

개인형 이동장치 2인 탑승방지용 무게센서 최적 부착위치 추정

임 종 관*

Estimation of Optimal Weight Sensor Placement to Restrict the Number of Passengers in Personal Mobility Vehicles

Jong Gwan Lim*

요 약

최근 들어 급증하는 개인형 이동장치의 교통사고를 줄이기 위해 무게 센서를 사용한 2인 탑승 검출 시스템을 구현하는 전체 연구의 전초로서 최상의 성능을 구현하기 위한 최적의 센서 부착 위치를 추정한다. 무게 센서 사용시 발생하는 설계상의 문제로서 시스템의 비용이 로드셀의 성능과 개수와 직결됨으로 제한된 수의 센서가 사용되어야 한다. 이를 위한 대안으로 540 x 200mm (10인치 바퀴 기준)의 개인형 이동장치를 사용하여 56건의 모의 1인 탑승 실험과 44건의 모의 2인 탑승 실험을 통해 탑승자의 발위치, 각도, 무게 등을 측정한다. 실험 결과, 분석을 통해 개인형 이동장치 발판에서 1인 탑승과 2인 탑승의 무게 차가 발생하는 3 지점을 확인하였으며 이중 더 높은 확률이 나타나는 수직 중심축의 끝단(500mm)에 집중적으로 센서를 부착하면 가장 만족스러운 탑승자 판별이 가능함을 도출한다.

Abstract

As the forefront of the entire study to implement a two-person boarding detection system using weight sensors, the optimal sensor placement to achieve the best performance is estimated for reducing the traffic accidents of personal mobile devices, which are rapidly increasing recently. When weight sensors are used, a design problem that the cost of the system is directly related to the performance and number of load cells occurs, and it suggests that a limited number of sensors must be used. Using a 540 x 200mm size kickboard, 56 simulated single-person boarding experiments and 44 simulated two-person riding experiments are conducted to measure the foot position, angle, and weight of the riders. As a result, it is derived that the most satisfactory occupant discrimination is possible if the sensor is intensively attached to the end of the vertical central axis of the footrest(500mm) of the personal mobile device.

Keywords

personal mobility, digital scale, position estimation, load cell

* 목원대학교 로봇학과 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1223-0279>

· Received: Aug. 14, 2023, Revised: Sep. 11, 2023, Accepted: Sep. 14, 2023
· Corresponding Author: Jong Gwan Lim
Dept. of Robotics, Mokwon University, 88, Doanbuk-ro, Seo-gu, Daejeon, Korea
Tel.: +82-42-829-7520, Email: jonggwanlim@gmail.com

1. 서 론

개인형 이동장치의 이용자 수가 증가하며 각종 사회적 이슈를 낳고 있으며 특히 탑승자의 안전에 관련한 논쟁이 활발히 진행 중이다[1][2]. 법적/ 사회적 제도를 완비함으로써 개인형 이동장치의 사고를 줄이기 위한 이러한 비판은 2021년에 개인형 이동장치를 탑승하기 위해 원동기 장치 면허 소지라는 가시적인 법적 장치와 최소한의 교통단속의 근거를 제정하는데 도움이 되었다. 이러한 노력에도 불구하고 개인형 이동장치 사고 건수는 2018년 225건, 2019년 447건, 2020년 897건, 2021년 1,735건으로 매년 약 2배로 증가하였다[3]. 관련 규정의 강화가 안전 문제를 개선시키지 못하는 현 상황은 추가적인 기술적 규제의 필요성을 암시한다.

기술적 규제로서 개인형 이동장치 사용을 위한 인증장치와 속도 제한이 현재 상용화되었다. 이외 방법론으로는 제안된 운전자 행동 분석[4][5], 안전모 착용 감지[5]-[7], 음주 측정[6][7], 다인 탑승 감지 [7] 등이 있다. [4]는 이동장치의 속도 페달에 근거하여 운전자의 안전거리와 운행 속도를 모델링하고 [5]는 영상 정보를 이용해 갯길 운행 여부를 판단한다. [5][6]이 영상 정보를 이용해 안전모 착용 여부를 검출하는 반면 [7]은 안전모에 맥박 센서를 부착, 측두 동맥을 측정한다. 음주 측정 여부를 검출하기 위해 [6]은 가스 센서를 사용하고 [7]은 운전대에 근적외선 센서를 부착한다. 다인 탑승 검출을 위해 [7]은 발판에 2개의 적외선 센서를 부착하고 부가적으로 양 바퀴 위 지지대에 무게 센서를 부착하나 개념적인 설계안을 제안할 뿐 실제 구현은 제시되지 않는다.

