



자전거 및 PMV(Personal Mobility Vehicle) 사용자의 주행 특성 및 헬멧 착용 실태 조사

김인화¹⁾ · 최경미[†] · 전정일²⁾

¹⁾수원대학교 패션디자인과

²⁾동서울대학교 패션디자인과

A Survey on Riding Characteristics and Helmet Wearing Conditions of Bicycle and PMV(Personal Mobility Vehicle) Riders

In Hwa Kim¹⁾, Kueng Mi Choi^{2)†}, and Jung Il Jun²⁾

¹⁾Dept. of Fashion Design, The University of Suwon; Hwaseong, Korea

²⁾Dept. of Fashion Design, Dong Seoul University; Seongnam, Korea

Abstract : The purpose of this study is to investigate the differences in riding characteristics and helmet wearing conditions between bicycle and PMV riders so that the basis data necessary for the development of suitable helmets for each group is provided. For this purpose, riding characteristics and helmet wearing conditions of bicycle and PMV users were investigated using online survey method and then the survey results were interpreted by in-depth interview conducted for bicycle and PMV users. The online survey results showed that the PMV group showed shorter driving distance and more driving frequency than bicycle group. This short driving distance was due to the limitation of battery capacity of PMVs. Helmet wearing rate was significantly lower in PMV group than in bicycle group, which was associated with relatively low chances to drive long distance on the motorway. In the PMV group, the 'urban helmets' were mainly used, in which the appearance of helmet was prioritized, but in the bicycle group, the 'road cycle helmets' were mainly used, in which the light weight or ventilation were prioritized. Urban helmets caused stronger pain and more fitting problems than road cycle helmets because the head shapes of Koreans were not properly applied to the helmet design. Since the fitting problem and pain intensity were the important causes that making PMV users not wear the helmets, it is necessary to develop the urban helmets reflecting the head shapes of Koreans in order to increase the helmet wearing rate of the PMV users.

Key words : personal mobility vehicle (개인용 전동 이동장치), bicycle (자전거), helmet (헬멧), riding characteristics (주행 특성), head shape (머리 형태)

1. 서 론

‘개인용 전동 이동장치’는 전기를 주/보조 동력원으로 하여 근거리를 이동하는 개인용 저속 이동수단으로(Hwang, 2012) 1990년대 후반에 처음 등장하였다(Ulrich, 2005). ‘개인용 전동 이동장치’를 표현하는 용어로 미국 특허에서는 ‘Personal Mobility Vehicle(PMV)’이 주로 사용되고 있으며(Chen et al., 2014; Kruse, 2009; McConnell et al., 2001), 한국과 일본 연

구자들 중 일부도 같은 용어를 사용하고 있다(Fujikawa & Nakajima, 2012; Kim, 2016; Nakagawa, 2014; Park et al., 2016). 한국 시장이나 언론, 연구에서 가장 일반적으로 사용되는 용어는 PMV에서 ‘Vehicle’을 삭제한 ‘Personal Mobility (PM)’인데(Kim, 2014; Kim & Hwang, 2015; Lee, 2016; Park, 2017), 이동성을 의미하는 ‘Mobility’만으로는 ‘이동장치’라는 의미가 명확하게 드러나지 않으므로 본 연구에서는 ‘Personal Mobility Vehicle(PMV)’을 개인용 전기 이동장치를 지칭하는 용어로 사용하였다. 같은 의미로 사용되는 다른 용어로는 ‘Personal Mobility Device(Litman & Blair, 2006)’, ‘Personal Electric Vehicle(Nobels et al., 2004)’ 등이 있다.

PMV는 탑승자세에 따라 완전히 앉을 수 있는 넓은 바닥의 의자가 부착된 ‘mobility scooter’, 자전거와 탑승자세가 유사하며 같은 안장을 사용하는 ‘sit-on cycle’, 선 자세로 탑승하는 ‘stand-on scooter’의 3가지 유형으로 분류할 수 있는데(Ulrich,

†Corresponding author; Kueng Mi Choi

Tel. +82-31-607-3100, Fax. +82-31-607-3007

E-mail: orogi@du.ac.kr

© 2018 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2005), 이 중 mobility scooter가 가장 편안한 탑승자세를 가져 보행기능에 문제가 발생한 장애인이나 노약자의 이동수단으로 사용되고 있으며, 출퇴근이나 동호회 활동의 목적으로 사용되는 것은 sit-on cycle과 stand-on scooter의 두 종류이다. Sit-on cycle은 구동방식에 따라 탑승자의 페달링(pedaling)을 모터의 힘으로 보조하는 ‘Pedal Assist System(PAS)’ 방식과 모터 사이클과 같이 핸들에 가속레버가 부착된 ‘Throttle’ 방식으로 구분되는데, 2018년 시행예정인 ‘자전거 이용 활성화에 관한 법률’에서는 PAS 방식만을 자전거로 인정하며(Ministry of the Interior and Safety, 2017) ‘Throttle’ 방식은 자전거가 아닌 원동기로 분류되어 자전거도로 진입이 금지된다. 레저용으로 가장 많이 사용되며 가장 다양한 형태를 가진 유형은 stand-on scooter로, 국가기술표준원의 ‘자율안전확인기준: 전동기능이 있는 보드류(안)’에서는 전동외륜보드, 전동이륜평행차, 전동이륜보드, 전동킥보드, 전동스케이트보드, 기타전동보드류의 6가지 세부 유형으로 이를 분류하였다(Korean Agency for Technology and Standards, 2016).

PMV의 사용이 증가함에 따라 사고율이 같이 증가하고 있는데, 보고된 PMV 관련 교통사고 발생건수는 Lee et al.(2017)의 연구에서 2012년에 29건, 2016년에 137건으로 5년 사이 약 4.7배가 증가한 것으로 나타났으며 Myeong et al.(2016)의 연구에서는 2011년에 30건, 2015년에 89건으로 5년 사이 약 3배가 증가한 것으로 나타났다. PMV 사고에서 부상 발생빈도가 가장 높은 인체 부위는 발과 다리이지만(Lee et al., 2017), 생명에 지장을 줄 정도의 심각한 부상을 유발하는 부위는 머리로, 세그웨이(segway) 탑승 사고로 인한 응급환자 41명을 조사한 Boniface et al.(2011)의 연구에 따르면 응급환자 중 17.1%만이 사고 시 헬멧을 착용하고 있었으며, 24.4%는 사고로 인해 입원이 필요하였고, 입원 환자의 40%는 머리부상으로 인해 중환자실에 입실을 한 것으로 나타났다. 따라서 PMV 사고에서 생명에 지장을 줄 정도의 심각한 부상을 방지하려면 헬멧을 착용하는 것이 필수라고 할 수 있는데, 현재 PMV 사용자들은 PMV 탑승을 목적으로 개발된 헬멧을 착용하고 있는 것이 아니라 자전거 탑승을 목적으로 개발된 헬멧을 자전거 이용자와 공유하여 사용하고 있다. 그러나 자전거와 PMV 집단은 주행 특성과 사고 위험도가 서로 다르므로 두 집단 사이의 차이에 대한 조사를 거쳐 각자의 특성에 맞게 특화된 헬멧을 개발할 필요가 있다.

본 연구는 2017년 현재 자전거와 PMV 집단의 주행 특성과 헬멧 착용 실태의 차이를 밝히기 위한 조사 연구로 향후 자전거와 PMV 두 집단에 각기 특화된 헬멧을 개발할 때 필요한 기초 자료를 제공하기 위한 목적으로 진행되었다. 이를 위해 자전거 동호인과 PMV 동호인을 대상으로 설문조사를 실시하여 주행 특성과 헬멧 착용 실태에 대한 정량적 자료를 마련하였으며 포커스 그룹 인터뷰(Focus Group Interview) 진행하여 설문조사 결과에 대한 정성적 분석을 실시하였다.

2. 연구 방법

2.1. 설문조사

2017년 1월 1일부터 1월 31일까지 1달간 온라인 설문을 통해 자전거 동호인 102명, PMV 동호인 54명을 대상으로 주행 특성 및 헬멧 착용 실태를 조사하였다. 설문에는 인구통계학적 항목으로 ‘성별’과 ‘나이’의 2개 항목, 주행특성 항목으로 ‘탑승경력’, ‘주당 주행일’, ‘주당 주행거리’, ‘평균 주행속도’, ‘가장 많이 이용하는 이동수단 유형’, ‘가장 많이 이용하는 도로 유형’의 6개 항목, 헬멧 착용 실태 항목으로 ‘헬멧 착용률’, ‘가장 많이 이용하는 헬멧 유형’, ‘헬멧 미착용 원인’, ‘헬멧 맞음새’, ‘헬멧 통증 발생 부위 및 강도’, ‘부위별 부상 경험률’, ‘헬멧 착용 중 부상 정도’의 7개 항목이 포함되었다.

