

이륜이동수단 운전자를 위한 웨어러블 시스템 개발

- 제스처 명령 인터페이스와 주행 방향 및 상황 표시 기능을 중심으로 -

이 현 승*

인천대학교 패션산업학과*

요 약

현재 이륜이동수단의 유형은 자전거와 모터사이클, 퍼스널모빌리티로 다양화되고 있음과 동시에 사용인구 또한 증가하고 있다. 이륜이동수단은 운동성이 높고 전면 및 배면 투영 면적이 일반적인 성인의 신체투영 면적과 유사하여 거리가 충분치 않을 경우 타 차량이나 보행자가 빠르게 접근하는 이들을 파악하기 쉽지 않다. 따라서 이륜이동수단 사용자와 타인의 안전을 위해 이륜이동수단은 높은 시인성이 확보되어야 할 필요성이 있으나, 각 이륜이동수단별 구조와 크기의 한계로 인해 충분한 장비를 설치하기 어려운 한계성이 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 각 유형별 이륜이동수단 이용자 모두가 사용 가능한 시인성 강화 기능을 제공하는 웨어러블 시스템 개발 및 사용성 검증에 목적을 두었다. 연구개요는 다음과 같다. 첫째, 사용자가 이미 착용한 의복 위에 편하게 착용 가능한 구조 및 의복만으로 최소한의 시인성 강화가 이루어질 수 있는 색과 소재, 의복에서 손쉽게 디지털 모듈을 탈부착 가능한 거치 구조가 적용된 의복 플랫폼을 개발하였다. 둘째, 고휘도 RGB LED 광원 및 가속도-자이로 센싱, 무선 통신 기술을 활용하여 사용자가 별도의 버튼이나 UI 조작 없이 머리 움직임만으로 주행과 좌, 우진로방향표시, 정지, 비상 등의 운행상황 표시 기능을 제어 가능한 직관적 동작 인식 인터페이스를 구현한 헬멧과 의복의 연계 시스템을 개발하였다. 셋째, 개발된 프로토타입의 범용적인 사용성을 실험하기 위해, 성인 남녀 5인을 대상으로 실제 주행 시 기능 사용 실험을 수행하였다. 그 결과, 각 실험 인원별 성별과 신장, 체격의 차이에도 불구하고 제스처 명령 인터페이스와 LED 제어 기능의 정상 작동을 확인하였다. 본 연구의 결과는 이륜이동수단 사용자 본인은 물론 함께 도로를 운행하는 타 차량 운전자들 및 보도를 통행하는 보행자들의 주의를 시각적으로 환기하여 사고의 위험성을 줄임으로써 공공안전 측면에서 사회적 기여가 가능할 것으로 기대되며, 이에 연구의 의의를 둔다.

주제어 : 동작 인식, 제스처 인터페이스, 웨어러블 테크놀로지, 안전 시스템

본 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 한국연구재단에서 부여한 과제번호 : NRF-2022R1G1A100881

+교신저자: 이현승, [srwalph@inu.ac.kr](mailto:srwalpha@inu.ac.kr)

접수일: 2023년 7월 20일, 수정논문접수일: 2023년 8월 16일, 게재확정일: 2023년 9월 1일

I. 서론

현재 이륜이동수단의 유형은 기존의 자전거와 모터사이클(이하, 이륜차) 외에 이륜 퍼스널 모빌리티(이하, PM)로 다양화되고 있음과 동시에 사용 인구 또한 증가하고 있다. 개인의 건강관리 및 취미활동을 위한 자전거 사용인구가 점진적으로 증가하고 있으며, 이륜차 또한 배달 대행 업종의 다변화로 인해 관련 종사자 수 증가에 비례하여 사용량이 증가하고 있다. PM 또한 2010년대 중후반부터 모바일 공유 플랫폼의 등장으로 인해 젊은 층을 중심으로 사용량이 급증하고 있으며, 사용량이 증가함과 동시에 차대차, 차대인 사고 또한 증가하고 있는 추세이다(Ko, 2017; Lee & Kim, 2021). 통계청의 교통사고 통계자료에 따르면, 2019년부터 2021년도까지의 각 이륜이동수단 별 사고 건수의 합계는 자전거 16,809건, 이륜차 55,122건이며 PM은 3,079건으로, 자전거를 제외하고 사고 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 해당 기간에 조사된 이륜이동수단의 전체 75,881건의 사고 건수 중, 사망 사고는 1616건으로 치사율이 2.1%에 달하는 것으로 집계되었다(Korean Statistics Information Service, 2023a; Korean Statistics Information Service, 2023b).

이륜이동수단은 외골격이 없는 구조로 인해 급가속 및 급회전이 가능한 주행 특성을 가진다. 이로 인해 사고 발생의 위험성이 높음과 동시에, 사고 시 사용자가 치명적인 부상을 입을 수 있는 위험성이 높다. 또한, 이륜이동수단은 전면 및 배면 투영 면적이 일반적인 성인의 신체투영면적과 유사하여, 타 차량이나 보행자가 진로 방향으로 접근하는 이륜이동수단을 충분한 거리를 두고 파악하지 못한다면 이를 회피하기가 용이하지 않다(Kim & Park, 2017; Ko, 2017). 따라서 이륜이동수단 이용자 자신은 물론, 타 차량운전자 및 보행자들의 안전을 위한 일차적 조치로서, 이륜이동수단은 충분한 시인성이 확보되어야 한다. 그러나 일

부 대형 모터사이클을 제외하고, 125cc 이하의 이륜차는 차폭이 탑승자의 신체 폭보다 좁은 경우가 많으며, 공유 플랫폼을 통해 확산되고 있는 자전거와 PM의 경우 차체가 협소하여 시인성 강화를 위한 충분한 등화 장치가 장비되어 있지 않은 경우가 많은 실정이다.

상기와 같은 한계성에 따라 2008년의 Leah Buechley의 사례부터 현재까지 이륜이동수단 사용자의 안전 보조를 위한 웨어러블 시스템에 관한 연구는 지속되어 왔다(Ahn, 2016; Carton, 2012; Chun & Lee, 2016; Kang, 2016; Lee & Lee, 2011; Lee & Kim, 2010; Park & Kim, 2020; Tsai et al., 2021). 그러나 대부분의 연구가 자전거 사용자를 위한 방향 지시 기능 구현에 초점을 두고 있어, 방향 지시등 외의 주행 상황변화 표시 등 및 현재 다양화된 이륜이동수단 사용자 모두가 사용 가능한 호환적, 범용적 안전 보조 시스템 구현에 관한 연구 사례는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 자전거와 이륜차, PM 등 어느 정도 유사성은 있으나 각기 상이한 탑승 자세와 구동 메커니즘을 가지는 이륜이동수단 사용자 모두가 사용 가능한 시인성 강화를 위한 주행 방향, 상황 표시 기능을 제공하는 웨어러블 시스템의 개발 및 개발된 시스템의 사용성 검증에 목적을 두었다.

본 연구의 범위와 방법은 다음과 같다.

첫째, 연구의 초기 단계에서는 관련 선행연구 및 이륜이동수단 교통사고 유형 문헌고찰, 이륜이동수단 사용 경험자를 대상으로 한 이륜이동수단의 위험성에 관한 인터뷰 결과를 토대로 프로토타입에 적용할 기능성을 설정하고, 현재 시판되는 안전 의류의 형태, 색상, 소재 특성을 고찰하여 프로토타입의 의복 플랫폼 디자인 시안을 도출한다.

둘째, 연구의 중기 단계에서는 도출된 프로토타입의 의복 플랫폼 디자인 시안 및 적용할 안전색채를 이륜이동수단 사용 경험이 있는 성인을 대상

으로 평가하여 의복 플랫폼의 디자인과 색상을 선정한다. 또한 연구 초기 단계에서 설정된 프로토타입의 안전 보조를 위한 주행 방향 및 상황 표시 기능과 제스처 명령 인터페이스 시스템의 알고리즘을 설계, 개발한다.

셋째, 연구의 후기 단계에서는 이후 프로토타입의 의복 플랫폼 및 웨어러블 시스템의 회로, 시스템 모듈 하우징 제작을 병행하여 프로토타입을 완성한다.

넷째, 연구의 마지막 단계에서는 이륜이동수단 경험이 있는 성인 남녀 5인을 대상으로 착용성 테스트 및 실제 주행 시 기능 사용 실험을 수행하여, 프로토타입의 실제 주행 상황에서의 착용성 및 기능의 사용성을 검증한다.