이중에서 본 논문은 2인 이상 탑승을 억제하기 위한 시스템의 설계라는 기술적인 방법론을 다룬다. 현 법규상, 개인형 이동장치에 대한 처벌 항목은 무면허 운전, 2인이상 탑승, 안전모 미착용, 음주 운전이다. 대형 사고의 주요 원인인 2인 이상의 인원이 전동 킥보드를 동시에 탑승하는 경우를 방지하기 위해 일반적으로 무게 센서의 사용을 고려한다[7]. 본 논문은 이때 발생하는 센서의 부착 위치라는 설계 상의 고민을 해소하기 위한 대안으로서 실험적 데이터와 이에 기반한 통계적 근거, 시각적 데이터

를 제공한다. 이를 통해 탑승 인원을 구분하되 탑승자의 수를 오분류하는 가능성을 줄이며 비용이 높은 발판 재설계 없이 최소한의 무게 센서를 사용하기 위해 센서의 최적 부착 위치를 추정한다.

본 논문의 구성을 다음과 같다. 2장은 무게 센서를 통한 탑승자 제한 시도시 발생하는 기술적인 문제에 대해 기술한다. 3장에서 위 문제를 해결하기 위한 데이터의 수집용 실험 설계와 실험에 대해 논하며 4장에서 그 결과를 자세하게 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 기술하고 본 연구가 갖는 한계점 및 향후 연구에 대하여 기술한다.

II. 무게 센서의 작동원리 및 한계

2.1 무게 센서의 작동원리

이른바 디지털 저울을 구성하는 시스템은 무게센서로 불리우는 로드셀과 로드셀의 아날로그 신호를 증폭, AD 변환하는 ADC, 이후 오차 보상 등을 담당하는 마이크로 컨트롤러로 구성된다(그림 1).

로드셀은 일종의 스트레인 게이지로서, 휘스톤 브릿지 회로의 한쪽 가변저항을 담당하며, 셀의 변형 정도가 이 저항에 걸리는 전압으로 출력된다. 휘스톤 브리지의 양측에서 출력을 뽑으면 이를 4상, 스트레인 게이지 측에서만 뽑으면 3상 로드셀이며 4상 로드셀의 정밀도와 비용이 상대적으로 높다.

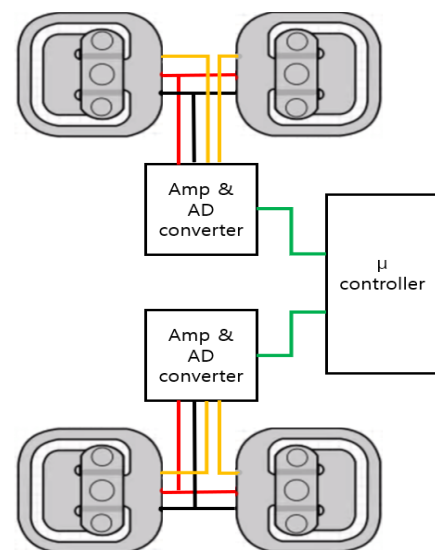


그림 1. 저가 디지털 저울 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of economical digital scales

신호의 증폭 및 AD 변환을 담당하는 장치로서 흔히 HX711, 24비트 AD변환기가 사용되며 그림 2는 내부의 구성을 보여준다[8]. 로드셀은 휘스톤 브릿지로 표현되며 3상 로드셀의 사용예시이다. 2개의 로드셀에서 입력되는 신호가 차동증폭기를 거쳐 잡음 제거 및 2개의 신호의 합산 증폭 후 AD 변환되고 이후 시리얼 통신 등으로 결과가 출력된다.