헬멧의 맞음새는 ‘1_매우 안 맞다 → 2_안 맞다 → 3_보통이다 → 4_잘 맞다 → 5_매우 잘 맞다’의 5점 리커트척도를 사용하였으며, 헬멧의 통증 강도는 ‘1_전혀 아프지 않다’ → 2_아프지 않다 → 3_보통이다 → 4_아프다 → 5_매우 아프다’의 5점 리커트척도를 사용하여 측정하였다.

자전거와 PMV 집단 사이의 통계적 유의차는 ‘헬멧 착용률’, ‘헬멧 맞음새’, ‘헬멧 통증 강도’의 3개 항목에서 t 검정을 통해 검증하였다. 사용된 통계 프로그램은 SPSS 16.0이다.

2.2. 포커스 그룹 인터뷰(Focus Group Interview)

온라인 설문조사의 결과를 정리한 후 이에 대한 의견을 수렴하기 위한 포커스 그룹 인터뷰를 자전거 동호인 3명, PMV 동호인 3명을 대상으로 진행하였다. 인터뷰는 연구자가 설문조사 결과를 항목별로 동호인들에게 발표한 후 이 결과에 대한 의견을 자유롭게 토론하는 방식으로 진행하였다.

3. 결과 및 논의

3.1. 설문 응답 결과

3.1.1. 응답자의 성별, 나이, 탑승경력

응답자의 나이는 자전거 집단이 평균 32.5세, PMV 집단이 평균 31.4세로 두 집단이 유사하였으며 성별은 자전거와 PMV 집단 모두 대부분 남성이었다. 동호회 활동경력력은 자전거 집단이 PMV 집단에 비해 월등히 더 길었다. Table 1에는 응답자의 나이, 성별, 탑승경력을 제시하였다.

3.1.2. 주행 특성

(1) 주당 주행일 및 주행거리

주당 주행일은 자전거 집단이 평균 3.3일, PMV 집단이 평균 3.9일로 PMV 집단이 약 0.6일 더 길었으며 PMV 이용자의 13.2%는 매일 PMV를 사용하는 것으로 나타났다. 주당 주행거리는 PMV 집단이 자전거 집단의 절반 수준이었으며, PMV 집단의 50% 이상은 주당 50km 미만의 단거리만 주행하

Table 1. Age, sex and riding club experiences of the respondents

	Age (mean, year)	Sex (%)		Riding experiences (%)				
		Male	Female	Under 1 year	1~4 years	5~9 years	10~14 years	15 years or over
Bicycle	32.5	97.1	2.9	11.9	59.4	18.8	6.9	3
PMV	31.4	96.3	3.7	76.4	21.8	1.8	0	0

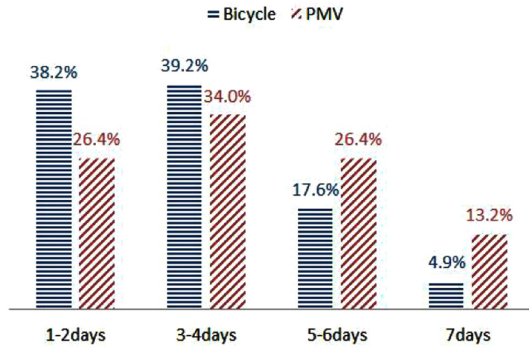


Fig. 1. Weekly riding days.

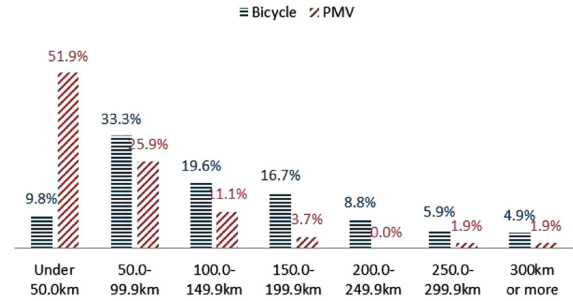


Fig. 2. Weekly riding distance.

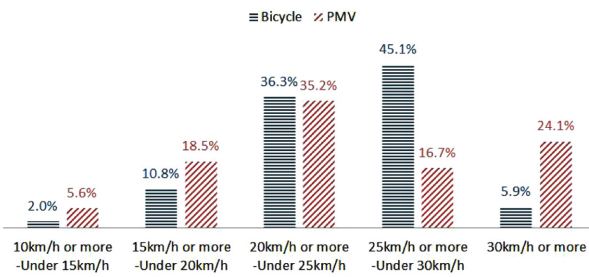


Fig. 3. Average riding speed.

였다. Fig. 1에는 응답자들의 주당 주행일을 제시하였으며 Fig. 2에는 주당 주행거리를 제시하였다.

(2) 평균 주행속도

자전거의 평균 주행속도에서는 속도가 올라갈수록 응답자 수가 증가하여 25km/h 이상~30km/h 미만 구간에서 45.1%로 가장 높은 응답률을 보이다가 가장 빠른 30km/h 이상 구간에서의 5.9%의 응답률로 응답자 수가 급격히 감소하였다. 반면

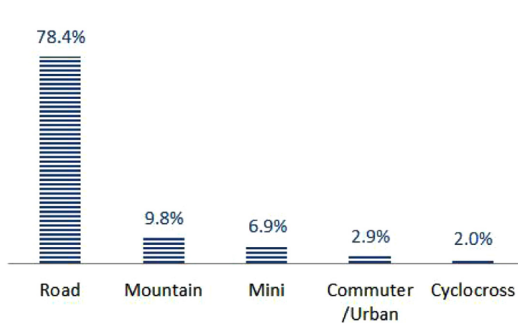


Fig. 4. Most common types of bicycle.

PMV에서는 30km/h 이상 구간에서도 24.1%의 응답률로 응답자 수가 유지되었다. Fig. 3에는 응답자들의 평균 주행속도를 제시하였다.

(3) 가장 많이 이용하는 이동수단 유형 및 도로 유형

자전거 집단에서 가장 많이 이용하는 이동수단 유형은 로드 사이클(road cycle)이었으며 다음으로 산악용자전거(MTB), 16~20인치 크기의 바퀴를 사용하는 소형 자전거의 순이었다. PMV 집단에서 가장 많이 사용하는 이동수단 유형은 국내에서 전동킥보드라고 불리는 electric kick scooter였으며 다음으로 전동휠보드에 속하는 electric unicycle의 순이었다. Fig. 4와 Fig. 5에는 가장 많이 이용하는 자전거 유형과 PMV 유형을 제시하였다.

자전거 이용자들이 가장 많이 이용하는 도로 유형은 강변에 설치된 자전거도로였으며 두 번째로 많이 이용하는 도로 유형은 자동차와 같이 주행해야 하는 2차선 이상의 공도(public road)였다. PMV 이용자들이 가장 많이 이용하는 도로 유형은 자전거와 마찬가지로 강변에 설치된 자전거도로였으나 응답률은 31.5%

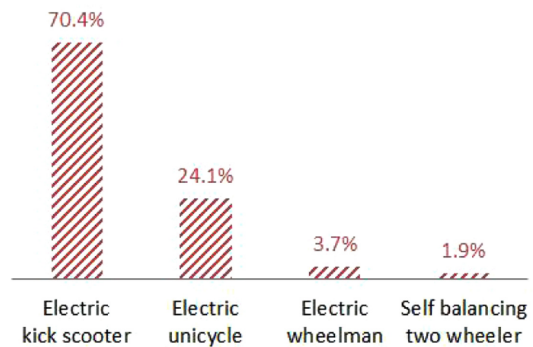


Fig. 5. Most common types of PMV.