본 연구에서는 이륜이동수단 사용자 본인 및 함께 도로를 주행하는 타 차량 운전자 혹은 보행자의 안전을 위해 패션 분야에서 접근이 용이한 기초적인 센서 및 제어, 통신 기술의 활용 사례를 제시함에 연구의 의의를 둔다.

II. 이론적 고찰

1. 이륜이동수단 관련 교통사고 유형

이륜이동수단은 크게 자전거, 이륜차, PM으로 구분할 수 있으며, 이는 주로 단거리를 이동의 목적으로 이용되며 기동성 및 경제성 측면에서 많은 이점을 가짐과 동시에, 최종 목적지로의 접근성이 우수하여 젊은 세대 혹은 배달업 종사자에게 효과적인 이동수단으로 선호되고 있다(Choi et al., 2021; Ko, 2017; Lee & Kim, 2021). 이륜이동수단은 사륜차에 비하여 가격 및 유지비용이 훨씬 저렴하며, 혼잡한 도심지역의 교통난의 심화는 이륜이동수단의 보급과 이를 주로 이용하는 배달업의 확산에 기여하였다. PM의 경우, 2018년도 킥고잉

의 PM 공유 플랫폼 사업을 시작으로 현재까지 신생 벤처기업이 약 20여 곳이 생겨나며 사용빈도가 급증하고 있다(KISO planning team, 2019). 그러나 운전자의 신체가 직접적으로 노출되어 있는 이륜이동수단의 특성상 경미한 사고에도 큰 부상으로 이어질 수 있고, 이륜차, 자전거, PM 모두 차체가 콤팩트함으로 인해 가시성이 낮아, 고속 주행 시 더욱 눈에 띄지 않을 수 있어 도로의 타 운전자들에게도 위협이 될 수 있다.

2019년부터 2021년도까지의 이륜이동수단 관련 사고 통계자료에 의하면 자전거는 16,809건, PM은 3,079건, 이륜차는 55,993건의 사고가 발생하였으며, 사고로 인한 사망자는 총 1,616명, 부상자는 총 116,427명으로 집계되었다(Korean Statistics Information Service, 2023a; Korean Statistics Information Service, 2023b). 자전거와 이륜차는 사고 및 부상자의 발생 양상이 매년 유사한 발생 경향을 보였으나, PM의 경우 공유 플랫폼의 확산에 따라 매년 2배가량 급격히 증가하는 추세에 있는 것으로 나타났다(KISO planning team, 2019), (Table 1).

교통사고 유형의 경우, 차대차 사고에서 가장 높은 비율을 차지하는 유형은 시야의 사각으로 인한 측면 충돌로 나타났다. 자전거는 41.3%, 이륜차는 40.7%, PM은 30%에 해당하는 사고가 해당 유형에 속하였다. 차대사람 사고 유형 중 가장 높은 비율을 차지하는 것은 횡단 중 벌어지는 사고로 자전거는 3.7%, 이륜차는 8%, PM은 5.8%로 조사되었다(Korean National Police Agency, n.d.a; Korean National Police Agency, n.d.b; Korean National Police Agency, n.d.c), (Table 2).

사고통계를 두고 봤을 때, 도로 운행 시 가시성이 떨어지는 차체 구조로 인해 이륜이동수단이 차량과 차량 사이를 주행할 경우, 혹은 이륜이동수단이 사륜차량의 후방 혹은 측면에서 접근할 경우, 사륜 차량 운전자가 이륜이동수단의 존재를 파악하지 못하여 측면 충돌 사고가 가장 빈번하게 일어나게 되는 것으로 해석된다. 또한 이륜차의 경

Table 1. The statistics of the traffic accidents related to two-wheeled vehicle during 2019-2021.

Vehicle	Sort of statistics	2019	2020	2021
Bicycle	Total accident	5,633	5,667	5,509
	Death	79	83	70
	Total injury	6,020	6,150	5,999
PM	Total accident	447	897	1,735
	Death	8	10	19
	Total injury	473	985	1,901
Motor cycle	Total accident	18,785	18,584	18,624
	Death	458	469	420
	Total injury	23,915	24,016	24,125

Table 2. The primary accident type of the two-wheeled vehicle during 2019-2021.

Vehicle	Primary sort (accident category)	2019	2020	2021
Bicycle	Side collision (car-to-car)	2,487	2,201	2,255
	Collision during cross walking (car-to-person)	245	214	169
PM	Side collision (car-to-car)	142	273	514
	Collision during cross walking (car-to-person)	29	46	105
Motor cycle	Side collision (car-to-car)	7,997	7,448	7,373
	Collision during cross walking (car-to-person)	1,557	1,358	1,525

우, 야간 시 차체에 탑승된 비상등을 상시 점멸하고 운행하는 경우가 빈번함에 따라, 타 차량 혹은 보행자가 좌, 우회전에 돌입하는 이륜이동수단의 진로 방향을 파악하지 못하여 측면 충돌 및 횡단 보도에서의 사고 비율이 높게 집계된 것으로 해석된다. 특히 야간에 가로등이 없는 도로에서는 일부 대형 모터사이클을 제외하고, 자전거와 PM, 소형 이륜차의 차체는 탑승자의 신체 폭보다 작은 경우가 많음에 따라 방향 지시등 혹은 비상등을 점등해도 주변의 타 차량 운전자가 이륜이동수단의 전체 폭을 직관적으로 가늠하기 어려울 수 있다. 따라서, 야간 주행 시 비상등을 상시 점등하더라도 이륜이동수단에 내장된 비상등은 사륜차의 차폭등의 역할을 완벽하게 수행하기 어렵다. 이와 같은 운행 특성 및 구조적 한계성, 사고 유형 등을 종합적으로 고려하여, 본 연구에서는 이륜이동수단의 시인성 강화의 주체를 차체에서 탑승자의 신

체로 옮겨, 탑승자의 신체의 착용되는 의복에 시인성 강화를 위한 기능성을 부여하고자 한다.

2. 이륜이동수단 운전자를 위한 스마트 의류 시스템 사례

이륜이동수단 사용자를 위한 의복 혹은 장구류에는 첫째, 사고를 예방하기 위한 시인성 강화, 둘째, 시인성 강화를 위한 디지털 기능의 제어는 사용자가 이륜이동수단을 운행하는 동안 운전행위에 집중할 수 있도록 시각에 의존하지 않고 직관적으로 조작 가능한 인터페이스가 요구된다. 2000년대부터 현재까지의 이륜이동수단 운전자를 위한 웨어러블 시스템 연구 사례를 요약하면 다음의 <Table 3>과 같다.

2008년 MIT의 Leah Buechley의 릴리페드 아두이노와 LED, 스위치를 활용하여 자전거 운전자를 위한 방향 지시 기능의 웨어러블 컴퓨팅 재킷을

Table 3. The previous cases of the wearable systems for two-wheeled vehicle users.

Cases	Platform	Functionality	User interface
Buchley, 2008	Clothes	Turn signal	Switch on sleeves manipulating
Lee & Lee, 2011	Clothes	Turn signal	Distance sensing between arms and bodice
Carton, 2012	Glove	Turn signal	Finger movement input through flexible sensor and tilt switch
Chun & Lee, 2016	Backpack	Turn signal	Remote control button manipulating
Kang, 2016	Module	Turn signal	Riding direction detecting through gyroscope
Ahn, 2016	Helmet	Turn signal	GPS location of user's smartphone data detecting
Park & Kim, 2020	Clothes	Turn signal, start and stop signal indication	Touch panel (button) on a sleeve manipulating
Tsai et al., 2021	Helmet	Turn signal	Riding angle change detecting through 3-axis gyroscope

시작으로 의복과 헬멧, 착용 가능한 모듈을 플랫폼으로 이륜이동수단 운전자를 위한 안전 보조 기능을 제공하는 연구는 지속되어 왔다. 이륜이동수단은 외골격이 없음에 따라 사고 시 치명적인 신체적 손상이 야기될 수 있으므로, 주행 시 높은 집중력을 요구한다. 따라서 되도록 사용자의 시각을 점유하지 않는 직관적인 조작 인터페이스가 요구된다. 총 9건의 선행 사례 중, 5건의 연구에서 각기 다른 센서 기술을 응용하여 동작이나 주행 중 이륜이동수단의 전향 각도 변화를 자동 인식하여 좌, 우 방향 지시등 점멸 기능을 구현하였다. 그러나, 해당 5건의 사례 중 1건을 제외한 대부분의 사례에서 실제로 이륜이동수단에 탑승하여 동작 인터페이스의 작동성능을 실험한 내용이 명시되지 않아, 실제 주행 중 사용성을 파악하기에 한계가 있는 것으로 사료된다.

