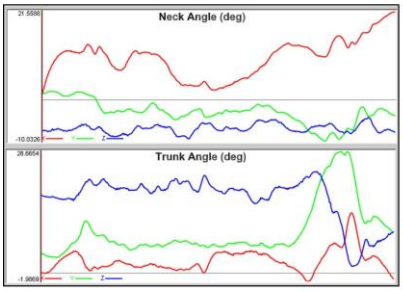


그림 19 데이터 추출 절차

본 연구에서 3차원 동작 분석 시스템의 데이터 추출을 위한 절차는 그림 19과 같으며, 그림 20과 같은 데이터를 얻을 수 있었다. 추출한 데이터에서 X, Y, Z축 및 모든 구간에서의 각도 데이터가 필요한 것은

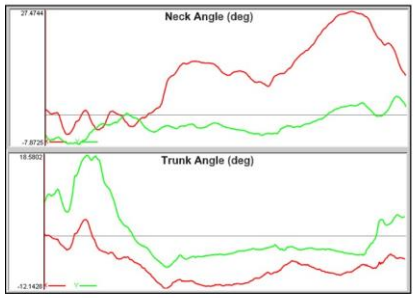
아니다. 전동 킥보드 주행 방향이 위·아래 수직 방향에 대해서는 다루지 않으므로 지면과 수직인 Z축에 대하여 목과 허리 각도 데이터는 살피지 않았다. 또한 과업을 수행했을 때의 각도 즉, 실험 참여자가 급정지하거나 회피를 할 때의 각도 데이터가 중요하기 때문에 전체 구간이 아닌 과업 구간에 대해서 데이터를 트리밍하였다. 위의 두 과정을 고려하여 얻은 데이터는 그림 21과 같다.



1	[Data]						
2		Neck_Trunk					
3		Neck Angle (deg)			Trunk Angle (deg)		
4	Index	X	Y	Z	X	Y	Z
5	1	2.9026	1.689577	-7.28303	-0.00608	4.491024	18.21682
6	2	3.341473	1.751092	-7.31106	0.030308	4.450348	18.10536
7	3	3.629821	1.691151	-7.41039	0.027027	4.483431	18.15908
8	4	4.058033	1.800354	-7.41758	-0.10224	4.382124	18.09136
9	5	4.557564	1.78825	-7.33608	-0.09748	4.313831	18.05911
10	6	4.889017	1.775728	-7.36125	-0.10334	4.257048	18.03762
11	7	5.346739	1.802535	-7.4858	-0.14023	4.201396	18.03299
12	8	5.674371	1.925198	-7.54968	-0.06725	4.070645	18.04309
13	9	5.919064	1.962046	-7.66085	0.042201	4.048203	18.0435
14	10	6.281154	2.102117	-7.69287	0.129511	3.968211	17.92587
15	11	6.622568	2.024363	-7.58347	0.127257	3.962941	17.9841
16	12	6.9452	2.122656	-7.44931	0.1686	3.891086	17.88285
17	13	7.223323	2.181109	-7.54392	0.194859	3.900196	17.91148
18	14	7.427149	2.164709	-7.5894	0.228203	3.878744	17.94132
				⋮			
748	744	20.92052	-3.03672	-7.17088	0.599767	10.79881	8.697557
749	745	21.01332	-3.21471	-7.12241	0.32093	10.739	8.971464
750	746	21.18057	-3.28648	-7.1772	0.113207	10.65219	9.163919
751	747	21.19378	-3.30864	-7.28177	-0.05753	10.58042	9.285562
752	748	21.1905	-3.28953	-7.35965	-0.11085	10.39643	9.051321
753	749	21.24174	-3.36736	-7.3756	-0.17812	10.21869	9.078667
754	750	21.30257	-3.41688	-7.49	-0.39884	10.15095	9.229251
755	751	21.37178	-3.5334	-7.45815	-0.605	10.076	9.373254
756	752	21.45619	-3.55971	-7.54036	-0.77592	9.930469	9.444208
757	753	21.4239	-3.55129	-7.58118	-0.88682	9.820332	9.409439
758	754	21.40476	-3.64122	-7.53407	-1.04305	9.764447	9.479249
759	755	21.45966	-3.69405	-7.66602	-1.20868	9.697261	9.60502
760	756	21.4739	-3.73182	-7.80013	-1.33184	9.626346	9.631599
761	757	21.55881	-3.84888	-7.85519	-1.47721	9.587078	9.757386

<그래프 데이터> <수치 데이터>

그림 20 전체 구간 모션 분석 데이터



1	[Data]				
2		Neck_Trunk			
3		Neck Angle (deg)		Trunk Angle (deg)	
4	Index	X	Y	X	Y
5	1	11.67329	-3.84741	-11.0099	-3.6585
6	2	11.60097	-3.87664	-10.9572	-3.5259
7	3	11.67435	-3.88899	-10.9991	-3.59687
8	4	11.66118	-3.87753	-10.968	-3.47853
9	5	11.70185	-3.9436	-11.044	-3.49081
10	6	11.65557	-3.97361	-11.0277	-3.47253
11	7	11.69414	-3.9267	-11.1593	-3.45944
12	8	11.6078	-4.04982	-11.0507	-3.46375
13	9	11.51174	-3.97614	-11.0583	-3.47997
14	10	11.51427	-4.01432	-11.081	-3.43775
15	11	11.46435	-3.96022	-11.063	-3.47768
16	12	11.48569	-4.0781	-11.0786	-3.49831
17	13	11.37285	-4.08917	-11.0736	-3.41504
18	14	11.24016	-4.14234	-10.9568	-3.45122
			⋮		
257	253	22.96804	0.665101	-7.17651	-1.57482
258	254	22.6958	0.401738	-7.47663	-1.76149
259	255	22.34123	0.259638	-7.42094	-1.53324
260	256	22.11344	0.246105	-7.52673	-1.31889
261	257	21.86253	0.077932	-7.41746	-1.05665
262	258	21.63184	-0.12486	-7.45768	-0.8721
263	259	21.27166	-0.21956	-7.28289	-0.80904
264	260	21.03959	-0.1762	-7.41906	-0.44845
265	261	20.85797	-0.38313	-7.41591	-0.18724
266	262	20.62582	-0.24997	-7.3266	0.187728
267	263	20.39118	-0.20029	-7.06652	0.776886

<그래프 데이터> <수치 데이터>

그림 21 과업 구간 모션 분석 데이터

3.7.3 데이터 측도

물리적 측면의 골절 위험도 및 제어 거리 지표는 연속형 데이터이므로 간격척도로 하였다. 반면에, 인지적 측면의 운동자각도, 제어 용이성, 불안감, 위험 심각도 및 불편함 지표는 주행 시 인지한 각 지표에 대해 순위를 매긴 데이터이므로 순서척도로 하였다.

제 4 장 실험 결과

4.1. 수행 시간

방향에 따른 과업 수행 시간은 표 14와 그림 22와 같다. 급정지 과업을 수행할 때 걸린 시간은 직진일 때 평균 4.18초(SD=0.42; 범위=3.04~4.85)이고, 좌회전일 때 평균 4.31초(SD=0.39; 범위=3.60~5.05)이며, 우회전일 때 평균 4.31초(SD=0.36; 범위=3.63~4.94)가 소요됐다. 회피 과업을 수행할 때 걸린 시간은 직진일 때 평균 5.48초(SD=0.71; 범위=4.31~6.63)이고, 좌회전일 때 평균 4.80초(SD=0.56; 범위=3.93~6.19)이며, 우회전일 때 평균 5.37초(SD=0.58; 범위=4.71~6.67)가 소요됐다.