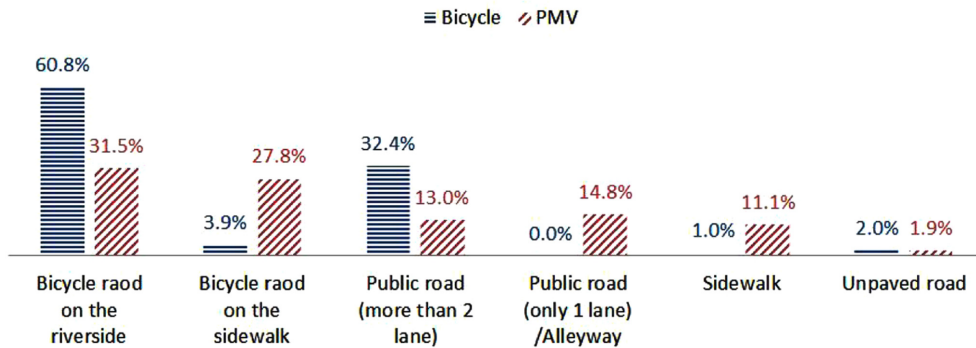


Fig. 6. Most common types of road used by bicycle and PMV riders.

Table 2. *t*-test result for helmet wearing rate

Vehicle type	Helmet wearing rate (%)		<i>t</i>
	Mean±SD	Mean difference	
Bicycle	92.9±20.8	29.9	4.893***
PMV	63.0±42.4		

*** $p \leq .001$

로 자전거 집단의 절반 수준이었다. PMV 이용자들 중에는 PMV 주행이 금지된 인도를 가장 많이 이용하는 응답도 11.1%에 달해 자전거 이용자들에 비해 월등히 높았다. Fig. 6에는 응답자들이 가장 많이 사용하는 도로 유형을 제시하였다.

3.1.3. 헬멧 착용실태

(1) 헬멧 착용률

헬멧 착용률은 자전거 집단에서 평균 92.9%, PMV 집단에서 평균 63.0%로 *t* 검정 결과 자전거 집단의 헬멧 착용률이 PMV 집단에 비해 유의하게 더 높았다. 언제나 헬멧을 착용한다는 응답은 자전거 집단에서 80.4%, PMV 집단에서 40.7%로 자전거 집단이 약 2배 더 높았다. Table 2에는 헬멧 착용률의 *t* 검정 결과를 제시하였다.

(2) 가장 많이 사용하는 헬멧 유형

자전거 집단에서 가장 많이 사용중인 헬멧 유형은 통기구의 수가 가장 많고 무게가 가벼운 로드사이클용 헬멧(road cycle

helmet)으로 자전거 응답자의 95.1%를 차지하였으며 다른 유형의 헬멧은 거의 이용하지 않고 있었다. PMV 집단에서 가장 많이 사용중인 헬멧은 어반 헬멧(urban helmet)으로 응답자의 51.9%를 차지했는데, 이 헬멧은 로드사이클 헬멧과 피복면적은 유사하나 통기구의 수가 더 적고 무게가 더 무거운 특성을 가진다. Fig. 7에는 응답자들이 가장 많이 착용중인 헬멧 유형을 제시하였다.

(3) 헬멧 미착용 원인

자전거 이용자와 PMV 이용자 모두에게서 헬멧을 착용하지 않게 만드는 원인으로 가장 높은 응답률을 보인 항목은 ‘헤어스타일이 망가진다’였다. ‘턱끈이 불편하다’는 응답은 자전거 집단에서 두 번째, PMV 집단에서 4번째로 높은 응답을 보였다. ‘머리에 압박이나 통증이 있다’와 ‘적당한 사이즈가 부족하다’ 항목에서는 자전거보다 PMV 이용자의 응답률이 약 두 배로, 헬멧의 맞음새로 인한 문제가 PMV 사용자에게서 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 8에는 응답자들의 헬멧 미착용 원인을 제시하였다.

(4) 헬멧의 맞음새, 통증발생부위 및 통증발생강도

헬멧의 맞음새를 5점 척도로 평가하였을 때 자전거 이용자들의 평균 점수는 3.71점으로 ‘4. 잘 맞다’에 가까웠으며 PMV 이용자들의 평균 점수는 3.30점으로 ‘3. 보통이다’에 가까웠다. 두 집단의 평균차는 0.31점이었으며 *t* 검정 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 헬멧의 통증유발강도를 5점 척도로 평가

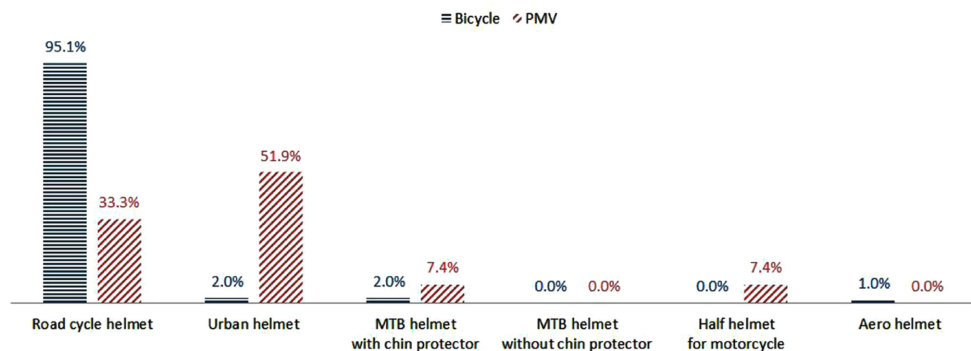


Fig. 7. Most used helmet types by bicycle and PMV riders.

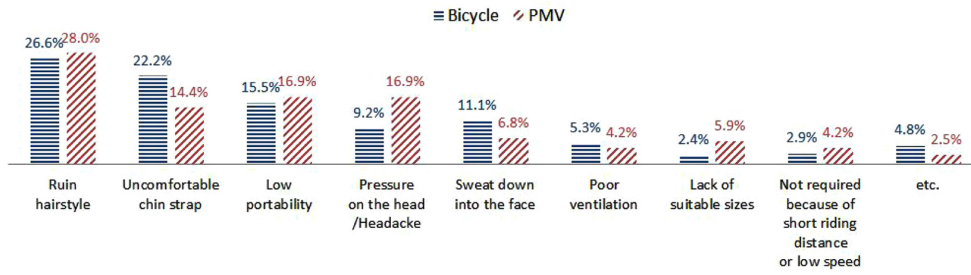


Fig. 8. Causes for not wearing helmet.

Table 3. *t*-test result for fitness and pain intensity of currently wearing helmets comparing vehicle types

	Helmet types	Vehicle types	Mean±SD	Mean difference	<i>t</i>
Fitness	All helmet types	Bicycle	3.71±0.92	0.31	2.513*
		PMV	3.30±1.06		
	Road cycle helmet only	Bicycle	3.69±0.92	0.19	0.818
		PMV	3.50±0.86		
Pain intensity	All helmet types	Bicycle	1.88±0.98	-0.62	-3.090**
		PMV	2.50±1.28		
	Road cycle helmet only	Bicycle	1.90±0.98	-0.32	-1.251
		PMV	2.22±1.16		

* $p \leq .05$ ** $p \leq .01$

하였을 때 자전거 이용자들의 평균 점수는 1.88점으로 ‘2. 아프지 않다’에 가까웠으며 PMV 이용자들의 평균 점수는 2.50점으로 ‘2. 아프지 않다’와 ‘3. 보통이다’의 중간에 위치하였다. 두 집단의 평균차는 0.62점이었으며 *t* 검정 결과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 따라서 PMV 이용자들이 자전거 이용자에 비해 헬멧이 머리에 더 잘 맞지 않으며 통증을 강하게 느끼고 있다고 할 수 있다. 헬멧의 유형을 통제했을 때의 자전거와 PMV 집단 사이의 유의차를 확인하기 위해 로드사이클 헬멧 한 종류에 대해서만 *t* 검정을 실시하였는데, 이때에는 헬멧의 맞음새와 통증유발강도 모두 집단 사이에 통계적인 유의차를 보이지 않았다. 다른 유형의 헬멧들은 자전거 집단에서의 피험자 수가 부족하여 *t* 검정을 실시하지 못하였다. Table 3에는 현재 착용중인 헬멧의 맞음새와 통증강도를 자전거와 PMV 집단 사이에 비교한 *t* 검정 결과를 제시하였다.

헬멧 유형에 따른 착용감과 통증유발강도의 차이를 검증하기 위해 자전거와 PMV 집단을 구분하지 않은 전 응답자를 대상으로 로드사이클 헬멧과 어반 헬멧의 착용감과 통증유발강도를

t 검정으로 검증하였는데, 그 결과 착용감과 통증유발강도 모두 두 헬멧 유형 사이에 통계적인 유의차가 나타나 로드사이클 헬멧이 더 우수한 착용감을 보이며 통증은 더 적은 것이 입증되었다. Table 4에는 현재 착용중인 헬멧의 착용감과 통증유발강도를 헬멧 유형에 따라 비교한 *t* 검정 결과를 제시하였다.