또한 실제 이륜이동수단을 주행하는 상황에서는 복합적인 시인성 강화를 위해서는, 신호등의 변화, 혹은 타 차량의 접근, 보행자의 접근 등과 같이 주행 상황의 변화에 따른 정지신호 및 비상신호의 표시 기능 또한 요구된다. 상기의 사례 중, 진행방향표시 기능 외의 출발, 정지신호 표시 기능을 구현한 사례는 1건(Park & Kim, 2020)으로, 진행 방향 표시 외의 사용자의 주행 상황 변화에 관한 정보 전달 기능 연구는 부족한 실정으로 나타났다.

본 연구에서는 선행연구 사례를 토대로 사용자가 이륜이동수단 운행 시 운전 방해가 되지 않는 범위에서 취할 수 있는 작은 머리 동작을 센서가 인식하여 시인성 강화를 위한 주행 방향 및 주행 상황 표시 기능을 제공하는 웨어러블 시스템을 개발하고, 실제 주행 상황에서 해당 기능의 사용성을 검증하고자 하였다.

III. 웨어러블 시스템 프로토타입 개발

본 연구의 프로토타입의 기능성을 설정하기 위해, 이륜이동수단의 형태 및 운행 특성, 교통사고 유형, 선행연구 사례 고찰 및 이륜이동수단 사용 경험자를 대상으로 한 이륜이동수단 주행 시 위험성에 관한 인터뷰 결과를 토대로 위험 요소를 추출하였다. 이륜이동수단의 구조 및 운행 특성, 사고 유형을 두고 보았을 때, 콤팩트한 차체로 인한 급가속과 급회전이 가능한 고속 운행, 성인의 신체와 유사한 전, 후면 투영 면적 등으로 인한 낮은 시인성이 주요 위험 요소로 나타났다. 기능 설정을 위한 인터뷰에 응한 이륜이동수단 사용 경험자들 또한 작은 크기와 빠른 속도로 인한 낮은 가시성, 사고 대비 안전장치 부족을 주된 위험 요소로 지적하였다(Figure 1).

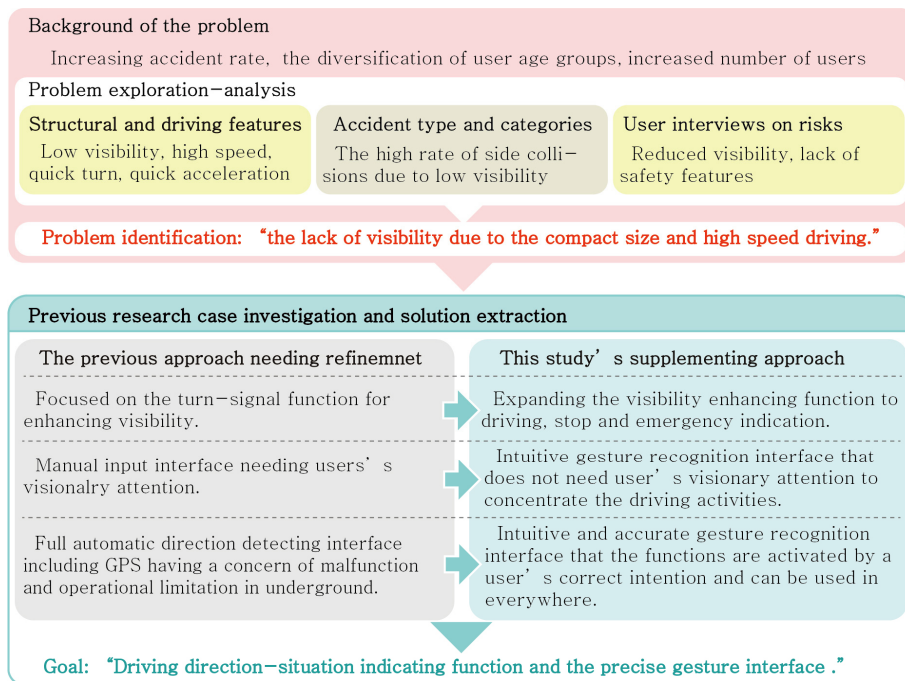


Figure 1. The research process to configure the initial goal.

Table 4. The function operating scenario.

Function	Operating scenario
Right turn signal light	When a user rapidly bends his/her neck to right side, the right turn signal lighting of the orange color on the clothing blinks.
Left turn signal light	When a user rapidly bends his/her neck to left side, the left turn signal lighting of the orange color on the clothing blinks.
Brake light	When a user rapidly nods his/her head, the brake lighting of the red color on the clothing is turned on.
Emergency flasher	When a user rapidly bends back his/her neck, the emergency flasher lighting of the orange color on the clothing blinks.

따라서, 작은 차체와 빠른 속도, 등화장치 부족으로 인한 낮은 시인성의 보완을 안전 보조 기능성의 주요 목표로 설정하였고, 주야간 주행 시 시인성 강화를 위한 좌, 우 주행 방향 표시 및 정시 및 비상 상황 표시 기능을 세부 목표로 설정하였다. 또한 해당 기능성을 사용함에 있어, 주행 상황 시 별도의 버튼이나 스위치 등의 입력장치 조작 없이 직관적으로 기능을 사용할 수 있도록 하는 동작 인식 인터페이스의 구현을 세부 목표로 설정

하였다. 이에 따른 프로토타입의 기능성 사용 시 나타나는 <Table 4>와 같다.

1. 의복 플랫폼 디자인 및 제작

본 연구의 의복 플랫폼 디자인 도출 과정을 요약하면 <Figure 2>와 같다.

의복 플랫폼 디자인 방향성을 설정하기 위해, 먼저 국내외의 이륜이동수단 이용자를 위한 안전

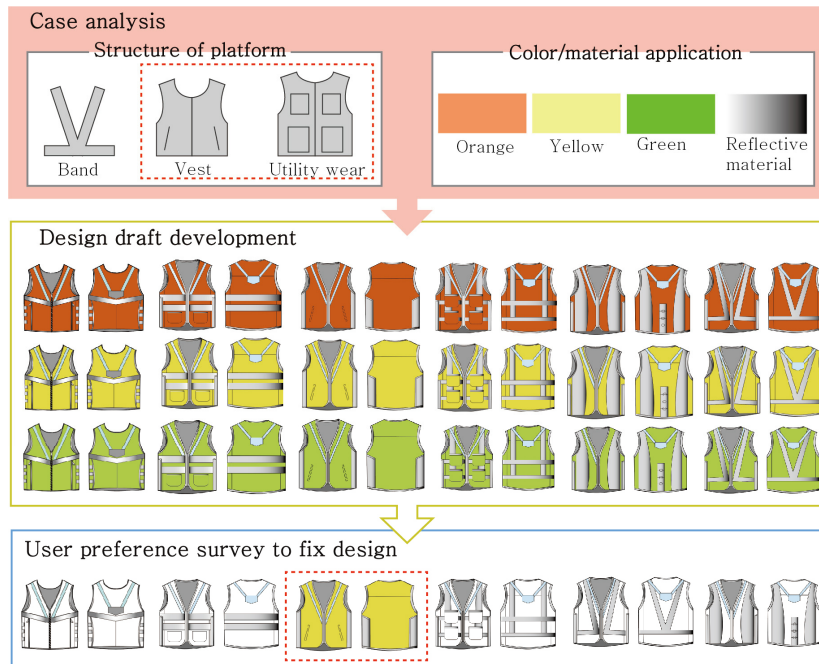


Figure 2. Clothes platform design research process.

의복 사례를 조사한 결과, 크게 밴드형과 베스트형, 유틸리티 웨어형으로 그 유형을 분류할 수 있었다. 또한 색상과 소재의 경우 일반적으로 국제적 안전 색채로 인식되는 형광 오렌지 혹은 옐로, 그린 색상의 방수 혹은 방풍 소재와 야간 시 기본적인 시인성 확보를 위한 재귀반사 소재가 함께 활용되는 것이 일반적인 색상과 소재 사용 경향으로 나타났다. 시판 사례를 토대로 의복 플랫폼 디자인 시 고려된 사항은 다음과 같다.