표 14 수행 시간 기술 통계량

과업	방향	평균 (표준편차)[sec]
급정지	직진	4.18 (±0.42)
	좌회전	4.31 (±0.39)
	우회전	4.31 (±0.36)
회피	직진	5.48 (±0.71)
	좌회전	4.80 (±0.56)
	우회전	5.37 (±0.58)

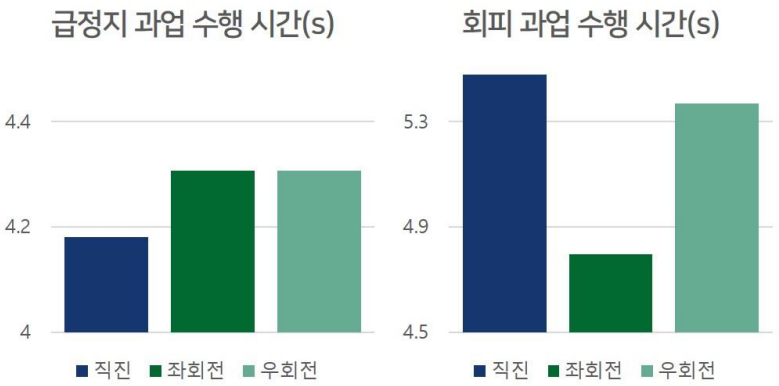


그림 22 맥락에 따른 방향별 수행 시간

전동 킥보드 탑승 및 자동차 운전 경험에 따라 실험 참여자가 주행

시 느낀 체감 난이도의 비율 차이를 검증하기 위해 교차표를 산출하였다. 평균 수행 시간인 4.74초를 기준으로 체감 난이도의 고·저를 나누었다. 실험 참여자 모두 원동기면허 이상의 운전면허를 취득하였으므로, 자동차 운전 경력이 1년 미만인 경우는 운전 경험이 없다고 보았다. 결과는 체감 난이도가 낮은 경우는 전동 킥보드 탑승 및 자동차 운전 경험이 없는 실험 참여자가 17명(39.5%), 경험이 있는 경우가 26명(60.5%)으로 나타났고, 체감 난이도가 높은 경우는 경험이 없는 경우가 1명(20%), 경험이 있는 경우가 4명(80%)으로 나타났다. 탑승 및 운전 경험에 따른 체감 난이도 차이의 통계적 유의성 여부를 판단하기 위해 카이제곱 검정을 실시한 결과, 이는 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

표 15-1 전동 킥보드 탑승 경험 유무에 따른 체감 난이도 차이

급정지		체감 난이도		전체	X^2	p
		저	고			
탑승 경험	무	17(94.4)	1(5.6)	18(100.0)	0.729	0.393
	유	26(86.7)	4(13.3)	30(100.0)		
전체		43(89.6)	5(10.4)	48(100.0)	48(100.0)	
회피		**체감 난이도**		**전체**	X^2	p
		저	고			
탑승 경험	무	6(33.3)	12(66.7)	18(100.0)	1.067	0.302
	유	6(20.0)	24(80.0)	30(100.0)		
전체		12(25.0)	36(75.0)	48(100.0)		

단위: 빈도(%)

표 15-2 자동차 운전 경험 유무에 따른 체감 난이도 차이

급정지		체감 난이도		전체	X^2	p
		저	고			
탑승 경험	무	17(94.4)	1(5.6)	18(100.0)	0.729	0.393
	유	26(86.7)	4(13.3)	30(100.0)		
전체		43(89.6)	5(10.4)	48(100.0)	48(100.0)	
회피		**체감 난이도**		**전체**	X^2	p
		저	고			
탑승 경험	무	6(33.3)	12(66.7)	18(100.0)	1.067	0.302
	유	6(20.0)	24(80.0)	30(100.0)		
전체		12(25.0)	36(75.0)	48(100.0)		

단위: 빈도(%)

4.2. 물리적 측면에서의 주행 안전성

본 연구에서는 과업 맥락에 대하여, 주행 방향에 따라 3가지로 구분하여 실험을 진행하였을 때 기술 통계량은 표 16과 같다.

표 16 물리적 측면 기술 통계량

		과업	방향	평균 (표준편차)
골절 위험도 [deg]	목 각 (X축)	급정지	직진	12.86 (±5.36)
			좌회전	27.67(±14.16)
			우회전	23.80(±11.97)
		회피	직진	24.69 (±10.43)
			좌회전	21.36 (±9.86)
			우회전	28.53 (±10.10)
	목 각 (Y축)	급정지	직진	9.97 (±4.67)
			좌회전	8.98(±4.51)
			우회전	8.76(±4.09)
		회피	직진	8.64 (±4.84)
			좌회전	11.11 (±4.39)
			우회전	8.28 (±3.20)
	허리 각 (X축)	급정지	직진	11.61 (±5.83)
			좌회전	10.51(±4.55)
			우회전	8.56(±4.66)
		회피	직진	9.01 (±5.21)
			좌회전	9.34 (±3.90)
			우회전	8.95 (±4.59)
	허리 각 (Y축)	급정지	직진	9.78 (±4.94)
			좌회전	8.49(±3.59)
			우회전	9.40(±4.84)
		회피	직진	7.86 (±3.34)
			좌회전	10.53 (±4.39)
			우회전	7.05 (±3.89)
제어 거리 [cm]		급정지	직진	37.28 (±17.66)
			좌회전	49.58 (±17.95)
			우회전	54.69(±22.86)
		회피	직진	67.85 (±19.39)
			좌회전	120.3 (±38.59)
			우회전	116.17(±41.55)

먼저, 방향에 따른 골절 위험도 및 제어 거리의 차이가 있는지를 검정하였다. 정규성 검정은 Kolmogorov-Smirnov 검정과 Shapiro-Wilk 검정이 이용되었으며, 표 17-1과 표 17-2에 요약되어 있다. 골절 위험도는 정규성 검정 결과, 두 검정 모두 p값이 0.05보다 작으므로 유의하다. 따라서 골절 위험도는 정규분포에 따르고 있다고 하지 못하므로, 유의수준 5% 하에서 독립표본 비모수검정인 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였다. 제어 거리의 경우 두 검정 모두 p값이 0.05보다 크나, 모집한 피실험자의 수가 적으므로 정규성을 가정하기 어려울 수 있어 ANOVA뿐만 아니라, Kruskal-Wallis 검정도 이용하였다.

표 17-1 급정지에서의 물리적 측면 정규성 검정

	방향		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
			통계	자유도	CTT 유의확률	통계	자유도	CTT 유의확률
골절 위험도	목 각 (X축)	직진	0.173	16	0.200	0.903	16	0.091
		좌회전	0.108	16	0.200	0.945	16	0.411
		우회전	0.209	16	0.060	0.867	16	0.025 *
	목 각 (Y축)	직진	0.153	16	0.200	0.956	16	0.588
		좌회전	0.266	16	0.003 *	0.891	16	0.058
		우회전	0.142	16	0.200	0.901	16	0.083
	허리 각 (X축)	직진	0.220	16	0.038 *	0.882	16	0.042 *
		좌회전	0.133	16	0.200	0.955	16	0.571
		우회전	0.162	16	0.200	0.871	16	0.028 *
	허리 각 (Y축)	직진	0.126	16	0.077	0.957	16	0.608
		좌회전	0.203	16	0.200	0.928	16	0.228
		우회전	0.100	16	0.200	0.943	16	0.390
제어 거리	직진		0.160	16	0.200	0.891	16	0.057
	좌회전		0.101	16	0.200	0.989	16	0.999
	우회전		0.137	16	0.200	0.933	16	0.274