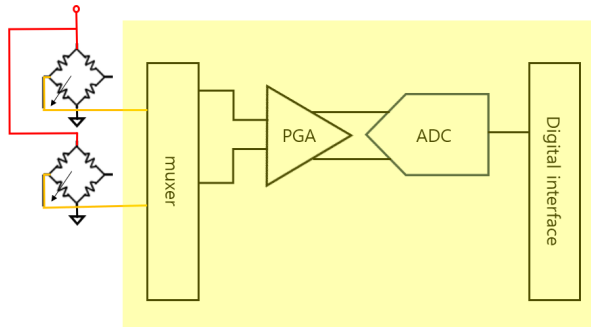


그림 2. HX711 내부 구성도
Fig. 2. Block diagram of HX711

2.2 설계상의 한계

위 시스템의 문제점은 개별적인 센서의 성능에 대한 신뢰도가 높지 않으며 다수 센서의 복합적인 사용을 가정해야 한다는 데에 있다. 디지털 저울의 정밀도는 사용되는 로드셀의 정밀도에 의존적이며 로드셀의 선택이 전체 시스템의 경제성과 직결된다. 따라서 고가의 고정밀도 로드셀을 선택하는 대신 대부분 저가의 로드셀을 사용하되 정밀도의 향상 대안으로 다수의 저가 로드셀을 사용해 오차 등을 보정하는 방법이 널리 사용된다. 앞서 소개한 HX711의 경우도 이러한 경우를 상정해 2개의 입력 채널을 가졌으며 내부적으로도 차동 증폭기를 사용, 2개의 입력 신호를 합산 후 증폭한다. 최종적으로 진행되는 회귀분석 등을 통한 영점보정 역시 측정 물체의 하중이 로드셀에 균형감있게 집중되지 않으면 한계를 보인다. 디지털 저울의 경우 시스템의 제약을 회피하기 위해 보통 4개의 로드셀을 사용하되 발의 접촉면을 그림 등을 통해 안내함으로써 각 센서에 하중을 분배한다.

그러나 우리가 목표로 하는 개인형 이동장치의 경우 탑승자의 안전을 위해 대략 600 x 200mm (10인치 바퀴 기준)의 넓은 발판을 제공한다. 2인 탑승

검출을 위해 개인형 이동장치에 디지털 저울을 부착하고자 하나 부정확한 무게 측정 성능은 다양한 1인 탑승자의 무게를 지나치게 단순화시켜 전체 시스템 성능에 대한 신뢰도를 떨어뜨리며, 또한 해당 중량 미만 저체중자들의 2인 탑승의 검출에는 무력화된다. 무게의 정확한 측정을 위해 센서 시스템의 개수를 증가시키면, 경제성을 위해 저가의 다수 센서 시스템을 채택함에도 불구하고 늘어나는 센서 수에 의해 시스템의 복잡성이 증가하며 경제성을 해치는 결과로 귀결된다. 즉, 센서 시스템의 증가는 가격 경쟁력을 떨어뜨리거나 부족한 센서 시스템의 수량은 2인 탑승 여부 검출 능력의 신뢰도를 떨어뜨린다.

그 대안으로서, 본 논문은 중량 제한에 더불어 2인 탑승시 회피가 불가능한 위치에 중량 측정 장치를 부착하는 제한을 추가하고자 한다. 최종적으로 무게 측정과 딥는 발의 위치 검출이라는 두 가지 제약에 대응하는 작동 무력화 단계를 2개로 설계하여 혹시 발생할 수 있는 오검출에 의한 불편을 최소화하는 시스템 구현의 첫 단계로서 1인 탑승 그리고 2인 탑승시 발생하는 발의 위치 분포를 비교, 2인 탑승 시에만 발생하는 접촉 위치를 추정하고 이곳에 무게 측정 센서를 부착하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 센서 개수의 증가 없이 2인 탑승을 방지하는 효과를 달성한다.