본 연구의 의복 플랫폼에는 전, 측, 후면에서 인지 가능한 충분한 양의 LED 및 LED 컨트롤 모듈의 장착이 요구된다. 또한 해당 디바이스들의 경우, 의복 플랫폼의 세탁성을 확보하기 위해 탈부착이 가능하도록 함과 동시에 의복에 안정적으로 고정할 수 있도록 별도의 부수적 거치 구조물과 함께 의복 플랫폼에 부착되어야 한다. 따라서 신체에 고정 면적이 적은 밴드형의 경우, 부피가 작은 LED 광원의 경우 탈부착이 가능하도록 장치가

가능할 수 있으나 상대적으로 부피가 큰 LED 컨트롤 모듈과 거치 구조물을 장착하기에는 신체 분포 면적이 충분하지 않을 수 있다.

또한 이륜이동수단 이용자를 위한 안전 의복은 다양한 사용자가 이미 착용한 의복 위에 편하게 겹쳐 입을 수 있어야 함에 따라 충분한 여유분과 조임 구조가 요구되며, 사용자의 편의를 위해 스마트폰이나 이륜차의 기동키 등, 필수적으로 휴대해야 하는 물품을 안전하게 수납할 수 있는 포켓의 배치가 요구된다.

이에 따라 밴드형에 비해 상대적으로 신체를 덮는 범위가 넓어 디바이스 장비 및 고정이 안정적일 수 있고, 휴대물품 수납 포켓 배치가 용이한 베스트형 및 유틸리티 웨어형으로 의복 플랫폼의 디자인 방향성을 설정하였다. 또한 다양한 체형의 사용자가 착용 가능한 여유분과 사이즈 조절 구조의 적용, 플랫폼의 세탁성 및 디바이스 정비성을 위해 탈부착이 가능한 LED 컨트롤 모듈 거치 구

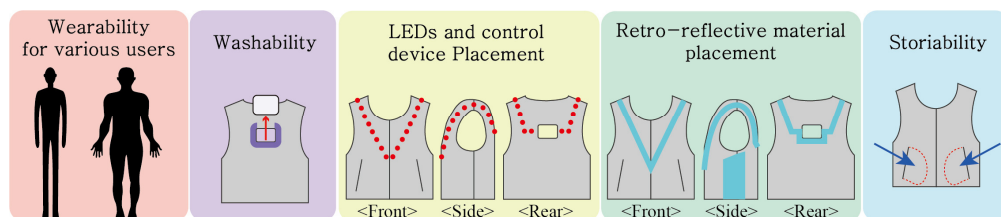


Figure 3. The design guidance of a vest platform.

Table 5. The promising location of LED devices.



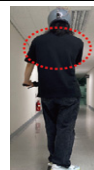






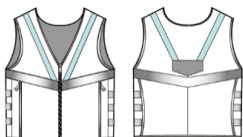
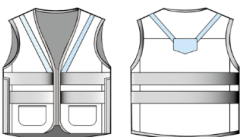
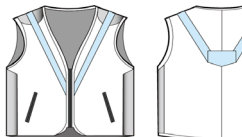
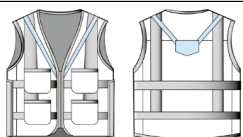
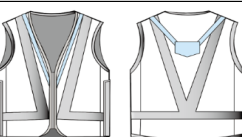
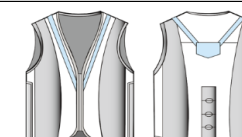


Two-wheeled personal mobility(PM)			Bicycle			Motorcycle		
								
Figure 4. Front image.	Figure 5. Side image.	Figure 6. Rear image.	Figure 7. Front image.	Figure 8. Side image.	Figure 9. Rear image.	Figure 10. Front image.	Figure 11. Side image.	Figure 12. Side image.

Table 6. The clothing platform design drafts.

Design 1 vest type	Design 2 utility vest type	Design 3 vest type
		
Design 4 utility vest type	Design 5 vest type	Design 6 vest type
		
 LED strap installation part,  Retro-reflective fabric application		

조 적용, 시인성 강화를 위한 LED 및 채귀반사 소재의 적용, 수납성 확보를 위한 포켓 적용을 구체적인 디자인 척도로 설정하였다(Figure 3).

디자인 시안 도출을 위해 LED 광원이 전, 측, 후면 모두에서 지각될 수 있는 위치 선정을 위해, <Table 5>와 같이 퍼스널 모빌리티와 자전거, 모터사이클 세 종류의 이륜이동수단에 각기 신장과 체형이 다른 사람이 탑승한 사진을 촬영, 분석하였

다. 보행자 및 타 차량 운전자의 시점에서 가시성이 높을 수 있는 위치로 등 상단 중심부에서 시작하여 어깨 상단에서 가슴 상단부로 이어지는 위치를 선정하였다(Figure 4-12).

시인성 강화를 위한 LED의 스트랩 장착 위치를 선정한 이후, 디자인 척도에 따라 의복 플랫폼 디자인 시안 6종을 도출하였다(Table 6). 각 디자인은 사용자가 이미 착용한 의복 위에 착용 가능하도록

단순한 베스트 및 유틸리티 베스트형으로 디자인 되었으며, 옆구리 부분에 사이즈 조절 벨크로 여밈을 공통적으로 배치하였다.

색상의 경우, 기존 안전 의복 사례와 같이 국제적으로 안전 의복 색채로 인식되는 형광 오렌지와 옐로, 그린 3가지 색상을 주색으로 설정하여, 야간 시인성을 위한 재귀반사원단을 보조색으로 적용하는 색상 조합 3가지를 도출된 각 디자인에 적용하여, 앞서 이륜이동수단 주행 시 위험성에 관한 사용자 인터뷰에 참여하였던 이륜이동수단 사용 경험자 중 선호도 조사 참여 의사를 밝힌 성인 52인을 대상으로 온라인 설문 평가를 수행하였다(Table 7).

의복의 디자인 관련 질문 문항은 5점 리커트 척도를 활용하여 평가하였으며, 의복의 색상은 각

시안별로 3가지의 색상 적용안을 제시하여 평가자가 가장 시인성이 높은 것으로 판단하는 색상을 한가지 선택하도록 하여 평가하였다. 평가 결과, 3번째 디자인 시안의 평가 점수 합계가 908로 가장 높았으며, 색상은 형광 옐로 색상이 가장 많은 인원에게 선호된 것으로 집계되었다(Table 8).

베스트 제작 시, 사이즈코리아의 2021년 신체 사이즈 조사 데이터(Choi et al., 2021)의 20세부터 69세까지 성인 남성과 여성의 평균 신체 사이즈를 토대로 앞, 뒤편에 각각 2.5cm의 여유 분량을 적용하여 남성용과 여성용 베스트의 평면 패턴을 도안하였다(Table 9). 남성용과 여성용 모두 같은 디자인을 토대로, 남성용의 경우 체격이 큰 실험자가 착용 가능하도록 여유량을 추가하기 위해 등의 폭

Table 7. The information of the survey respondents.

Gender		Sort of experienced two-wheeled vehicle		
Male	Female	Personal mobility	Bicycle	Motorcycle
31	21	15	32	5

Table 8. The result of the design and color preference survey.

Question 1: Do you think this design will be convenient to wear over the clothes you are already wearing when riding a two-wheeled vehicle?						
Design draft	1	2	3	4	5	6
Total score	208	201	312	153	164	175
Question 2: Does this design feel comfortable to move (drive) when riding a two-wheeled vehicle, even if you wear it overlaid on top of what you're wearing?						
Design draft	1	2	3	4	5	6
Total score	215	201	207	118	119	118
Question 3: Do you think the design will be easy to wear over the clothes you already wore?						
Design draft	1	2	3	4	5	6
Total score	211	201	210	183	196	199
Question 4: In your view, is the designs suitable as the safety driving clothes?						
Design draft	1	2	3	4	5	6
Total score	212	186	179	187	174	192
Question 5: Among the three color applications above, which one will be the most noticeable?						
Design draft	1	2	3	4	5	6
Fluorescent orange	12	13	12	18	16	16
Fluorescent yellow	30	31	30	24	25	26
Fluorescent green	8	7	8	5	6	5

Table 9. The average sizes of adult male and female adapted in pattern making.