*p<0.05

표 17-2 회피에서의 물리적 측면 정규성 검정

	방향		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
			통계	자유도	CTT 유의확률	통계	자유도	CTT 유의확률
골절 위험도	목 각 (X축)	직진	0.178	16	0.187	0.909	16	0.111
		좌회전	0.229	16	0.024 *	0.848	16	0.013 *
		우회전	0.136	16	0.200	0.925	16	0.200
	목 각 (Y축)	직진	0.199	16	0.089	0.892	16	0.061
		좌회전	0.203	16	0.078	0.869	16	0.026 *
		우회전	0.161	16	0.200	0.913	16	0.132
	허리 각 (X축)	직진	0.148	16	0.200	0.911	16	0.123
		좌회전	0.157	16	0.200	0.948	16	0.456
		우회전	0.177	16	0.196	0.908	16	0.107
	허리 각 (Y축)	직진	0.141	16	0.200	0.960	16	0.666
		좌회전	0.180	16	0.172	0.883	16	0.043 *
		우회전	0.158	16	0.200	0.872	16	0.029 *
제어 거리	직진		0.161	16	0.200	0.931	16	0.251
	좌회전		0.153	16	0.200	0.951	16	0.500
	우회전		0.170	16	0.200	0.902	16	0.085

* $p<0.05$

4.2.1. 골절 위험도

Kruskal-Wallis 검정 결과는 표 18-1과 표 18-2에 요약되어 있다. 급정지 과업에서는 허리 기준으로 측정된 X축 방향의 목의 최대 각이 주행 방향에 따라 유의적인 차이가 있었다. 반면에, 회피 과업에서는 골반 기준으로 측정된 Y축 방향의 허리의 최대 각이 주행 방향에 따라 유의적인 차이가 있음을 확인하였다.

표 18-1 급정지에서의 골절 위험도 K-W 검정

급정지 과업	골절 위험도 [deg]			
	목 각 (X축)	목 각 (Y축)	허리 각 (X축)	허리 각 (Y축)
Kruskal-Wallis의 H	12.529	0.674	3.728	0.465
근사 유의확률	0.002 *	0.714	0.155	0.792

* p<0.05, 자유도=2

표 18-2 회피에서의 골절 위험도 K-W 검정

회피 과업	골절 위험도(deg)			
	목 각 (X축)	목 각 (Y축)	허리 각 (X축)	허리 각 (Y축)
Kruskal-Wallis의 H	4.099	4.789	0.286	7.445
근사 유의확률	0.129	0.091	0.867	0.024 *

* p<0.05, 자유도=2

방향에 따른 다중비교 결과는 표 19-1, 표 19-2 및 그림 23에 요약되어 있다. 다중비교는 Bonferroni 수정을 통해 유의성 값이 수정되었다. 급정지 과업에서 X축 방향의 목의 최대 각은 직진과 우·좌회전 간에는 유의한 차이가 있고, 평균이 직진보다는 우·좌회전이 더 크므로 골절 위험이 더 크다고 볼 수 있었다. 우회전과 좌회전 간에는 유의한 차이가 없었다. 즉 부등호로 표기하면, '직진<우회전, 좌회전'으로 표기할 수 있다. 회피 과업에서 Y축 방향의 허리의 최대 각은 우회전과 좌회전 간에는 유의한 차이가 있고, 평균이 큰 좌회전이 굴절 위험이 더 크다고 할 수 있다. 즉 부등호로 표기하면, '우회전<좌회전'으로 표기할 수 있다.

표 19-1 급정지에서의 목 각(X축) 사후분석

급정지 과업	골절 위험도	
	목의 최대 각(X축)	
방향-방향	유의확률	조정된 유의확률
직진-우회전	0.007	0.020 *
직진-좌회전	0.001	0.003 *
우회전-좌회전	0.549	1.000

* p<0.05

표 19-2 회피에서의 허리 각(Y축) 사후분석

회피 과업	골절 위험도	
	허리의 최대 각(Y축)	
방향-방향	유의확률	조정된 유의확률
우회전-직진	0.344	1.000
우회전-좌회전	0.007	0.021 *
직진-좌회전	0.081	0.244

* p<0.05

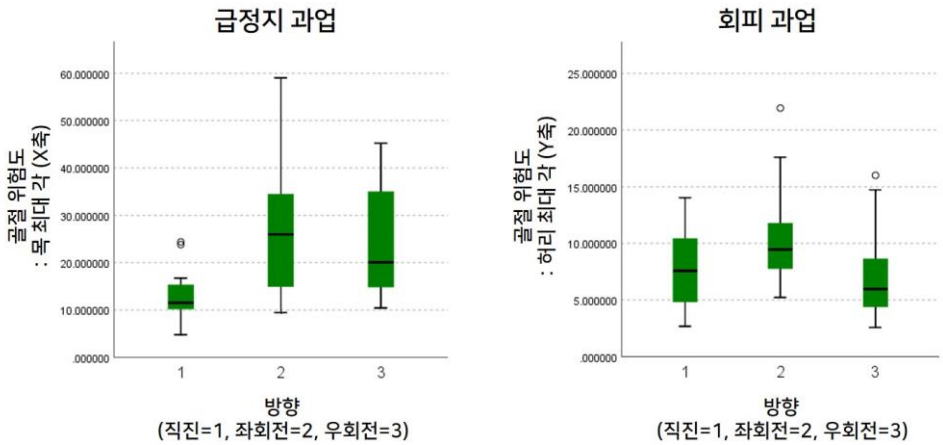


그림 23 골절 위험도 Kruskal-Wallis 검정

4.2.2. 제어 거리

ANOVA 및 Kruskal-Wallis 검정 결과는 표 20-1과 표 20-2에 요약되어 있다. 급정지 과업에서는 두 검정 모두 제어 파악 거리가 주행 방향에 따라 유의적인 차이가 있었다. 또한 회피 과업에서는 제어 안전 거리가 주행 방향에 따라 유의적인 차이가 있음을 확인하였다.

표 20-1 급정지에서의 제어 거리 ANOVA 및 K-W 검정

급정지 과업		제어 거리(cm)
		제어 파악 거리
ANOVA	F	23.321
	유의확률	0.045 *
Kruskal-Wallis	Kruskal-Wallis의 H	6.623
	근사 유의확률	0.036 *

* p<0.05, 자유도=2

표 20-2 회피에서의 제어 거리 ANOVA 및 K-W 검정

회피 과업		제어 거리(cm)
		제어 안전 거리
ANOVA	F	11.364
	유의확률	0.000 *
Kruskal-Wallis	Kruskal-Wallis의 H	6.599
	근사 유의확률	0.037 *

* p<0.05, 자유도=2

방향에 따른 다중비교 결과는 표 21-1, 표 21-2 및 그림 24에 요약되어 있다. ANOVA 출력에 대해서는 Duncan을 활용하여 사후 검정하였으며, Kruskal-Wallis 검정의 다중비교는 Bonferroni 수정을 통해 유의성 값이 수정되었다. 급정지 과업에서 두 사후분석 모두 제어 파악 거리는 직진과 우회전 간에는 유의한 차이가 있고, 평균이 큰 우회전이 제어 파악을 위해 필요한 거리가 더 크다고 할 수 있다. 즉 부등호로 표기하면, '직진<우회전'으로 표기할 수 있다. 회피 과업에서 두 사후분석 모두 제어 안전 거리는 직진과 좌·우회전 간에는 유의한 차이가 있고, 평균이 직진보다는 좌·우회전이 더 크므로 제어 안전 거리가 더 크다고 볼 수 있었다. 좌회전과 우회전 간에는 유의한 차이가 없었다. 즉 부등호로 표기하면, '직진<좌회전, 우회전'으로 표기할 수 있다.