헬멧으로 인한 통증유발부위에 대한 응답으로는 ‘통증이 발생하는 부위가 없다’는 응답이 자전거와 PMV 집단 모두에서 가장 많았으나 통증이 발생하는 경우에는 ‘머리 측면’ 부위가 가장 높은 응답률을 보였다. 이는 시판중인 헬멧들이 좌우 너비가 좁아 머리 측면에서 통증을 유발하고 있음을 보여준다. Fig. 9에는 헬멧의 통증발생부위를 제시하였다.

(5) 부상 발생 현황

인체 부위별 부상 경험률에서는 자전거와 PMV 집단 모두에서 팔과 손, 다리와 발과 같은 사지부에서의 부상이 가장 많았으며 사지부를 제외한 다른 모든 부위에서는 자전거 집단의 부상률이 더 높게 나타났는데, 특히 어깨와 엉덩이 부위에서의 자전거집단의 부상률이 더 높았다. 머리와 얼굴 부위에서는 자전

Table 4. *t*-test result for fitness and pain intensity of currently wearing helmets comparing helmet types

	Vehicle types	Helmet types	Mean±SD	Mean difference	<i>t</i>
Fitness	All vehicle types	Road cycle helmet	3.66±0.91	0.50	2.589*
		Urban helmet	3.16±1.02		
Pain intensity	All vehicle types	Road cycle helmet	1.95±1.02	-0.55	-2.151*
		Urban helmet	2.50±1.31		

* $p \leq .05$

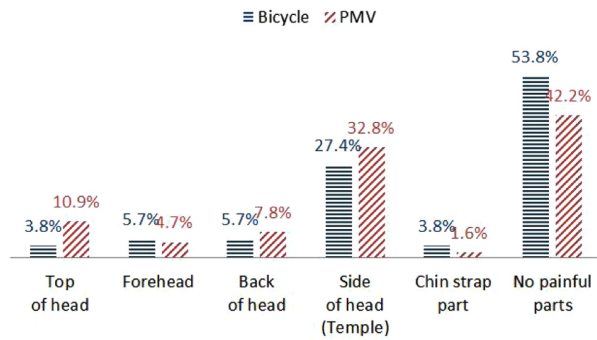


Fig. 9. Painful parts of the head.

거와 PMV 집단 모두 머리보다는 얼굴의 부상률이 더 높았다. Fig. 10에는 인체 부위별 부상 경험률을 제시하였다.

헬멧을 착용한 상태에서의 부상 정도에서는 자전거와 PMV 집단 모두에서 헬멧 착용 시에는 머리 부상을 경험한 적이 없다는 응답이 가장 많았다. 그러나 일단 부상을 당하게 되면 부상 정도가 적극적인 치료가 필요한 수준으로, 자전거 집단의 경우 입원 치료를 받은 경우가 14.7%였고, PMV 집단은 병원에서 일정기간 통원치료를 받은 경우가 9.3%였다. Fig. 11에는 헬멧을 착용한 상태에서 머리 부상 시 부상의 정도를 제시하였다.

3.2. 포커스 그룹 인터뷰(Focus Group Interview) 결과 및 고찰

3.2.1. 주행 특성

(1) 주당 주행일, 주행거리 및 평균 주행속도

FGI 참가자들은 자전거 집단의 주당 주행일이 PMV 집단보다 적은 이유로 자전거 동호회 활동이 주로 주말이나 휴일에 이루어지는 경향을 언급하였으며 그러한 동호회 활동에서 50km 이상의 장거리 주행을 하는 경우가 많아 주당 주행 거리는 더 PMV 집단보다 더 긴 특성을 보인다고 하였다. PMV 집단에서 주당 50km 미만의 단거리 주行的 비중이 가장 높은 원인은 배터리 용량 문제를 언급하였는데 경량 PMV는 최대주행거리가 30km를 넘지 못하는 경우가 많았다. 이런 짧은 주행거리는 PMV 이용자들이 PMV를 휴대한 채로 대중교통을 이용해야만 하는 상황을 만들었고, 더 작고 휴대가 편리한 방식의 접

이식 헬멧을 선호하게 하였다.

주행속도에 관해서 FGI 참가자들은 자전거로는 30km/h 이상의 평균속도를 장시간 유지하는 것이 힘들다고 하였으나 평균속도가 아닌 최고속도에서는 자전거도 50km/h를 넘어가는 경우가 많아 헬멧의 안전성능에 대한 중요도가 PMV보다 떨어진다고 할 수는 없었다. 실제로 경기용 트랙이 아닌 공도를 주행하는 자전거 경기에서도 120km/h 이상의 속도가 기록된 경우도 있기 때문이다(Clarke, 2016; Kenny, 2016). PMV의 경우에는 제품 유형에 따라 저속주행을 주로 하는 self-balancing two wheeler나 electric unicycle 제품군과 비교적 고속주행이 가능한 electric kick scooter 제품군으로 이용자층이 나뉘어 있어 설문 조사에서도 20~25km/h를 주로 주행하는 집단과 30km/h 이상을 주행하는 집단이 나뉘어 나타난 것으로 보인다.

시판되는 PMV의 최대주행거리 및 최고속도를 확인하기 위해 ‘www.danawa.com’에서 2017년 4월 25일 현재 electric kick scooter, electric unicycle, self-balancing two wheeler의 3개 PMV 제품군에 대하여 판매순위 1~10위에 해당하는 제품의 최대주행거리 및 최고속도를 조사하였다. 그 결과 최대주행거리와 최고속도 모두 electric kick scooter가 가장 높은 값을 보였으며 그 다음으로 electric unicycle, self-balancing two wheeler의 순이었다. 또한 제품의 무게가 증가할수록 최대주행거리와 최고속도가 늘어나는 경향이 나타났다. Fig. 12에는 PMV 무게와 최대주행거리와의 관계를 제시하였으며 Fig. 13에는 PMV 무게와 최고속도와의 관계를 제시하였다.

(2) 가장 많이 이용하는 이동수단 유형 및 도로 유형

현재 우리나라에서 자전거 동호인들이 사용하는 자전거 유형은 대부분 로드사이클이나 2000년대 중반까지는 산악용 자전거(MTB)가 가장 많이 사용되었다. 이후 2000년대 후반 4대강 정비사업으로 전국적인 자전거도로망이 확충되면서 로드사이클 주행에 적합한 도로환경이 조성되었고, 대부분의 동호회에서 로드사이클 사용자가 급격히 증가하게 되었다(Lee & Kim, 2015).

현재 가장 많이 사용되는 PMV 유형인 electric kick scooter는 쉬운 조작성으로 자전거를 타던 사람이라면 곧바로 주행이 가능하여 빠르게 이용자층을 형성할 수 있었다. Electric unicycle은 두 번째로 이용자 수가 많은 유형으로, 주행방법을 익히는 데 시간투자가 필요하나 electric kick scooter에 비해 바

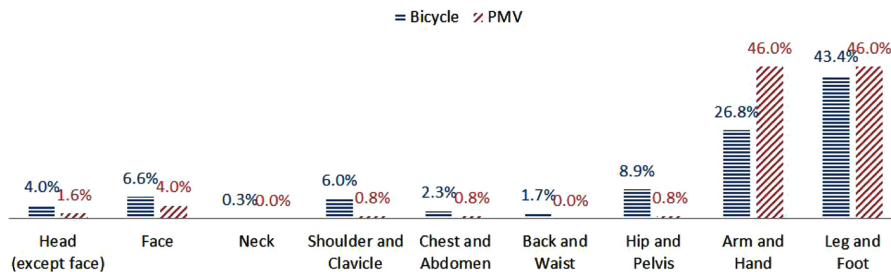


Fig. 10. Incidence rate of injuries by body parts.