Parameter	female	male	Parameter	female	male
Height	1,599.8 mm	1727.4 mm	Center front neck to waist	432.16 mm	461.26 mm
Chest circumference	893 mm	1,036 mm	Center back neck to waist	393.8 mm	437.2 mm
Across shoulder	393.8 mm	429.6 mm			

중앙 부를 시작으로 폴리스 구조를 응용한 여유 분량을 적용하였으며, 여성용의 경우 가슴 부위에 다트를 적용하였다. 소재의 경우, 형광 옐로 색상 부위에는 방풍 소재를 적용하였으며, 등 상단 중심에서 시작하여 양어깨를 거쳐 가슴 중앙으로 모이는 LED 스트랩 배치 부위와 양어깨 양 옆구리 부분에 재귀반사원단을 적용하였다.

의복 플랫폼의 등 중심 상단 부에는 헬멧의 제스처 명령 인식 모듈과 페어링되는 LED 제어 모듈을 손쉽게 분리, 결합하기 위한 3D 출력한 마운트 구조를 배치하였다. 마운트 구조물은 테두리의 타공 구조를 통해 바느질하여 의복에 유격 없이 고정함으로써 LED 제어 모듈이 안정적으로 의복에 설치됨과 동시에, 사용자의 신체 움직임을 방해하지 않도록 하였다(Figure 5).

LED 제어 모듈을 중심으로 등 상단으로부터 어깨를 통해 가슴 중심부로 이어지는 부위에 재귀반사원단 라인을 배치하고, 해당 라인 위에 3cm 폭의 투명 PVC 덮개를 연결하여 LED 광원 설치를 위한 파이프 구조를 제작하였다. PVC와 재귀반사원단 사이 공간에 LED 스트랩을 배치, 고정함으로써 주행 시 분진과 물이 튀는 등의 자극으로 인한 LED 회로의 손상을 방지함과 동시에, 설치된 LED에 문제가 발생하면 손쉽게 탈거하여 교환할 수 있도록 설계하였다. 또한 직진성이 강한 LED 광원이 투명유광의 PVC 내부에 장치됨으로써, 내부에서 빛이 산란반사되어 야간 주행 시 사용자의 맞은편에서 주행하는 타 차량 운전자의 시각을 강하게 자극하지 않도록 빛의 직진성을 완화하고자 하였다(Figure 13).



Figure 13. The developed vest platforms.

2. 웨어러블 시스템 모듈 디자인 및 제작

웨어러블 모듈은 헬멧에 장치되어 사용자의 머리 움직임을 제스처 명령으로 이용하는 헬멧 모듈과 의복의 등 상단에 장착되어 주간등(주행등), 방향 지시등, 정지등, 비상등 기능 작동 제어를 담당하는 LED 모듈로 구성된다. 사용자가 운전 시 움직임에 방해 요소가 없도록 하기 각 웨어러블 시스템(이하 WS)은 BLE(Bluetooth Low Energy)를 통해 무선으로 상호 연결되어 작동하도록 설계 및 제작되었다.

1) 웨어러블 시스템 기능 디자인

이륜이동수단 주행 시, 의복에 적용된 기능성을 활용하기 위해 의복 소매에 장치된 버튼이나 터치패널, 스크린 GUI 등을 조작해야 하는 인풋 인터페이스의 경우, 사용자의 시야가 조작 인터페이스를 향해야 할 수 있으며, 또한 사용자가 핸들에서 손을 떼고 터치 동작을 수행해야 비로소 기능 조작이 가능하므로 순간적으로 운전이 집중하지 못할 수 있는 위험성이 있다(Lee & Lee, 2011). Ledesma et al.(2023)의 연구에 따르면, 스마트폰이나 GPS 등을 조작하기 위해 핸들에서 손을 떼고 터치패드나 스크린을 조작하는 행동이 이륜이동수단 운전자가

주행 시 산만해지는 가장 큰 위험 요인으로 나타났다. 이를 고려하면 이륜이동수단 사용자가 주행 시 눈과 손에 의존하지 않는 제스처 명령 인터페이스의 적용이 적합한 것으로 판단된다. 손이 가용하지 못할 시, 머리 움직임은 사용자의 의도를 효과적으로 시스템에 전달할 수 있는 제스처 명령어로 활용될 수 있다(Dierk et al., 2019). 따라서 본 연구에서는 사용자의 손과 시각이 자유로울 수 있도록 작고 빠른 머리 움직임을 명령어로 활용하도록 제스처 명령 인식 인터페이스를 설계하였다.

사용자의 전, 후, 좌, 우 고개 움직임을 명령어로 인식함에 있어, 시스템이 명령어로서 인식해야 하는 명령 동작과 명령 동작과 유사하지만 명령으로 인식해서 안되는 동작을 보다 정확히 구분할 수 있도록, 정수리와 후두부에 배치된 2개의 가속도-자이로 센서가 두 부위의 가속도-각도 변화 수치를 연계 처리하도록 제스처 명령 인터페이스의 인풋 구조를 설계하였다(Figure 14).

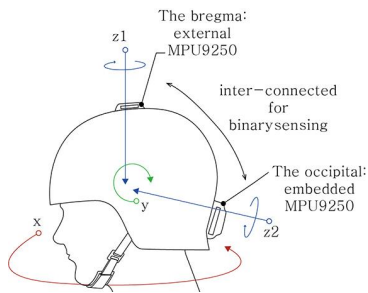


Figure 14. The sensor locations on a helmet.

사용자의 고개 움직임 인식에는 오일러 좌표계를 활용하여 롤(roll, z축), 피치(pitch, y축), 요(yaw, x축)의 가속도와 각도 수치 변화량을 감지, 명령어에 해당하는 수치 변화가 인식되었을 때 해당하는 LED의 작동 신호가 발생하도록 소스를 작성하였다. 헬멧에서 제스처 명령 동작 신호가 입력될 경우, GWS는 BLE를 통해 즉시 LED 제어 시스템으로 LED 작동 신호를 전송하도록 소스의 기본 구조를 디자인하였다. 알고리즘의 동작 명령 인식 임계범위 설정을 위해 각기 다른 신장과 체형의 성인 9인을 대상으로 2개의 가속도 차이로 센서를 정수리와 후두부에 장착한 헬멧을 쓰고 명령어 동작 및 기타 동작 수행하도록 하여, 동작 시 발생하는 가속도, 각도 변화 수치를 수집하였다(Table 10).

GWS의 제스처 명령 동작과 명령 동작 및 명령 동작과 유사하지만 명령으로 인식되어서 안되는 동작 수행 시 발생하는 x, y, z 축의 가속도, 각도 변화 패턴 간의 유사점과 차이점을 토대로, 명령 동작의 임계 수치에 평균적으로 30%의 마진 영역을 설정하여 명령어 동작과 유사 동작을 구분하도록 명령 인식 조건을 설정하였다. 또한 동작 인식 시, 의도치 않은 움직임으로 인한 각 신호 광원의 오작동을 방지하기 위해, 각도 변화 인식 외에 가속도를 복합 활용하여 일반적인 움직임이 아닌, 의식적으로 빠르게 움직이는 동작을 명령으로 인식하도록 알고리즘에 필터를 적용하였다. 제스처 명령 움직임의 가속도를 1초간 총 20회(50ms)로

Table 10. The experimented motions for the initial algorithm configuration.

Function	Function operating command motion	Similar motion with the operating command motions
Left turn signal lighting	Leaning the head to the left quickly using only the neck joint	Turn the head to the left and look back
Right turn signal lighting	Leaning the head to the right quickly using only the neck joint	Turn the head to the right and look back
Brake lighting	Nodding the head to the front quickly using only the neck joint	Bending the upper body forward
Emergency flasher	Using only the neck joint to look front and tilt the head back quickly	Not looking front and slowly bending the neck rear

나누어 계산하여 가속도를 산출하고, 정수리와 후 두부의 움직임을 50ms 마다 인식할 때, 입력되기 전의 동작 가속도와 현재 입력 중인 동작의 가속도 수치를 실시간으로 대조하여 동작의 가속도 패턴을 분석하도록 하였다. 이를 통해 사용자의 고개 움직임을 각도 변화 수치와 복합 연산하여 명령 동작과 비명령 동작의 구분 정확성을 향상함으로써, 제스처 명령 인터페이스의 사용적 안정성을 확보하고자 하였다.

의복에 장치되는 LED제어시스템(이하, LWS)은 시스템이 작동되면 기본적으로 주간 시인성 강화를 위한 백색 주간등(주행등)을 상시 점등한 상태를 유지하다가, GWS로부터 좌, 우 방향 지시등 점멸 신호 혹은 정지등 점등 신호, 비상등 점멸 작동 신호가 수신될 경우, 백색 주간등 점등 사이클에 인터럽트하여 수신된 제스처 명령의 유형에 부합하는 LED 작동 신호를 아날로그 핀을 통해 좌, 우 LED로 출력하도록 소스의 기본 구조를 디자인하였다. 또한 LED의 광량은 주간에 인지 가능하면서 야간 시 타 운전자나 보행자에게 눈부심 효과를 주지 않도록 0-255의 광량 단계 중 150단계로 강도를 설정하였다.