표 21-1 급정지에서의 제어 거리 사후분석

급정지 과업	제어 거리(cm)	
	제어 파악 거리	
방향	1	2
직진	37.281	-
좌회전	49.575	49.575
우회전	-	54.688
방향-방향	유의확률	조정된 유의확률
직진-좌회전	0.047	0.142
직진-우회전	0.016	0.048 *
좌회전-우회전	0.668	1.000

* $p<0.05$

표 21-2 회피에서의 제어 거리 사후분석

회피 과업	제어 거리(cm)	
	제어 안전 거리	
방향	1	2
직진	67.850	-
좌회전	-	116.169
우회전	-	120.300
방향-방향	유의확률	조정된 유의확률
직진-좌회전	0.001	0.002 *
직진-우회전	0.000	0.000 *
좌회전-우회전	0.728	1.000

* $p<0.05$

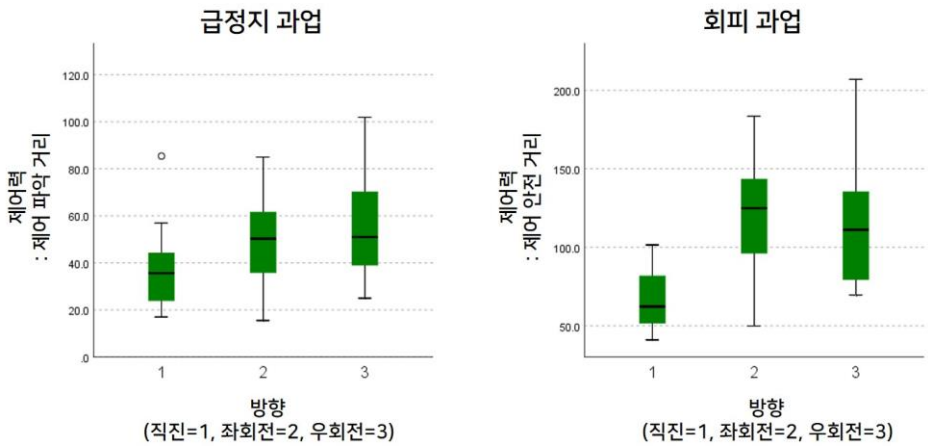


그림 24 제어 거리 Kruskal-Wallis 검정

4.3. 인지적 측면에서의 주행 안전성

인지적 측면에서의 주행 안전성은 물리적 측면에서 다루었던 방법을 동일하게 적용하여 데이터를 분석하였으며, 기술 통계량은 표 22와 같다.

표 22 인지적 측면 기술 통계량

		과업	방향	평균 (표준편차)
운동자각도		급정지	직진	1.78 (±1.29)
			좌회전	1.84 (±1.39)
			우회전	1.91 (±1.37)
		회피	직진	1.66 (±1.22)
			좌회전	2.00 (±1.41)
			우회전	2.00 (±1.32)
제어 용이성	방향	급정지	직진	1.75 (±0.93)
			좌회전	1.81 (±0.98)
			우회전	1.94 (±0.77)
		회피	직진	2.25 (±0.93)
			좌회전	2.25 (±0.93)
			우회전	2.13 (±0.96)
	속도	급정지	직진	1.88 (±0.81)
			좌회전	1.94 (±0.93)
			우회전	1.94 (±0.77)
		회피	직진	2.19 (±0.98)
			좌회전	2.06 (±0.77)
			우회전	2.13 (±1.09)

	자세 유지	급정지	직진	2.06 (±1.00)
			좌회전	1.88 (±1.02)
			우회전	2.44 (±1.15)
		회피	직진	2.50 (±1.21)
			좌회전	2.31 (±0.95)
			우회전	2.31 (±1.01)
불안감		급정지	직진	10.94 (±2.32)
			좌회전	11.06 (±3.19)
			우회전	11.19 (±3.25)
		회피	직진	12.06 (±3.71)
			좌회전	12.19 (±3.51)
			우회전	12.00 (±3.88)
위험 심각도		급정지	직진	1.75 (±1.06)
			좌회전	1.81 (±0.75)
			우회전	2.31 (±0.79)
		회피	직진	2.25 (±0.86)
			좌회전	2.31 (±0.87)
			우회전	2.19 (±0.66)
불편함		급정지	직진	4.06 (±0.93)
			좌회전	3.63 (±1.15)
			우회전	3.56 (±0.81)
		회피	직진	3.50 (±1.03)
			좌회전	3.50 (±0.97)
			우회전	3.63 (±0.81)

* $p<0.05$

과업 맥락에 대하여, 주행 방향에 따라 3가지로 구분하여 실험을 진행하였을 때 운동자각도, 방향, 속도 및 자세 유지에 대한 제어 용이성, 불안감, 위험 심각도 및 불편함의 차이가 있는지를 검정하였다. 정규성 검정은 Kolmogorov-Smirnov 검정과 Shapiro-Wilk 검정이 이용되었으며, 표 23-1과 표 23-2에 요약되어 있다. 정규성 검정 결과, 급정지 맥락에서의 불안감을 제외하고, 두 검정 모두 p값이 0.05보다 작으므로 유의하다. 따라서 급정지 맥락에서의 불안감을 제외하고, 인지적 측면의 지표들은 정규분포에 따르고 있다고 하지 못하므로, 유의수준 5% 하에서 독립표본 비모수검정인 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였다. 급정지 맥락에서의 불안감은 두 검정 모두 p값이 0.05보다 크나, 모집한 피실험자의 수가 적으므로 정규성을 가정하기 어려울 수 있어 ANOVA뿐만 아니라, Kruskal-Wallis 검정도 이용하였다.

표 23-1 급정지에서의 인지적 측면 정규성 검정

	방향	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		통계	자유도	CTT 유의확률	통계	자유도	CTT 유의확률
운동자각도	직진	0.228	16	0.026 *	0.906	16	0.101
	좌회전	0.229	16	0.025 *	0.893	16	0.063
	우회전	0.184	16	0.153	0.910	16	0.117
제어 용이성 (방향)	직진	0.290	16	0.001 *	0.786	16	0.002 *
	좌회전	0.296	16	0.001 *	0.796	16	0.002 *
	우회전	0.220	16	0.038 *	0.819	16	0.005 *
제어 용이성 (속도)	직진	0.313	16	0.000 *	0.785	16	0.002 *
	좌회전	0.223	16	0.032 *	0.848	16	0.013 *
	우회전	0.343	16	0.000 *	0.769	16	0.001 *
제어 용이성 (자세유지)	직진	0.231	16	0.022 *	0.847	16	0.012 *
	좌회전	0.264	16	0.004 *	0.781	16	0.002 *
	우회전	0.335	16	0.000 *	0.775	16	0.001 *
불안감	직진	0.157	16	0.200	0.963	16	0.716
	좌회전	0.141	16	0.200	0.910	16	0.116
	우회전	0.182	16	0.165	0.942	16	0.376
위험 심각도	직진	0.322	16	0.000 *	0.723	16	0.000 *
	좌회전	0.236	16	0.018 *	0.809	16	0.004 *
	우회전	0.278	16	0.002 *	0.871	16	0.028 *
불편함	직진	0.281	16	0.001 *	0.748	16	0.001 *
	좌회전	0.191	16	0.123	0.896	16	0.069
	우회전	0.330	16	0.000 *	0.827	16	0.006 *

* $p<0.05$

표 23-2 회피에서의 인지적 측면 정규성 검정

	방향	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		통계	자유도	CTT 유의확률	통계	자유도	CTT 유의확률
운동자각도	직진	0.276	16	0.002 *	0.872	16	0.029 *
	좌회전	0.237	16	0.017 *	0.857	16	0.017 *
	우회전	0.165	16	0.200	0.946	16	0.423
제어 용이성 (방향)	직진	0.255	16	0.006 *	0.873	16	0.030 *
	좌회전	0.334	16	0.000 *	0.644	16	0.000 *
	우회전	0.345	16	0.000 *	0.787	16	0.002 *
제어 용이성 (속도)	직진	0.268	16	0.003 *	0.869	16	0.026 *
	좌회전	0.273	16	0.002 *	0.788	16	0.002 *
	우회전	0.254	16	0.007 *	0.884	16	0.046 *
제어 용이성 (자세유지)	직진	0.198	16	0.092	0.923	16	0.190
	좌회전	0.272	16	0.002 *	0.787	16	0.002 *
	우회전	0.229	16	0.025 *	0.879	16	0.037 *
불안감	직진	0.149	16	0.200	0.944	16	0.401
	좌회전	0.203	16	0.077	0.882	16	0.042 *
	우회전	0.191	16	0.120	0.914	16	0.133
위험 심각도	직진	0.382	16	0.000 *	0.695	16	0.000 *
	좌회전	0.272	16	0.002 *	0.787	16	0.002 *
	우회전	0.253	16	0.007 *	0.856	16	0.016 *
불편함	직진	0.222	16	0.034 *	0.883	16	0.043 *
	좌회전	0.195	16	0.107	0.869	16	0.026 *
	우회전	0.298	16	0.000 *	0.846	16	0.012 *

* $p<0.05$

검정 결과는 표 24-1과 표 24-2에 요약되어 있다. 급정지 과업에서는 주행 방향에 따라 인지적 측면의 지표가 유의적인 차이가 있다고 보기 어려웠다. 반면에, 회피 과업에서는 방향 및 자세 유지에 대한 제어 용이성 및 위험 심각도가 주행 방향에 따라 유의적인 차이가 있음을 확인하였다.