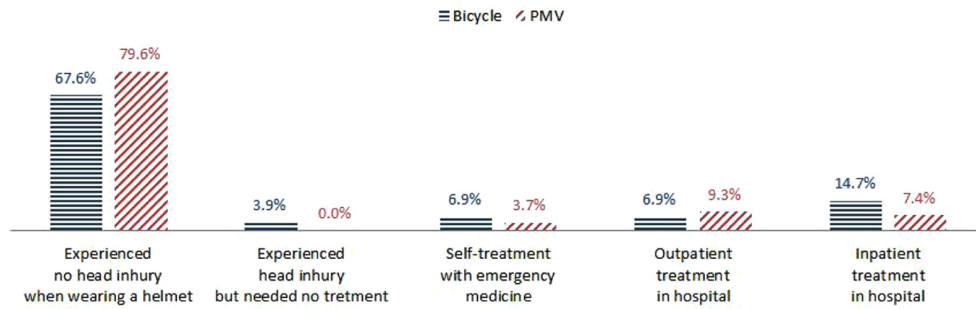


Fig. 11. Degree of Head injuries while wearing a helmet.

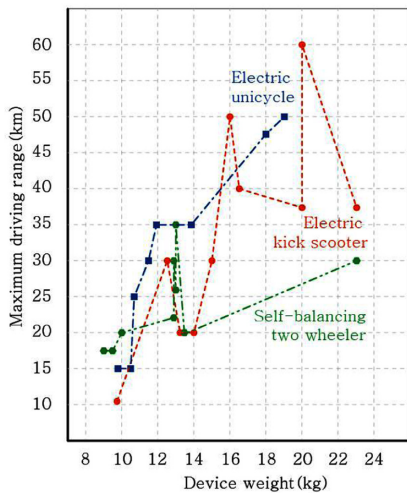


Fig. 12. Relationship between maximal driving range and device weight.

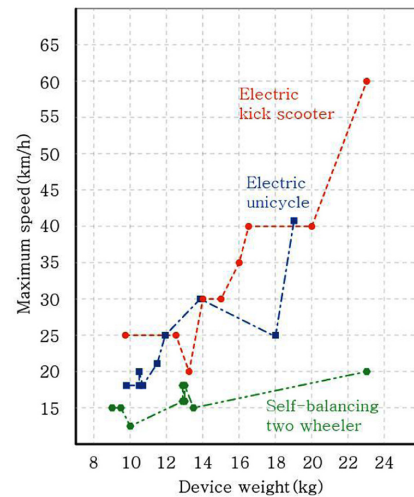


Fig. 13. Relationship between maximal speed and device weight.

퀴가 더 크면서도 부피는 더 작은 장점이 있다. Self-balancing two wheeler의 경우에는 초기에 유행하던 segway와 같이 지름 400mm 이상의 대형 타이어를 쓰는 제품은 현재 많지 않으며, 165mm(6.5인치) 지름의 타이어를 사용하는 소형 제품과 267mm(10.5인치) 지름의 타이어를 사용하는 중형 제품이 주류를 이룬다.

가장 많이 이용하는 도로 유형에서는 2차선 이상의 공도에서 자전거 집단이 PMV 집단보다 약 2.5배 높은 응답률을 보였는데 FGI 참가자들은 그 원인을 타이어의 크기 차이에 있는 것으로 보았다. 로드사이클의 경우 666~733mm의 지름을 가지는 700C 규격의 타이어를 사용하는 반면 PMV의 타이어의 지름은 electric kick scooter에서 152~254mm, electric unicycle에서 318~457mm, self-balancing two wheeler에서 165~406mm로 소형자전거의 타이어 지름보다도 작다. 이러한 PMV의 작은 바퀴크기는 돌발적인 상황에서 요철 등 장애물 의한 전도의 위험을 높이기 때문에 탑승자들로 하여금 2차선 이상의 공도 주행을 꺼리게 만들며, 무겁지만 안전성이 더 높은 유형의 헬멧을 선호하게 만든다. 실제로 가장 안정성이 높은 모터사이클용 헬멧의 착용률은 자전거집단보다 PMV 집단이 월등히 더 높았다.

3.2.2. 주행 특성헬멧 착용실태

(1) 헬멧 착용률

FGI 참가자들은 자전거 이용자들에게서 92.9%의 높은 헬멧 착용률이 나타난 이유로 대부분의 자전거 동호회들이 헬멧 착용을 의무 규정으로 두고 있는 것을 언급하였는데 실제로 대다수의 자전거 동호회 회칙에는 주행 시 헬멧 착용을 강제하는 조항이 포함된다(“Hoengseong bicycle”, 2013; “Paju bicycle”, 2014). PMV에서는 23.6%의 이용자가 헬멧을 전혀 착용하지 않았는데, 이들은 PMV 이용자 중에서도 2차선 이상의 공도를 이용하지 않고 골목길이나 인도를 주로 이용하여 자동차와의 접촉 가능성이 낮은 집단으로 판단된다.

(2) 가장 많이 사용하는 헬멧 유형

FGI 참가자들은 자전거 이용자들이 로드사이클용 헬멧을 가장 많이 착용하는 원인으로 가벼운 무게와 통기성을 언급하였으며 PMV 이용자들이 어반 헬멧을 가장 많이 착용하는 원인으로 일상복과 어울리기 쉬운 디자인을 언급하였다. 자전거는 사람의 힘으로 주행하기 때문에 가벼운 무게와 통기성이 필수적이거나 PMV는 모터의 힘으로 주행하므로 상대적으로 무거운 장비 착용이 가능하고, 발한량도 더 적어 디자인을 우선적으로 고려할

Table 5. Weight, number of ventilation holes, number of helmet sizes, head girth cover range, belonging area of helmet brand and provision rate of Asian/Koran fit of road cycle helmet and urban helmet

Helmet types	Mean				Belonging area of helmet brand (%)	Provision rate of Asian fit or Korean fit (%)
	Weight (g)	Number of ventilation holes	Size			
			Number of helmet sizes	Cover range (Max girth-min girth, mm)		
Road cycle	250.5	23.2	1.4	53.0	Asia: 80 N. America: 20	70
Urban	378.3	11.7	2.2	95.0	Asia: 20 N. America: 40 Europe: 40	10

수 있게 된다. PMV 이용자 중에는 동절기에 보온성 때문에 오히려 통기구 수가 적은 헬멧을 선호한다는 의견도 있었다.

로드사이클용 헬멧과 어반 헬멧의 무게와 통기구 수 차이를 확인하기 위해 ‘www.danawa.com’에서 2017년 5월 7일 현재 로드사이클 헬멧과 어반 헬멧의 판매순위 1~10위에 해당하는 제품의 무게와 구조를 조사하였다. 그 결과 로드사이클용 헬멧은 평균 250.5g의 무게와 23.2개의 통기구 수를 가진데 반해 어반 헬멧은 평균 378.3g의 무게와 11.7개의 통기구 수를 가진 것으로 나타나 로드사이클용 헬멧이 어반 헬멧보다 평균적으로 33.8% 더 가벼우며 통기구 수는 2배 이상 더 많았다. 헬멧의 소재에서도 차이가 발생하였는데 로드사이클용 헬멧은 조사된 10개 제품 모두 최외층에 PC(Polycarbonate)를 사용하였으나 어반 헬멧은 PC와 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)를 사용한 제품이 각각 5개씩이었으며, ABS를 사용한 어반 헬멧이 PC를 사용한 어반 헬멧보다 평균 103.4g 더 무거웠다.

(3) 헬멧 미착용 원인

설문조사 결과에서는 헬멧 미착용 원인 중 ‘머리에 압박이나 통증이 있다’와 ‘적당한 사이즈가 부족하다’와 같은 헬멧의 맞춤새 문제 관련 항목에서 자전거보다 PMV 집단에서의 응답률이 더 높았는데 그 원인으로 주행 특성의 차이를 언급한 FGI 참가자가 있었다. 자전거는 안장에 앉은 상태에서 탑승자의 근력으로 주행을 하므로 근육통과 안장통이 발생하여 헬멧으로 인한 통증을 상대적으로 덜 느끼게 된다는 것이다. 실제로 Table 3에서 로드사이클 헬멧의 경우 자전거 집단의 통증강도는 1.90점, PMV 집단의 통증강도는 2.22점으로 자전거 집단이 더 낮았으나 통계적인 유의차는 나타나지 않았다. 따라서 이러한 머리부위를 제외한 다른 부위의 통증이 헬멧으로 인한 통증강도의 자각에 미치는 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요해 보인다.