III. 탑승자 발 위치 측정

1인/ 2인 탑승시 발생하는 개인형 이동장치 발판 위 발의 위치 분포를 추정하기 위해 다음과 같은 실험을 진행한다. 10인치 바퀴를 가진 개인형 이동장치에 그림 3과 같이 발판 위 4군데에 로드셀을 설치한다. 이는 탑승 상태에 따른 4개 위치(S1, S2, S3, S4)에 가해지는 무게를 측정하기 위한 용도이며 본 논문의 목표인 최종적인 무게 센서의 장착 위치가 아님을 밝힌다. 로드셀은 50kg의 최대 측정용량이며 2개의 로드셀과 하나의 HX711의 조합이 하나의 무게 측정 센서를 구성한다. 총 4개의 HX711은 최종적으로 24비트로 양자화 되어 아두이노 나노로 전달하고, 아두이노는 시리얼 통신을 통해 PC로 결과를 출력한다.

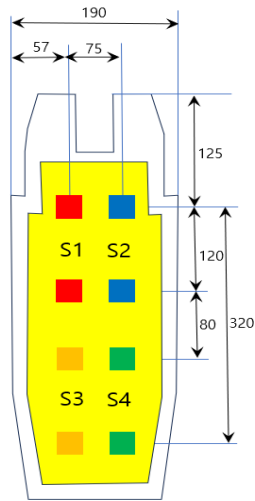


그림 3. 실험용 무게 센서의 장착
Fig. 3. Attachment of loadcells for experiments



그림 4. 1인, 2인 탑승 실험 예시
Fig. 4. One-person and two-person riding experiments

탑승 전 피험자의 오른발 폭과 길이, 키와 몸무게를 측정하며 모든 경우에서 탑승자의 양 엄지발가락의 위치와 발의 각도를 측정한다. 이후, 계산상의 편의를 위해 2가지 가정을 적용한다. 첫째, 양발의 크기는 동일하다. 둘째, 발 모양은 폭과 높이로 표현되는 직사각형이다. 이 가정을 이용, 탑승자의 두 발은 폭과 높이로 표현되는 2개의 직사각형으로 근사화된다. 실제 54 x 20 cm 크기의 발판을 540 x 200 화소로 구성한 가상의 발판에 추정된 발 모델의 위치에 10을 가산함으로써 발 위치의 2차원 히스토그램을 작성한다(그림 5).

만 18-25세 총 56명의 피험자(남 36명, 여 20명, 왼발잡이 4명)를 모집, 56건의 1인 탑승, 44건의 2인 탑승을 시뮬레이션한다.

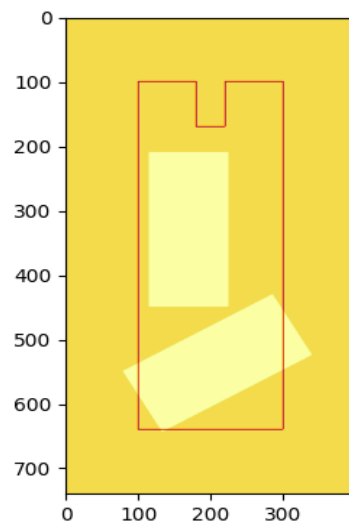


그림 5. 탑승자의 발 위치 2차원 히스토그램 예시
Fig. 5. Example of 2D histogram of foot position

2021년 개정된 규정에 따라 만 16세 이상자만 개인형 이동장치를 사용해야 하며, 2022년 발생한 총 2,386건의 사고 중 29세 이하 가해자가 71.67% (1,710건), 남성이 73.81% (1,761건)라는 통계치를 반영해 피험자를 선정한다[9]. 피실험자의 신체 특성에 대한 통계치는 표 1에서 제시된다. 대한민국 20대 평균 신장(전체:167.71, 남:174.35, 여:161.77, 단위:cm), 평균 체중(전체:66.59, 남:76.20, 여:57.98, 단위:kg) 대비 표본집단의 신장(전체:169.91 ± 8.11, 남:174.97 ± 4.43, 여:160.80 ± 4.85, 단위:cm)과 체중(전체:70.01 ± 16.62, 남:78.14 ± 14.83, 여:55.55 ± 6.77, 단위:kg)은 통계적으로 유의미한 표준오차를 보이지 않는다[10]. 2인 탑승의 경우 26건이 남남, 2건이 남녀, 16건이 여여 탑승 케이스이다.