표 24-1 급정지에서의 인지적 측면 K-W 검정 및 ANOVA

		운동 자각도	제어 용이성			불안감	위험 심각도	불편함
			방향	속도	자세 유지			
Kruskal -Wallis의 H		0.088	0.799	0.077	2.473	0.037	5.081	2.103
자유도		2	2	2	2	2	2	2
근사 유의확률		0.957	0.671	0.962	0.290	0.982	0.079	0.349
ANOVA	자유도	-	-	-	-	2	-	-
	F	-	-	-	-	0.029	-	-
	유의 확률	-	-	-	-	0.972	-	-

표 24-2 회피에서의 인지적 측면 K-W 검정

	운동 자각도	제어 용이성			불안감	위험 심각도	불편함
		방향	속도	자세유지			
Kruskal -Wallis의 H	1.945	15.762	5.071	6.795	8.763	6.688	2.954
자유도	2	2	2	2	2	2	2
근사 유의확률	0.378	0.000 *	0.079	0.033 *	0.013	0.035 *	0.228

* $p<0.05$

4.3.1. 제어 용이성

방향에 따른 다중비교 결과는 표 25와 그림 25에 요약되어 있다. 다중비교는 Bonferroni 수정을 통해 유의성 값이 수정되었다. 급정지 과업에서는 방향에 따른 유의한 차이는 없었으므로, 회피 과업에 대해서만 다루었다. 방향에 대한 제어 용이성은 좌회전과 직진·우회전 간에는 유의한 차이가 있고, 평균이 큰 직진·우회전에서 방향 제어가 더 쉬웠다고 인지하였다. 즉 부등호로 표기하면, '좌회전<직진, 우회전'으로 표기할 수 있다.

반면, 자세 유지에 대한 제어 용이성은 방향에 따른 차이가 0.05 유의수준에서는 유의하지 않았지만, 직진·우회전에서 좌회전보다 자세 유지가 더 쉬웠다고 인지하는 경향이 있었다.

표 25 회피에서의 제어 용이성 사후분석

회피 과업	제어 용이성			
	방향		자세 유지	
방향-방향	유의확률	조정된 유의확률	유의확률	조정된 유의확률
좌회전-우회전	0.001	0.003 *	0.028	0.084 **
좌회전-직진	0.000	0.001 *	0.021	0.062 **
우회전-직진	0.806	1.000	0.911	1.000

* p<0.05, ** 0.05<p<0.1

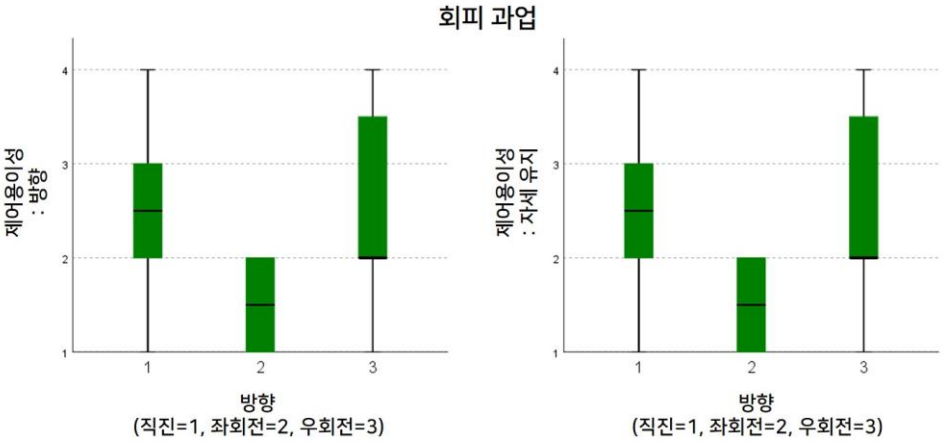


그림 25 제어 용이성 Kruskal-Wallis 검정

4.3.2. 위험 심각도

방향에 따른 다중비교 결과는 표 26과 그림 26에 요약되어 있다. 다중비교는 Bonferroni 수정을 통해 유의성 값이 수정되었다. 위험 심각도 역시 급정지 과업에서는 방향에 따른 유의한 차이는 없었으므로, 회피 과업에 대해서만 다루었다. 위험 심각도는 방향에 따른 차이가 0.05 유의수준에서는 유의하지 않았지만, 직진에서 좌회전보다 위험 심각도가 높다고 인지하는 경향이 있었다.

표 26 회피에서의 위험 심각도 사후분석

회피 과업	위험 심각도	
방향-방향	유의확률	조정된 유의확률
직진-우회전	0.039	0.116
직진-좌회전	0.017	0.052 **
우회전-좌회전	0.754	1.000

** 0.05<p<0.1

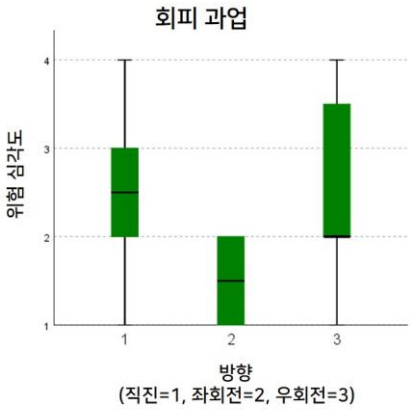


그림 26 위험 심각도 Kruskal-Wallis 검정

제 5 장 토의

5.1. 수행 시간

급정지 과업에서는 직진보다 좌회전 또는 우회전 방향으로 주행할 시에 시간이 더 늘어났으나, 회피 과업에서는 좌회전 방향에서 시간이 짧아짐을 확인할 수 있었다. 급정지 시에는 직진 방향을, 회피 시에는 좌회전 방향에 대하여 다른 방향에서 보다 높은 수행력을 보여주었다. 여기서 주목해야 할 점은 회피 과업에서의 수행 시간인데, 실험 참여자 모두 오른손잡이었으므로 오른손의 힘으로 경로를 수정하는 좌회전 방향에서의 수행 시간이 가장 짧았던 것에 비해, 직진 방향에서는 좌측 또는 우측으로 회피를 한 이후에 다시 원래의 직진 주행 궤도로 돌아와야 했으므로 모든 방향 중에서 가장 높은 수행 시간이 측정된 것으로 보인다(그림 27). 또한 전동 킥보드 탑승 경험에 따른 주행자의 체감 난이도 차이가 유의하지 않다는 결과를 확인하였다. 이를 통해 운행을 위한 별다른 학습성이 요구되지 않아, 주행 안전성을 확보하게 되면 차세대 교통 수단으로서 대중화의 가능성을 확인할 수 있었다.