‘턱끈이 불편하다’ 항목에서는 자전거 집단의 응답률이 PMV 집단의 약 1.5배였는데, PMV에 비해 장거리 주행이 많고 1회 주행 시 탑승시간이 더 긴 자전거 집단에서 턱 부위의 장시간 압박으로 인한 통증이나 접촉성 피부염 등의 문제가 발생 가능성이 더 높은 것으로 보였다. 턱끈의 경우 소재에 따라 착용감이나 피부염 발생 등의 개인차가 있으므로 탈부착이 가능한 호환 구조를 갖춰 사용자가 자신에게 맞는 턱끈을 자유롭게 선택

해 사용할 수 있게 해주어야 할 필요성이 있었다.

(4) 헬멧의 맞춤새 및 통증유발정도

헬멧의 맞춤새 및 통증유발정도 항목에서는 응답자를 자전거 집단과 PMV 집단으로 나누어 비교했을 때와 로드사이클 헬멧 집단과 어반 헬멧 집단으로 나누어 비교했을 때 모두 통계적인 유의차가 발생하였으므로 전반적으로 어반 헬멧의 맞춤새가 로드 헬멧에 비해 떨어지고 통증도 더 강하게 발생한다고 할 수 있었다. 이러한 맞춤새 차이의 원인을 파악하기 위하여 헬멧 무게와 통기구 수 조사에 사용된 것과 동일한 헬멧 제품 대하여 사이즈의 수, 머리둘레 치수의 커버 범위, 헬멧 제조사 소속 지역 및 아시아인이나 한국인의 머리 형태에 특화된 설계 적용 여부를 조사하였다. 그 결과 로드사이클 헬멧이 어반 헬멧에 비해 더 적은 사이즈 수와 더 좁은 머리둘레 치수 커버 범위를 제공하고 있었으나 아시아인이나 한국인의 머리 형태에 특화된 설계를 적용하는 비율은 70%로 어반헬멧의 10%보다 월등히 높았다. 아시아인이나 한국인의 머리 형태에 특화된 설계의 적용률이 높은 로드사이클 헬멧이 어반 헬멧에 비해 상대적으로 더 적은 사이즈 수와 좁은 치수 커버 범위를 가지고도 더 우수한 맞춤새와 더 낮은 통증유발정도를 보이고 있으므로 헬멧의 맞춤새 문제 해결을 위해서는 다양한 치수를 적용하는 것보다는 근본적으로 사용자 집단의 머리 형태에 맞는 헬멧 구조를 설계하는 것이 더 중요하다고 할 수 있다. Table 5에는 시판중인 로드사이클 헬멧과 어반 헬멧의 무게, 통기구 수, 사이즈 수, 머리둘레 사이즈커버 범위, 헬멧 브랜드 소속 지역, 아시아인이나 한국인 두상 특화 설계 적용률을 제시하였다.

미국이나 유럽지역 헬멧 브랜드 제품이 한국인에게서 맞춤새 문제를 일으키는 원인으로 추측되는 것으로는 인종에 따른 두장폭지수(length-breadth cephalic index)의 차이가 있다. 제 7차 사이즈코리아 자료를 사용하여 계산하였을 때 20~59세 남성의 평균 두장폭지수는 평균 85.8로 Stevens(1901)의 분류에 따르면 ‘넓은 두개골(Broad Skull, 두장폭지수 85 이상)’에 속하며 Cameron(1929)의 분류에서는 ‘단두형(Brachycephalic)’에 속해 두 분류 모두에서 가장 전후 길이가 짧고 좌우너비가 넓은 유형에 해당하였다. 반면 Young(1993)이 미국에 거주중인 백인(Caucasian)을 중심으로 측정된 성인 남성의 두장폭지수는 평균 76.4였으며 Lewin and Hedegård(1970)가 스웨덴 성인

Table 6. ANOVA and scheffe test result for the length-breadth cephalic index of Korean males in the age of 20~59 by the survey periods of Size Korea

Age group	Cephalic index by survey periods			ANOVA			
	5th Size Korea (2004)	6th Size Korea (2010)	7th Size Korea (2015)	F	p	Post-hoc	
20~59	n	2182	2471	2050	31.573	.000***	a<b
	Mean	86.870 ^b	86.686 ^b	85.8477 ^a			

*** p<.001

남성에게서 측정된 두장폭지수는 평균 77.1로 두 연구 모두에서 한국 성인 남성의 평균의 약 90% 수준이었다. 따라서 미국이나 유럽 브랜드에서 제작된 헬멧은 한국인의 두장폭지수를 적절히 반영하지 않았을 가능성이 높으며, 이러한 설계상의 문제가 본 연구의 설문결과에도 영향을 미쳐 미국이나 유럽 브랜드가 대부분인 어반 헬멧의 통증발생강도가 로드사이클 헬멧보다 더 높으며, 통증발생부위에서는 머리 측면이 가장 높은 응답률을 보이는 결과를 가져온 것으로 해석할 수 있었다. 다만 사이즈코리아의 한국 20~59세 남성의 두장폭지수는 사이즈코리아 5차, 6차 7차 측정에서 각각 평균 86.9, 86.7, 85.8로 시간이 흐를수록 점차 감소하고 있는 추세였으며 같은 측정시기 내에서도 연령대별로 차이가 나타나 6차와 7차 성인 남성 측정치에서는 연령이 감소할수록 두장폭지수도 감소하였다. 특히 7차의 20대 남성은 두장폭지수가 평균 84.8로 Stevens(1901)의 분류에서의 ‘중간 두개골(Medium skulls, 두장폭지수 75 이상~85 미만)’의 범위에 진입한 것으로 나타났다. 따라서 향후 한국인의 머리 형태에 적합한 헬멧을 개발하기 위해서는 가능한 최신의 측정자료를 사용하는 것이 중요하며, PMV를 주로 사용하는 연령층을 특정하여 표준형상을 도출하는 작업이 필요할 것으로 보인다. Table 6에는 사이즈코리아의 측정시기별 20~59세 남성의 두장폭지수에 대한 일원분산분석과 scheffe test 결과를 제시하였으며 Table 7에는 사이즈코리아의 20~59세 남성의 연령대별 두장폭지수에 대한 일원분산분석과 scheffe test 결과를 제시하였다.

(5) 부상 발생 현황

FGI 참가자들은 PMV 집단이 자전거 집단에 비해 사지부의 부상이 더 높은 원인으로 탑승 자세의 차이를 언급하였는데, 대부분의 PMV는 안장에 앉지 않고 서있는 자세를 취하므로 전도 시 머리카나 몸통부가 바닥에 닿기 전에 사지부로 방어 자세를

취하기 쉽다고 하였다. 특히 PMV 유형 중 electric unicycle이나 self-balancing two wheeler는 핸들이 없이 발과 다리만으로 주행방향이나 속도를 제어하는 제품이 대부분이기 때문에 주행 중에도 손과 팔의 사용이 자유롭고, 전도가 일어나더라도 방어자세를 취하기가 더 용이할 가능성이 높다. Table 8에는 electric unicycle과 self-balancing two wheeler의 대표적인 주행자세를 제시하였다.

반면 자전거는 안장에 앉아 머리와 몸통을 헬멧 높이에 맞게 낮게 기울인 상태에서 전도가 일어나기 때문에 머리카나 몸통이 바닥과 직접 충돌해 어깨와 엉덩이부위에서의 부상이 높아질 수 있다.

3.3. PMV 헬멧 설계를 위한 제안 사항

3.3.1. 한국인의 두장폭지수를 반영한 헬멧 형상 설계

PMV 이용자들이 주로 사용하는 어반 헬멧은 한국인의 머리 형상, 그 중에서도 특히 두장폭지수를 정확히 반영하지 못하여 맞음새 문제나 통증을 유발하는 경우가 많으므로 이를 반영한 모체(outer shell)과 충격흡수층(shock absorbing liner) 형상 설계가 필요하다. 이를 위해서는 3차원 머리스캔형상을 활용한 머리 유형분류가 필수적이며 완성된 헬멧의 시험을 위한 유형별 표준머리형상 모형 개발도 필요하다. 머리 유형분류 시에는 지나치게 많은 수의 유형이 도출되면 헬멧 생산업체의 생산능력과 재고관리 문제 등으로 실제 활용이 어려울 수 있으므로 적정 수준에서 이를 조절해야 한다.