IV. 결과 및 분석

1인 탑승자의 수집한 키, 몸무게, BMI, 발폭, 발길이, 앞발의 위치 및 각도, 뒷발의 위치 및 각도, 측정 무게의 앞뒤 비율, 측정 무게의 좌우 비율의 통계적 특성과 상관관계가 표 1에서 주어진다. 유의수준 0.01 수준에서 유의미한 항목을 표시했으며 성별 차이에 무관한 경우만 녹색으로 표시한다.

탑승자의 키와 몸무게 중 무게가 발의 위치와 높은 관련성을 보인다. 키의 경우 발의 길이만 상관도가 발견되나 무게는 발의 폭, 길이, 그리고 뒷발의 수직축 위치, 양발의 수직축 보폭과 높은 관련성을

보인다. 발폭은 발길이, 양발의 수직축 보폭과 높은 상관도를 보이며 앞발의 수직축 위치가 뒷발의 수평축 위치와, 앞발의 수평축 위치가 각도와 높은 상관도를 보인다. 마지막으로 뒷발의 수직축 위치가 수직축 보폭간 성별에 무관하게 유의미한 상관성을 지닌다. 센서의 앞뒤 비율은 뒤쪽에 치우친 무게 배분이 나타나는데 뒷발에 무게 중심을 두기 때문이고 주행을 시작하면 더 심화되리라 예상된다. 좌우 비율은 오른쪽으로 치우치는데 이는 오른발잡이의 다수표집으로 인해 발생하는 것으로 보인다.

이를 해석하면, 무게가 클수록 뒷발의 위치가 뒤로 물리며 무게와 발폭이 클수록 수직축 보폭도 증가한다. 앞발이 뒤로 놓일수록 뒷발이 중심축에 가까운 현상이 관찰되며 각도로 보아 여성의 경우 더 두드러진다. 또한 앞발이 뒤로 놓일수록 각도가 오른발의 경우 수직에 가깝고, 왼발의 경우 수평에 가깝다. 뒷발이 뒤에 놓일수록 수직축 보폭은 증가한다. 여성은 남성보다 앞발이 조정간에서 더 멀고 양발간 수평축 보폭이 작으나 남성은 그런 상관성을 보이지 않는다. 즉 수평축 보폭은 성별의 차이로 나타나며 여성이 남성보다 중심축에 근접하게 발을 위치한다. 남성은 여성보다 발 위치에 대한 자유도가 높다. 그림 6을 통해 유추해 보면 여성의 경우 발판의 내부에 발을 두는 반면 남성은 무게 중심이 발판의 내부에 있으면 발이 발판 외부로 나가도 개의치 않는다.

표 1. 측정정보 상관도 분석 (df 54(yellow), df 34(green), p<0.01)

Table 1. Correlation analysis of collected data

		N	Mean	Std	correlation															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	height	56	169.91	8.11	1.00															
2	weight	56	70.01	16.62	0.65	1.00														
3	BMI	56	24.08	4.46	0.32	0.93	1.00													
4	foot width	56	9.82	0.94	0.70	0.76	0.62	1.00												
5	foot length	56	24.13	1.60	0.87	0.70	0.46	0.78	1.00											
6	vertical P1	56	10.23	2.95	-0.42	-0.27	-0.15	-0.45	-0.45	1.00										
7	horizontal P1	56	9.54	3.53	0.04	-0.14	-0.18	-0.15	-0.04	-0.16	1.00									
8	angle1	56	86.43	10.69	0.04	-0.08	-0.11	-0.06	-0.01	0.02	0.78	1.00								
9	vertical P2	56	30.05	4.63	0.14	0.42	0.46	0.19	0.10	-0.05	-0.03	-0.08	1.00							
10	horizontal P2	56	9.96	6.67	-0.21	-0.04	0.04	-0.27	-0.21	0.39	-0.23	-0.28	0.11	1.00						
11	angle2	56	94.64	36.13	-0.28	-0.11	-0.02	-0.34	-0.28	0.37	-0.10	-0.22	0.18	0.93	1.00					
12	horizontal D	56	6.71	4.72	0.36	0.42	0.35	0.45	0.42	-0.26	0.09	0.11	-0.12	-0.12	-0.12	1.00				
13	vertical D	56	19.82	5.61	0.33	0.49	0.46	0.40	0.32	-0.56	0.06	-0.07	0.85	-0.11	-0.05	0.04	1.00			
14	up/low ratio	56	0.66	0.53	-0.07	0.10	0.17	-0.08	-0.09	-0.11	-0.13	-0.17	0.11	0.03	-0.05	-0.16	0.14	1.00		
15	left/right ratio	56	0.85	0.33	0.15	-0.20	-0.32	-0.03	0.12	-0.30	0.09	-0.19	-0.12	-0.12	-0.10	-0.27	0.06	-0.15	1.00	