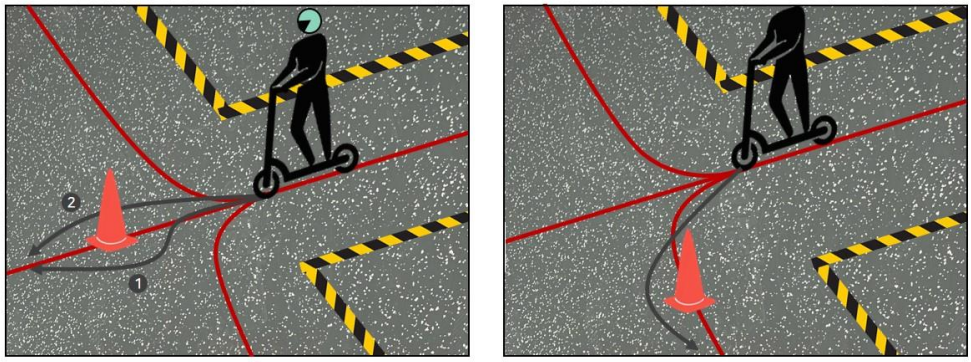


그림 27 회피 과업에서의 직진 방향과 좌회전 방향

5.2. 물리적 측면에서의 주행 안전성

5.2.1. 골절 위험도

실험 참여자가 급정지 과업 수행 시 목의 가속도가 갑자기 감소하여

목의 전·후 방향 각도인 X축 방향의 목의 각도가 주행 방향에 영향을 받음을 알 수 있었다. 반면에, 회피 과업 수행 시 손과 어깨 회전근을 이용하여 경로를 수정할 때 전동 킥보드 위에서 자세 유지를 하기 위하여 허리의 좌·우 방향 각도인 Y축 방향의 허리 각도가 주행 방향에 영향을 받음을 알 수 있었다. 골절 위험도는 급정지 과업에서 직진 경로보다는 좌회전 또는 우회전 경로에서 커짐을 알 수 있었다. 회피 과업에서는 우회전보다 좌회전에서 그 값이 커졌는데 이는 주로 사용하는 손을 이용하여 경로를 수정할 때 힘을 더 많이 싣게 되어, Y축 방향의 허리 각도가 커진 것으로 보인다.

5.2.2. 제어 거리

실험 참여자가 급정지 과업 수행 시 직진보다는 우회전 경로를 주행할 때 제어를 파악하기 위한 거리가 커지는 것을 통해, 평소에 주로 사용하지 않는 손을 이용하여 경로를 수정할 때 제어력이 낮아짐을 알 수 있었다. 반면에, 회피 과업 수행 시 직진할 때보다 좌회전 또는 우회전할 때 장애물과의 거리를 더 크게 하여 피하는 것을 알 수 있었다. 여기서 주목할 점은, 회피 시에는 주로 사용하는 손과 무관하게 좌·우회전 모두 크게 우회하여 주행함을 확인하였다.

5.3. 인지적 측면에서의 주행 안전성

5.3.1. 제어 용이성

실험 참여자가 인지한 방향에 대한 제어 용이성은 수행 시간과는 상반되는 결과를 얻을 수 있었다. 회피 맥락에서 회피 시간이 좌회전보다는 직진·우회전에서의 값이 컸으므로 실제로는 좌회전에서의 수행력이 가장 크게 나왔다. 하지만 주로 사용하는 오른손을 이용하여 장애물을 회피했을 때인 좌회전에서, 방향에 대한 제어를 가장 어렵게 인지하였다. 직진이나 우회전 경로에서는 신중하게 장애물을 회피하기 위해 수행 시간이 길었던 것에 비해, 오른손을 사용하는 것이 익숙하여 보다 빠르게 장애물을 회피하는 과정에서 방향 제어에 어려움을 느낀 것으로 보인다. 반면, 피실험자가 인지한 자세 유지에 대한 제어 용이성은 유의수준 0.05에 대해서는 경로 방향에 따른 차이가 유의하지 않았다. 하지만 유의수준 0.1에 대해서는 방향에 대한 제어 용이성의

결과와 마찬가지의 결과를 얻을 수 있었다.

5.3.2. 위험 심각도

실험 참여자가 인지한 위험 심각도는 수행 시간과는 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 회피 시에 직진에서보다 좌회전 경로에서 높은 수행력을 보여주었던 것처럼, p값이 0.052로 약한 유의적인 차이를 띠었으나 직진에서 좌회전 경로보다 위험 심각도가 높다고 인지하였다. 실험 참여자 모두 오른손잡이었으므로 오른손의 힘으로 경로를 수정하는 좌회전 방향으로 회피를 할 때보다 직진 방향에서 좌측 또는 우측으로 회피를 한 이후에 다시 원래의 직진 주행 궤도로 돌아와야 했을 때에 더 큰 위험 심각도를 느낀 것으로 보인다.

제 6 장 결론

6.1. 결론

빠른 추세로 전동 킥보드 관련 부상이 증가함에 따라 주행자의 안전성을 평가하기 위한 지표를 탐색하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 주행 맥락에 따른 전동 킥보드의 안전성 평가 지표를 제안하기 위한 측정 변수를 측정하였다. 해당 연구에서는 원동기면허 이상의 운전면허를 취득한 성인 남녀를 대상으로 통제된 환경 내에서 실험을 수행하였다. 실험 참여자의 특성은 주행자의 성별, 연령, 신장, 체중, 탑승 경험 및 주요 손잡이가 있었다. 데이터 전처리 과정에서 급정지 및 회피 과업 전후에 대한 프레임 외의 구간을 트리밍하였으며, Z축 데이터의 경우는 분석에서 제외하였다.

독립변수는 과업에 따른 급정지와 회피, 방향에 따른 직진, 좌회전, 우회전에 따라 구분하였다. 종속 변수는 주행 안전성 지표로, 전동 킥보드 주행 안전성에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 크게 물리적 측면과 인지적 측면으로 나누었다. 맥락에 따른 주행 방향에 따른 종속변수의 차이가 있는지를 검정하기 위해 Kolmogorov-Smirnov 및 Shapiro-Wilk 검정을 이용한 정규성 결과에 따라 One-way ANOVA 및 Kruskal-Wallis 검정을 하였다.

급정지 과업에서는 직진에서보다 우회전 또는 좌회전 경로를 따를 때 수행 시간이 늘어났다. 물리적 측면에서 X축 방향으로 목에 대한 골절 위험도가 높아짐을 확인하였으며, 직진에서보다 우회전 경로를 주행할 때 제어를 파악하기 위한 거리가 증가하였다. 반면, 인지적 측면에서는 경로에 따른 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

회피 과업에서는 좌회전 경로에서 수행 시간이 짧아짐을 알 수 있었다. 물리적 측면에서 Y축 방향으로 허리에 대한 골절 위험도가 높아짐을 확인하였으며, 직진에서보다 좌회전 또는 우회전 경로를 따를 때 장애물과의 거리를 크게 우회하여 제어 안전 거리를 확보하는 것을 알 수 있었다. 인지적 측면에서는 경로에 따라 방향 및 자세 유지에 대한 제어 용이성과 위험 심각도에 유의한 차이가 있었다. 좌회전 경로에 대하여 방향 제어에 어려움을 겪었으며, 자세 유지에 대해서도

어려움을 느끼는 경향이 나타났다. 이와 유사하게, 직진에서보다 좌회전 경로에서의 위험성이 더 심각하다고 느끼는 경향을 확인할 수 있었다.

6.2. 연구의 의의 및 한계

기존의 전동 킥보드와 관련된 대부분의 연구들은 부상 부위 및 정도를 보고하거나, 기기 자체의 안전성만을 다루고 있다. 해당 연구에서는 기기 위주가 아닌 인적 요인 측면에서의 전동 킥보드 주행 안전성 지표를 살펴보고자 했다는 점에서 의의를 갖는다.