각 제스처 명령 신호가 수신될 시 LED 제어 동작은 다음과 같다(Table 11).

첫째, 특정한 명령 신호가 없을 시에는 주간등인 백색광을 상시 점등한다(Figure 19), (Figure 20). 둘째, 좌, 우측 방향 지시 신호가 수신될 경우, 해당 방향의 황색광 방향 지시등이 10회 점멸한다(Figure 15-16), (Figure 20-21). 셋째, 정지등 신호가 수신될 경우, 적색광의 정지등이 5초간 점등한다(Figure 17), (Figure 22). 넷째, 비상등 신호가 수신될 경우, 비상등이 10회 점멸한다(Figure 18), (Figure 23). 사용자가 필요 시 상기의 동작을 재수행할 경우, 같은 동작이 같은 시간 동안 재작동되며, 각 동작은 다른 명령이 입력될 경우 인터럽트되어 가장 최근에 입력된 동작이 수행된다. 예를 들어 사용자가 좌측 방향 지시등 점멸동작을 작동하였을 때 갑작스럽게 정지해야 할 경우, 정지등 동작을 수행하면 방향 지시등 동작은 정지되고 즉시 정지등이 점등된다.

2) 웨어러블 시스템 모듈 제작

헬멧과 의복에 장치되는 각 웨어러블 모듈의 구성은 다음의 <Table 12>와 같다.

Table 11. The wave forms of the recognition zones in each gesture order motions and the related LED operation.



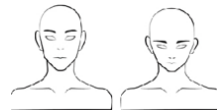



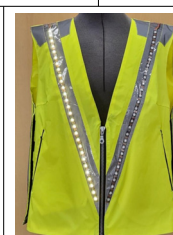
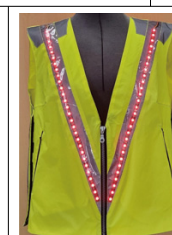
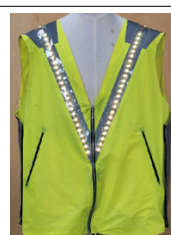
Gesture orders										
	Figure 15. Left turn order.		Figure 16. Right turn order.		Figure 17. Braking light order.		Figure 18. Emergency order.			
LED operations										
	Figure 19. Day-lighting.		Figure 20. Left turn signal.		Figure 21. Right turn signal.		Figure 22. Braking light.		Figure 23. Emergency flasher.	

Table 12. The system components in each wearable module.

Module	Control	Input	Output	Power	Platform
Gesture order interface	ESP32 Pico V3	Embedded MPU9250, external MPU9250	BLE	3.7V battery	Helmet
LED control	ESP32 Pico Kit	BLE	RGB LED	3.7V battery, 5V amplifier	Vest

헬멧에 장치되는 GWS 모듈은 2개의 하우징을 제작하여 정수리와 후두부에 분산 배치된다. 정수리와 후두부에 배치되는 모듈의 무게를 고르게 분산하고자, 후두부에 배치되는 하우징에 MPU9250을 내장한 ESP32 Pico V3 MCU와 550mAh 배터리를, 정수리의 하우징 내에 정수리의 움직임을 측정하는 외장 MPU9250 센서와 700mAh 배터리를 배치하였다. 두 군데에 분산 배치된 배터리는 병렬 연결되어 1250mAh 수준의 전류량을 정수리의 ESP32 MCU로 전송하도록 하였으며, 정수리의 외장 MPU9250은 MCU의 3.3V 전원공급 핀으로부터 전력을 공급받도록 회로를 구성하였다. 또한 각 하우징에는 USB C type 소켓이 장착된 충전 모듈을 배치하여 각각의 하우징에 내장된 배터리 충전이 가능하도록 모듈을 제작하였다(Figure 20).

베스트에 장비되는 LWS 모듈은 백색 주간등을 상시 점등하므로 GWS에 비해 대용량의 2000mAh 배터리와 LED 광량 강화를 위한 5V 승압회로, 배터리 충전 모듈을 하우징에 동시 수납하도록 GWS에 비해 가로 폭이 넓게 제작되었다. 또한 해당 모듈 좌우에 별도로 장착되는 네오픽셀 RGB LED 스트랩에 문제가 발생할 시, 손쉽게 교체할 수 있도록 분리 결합 소켓을 좌우에 배치하였다(Figure 21).

각 모듈 하우징은 회로 구성물의 부피를 기준으로 가능한 한 최소 크기로 설계하되, 충격으로부터 회로 구성물을 보호할 수 있도록 외부 골격 프레임은 3mm 두께로 설계하였다. 하우징 제작에는 산업용 FDM 방식 3D 프린터 Raise 3D Pro 3 Plus를 활용하였으며, FDM 방식의 소재 중 내구성이 가장 강한 소재 중 하나인 카본 파이버 필라멘트(Basf

Ultrafuse PAHT CF1)를 사용하였다(Figure 26).

개발된 웨어러블 모듈 및 해당 모듈이 장착된 프로토타입의 중량은 다음의 <Table 13>과 같다. 헬멧 및 베스트에 장치되는 각 디바이스의 무게는 각각 98.9g과 134.5g으로, 플랫폼의 중량에 비해서 극히 작아, 실제 사용자가 프로토타입을 신체에 착용할 경우 무게가 분산되어 착용 후 주행 활동 및 기능 사용을 위한 제스처 인터페이스 작동 동작에 무리가 없을 것으로 사료된다.

3. 프로토타입 사용성 실험

개발된 각 시스템의 작동성 파악을 위해, 각기 신장과 체격이 다른 성인남녀 5인을 대상으로 각 유형별 이륜이동수단을 탑승한 상황에서 기능 작동 실험 수행하였다. 실험 시 안전을 위해 이륜차, PM, 자전거 별로 10회 이상 탑승한 경험이 있는 인원으로 실험 대상을 한정하여 모집하였다. 프로토타입의 범용적 사용성 테스트를 위해 각 이륜이동수단별로 남녀 각 1인씩 할당하여 실험하고자 하였으나, 이륜차의 경우 모집조건을 충족하는 여성 실험자가 모집되지 못하여 남성 실험자 1인을 대상으로 한정할 수 밖에 없는 한계성이 발생하였다. 해당 실험은 인천대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 받아 수행하였다(IRB acceptance No.7007971-202108-007A).

주행 실험은 실험 인원의 안전을 위해 코스 주변에 에어매트 가이드라인을 설치한 십자형 코스에서 주간에 수행되었다(Figure 27). 각 실험자는 제스처 인터페이스의 조작 방법에 관한 자세한 설명을 들은

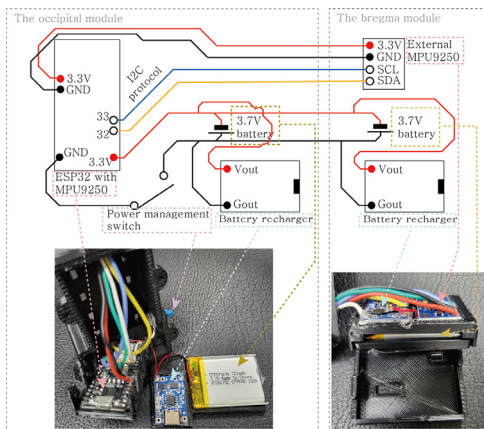


Figure 24. The device placement in the GWS modules.

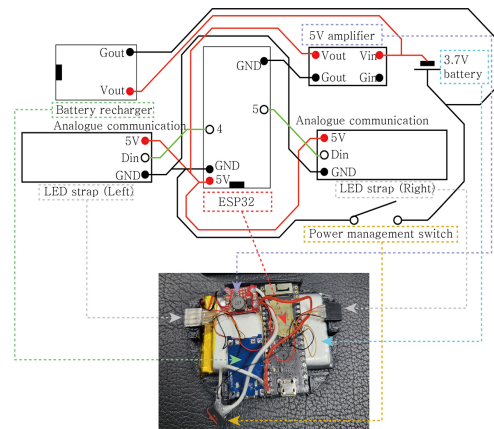


Figure 25. The device placement in the LWS module.