2인 탑승자의 상관도 분석에서 유의미한 상관관계는 앞 탑승자의 왼발 수평축 위치에서 두드러지게 나타난다. 우선 앞 오른발을 앞으로 내밀고 왼발은 살짝 뒤에 두는 경향이 나타나며, 두 탑승자간 거리는 앞 탑승자의 오른발 수직 위치에 반비례한다. 이는 앞 탑승자가 앞에서 멀어질수록 뒤 탑승자의 입지가 좁아지므로 밀접도가 증가하는 현상이다. 이외 뚜렷한 상관성을 보이지 않는데 이는 협소한 발판의 크기가 2인 탑승자의 발 위치를 일관성있게 제한하기 때문으로 보이며 그림 6은 이러한 상황을 보다 명확하게 도시한다. 센서 무게의 상하 비율은 1인 탑승과 달리 앞쪽으로 비중이 쏠리는 현상 (1.09 ± 0.65)이 나타나는데 이는 탑승자의 무게에 의해 결정되는 것으로 다양한 탑승 경우를 고려하면 의미를 둘 수 없다. 좌우 비율에서 오른쪽으로 쏠리는 현상(0.87 ± 0.39)이 나타나나 통계적으로 의미있는 차이는 아니다.

정리하면 우리는 다음과 같은 결론에 이른다. 우선, 탑승자의 발 위치 분포 분석 결과 피험자의 수평축 분포는 오른쪽으로 치우치는 경향은 보이나 무게 중심을 잡으려는 노력의 일환으로 중심축을 크게 벗어나지 못한다. 둘째, 1인 탑승자의 경우 발 위치의 자유도가 높아 확률이 상대적으로 떨어지나 중심축을 기준으로 분석한 수직축 분포가 그림 7의

상단 그래프로 표현된다. 마지막으로 2인 탑승자의 경우 발 위치는 제한적이며 앞/ 뒤 탑승자의 수직적 발 위치는 그림 7의 하단 그래프로 표현된다.

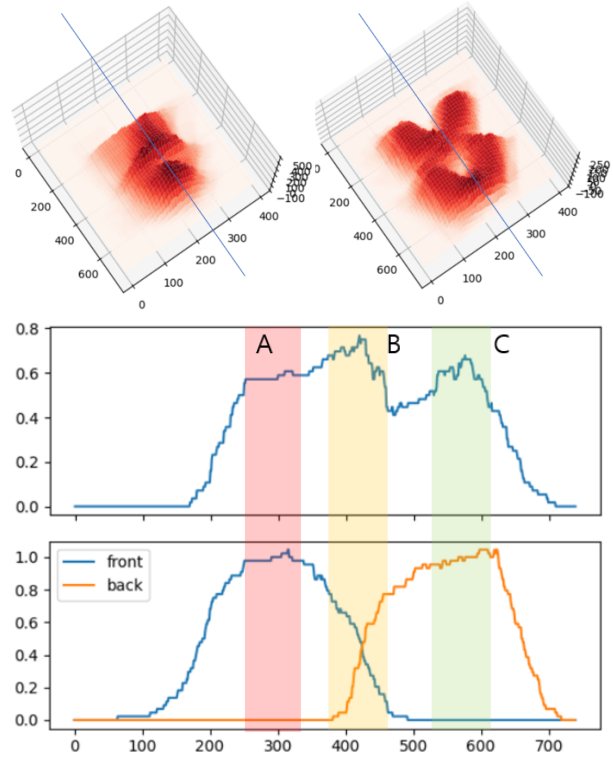


그림 7. 1/ 2인승 탑승자의 발 수직 위치 분포
Fig. 7. Feet vertical position distribution of one/two-person