그러나 안전성 지표를 살피기 위한 실험을 설계하는 과정에서 세 가지 한계를 보인다. 우선 경찰청의 '최근 5년간 개인형 이동장치 연령대별 사고·사망·부상 현황' 에 따르면 청소년의 PM 사고 건수가 2021년 549건으로 2017년 12건 대비 약 46배 급증하였음에도, 원동기면허 이상의 운전면허를 취득한 10대 피실험자를 모집하지 못하였다. 또한 모션 분석을 위해 모션 캡처 시스템이 구축된 통제된 환경에서 실험을 진행을 하다 보니 시간 및 공간상의 이유로 실험 참여자가 10명 미만이라는 작은 표본의 크기로 모집되었다. 게다가 모집된 피실험자 8명 모두 오른손잡이였기에, 왼손잡이에 대한 주행 데이터 수집이 이루어지지 못하였다. 본 실험에서는 전반적으로 좌·우회전 경로에 따른 유의적인 차이가 없었지만, 급정지 맥락에서의 제어 파악 거리와 회피 맥락에서의 수행 시간, 방향 및 자세 유지에 대한 제어 용이성, 위험 심각도를 살펴보면 오른손잡이의 주행자는 좌회전보다 우회전 경로에서 어려움을 겪는 경향이 나타났다. 말레이시아, 일본, 영국, 호주, 인도 등을 포함한 우측 운전석 국가를 제외하고는 대부분의 국가들은 좌측 운전석의 배치를 따르며, 이때 우측의 인도를 따라 주행하기 때문에 우측 주행의 빈도가 더 많다. 따라서 전 세계 인구의 약 89.4%를 차지한다고 추정되는 오른손잡이(Papadatou-Pastou, M. 외, 2020)는 좌측 운전석 국가에서 우회전 경로를 따를 때 주행상에 어려움을 겪을 수 있을 것으로 보인다. 추후 주행 안전성 관련 연구 및 실험 설계 시에는 위와 같은 도로 상황 및 주행자의 특성을 고려할 필요가 있다.

뿐만 아니라 본 연구는 전동 킥보드 주행 시 안전성을 평가하기 위한 지표를 물리적 측면과 인지적 측면으로 구분하고 각 영역에 대한

지표를 개발하고자 하였으나, 측정 변수의 구성이 주행 안전성을 평가하기 위한 최적의 지표라는 것에 대한 타당성을 제시하지 못하였다. 인지적 측면에서 복수 문항으로 이루어진 측정 변수에 대하여 문항의 타당성은 확인하였지만 무엇보다 주행 안전성을 계량화하는 평가 지표의 개발이 현실적으로 매우 어렵기 때문이다. 이에 인적 요인 측면에서 안전성을 평가할 수 있는 보다 많은 측정 변수들을 추가하고 실험을 통해 얻은 결과를 조합하여, 전동 킥보드 주행 안전성 평가 지표의 타당성 검증을 위한 후속연구가 필요하다.

마지막으로 본 실험 환경은 전동 킥보드 관련 사고가 실제로 일어나는 환경과 차이가 존재하였다. 정지해 있는 장애물에 대해서 급정지 및 회피에 대한 맥락만을 살폈으며, 포장도로와 같이 주행하기에 편한 바닥의 환경에서 실험이 이루어졌다. 또한 모션 분석을 위하여 적외선 카메라 24대의 시야에 모두 들어오게 실험을 설계해야 했으므로, 주행 거리가 짧아지게 되어 안전상의 이유로 시속 10km/h에서 15km/h 사이에 맞춰서 실험이 진행되었다. 차량의 전도는 비교적 높은 풍속에서 발생(권순덕, 2003)하기 때문에 주행 제한 속도를 높이게 되면 횡풍에 의한 사고 위험도도 함께 고려해야 한다. 추후 실험 환경을 실제 도로 환경과 유사하게 재현할 수 있는 방안으로 검토가 이루어지면, 좀 더 정교한 환경에서 주행 안전성 관련 데이터를 얻을 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] 공세진. (2019). 모션 캡쳐와 영상 동작 분석. 스포츠과학, 146, 40-45.

[2] 교통사고분석시스템(Traffic Accident Analysis System[TAAS]). (2022). 가해운전자 차종별 월별 교통사고. http://taas.koroad.or.kr/sta/acs/exs/typical.do?menuId=WEB_KMP_OVT_UAS_ASA.

[3] 권순덕, & 정운용. (2003). 강풍에 의한 차량 주행 안전성 평가. 대한토목학회논문집 A, 23(5A), 977-984.

[4] 김수재, 이경재, 추상호, & 김상훈. (2021). 공유 전동킥보드 이용 특성 및 영향요인에 관한 연구. 한국 ITS 학회 논문지, 20(1), 40-53.

[5] 박경수, 한성호, 윤명환, 곽지영, 홍상우, & 한수미. (1997). 전자제품 휴먼 인터페이스의 사용편의성 평가 기술 체계화. 대한인간공학회 학술대회논문집, 2.

[6] 박태한, 김인규, 김형식, & 원시태. (2018). 근거리 이동성 증진을 위한 전동킥보드 디자인 가이드라인 제안. 한국디자인학회 학술발표대회 논문집, 142-143.

[7] 빌리티, 시장은, 연평균, 이상, & 고속성. (2019). '공유 전동킥보드' 국내 동향과 그 기대효과.

[8] 삼성교통안전문화연구소. (2022). 『전동킥보드 사고 실태 및 최고 속도 하향 필요성』발표. http://sts.samsungfire.com/.

[9] 선상규, 한종우, 김명화, & 지용석. (1999). 운동강도 설정을 위한 흥미 척도, 운동자각도 및 심박수와의 상관관계. 한국사회체육학회지, 12, 745-757.

[10] 송영훈. (2018). A Study on Perceptual Skill Training for Improving Performance-Focusing on sports cognitive aspects. 한국응용과학기술학회지, 35(1), 299-305.

[11] 이금숙. (2011). 접촉사고 나면 목 부상이 가장 많은 이유. 헬스조선. https://health.chosun.com/site/data/html_dir/2011/05/09/2011050901667.html.

[12] 이인호, & 박찬종. (1999). 모션캡쳐 기술의 현황과 응용분야. 한국멀티미디어학회지, 3(1), 38-48.

[13] 이정복, & 이중식. (2019). 내가 이렇게 빠르다고? 진동 피드백을 통한 전동킥보드 속도 지각 보조. 한국 HCI 학회 학술대회, 240-244.

[14] 이제희. (2003). 모션 캡쳐의 과거, 현재, 그리고 미래. 정보과학회지,21(7),24-29.

[15] 이준행, 김현아, & 박승우. (2015). 병원 낙상 예방. Journal of the Korean Medical Association, 58(2), 123-130.
[16] 임우택. (2022). 모션 캡처 시스템에 대한 고찰. 한국전문물리치료학회지 29.2 (2022): 87-93. Web.
[17] 장민혜, 원장원, 최현림, 김선영, 박우철, 김동후, ... & 김병성. (2017). 성인에서 신체활동이 골절 발생에 미치는 영향: 한국 지역사회 코호트 자료에 기반. 대한스포츠의학회지, 35(2), 97-102.
[18] 전병관. (2000). 스포츠심리학: 육상경기선수의 경기력과 심리적 불안요소에 관한 연구. 한국체육학회지, 39(4), 257-264.
[19] 정광복, 김태호, 김영율, & 김상훈. (2022). 개인형 (공유) 이동장치 제도 및 운영 여건 검토에 따른 개선방안 연구. 대한교통학회지, 40(1), 1-10.
[20] 최귀원, 김정규, 김병수, & 배태수. (2003). 측방 낙상시의 충격 각도가 대퇴골 근위부의 변형에 미치는 영향. 의공학회지, 24(3), 233-239.
[21] 행정안전부. (2020). 개인형 이동장치 관련 개정 「도로교통법」 및 「자전거 이용 활성화에 관한 법률」 시행. https://www.mois.go.kr/synap/skin/doc.html?fn=BBS_2020120905050126001&rs=/synapFile/202210/&synapUrl=%2Fsynap%2Fskin%2Fdoc.html%3Ffn%3DBBS_2020120905050126001%26rs%3D%2FsynapFile%2F202210%2F&synapMessage=%EC%A0%95%EC%83%81.
[22] 행정안전부. (2016). 자전거 이용시설 설치 및 관리 지침. https://www.mois.go.kr/cmm/fms/FileDown.do?atchFileId=FILE_000000000046946&fileSn=0.
[23] 홍상우, 한성호, 윤명환, & 곽지영. (1997). 사용편의성 평가 기술 개발 (Development of a usability evaluation method). 대한인간공학회 학술대회논문집, 366-371.
[24] 홍성택. (2011). Effect of arousal control training conjugated heart rate biofeedback for national substitute archery players. 한국콘텐츠학회논문지, 11(9), 469-484.
[25] 홍지영, 소영인, 이경영, 김진만, & 이수기. (2022). 공유 전동각보드 이용행태와 만족도 영향요인분석. 국토계획, 57(2).
[26] Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, 2(2), 92–98.
[27] Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. Medicine & Science in Sports & Exercise, 14(5), 377–381.