3.3.2. 사이즈조절범위를 고려한 헬멧 사이즈체계 개발



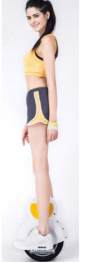

어반 헬멧이나 로드사이클 헬멧의 착장체(harness)에는 돌려치수를 조절할 수 있는 조절장치가 부착되어 있다. 이 조절장치로 조절이 가능한 치수범위는 약 3~7cm로, 사이즈 조절범위

Table 7. ANOVA and scheffe test result for the length-breadth cephalic index of Korean males by the age groups

Survey period of Size Korea	Cephalic index by age groups				ANOVA		
	20~29	30~39	40~49	50~59	F	p	Post-hoc
5th (2004)	n	680	711	409	5.333	.001***	-
	Mean	86.474 ^a	87.241 ^a	87.243 ^a			
6th (2010)	n	843	891	435	36.027	.000***	a<b
	Mean	85.438 ^a	87.299 ^b	87.241 ^b			
7th (2015)	n	868	652	310	35.038	.000***	a<b<c
	Mean	84.812 ^a	86.087 ^b	87.062 ^c			

*** p<.001

Table 8. Typical postures while riding on PMVs

With handle		Without handle	
Self-balancing two wheeler	With knee control bar	Without knee control bar	
	Self-balancing two wheeler	Electric unicycle	Self-balancing two wheeler
			
Ninebot E+ (Roller Center, n.d.)	Segway miniPRO (Segway Minipro, n.d.)	Airwheel Q1 (Airwheel, n.d.)	Hoverboard (F-wheel, 2016)

가 넓다는 것은 적은 사이즈 수로 넓은 머리둘레를 커버할 수 있어 생산비용과 재고관리비용을 줄일 수 있다는 의미를 가진다. 그러나 이러한 사이즈조절은 헬멧과 머리 사이의 공극량 범위 안에서 이루어지는 것이므로 넓은 사이즈 조절 범위를 얻기 위해서는 공극량도 같이 늘어나야 하며, 이는 전체적인 헬멧 크기의 증가를 가져와 외관상의 문제를 일으킨다. 따라서 착장체에 의한 사이즈 조절 범위의 설정은 ‘적은 사이즈 숫자로 비용 절감을 하되 외관상 발생하는 문제를 감수할 것인가’, 반대로 ‘다양한 사이즈로 공극량을 최소화하여 외관을 향상시키되 이로 인한 비용증가를 감수할 것인가’를 선택하는 과정이라고 할 수 있으며 사이즈체계 개발 시 저가형 제품과 고가형 제품의 사이즈체계를 분리하여 개발을 진행할 필요성이 있음을 말해준다.

3.3.3. 안전성과 외관의 균형을 맞춘 충격흡수층 두께 및 공극량 설정

PMV 이용자들이 더 가볍고 통기성이 우수한 로드사이클 헬멧 대신 어반 헬멧을 사용하는 가장 큰 이유는 외관이 더 우수하기 때문으로, PMV 헬멧 설계 시 외관의 우수성은 가장 우선적으로 고려해야 할 문제 중 하나이다. 국내 헬멧 구매자들은 헬멧 착용으로 인해 머리가 커 보이는 것을 극히 꺼리는 경향이 있으므로 머리와 헬멧 사이의 공극량을 줄이고 헬멧의 충격흡수층(shock absorbing liner)의 두께 또한 줄여 헬멧의 전체적인 부피를 적게 하는 것이 매우 중요한 고려사항이 된다. 그러나 헬멧은 안전용이기 때문에 충격흡수층의 두께를 줄이는 것에는 한계가 있고 머리와 헬멧 사이의 공극량 또한 충격에 의해 변형된 헬멧 구조물이 머리에 접촉하지 않게 하는 효과가 있으므로(Tan et al., 2012) 일정수준 이상으로 유지해야만 한다. 따라서 헬멧의 안전성과 부피에 의한 외관은 일정부분 반비례하는 경향이 있으므로 PMV 사고에서 발생하는 충격량이나 충격 특성에 대한 실질적인 연구를 통해 안전성 확보에 필요한 소재별 충격흡수층 두께 및 공극량의 하한선을 설정한 후 이 제한을 넘지 않는 범위 안에서 헬멧의 외관 및 내부구조를 설

계하여 안정성과 외관의 균형을 잡는 것이 필요하다.

3.3.4. 턱끈(chin strap)의 탈부착 시스템 개발

KS G 6805(Korean Agency for Technology and Standards, 2016)에 의하면 헬멧을 머리에 고정하는 착장체(harness)는 머리 받침끈과 머리고정대, 머리받침고리로 구성되며 턱끈에 의해 머리에 고정된다. 이 중 턱끈은 일반적으로 헬멧 모체에 고정된 착장체와 일체형 구조를 이루어 사용자가 이를 임의로 교체할 수 없다. 그러나 이러한 턱끈부위의 불편은 자전거 이용자와 PMV 이용자 모두에게서 헬멧 착용을 꺼리게 하는 주요 원인인 것으로 나타났으므로 이를 해결하기 위해 턱끈 자체의 형태나 두께, 버클(buckle)의 체결구조 등을 개선하는 것이 필요하며, 동시에 사용자가 자신에게 맞는 턱끈을 선택해 사용할 수 있도록 탈부착 시스템을 도입하는 것이 필요하다 할 수 있다. 이를 위해서는 착장체에 턱끈을 탈부착할 수 있게 해 주는 버클이나 스냅버튼(snap button)등의 부품에서 헬멧간의 호환성 확보가 필요한데, 이를 통해 헬멧을 구입한 뒤 턱끈만 교체하거나, 턱끈을 유지한 채 헬멧만 교체하는 것이 가능해져야 한다.

4. 결 론

이 연구는 자전거와 PMV 집단의 주행 특성과 헬멧 착용 실태의 차이를 밝혀 PMV 두 집단에 각기 특화된 헬멧을 개발할 때 필요한 기초 자료를 제공하기 위해 진행되었다. 이를 위해 자전거 동호인 102명, PMV 동호인 54명을 대상으로 한 온라인 설문을 통해 이들의 주행 특성 및 헬멧 착용 실태를 조사하였으며 자전거 동호인 3명, PMV 동호인 3명을 대상으로 한 FGI를 통해 온라인 설문 결과를 해석하고 PMV 설계 시 필요한 제안사항을 도출하였다.

설문 결과 PMV 집단은 자전거 집단에 비해 더 짧은 거리를 자주 이동하며 인도나 골목길로의 주행이 자전거 집단보다 더 잦은 것으로 나타났다. 이러한 짧은 주행거리는 PMV의 배

터리 용량의 한계로 인한 것이며, PMV 이용자들이 장거리 이동 시 PMV를 휴대한 채로 대중교통을 이용해야만 하는 상황을 만들며 부피 적은 접이식 헬멧을 선호하게 하는 결과를 가져왔다. 헬멧 착용률은 PMV 집단이 자전거 집단에 비해 현저히 낮았으며 이 또한 짧은 주행거리로 인해 자동차가 다니는 공도 주행이 상대적으로 적은 것과 연관이 있었다. PMV 집단과 자전거 집단은 주로 사용하는 헬멧의 유형이 다른데, PMV에서는 외관이 우선시되는 어반 헬멧이, 자전거에서는 무게와 통기성이 우선시되는 로드사이클용 헬멧이 주로 사용되었다. 어반 헬멧은 로드사이클 헬멧에 비해 맞음새 문제가 더 심각하며 착용 시 유발되는 통증도 더 강한 것으로 나타났는데, 이는 헬멧 설계 시 한국인의 두장폭지수가 고려되지 않았기 때문이다. 이러한 맞음새나 통증발생의 문제는, 헬멧 착용으로 인해 헤어스타일이 망가지는 문제를 제외하면, PMV 이용자들이 헬멧을 착용하지 않게 만드는 가장 중요한 원인이므로 PMV 사용자들의 헬멧 착용률을 높이기 위해서는 한국인의 머리형상을 반영한 어반 헬멧의 개발이 필수적이다. 또한 어반 헬멧은 일반적으로 사이즈 조절장치가 부착되므로 이의 조절범위를 고려하여 사이즈체계를 개발해야 하며, 외관을 우선시하는 PMV 사용자들의 특성을 고려하여 안전성의 하한선을 만족한 상태에서 충격 흡수층 두께와 공극률을 최소화한 형상설계를 진행해야 하는데, 이를 위해서는 PMV 사고에서 발생할 수 있는 충격량이나 충격 특성에 대한 연구가 선행되어야 한다. 또한 턱끈으로 인해 발생하는 통증이나 피부염 등의 문제의 해결도 필요하므로 턱끈의 구조나 형태 개선하는 동시에 헬멧의 착장체에 턱끈을 탈부착할 수 있는 탈부착 시스템의 개발도 필요하다 하겠다.