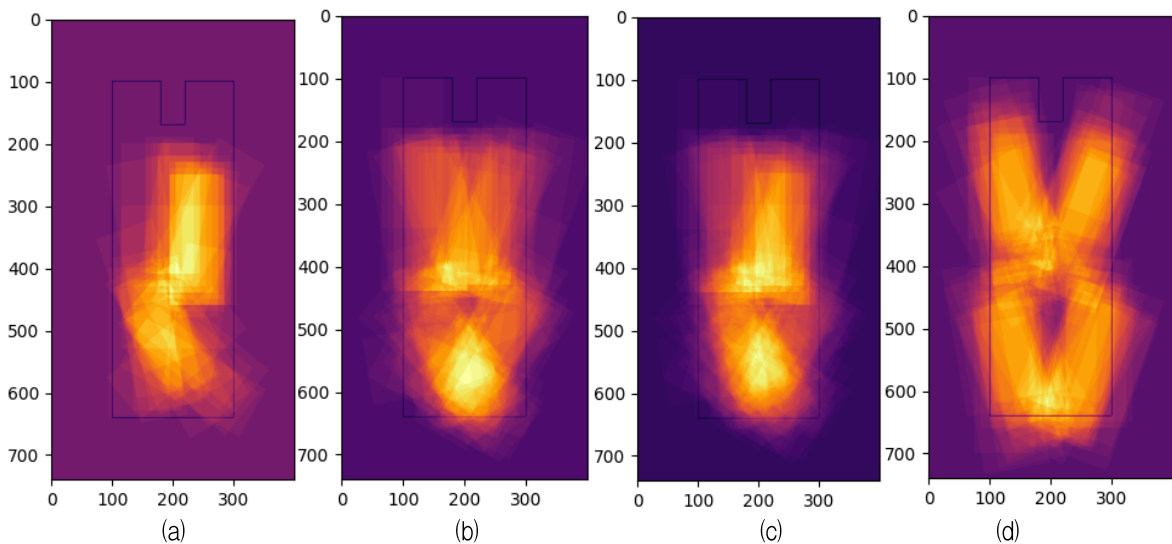


그림 6. 탑승자의 발 위치 분포 (a) 여성 (b) 남성 (c) 통합 (d) 2인 탑승
Fig. 6. 2D histogram of feet (a) Female (b) Male (c) One person(total) (d) Two persons

위 정리에 근거하면 그림 7에서 A, B, C로 표시된 3가지 입지를 도출할 수 있으며 해당 후보지에 가해지는 위치분포확률과 탑승자의 무게 (탑승자 전체 무게 중 해당 위치에 가해지는 비중), 이 값에 근거한 기대무게를 표 2에서 제시한다. A, B, C는 모두 발판의 중심축에서 선택한 5cm의 길이를 갖는다. 표 2에서 보듯 로드셀의 측정 정량이 가장 낮은 지점은 B로서 1인 탑승자의 30.18%의 무게가 2인 탑승자의 78% 무게가 측정된다. 그러나 1인/ 2인 탑승자의 발 위치 분포가 0.71, 0.78로서 구분에 모호성이 존재한다. 반면에, 로드셀의 측정 정량이 상대적으로 높으나, A와 C 지점은 1인/ 2인 탑승자의 구분 확률이 압도적으로 높다. 유사하나 A 지점은 운전대와 주로 사용하는 발에 따라 위치가 달라진다는 점을 고려, C 지점이 가장 유력한 센서 부착 위치로 결론 낸다.

표 2. 무게 장착 후보 위치 비교

Table 2. Comparison of sensor attachment positions

		A	B	C
Certainty	1 person	0.58	0.71	0.60
	2 person	0.96	0.78	0.97
Weight	1 person(%)	40~45	40~45	55~60
	2 person(%)	100	100	100
Weight expectation	1 person(%)	24.65	30.18	34.50
	2 person(%)	96.00	78.00	97.00

V. 결론 및 향후 과제

각종 법적 규제에도 불구하고 증가하는 개인형 이동장치의 사고를 줄이기 위한 목적으로 본 논문은 기술적 규제를 추가하고자 한다. 다양한 사고 중 2인 이상 탑승시 개인형 이동장치의 성능을 제약하는 목적으로 가장 직관적인 디지털 저울의 추가를 고려하며, 이때 발생하는 설계상의 제약으로서 제한된 센서 갯수의 부착 위치에 주목한다. 이를 해결하기 위해 1인 탑승을 위한 56명, 44건의 2인 모의 탑승 실험을 통해 탑승자의 발 위치, 발 각도, 무게 등을 측정하며 수집된 데이터의 통계 분석과 시각적인 분석을 진행한다. 분석의 결론으로 개인형 이동장치의 발판 끝단에 한정된 수량의 무게 센서를 설치하는 것이 가장 합리적인 결론임을 도출한다.