[28] Coelho, A., Feito, P., Corominas, L., Sánchez-Soler, J. F., Pérez-Prieto, D., Martínez-Diaz, S., ... & Monllau, J. C. (2021). Electric scooter-related injuries: a new epidemic in orthopedics. Journal of clinical medicine, 10(15), 3283.

[29] Ergonomics of human-system interaction – Part 11: Usability: Definitions and concepts. ISO 9241-11: 2018.

[30] Gallagher, S., Kotowski, S., Davis, K. G., Mark, C., Compton, C. S., Huston, R. L., & Connelly, J. (2009). External L5–S1 joint moments when lifting wire mesh screen used to prevent rock falls in underground mines. International Journal of Industrial Ergonomics, 39(5), 828-834.

[31] Joo, J. Y., Song, H. J., & Oh, J. C. (2021). Development of Medical Electric Scooter Sharing Platform for the Transportation Vulnerable. The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, 16(6), 1323-1328.

[32] Su, J. L., & Ordys, A. W. (2010). Collision avoidance manoeuvre for a vehicle—A practical approach. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 224(3), 299-312.

[33] Kappagantu, A., Yaremchuk, K., & Tam, S. (2021). Head and neck injuries and electronic scooter use in the United States. The Laryngoscope, 131(11), E2784-E2789.

[34] Kim, W. J., Kang, J. W., Kim, H. Y., Sung, H. I., Park, K. Y., Park, J. G., ... & Lee, H. C. (2009). Change of pelvic tilt before and after gait in patients with lumbar degenerative kyphosis. Journal of Korean Society of Spine Surgery, 16(2), 95-103.

[35] Kurihara, K., Hoshino, S. I., Yamane, K., & Nakamura, Y. (2002, May). Optical motion capture system with pan-tilt camera tracking and real time data processing. In Proceedings 2002 IEEE international conference on robotics and automation (Cat. No. 02CH37292) (Vol. 2, pp. 1241-1248). IEEE.

[36] Li, F., Liu, N. S., Li, H. G., Zhang, B., Tian, S. W., Tan, M. G., & Sandoz, B. (2019). A review of neck injury and protection in vehicle accidents. Transportation Safety and Environment, 1(2), 89-105.

[37] Ma, Q., Yang, H., Mayhue, A., Sun, Y., Huang, Z., & Ma, Y. (2021). E-Scooter safety: The riding risk analysis based on mobile sensing data. Accident Analysis & Prevention, 151, 105954.

[38] Namiri NK, Lui H, Tangney T, Allen IE, Cohen AJ, Breyer BN. (2020). Electric Scooter Injuries and Hospital Admissions in the United States, 2014-2018. JAMA Surg. 2020;155(4):357–359. doi:10.1001/jamasurg.2019.5423

[39] Nielsen Koreanclick. (2020). 200만 이용자 목전에 둔 '퍼스널모빌리티', 대안 교통수단으로 자리잡나?. http://www.koreanclick.com/insights/newsletter_view.html?code=topic&id=599&page=1&utm_source=board&utm_medium=board&utm_campaign=topic&

utm_content=20201130, 2021.5.21.

[40] Papadatou-Pastou, M., Ntolka, E., Schmitz, J., Martin, M., Munafò, M. R., Ocklenburg, S., & Paracchini, S. (2020). Human handedness: A meta-analysis. Psychological bulletin, 146(6), 481.

[41] Pazzini, M., Cameli, L., Lantieri, C., Vignali, V., Dondi, G., & Jonsson, T. (2022). New Micromobility Means of Transport: An Analysis of E-Scooter Users' Behaviour in Trondheim. International journal of environmental research and public health, 19(12), 7374.

[42] Spielberger, C. D. (1970). Manual for the state-trait anxiety inventory (Self-evaluation questionnare). Consulting Psychogyists Press.

[43] Tian, D., Ryan, A. D., Craig, C. M., Sievert, K., & Morris, N. L. (2022). Characteristics and risk factors for electric scooter-related crashes and injury crashes among scooter riders: a two-phase survey study. International journal of environmental research and public health, 19(16), 10129.

[44] Trivedi, T. K., Liu, C., Antonio, A. L. M., Wheaton, N., Kreger, V., Yap, A., ... & Elmore, J. G. (2019). Injuries associated with standing electric scooter use. JAMA network open, 2(1), e187381-e187381.

[45] Violin, A., Tonoli, A., Dozza, M., & Rasch, A. (2020). Development of an experimental protocol for testing new electric personal mobility vehicles. Chalmers Unviersity of Technology, Tech. Rep.

[46] Yang, H., Ma, Q., Wang, Z., Cai, Q., Xie, K., & Yang, D. (2020). Safety of micro-mobility: Analysis of E-Scooter crashes by mining news reports. Accident Analysis & Prevention, 143, 105608.

Abstract

Development of a User-centered Safety Evaluation Index for E-Scooter

Seung Yun HA

Department of Industrial Engineering

The Graduate School

Seoul National University

The purpose of this study is to explore user-centered driving safety of electric scooters depending on driving context. An experiment on evaluation indicators for driving safety of electric scooters was conducted to 8 motorcycle-licensed drivers in their 20s and 30s(5 males and 3 females, mean age 28.75 ± 3.55). According to arbitrarily combined experimental order, participants were asked to perform sudden-stop(SS) and collision-avoidance(CA) tasks along straight, left and right turn paths in a controlled environment. For each trial, physical aspect indicators, including motion analysis and distance data, and measurements of cognitive aspect indicators, were collected along with performance time. Except for variables that were measured as a single question in the cognitive aspect index, reliability analysis was conducted to verify the suitability of the questionnaire, which showed that the indicators within the factors were consistent. Regardless of experience in riding an electric kickboard and driving a vehicle, performance time was the shortest in the straight path in the SS task. In the CA task, the shortest performance time was measured on the left turn path, with the longest performance time on the straight path. In order to test whether the difference in measurement variable according to the driving direction was significant, one-way ANOVA or Kruskal-Wallis tests were applied according to the normality test. As a result, in the case of physical aspect, significant differences were found in the neck angle concerning the X-axis direction in the SS task, and in the trunk angle with respect to the Y-axis

direction in the CA task. Significant differences in controlled distance according to direction were found in both SS and CA tasks. In the cognitive aspect, significant differences according to direction appeared only in the CA task. The controllability of direction was significant. Whereby the controllability of the posture maintenance and risk severity showed weak significance. The overall results showed differences according to the direction for the two contexts. The results of this study can contribute to designing detailed evaluation indicators for driving safety in the future and is expected to support future studies on evaluating safety of personal mobility vehicles.

Keywords: Driving Safety, User Centered Design(UCD), E-Scooter, Personal Mobility(PM), Motion Analysis
Student Number: 2019-23762