Figure 26. The developed prototype.

Table 13. The weight information of the prototype.

Location	Platform weight		Module weight	Total weight	
Helmet	1,216.5g		98.9g	1,315.4g	
Vest	Female	420.1g	134.5g	Female	554.6g
	Male	544.7g		Male	679.2g

후, 담당한 이륜이동수단을 주행하면서 설정된 실험 메뉴에 따라 프로토타입의 방향 지시등, 정지등, 비상등 기능을 사용하는 실험을 기능별로 각 3회 반복 수행하였다(Table 14), (Figure 27-39).














주행 실험 결과, 1회차 실험에서 자전거 탑승자 2인과 PM 탑승자 1인이 알고리즘에 설정된 임계 범위를 초과하여 고개를 움직여 우측 방향 지시등 및 정지등 작동에 실패하였으나, 2회차부터는 모든 기능 사용에 성공하였다. 그 외의 2인의 실험자들은 1회차부터 3회차까지 실패 없이 모든 기능 사용에 성공하였다(Table 15).

이를 통해 사용자가 사전에 2회 이상의 기능 사

용 연습을 수행한다면 오류 없이 프로토타입의 기능 조작이 가능할 것으로 판단된다. 상기의 3회의 실패 사례를 제외하면, 각 이동수단의 크기, 형태, 탑승 자세의 차이 및 각 실험 인원의 성별, 체격 차이가 있음에도 불구하고 해당 프로토타입은 전반적으로 정확히 사용자의 동작 명령 신호를 인식하여 사용자의 의도에 따른 기능 제동이 가능하며, 각 이륜이동수단 간의 미세한 탑승 자세 및 구동 방식의 차이에도 불구하고 범용적인 사용성이 있음을 확인할 수 있었다.

실험 종료 후 각 실험자와 구체적인 프로토타입의 착용성 및 사용성 평가를 위한 인터뷰를 수

Table 14. The testing course and the capture images of the riding experiment.

Testing course	Motorcycle	Personal mobility	Bicycle
 <p>Figure 27. Driving course. Course size: 20m x 20m</p>	 <p>Figure 28. Left turn signal.</p>	 <p>Figure 29. Left turn signal.</p>	 <p>Figure 30. Left turn signal.</p>
	 <p>Figure 31. Right turn signal.</p>	 <p>Figure 32. Right turn signal.</p>	 <p>Figure 33. Right turn signal.</p>
	 <p>Figure 34. Braking light.</p>	 <p>Figure 35. Braking light.</p>	 <p>Figure 36. Braking light.</p>
	 <p>Figure 37. Emergency flasher.</p>	 <p>Figure 38. Emergency flasher.</p>	 <p>Figure 39. Emergency flasher.</p>

행하였으며, 결과를 종합하면 다음과 같다.

첫째, 장비가 부착된 헬멧 착용 시 착용성에 관해서, 각 실험자는 헬멧 자체가 얼굴에 꼭 맞게 조이는 구조임에 따라 무게가 머리 전체로 분산되어 장비의 무게를 크게 느끼지 못하였으며 무게 균형 또한 문제가 없었던 것으로 긍정 평가하였다.

둘째, 베스트의 착용성과 활동성에 관한 질문에서, 각 실험자는 베스트가 루즈핏임에 따라 착용하기가 쉬웠으며, 옆구리 부분의 벨크로 여밈 구조를 통해 몸에 맞도록 조일 수 있어 등에 LWS 컨트롤 모듈이 장치되어어도 신체 활동 및 이동수단 탑승 후 주행 활동 시 이물감 및 불편함이 없

었으며, 등 상단 중심으로부터 어깨를 지나 가슴 중심부로 이어지는 LED 광원의 장치 또한 플렉서블 LED 스트랩을 사용함에 따라 팔 움직임 및 동체 움직임에 불편함이 없었던 것으로 긍정 평가하였다.

셋째, 제스처 명령 인터페이스의 직관성에 관한 질문에서, 실험자들은 명령 동작이 직관적이어서 각 동작과 연결되는 기능을 이해하기 쉬웠으며, 명령 동작 직후 바로 LED가 동작함에 따라, 명령 동작의 범위 파악이 용이했던 것으로 긍정 평가하였다.

넷째, 실제 주행 시 제스처 명령 인터페이스 사

Table 15. The results of the operability experiment.

Motorcycle testing (male only)						
Function	First	Second	Third	First	Second	Third
Left turn signal	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Right turn signal	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Brake lighting	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Emergency flasher	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Personal mobility(PM) testing (left: female, right: male)						
Function	First	Second	Third	First	Second	Third
Left turn signal	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Right turn signal	Failed	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Brake lighting	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Emergency flasher	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Bicycle testing (left: female, right: male)						
Function	First	Second	Third	First	Second	Third
Left turn signal	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Right turn signal	Failed	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded
Brake lighting	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Failed	Succeeded	Succeeded
Emergency flasher	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded	Succeeded

용의 용이성에 관한 질문에서, 실험자들은 전반적으로 사용에 큰 어려움이 없는 것으로 긍정 평가하였다. 그러나 PM 실험자 2인의 경우, 다른 동작들에 비해 비상등 점멸 명령인 고개를 빠르게 뒤로 젖히는 동작이 어렵지는 않으나 시속 20km 이상의 고속 주행 시 PM을 제어하면서 수행하기에는 불편할 수 있겠다는 의견을 제시하였다. 이는 PM의 경우 안장에 앉지 않고 서서 탑승하는 형태임에 따라, 자세가 고정되지 않음에 따른 불편함으로 해석된다. 따라서 이는 향후 개선이 필요한 사항으로 나타났다.

상기와 같이, 일부 향후 개선이 필요한 사항을 제외하고 본 연구의 이륜이동수단 사용자를 위한 직관적인 동작 명령 인터페이스 및 안전 보조를 위한 복합적인 시인성 강화 광원 제어 기능 구현 목표는 전반적으로 성취된 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 이륜이동수단 사용자의 안전 보조를 위해 제스처 명령 인터페이스를 도입한 주행 방향 및 상황 표시 기능을 제공하는 웨어러블 시스템 프로토타입을 개발하였다. 개발 종료 이후, 실제 PM과 자전거, 이륜차에 사용자가 탑승하여 기능을 사용하는 주행 실험을 수행하여 목표한 기능성이 제공됨을 확인하였다.

본 연구의 R&D에서는 의복과 헬멧에 각기 따로 배치되는 시스템 구성요소가 하나의 통합된 기능성을 제공하도록 하기 위한 패션 디자인과 엔지니어링 기술 응용 측면의 융합적 연구가 수행되었다. 첫째, 의복 플랫폼을 개발함에 있어, 이륜이동수단 운행에 불편함이 없는 형태와 구조, 의복만으로 기본적인 시인성이 확보될 색상과 소재 적용, 의복이 세탁 가능하도록 함과 동시에 디바이스의 유지 보수의 용이성을 위한 손쉬운 모듈의 탈부착

방법 등 복합적인 디자인 측면의 연구를 수행하였다. 둘째, 이륜이동수단을 조종하면서 사용자의 시각과 의식을 점유하지 않으면서 직관적으로 사용 가능한 제스처 명령 인터페이스 및 의복과 헬멧으로 이원화된 웨어러블 모듈 간의 실시간 무선 신호 송수신 구조, LED 광원 제어를 위한 전자, 소프트웨어 측면의 연구를 수행하였다.

본 연구의 프로토타입에 적용된 시인성 강화를 위한 주행 방향 및 상황 표시등 기능을 제공하는 웨어러블 시스템은 향후 다양한 사용 대상을 위한 안전 보조 시스템 개발에 응용이 가능한 확장성이 기대된다. 예를 들어, 이륜이동수단 이용자뿐만 아니라 야간에 가로등이 적은 공원이나 보행자 도로에서 조깅 등의 운동을 즐기는 사람들을 위한 안전 운동복 개발, 혹은 스템의 제스처 명령 인터페이스를 고개 움직임이 아닌 팔의 움직임에 반응하도록 가공할 경우, 야간 도로 보수공사 등, 주야간을 가리지 않는 SOC 유지 보수 작업에 투입되는 작업자들의 안전 장구 개발에 관한 스마트 의복 혹은 디바이스 관련 후속 연구에 응용 가능할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 프로토타입의 의복 플랫폼 디자인 평가에 참여한 설문 응답자의 대부분이 20-30대의 젊은 층으로 구성된 점, 상대적으로 타 이륜이동수단에 비해 이륜차 사용 경험자의 비율이 적었던 점이 디자인 측면 연구의 한계점으로 작용하였다. 또한, 프로토타입 사용성 검증을 위한 주행 실험 시 실험 참여자의 안전을 위해 연구자가 소속된 대학에 조성된 주행 코스에서 저속으로 이동수단을 주행하며 주행 방향 및 상황 표시 기능을 실험하였음에 따라, 실제 타 차량이 존재하는 도로 환경에서 고속으로 이동수단을 조작하며 사용성을 테스트하지 못한 점이 사용성 검증 측면에서 연구의 한계성으로 작용하였다.