감사의 글

이 논문은 산업통상자원부의 지식서비스산업핵심기술개발사업(과제번호:10069132)의 지원에 의하여 연구되었음.

References

- 'Airwheel'. (n. d.). Airwheel Q1. Retrieved August 30, 2017, from <http://www.airwheel.net/images/Airwheel-q1-2.jpg>
- Boniface, K., McKay, M. P., Lucas, R., Shaffer, A., & Sikka, N. (2011). Serious injuries related to the Segway® personal transporter: A case series. *Annals of Emergency Medicine*, 57(4), 370-374. doi:10.1016/j.annemergmed.2010.06.551
- Cameron, J. (1929). A survey of the length-height cranial index in diverse racial types of the hominidae. *American Journal of Physical Anthropology*, 13(1), 139-153.
- Chen, R., Hadley, R., & Griggs, W. (2014). U.S. Patent No. 8,820,460. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Clarke, S. (2016, July 11). Only 122kph? Some riders went even faster on the Tour de France stage nine. Retrieved August 28, 2017, from www.cyclingweekly.com/news/racing/tour-de-france/122kph-jeremy-roy-went-even-faster-tour-de-france-stage-nine-258371
- Kenny, S. (2016, July 12). Tour de France top speed riders hit a huge 130kph / 81mph on stage nine of Le Tour. Retrieved August 28, 2017, from mpora.com/road-cycling/tour-de-france-top-speed-riders-hit-huge-130kph-81mph-stage-nine-le-tour#74wipaDYPBRJIHrR.97
- Kim, D. H. (2014). *A study on performance evaluation and verification test of personal mobility*. Unpublished master's thesis, Kookmin University, Seoul.
- Kim, H. Y., & Hwang, S. G. (2015). Market analysis and the future roadmap of 'EPM(Electronic Personal Mobility)'. *The Treatise on The Plastic Media*, 18(2), 91-100.
- Kim, J. (2016). Design of compact 18-speed epicyclic transmission for a personal mobility vehicle. *International Journal of Automotive Technology*, 17(6), 977-982. doi:10.1007/s12239-016-0095-9
- Korean Agency for Technology and Standards. (2016). 자율안전확인 대상(전동기능이 있는 보드류) 안전기준 제정(안) 입안예고 [Prenotification of enactment (plan) of a safety standard for the self safety checking objects (board type with electric motors)]. Retrieved from <http://www.kats.go.kr/content.do?cmsid=239&searchField=title&searchValue=%EC%A0%84%EB%8F%99%EA%B8%B0%EB%8A%A5%EC%9D%B4%20%EC%9E%88%EB%8A%94%20%EB%B3%B4%EB%93%9C%EB%A5%98&y=16&x=43&mode=view&page=1&cid=18784>
- Korean Agency for Technology and Standards. (2016). KS G 6805:2016 - Safety helmet. Retrieved from <https://standard.go.kr/KSCI/standardIntro/getStandardSearchView.doB4%EB%93%9C%EB%A5%98&y=16&x=43&mode=view&page=1&cid=18784>
- Kruse, E. T. (2009). U.S. Patent No. D590,304. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Fujikawa, T., & Nakajima, S. (2012). Proposal for an IR system to support automatic control for a personal mobility vehicle. *Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, IEEE. doi:10.1109/ROBIO.2012.6491296
- 'F-wheel'. (2016). London major surfs with popular self balancing scooter tide. Retrieved August 30, 2017, from www.fwheel.cc/london-major-surfs-with-popular-self-balancing-scooter-tide/
- Hwang, S. W. (2012). *A study of e-bike for smart city solution*. Unpublished master's thesis, Hongik University, Seoul.
- 'Hoengseong bicycle'. (2013). Revised operation rules of Hoengseong bicycle. Retrieved August 28, 2017, from cafe.naver.com/lbk2348/2817
- Lee, S. G. (2016, November 25). Personal mobility: emerging transportation device for the commuters. Retrieved August 22, 2017, from www.etoday.co.kr/news/section/newsview.php?idxno=1418490
- Lee, S. I., Kim, S. H., & Kim, T. H. (2017). A comparison study on the risk and accident characteristics of personal mobility. *Journal of the Korean Society of Safety*, 32(3), 151-159. doi:10.14346/JKOSOS.2017.32.3.151
- Lee, W. S., & Kim, C. J. (2015). 레저스포츠: 자전거 시장의 트렌드가 바뀌고 있다 [Leisure sports: The trend of bicycle market is changing]. Seoul: KDB Daewoo Securities Research Center.
- Lewin, T., & Hedegård, B. (1970). An anthropometric study of head and face of mature adults in Sweden. *Acta Odontologica Scandinavica*, 28(6), 935-945. doi:10.3109/00016357009028256
- Litman, T., & Blair, R. (2006). Managing personal mobility devices (PMDs) on nonmotorized facilities. *Institute of Transportation*

- Engineers Journal*, 76(6), 20-27.
- McConnell, J. C., Kiwak, F., & Morgan, C. (2001). U.S. Patent No. 6,176,337. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Ministry of the Interior and Safety. (2017). *자전거 이용 활성화에 관한 법률* [Act on the vitalization of bicycle riding]. Retrieved from <http://www.law.go.kr/lsEfInfoP.do?lsiSeq=195092#>
- Myeong, M. H., Song, S. H., & Choi, M. S. (2016). *새로운 교통수단 이용에 대한 안전대책 연구 -개인형 이동수단을 중심으로-* [A study on safety measures for the use of new transportation -mainly about personal mobility-]. Seoul: Korea Road Traffic Authority Traffic Science Institute.
- Nakagawa, C., Imamura, K., Shintani, A., & Ito, T. (2012). Simulations of the relationship between a personal mobility vehicle and pedestrians. *Proceedings of 2012 IEEE International Systems Conference (SysCon)*, IEEE. doi:10.1109/SysCon.2012.6189432
- Nakajima, S. (2014). Gait algorithm of personal mobility vehicle for negotiating obstacles. *Disability and Rehabilitation Assistive Technology*, 9(2), 151-163. doi:10.3109/17483107.2013.870238
- Nobels, T., Deprez, W., Pardon, I., Stevens, S., Viktorin, O., Driesen, J., Den Keybus, J. V., & Belmans, R. (2004). Design of a small personal electric vehicle as an educational project. *Proceedings of 11th International Power Electronics and Motion Control Conference 2004*.
- 'Paju bicycle'. (2014). Operation rules of Paju bicycle. Retrieved August 28, 2017, from cafe.naver.com/teampaja/7366
- Park, J. W. (2017, August 18). Electric bicycle, electric wheel: smart mobilities were all gathered together in electro land. Retrieved August 22, 2017, from moneys.mt.co.kr/news/mwView.php?type=1&no=2017081808498020450&outlink=1
- Park, S. S., Im, D. Y., Cha, H. R., & Ryoo, Y. J. (2016). Mechanism of omni-directional personal mobility vehicle with diagonal driving. *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, 26(2), 153-159. doi:10.5391/JKIS.2016.26.2.153
- 'Roller Center'. (n. d.). Ninebot E+. Retrieved August 30, 2017, from www.rollercenter.de/media/images/org/0.95955100+1452011306.jpg
- 'Segway Minipro'. (n. d.). Segway minipro. Retrieved August 30, 2017, from www.segwayminipro.com/wp-content/uploads/Street_Segway_0051.jpg
- Stevens, G. T. (1901). The pose of the body as related to the types of the cranium and the direction of the visual plane. *Popular Science Monthly*, 59, 390-401.
- Tan, L. B., Tse, K. M., Lee, H. P., Tan, V. B. C., & Lim, S. P. (2012). Performance of an advanced combat helmet with different interior cushioning systems in ballistic impact: Experiments and finite element simulations. *International Journal of Impact Engineering*, 50, 99-112. doi:10.1016/j.ijimpeng.2012.06.003
- Ulrich, K. T. (2005). Estimating the technology frontier for personal electric vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 13(5-6), 448-462. doi:10.1016/j.trc.2006.01.002
- Young, J. W. (1993). *Head and face anthropometry of adult U.S. civilians*. Washington DC: Federal Aviation Administration Washington DC Office of Aviation Medicine.

(Received 19 September 2017; 1st Revised 7 November 2017;
2nd Revised 11 December 2017; 3rd Revised 12 December 2017;
Accepted 20 December 2017)