개인형 이동장치에 대한 기술적 규제를 목적으로 한 다양한 아이디어가 제안되나 발판 위 무게 센서의 부착 위치를 구체적으로 추정하는 연구는 확인된 바 없다. 또한 구체적인 실험을 통한 결론 도출 과정 역시 찾을 수 없다는 점이 본 논문의 가치를 증거 한다.

본 논문은 본격적인 시스템 개발의 전초로서 도출한 결과를 반영하여 무게 센서를 부착하고 1인/ 2인 탑승여부를 판별하는데, 2인 탑승일 경우 기능의 무력화보다는 알람으로 경고하며 성능을 하락시키는 시스템을 구현하고자 한다. 이를 통해 최종적인 탑승자 판별 성능과 사용자의 편의성에 대한 평가를 본 논문의 향후 과제로 한다.

References

- [1] D.-Y. Jeon, "The Countermeasures on the Traffic Safety Improvement of the Personal Mobility", *Korean Criminal Psychology Review*, Vol. 16, No. 4, pp. 209-224, Dec. 2020. <http://dx.doi.org/10.25277/KCPR.2020.16.4.209>.
- [2] S. K. Kang and S. S. Kang, "A study on Major Safety Problems and Improvement Measures of Personal Mobility", *Journal of the Korean society of disaster information*, Vol. 18, No. 1, pp. 202-217, Mar. 2022. <https://doi.org/10.15683/kosdi.2022.3.31.202>.
- [3] K. H. Lee, "Personal mobility accidents soars every year", *KoROAD*, Apr. 2023. <https://url.kr/7jimxr> [accessed: Aug. 14, 2023]
- [4] S. H. Lee, I. G. Ryu, D. Ngoduy, N. H. Hoang, and K. C. Choi, "A stochastic behaviour model of a personal mobility under heterogeneous low-carbon traffic flow", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 128, Jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103163>.
- [5] D. M. Yeom, H. J. Yoon, S. Y. Lee, and K. H. Lee, "Personal Mobility Safe Driving System with Knowledge Distillation", *20th International Conference on Ubiquitous Robots(UR)*, Honolulu,

- HI, USA, Jun. 2023. <http://doi.org/10.1109/UR57808.2023.10202355>.
- [6] H. J. Park, K. H. Choi, and J. W. Yu, "Design of Personal Mobility Safety System Using AI", International Journal of Informatics Visualization(JOIV), Vol. 5, No. 2, pp. 127-133, Jun. 2021. <http://dx.doi.org/10.30630/joiv.5.2.558>.
- [7] W. T. Kim, B. J. Park, and H. S. Kim, "The Proposal of System Structure for Using Safe Personal Mobility Devices", Journal of the Korea society of digital industry and information management, Vol. 18, No. 3, pp. 33-41, Sep. 2022. <https://doi.org/10.17662/ksdim.2022.18.3.033>.
- [8] AVIA Semiconductor, "24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales", HX711, <https://url.kr/vyqzx9> [accessed: Aug. 14, 2023]
- [9] Current status of personal transportation (PM) traffic accidents by month of occurrence and by age of offender, <https://url.kr/xfaj4d> [accessed: Sep. 1, 2023]
- [10] Health checkup statistics, <https://url.kr/i8cn5w> [accessed: Sep. 1, 2023]

저자소개

임 종 관 (Jong Gwan Lim)



2016년 2월 : KAIST
기계공학(공학박사)
2017년 3월 ~ 현재 : 목원대학교
지능로봇공학과 교수
관심분야 : HRI, 영상/신호처리,
머신러닝