그러나, 현재 이륜이동수단의 유형이 다양화되었고, 모바일 공유 서비스가 일반화되어 사용인구

가 증가하고 있음과 동시에 사용 연령대도 다양화되고 있는 점, 이륜이동수단 관련 사고 빈도 또한 증가하고 있는 점 등을 다각적으로 고려하면, 이륜이동수단 사용자의 안전 보조를 위한 스마트 의류 혹은 착용 가능한 안전 보조 시스템 개발 연구는 시기적으로 니즈가 있는 것으로 사료된다.

본 연구의 안전 보조를 위한 의복-헬멧의 연계 시스템은 전자 디바이스의 장착이 요구됨에 따라, 상용화를 위해서는 일반적인 이륜차 운전자용 안전 베스트에 비해 제작 비용이 높은 것이 사실이다. 그러나 해당 프로토타입의 기능은 이륜이동수단 운전자와 함께 도로를 운행하는 타 차량 운전자들 및 보도를 통행하는 보행자들의 주의를 시각적으로 환기하여 사고의 위험성을 줄임으로써 교통 및 공공안전 측면에서 사회적 기여가 가능할 것으로 기대된다.

마지막으로 본 연구의 R&D 과정 및 결과물은 IT 기술을 중심으로 한 융합 산업 경향에 따라 패션 분야가 상대적으로 접근이 용이한 기술 적용을 위한 아이디어 발상 및 프로토타입 개발 사례를 제시함으로써, 스마트 패션 제품, 웨어러블 기술 관련 유사 연구에 기초 자료로서 그 활용성이 기대되는 바이다.

References

- Ahn, S. W. (2016). Design and implementation of smart LED bicycle helmet using Arduino. *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 20(6), 1148-1153. doi:10.6109/jkiice.2016.20.6.1148
- Carton, A. (2012, September). Design of a context aware signal glove for bicycle and motorcycle riders. *Proceeding of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, Pittsburgh*, 635-636. doi:10.1145/2370216.2370341
- Choi, Y., Lee, D. H., & Lee, J. I. (2021). Patterns and clinical outcomes of injuries related to two-wheeled vehicles(bicycle and motorcycle) in the geriatric population: A nationwide analysis in South Korea(2016-2018). *BMC Geriatrics*, 21(-), 603. doi:10.1186/s12877-021-02505-2.

- Chun, J., & Lee, M. (2016). Developing a SEIL(Smart Enjoy Interact Light) bag utilizing LED display. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 28(2), 233-253. doi:10.1108/IJCST-02-2015-0026
- Dierk, C., Carter, S. A., Chiu, P., Dunnigan, T., & Kimber, D. (2019, June). Use your head! Exploring interaction modalities for hat technologies. *Proceeding of the 2019 on Designing Interactive Systems Conference, San Diego*, 1033-1045.
- Kang, H.-R. (2016). A convergent study on the design and technology for the production of turn signals for personal mobility devices using gyroscope sensors. *Journal of Digital Convergence*, 14(3), 373-379. doi:10.14400/JDC.2016.14.3.373
- Kim, T. Y., & Park, B. H. (2017). Analysis on the accident severity of bicycle and motorcycle by accident party. *Journal of the Institute of Construction Technology*, 36(2), 13-18.
- KISO planning team. (2019). 'Shared Electric Kickboard' domestic trends and expected effects. *KISO Journal*, 36(-), 31-36.
- Ko, S. Y. (2017). A study on the change of movement environment according to increase of personal mobility. *Design Research*, 2(3), 9-17.
- Korean National Police Agency. (n.d.a). 경찰접수 교통사고 현황 2019 [Traffic accidents statistics 2019]. *Korean National Police Agency*. Retrieved June 17, 2023, from https://www.police.go.kr/www/open/public/public2019_0401.jsp
- Korean National Police Agency (n.d.b). 경찰접수 교통사고 현황 2020 [Traffic accidents statistics 2020]. *Korean National Police Agency*. Retrieved June 17, 2023, from https://www.police.go.kr/www/open/public/public2020_0401.jsp
- Korean National Police Agency (n.d.c). 경찰접수 교통사고 현황 2022 [Traffic accidents statistics 2021]. *Korean National Police Agency*. Retrieved June 17, 2023, from https://www.police.go.kr/www/open/public/public2021_0401.jsp
- Korean Statistics Information Service. (2023a, July 6). 사고유형별 가해자 차종별 교통사고 [Perpetrator by accident type traffic accidents by vehicle type]. *KOSIS*. Retrieved June 17, 2023, from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=132&tblId=DT_V_MOTA_031&conn_path=I2
- Korean Statistics Information Service. (2023b, July 6). 도로형태별 시간대별 교통사고 [Traffic accidents by road type and time of day]. *KOSIS*. Retrieved June 17, 2023, from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=132&tblId=DT_V_MOTA_015&conn_path=I2
- Ledesma, R. D., Padilla, J. L., Tosi, J. D., Sanchez, N., & Castro, C. (2023). Motorcycle rider error and engagement in distracting activities: a study using the attention-related driving errors scale (ARDES-M). *Accident Analysis & Prevention*, 187(-), 107069. doi:10.1016/j.aap.2023.107069
- Lee, H., & Lee, J. (2011). A study on development of wearable technology based biker suits part.1. *Journal of the Korean Society of Costume*, 61(8), 63-78.
- Lee, J. H., & Kim, J. T. (2021, April). Preliminary study on safety enhancement for auto-bicycle delivery based on accident statistics analysis and field survey. *Proceeding of 2021 Spring Conference of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Seoul*, 209-213.
- Lee, J. J., & Kim, Y. H. (2010). *Ubiquitous fashionable computer design using modular system*. Seoul: UIT design education development center, Kookmin university.
- Park, S.-E., & Kim, Y.-H. (2020). A study on the development of smart athleisure fashion design for night riding. *Journal of the Korea Convergence Society*, 11(8), 115-122. doi:10.15207/JKCS.2020.11.8.115
- Tsai, P.-S., Hu, N.-T., Wu, T.-F., Chen, J.-Y., & Chao, T.-H. (2021). Multifunctional bicycle helmet using internet of things technology. *Sensors and Materials*, 33(5), 1589-1602.

Development of a Wearable System for Two-wheeled Vehicle Users

- Focusing on the Gesture Command Interface and Driving Direction-situation Indicating Function -

Hyunseung Lee⁺

Dept. of Fashion Industry, Incheon National University⁺

Abstract

Recently, two-wheeled vehicles(TWVs) have diversified into categories such as bicycles, motorcycles, and personal mobility devices, and the user population is also on the rise. Due to their high mobility and projection areas that closely resemble those of an adult human body, TWVs can be difficult for other vehicles and pedestrians to detect, especially when approaching at high speeds and without maintaining a sufficient distance. Consequently, high visibility is crucial for ensuring the safety of both TWV users and others. However, due to structural constraints, small TWVs often cannot be equipped with adequate lighting devices. To address this issue, this study developed a wearable system designed to enhance visibility for users of various types of TWVs, and we also verified its usability. The study proceeds as follows: First, a garment that can be comfortably worn over existing clothing was developed. This garment incorporates colors and fabrics designed to enhance visibility, as well as a modular mounting structure for easy attachment and detachment of digital components. Second, this study employed LED lighting, acceleration-gyro sensing, and wireless communication technologies to create an intuitive gesture recognition interface. This interface allows users to control turn signals, brake lights, and emergency flashers through minimal head movements. Third, we conducted usability tests involving five adults for each type of two-wheeled vehicle. Despite variations in height and body type among the testers, we confirmed the stable operation of the integrated system, linking the gesture interface with LED control functionality. This study hopes to contribute to societal safety by enhancing the visibility of TWV users, thereby alerting nearby drivers and pedestrians and potentially preventing traffic accidents.

Key words : motion recognition, gesture interface, wearable technology, safety system

