

교통약자를 고려한 보도의 경사도와 높이 결정을 위한 실험연구

Experimental Study on the Determination of Slope and Height of Curbs Considering the VRUs

김 현 진 Kim, Hyunjin
임 준 범 Lim, Joonbeom
최 병 호 Choe, Byongho
오 철 Oh, Cheol
강 인 형 Kang, Inhyeng

정회원 · 한국교통안전공단 책임연구원 (E-mail : khj2047@kotsa.or.kr)
정회원 · 한국교통안전공단 선임연구원 · 교신저자 (E-mail : limjb@kotsa.or.kr)
한국교통안전공단 교통안전연구처장 (E-mail : byongho.choe@kotsa.or.kr)
정회원 · 한양대학교 교통물류공학과 교수 (E-mail : cheolo@hanyang.ac.kr)
인하대학교 스포츠·레저 섬유연구센터 수석연구원 (E-mail : inkang@inha.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : As the population of the mobility handicapped, who are classified as the disabled, the elderly, pregnant women, children, etc., has increased, the voices for guaranteeing their rights have been increasing as well. Thus, the design manuals for roads and sidewalks for the mobility handicapped were developed by the local government, such as the Ministry of Land, Transport, and Tourism, in Seoul City. However, according to the 2013 survey results of the Seoul Metropolitan City, the mobility handicapped still feel uncomfortable with the sidewalks, and particularly request for the improvement of the step and slope of the sidewalk curb. Therefore, in this study, we conducted an empirical experimental study to determine the slope of the sidewalk curb and height of the steps considering the mobility handicapped and analyzed whether there is a statistically significant difference.

METHODS : The methodology of this study is an empirical experimental one. In the study, five non-disabled people, 10 wheelchair users, and 10 eye patch and stick users walked about 2-3 min on the sidewalk plates of the sloped type (0%, 5%, 6.3%, 8.3%) and stepped type (0 cm, 1 cm, 3 cm, 6 cm), and their human physiological responses, such as the skin temperature, volume of perspiration on forehead and chest, and heart rate, were measured and recorded. After combining the data, we conducted a nonparametric test, ANOVA, or t-test to determine whether there was a statistically significant difference according to each slope and step type.

RESULTS : It was found that for the non-disabled, there was no significant difference in human physiological responses according to the slope and steps of the sidewalk. It can be said that the non-disabled do not feel much physiological discomfort while walking. In the case of the sloped sidewalk plate, the heart rate of the wheel chair users increased when the slope was 6.3%. In the case of the eye patch and stick users, the volume of perspiration on the chest increased at a slope of 5.0%. In general, it is judged that a sidewalk with a slope that is less than 5% does not cause a change in the physiological response. In the case of a stepped sidewalk plate, when 0 cm, 1 cm, and 3 cm were compared for wheelchair users, the amount of forehead perspiration increased from 1 cm. Meanwhile, in the case of the eye patch and stick users, when 0 cm and 6 cm were compared, the amount of perspiration on the forehead and chest as well as the heart rate all increased at 6 cm. Taken together, in the case of wheelchair users, a difference was shown when the height of the step of the sidewalk plate was 1 cm, suggesting that installing it at 0 cm does not cause any physiological discomfort. Moreover, in the case of the eye patch and stick users, when comparing only 0 cm and 6 cm, 0 cm was considered to be suitable, as there was a difference in physiological response at 6 cm.

CONCLUSIONS : In this study, we set the human physiological responses such as chest skin temperature, amount of perspiration, and heart rate as evaluation items, and our study was considered to be a meaningful experiment that targeted wheelchair users as well as eye patch and stick users. The validity of the evaluation items was confirmed, as the results of human physiological responses were significant. As for the sidewalk design, according to the experiment result, it is considered that differential application should be implemented according to the type of mobility handicap, rather than uniformly applying a sidewalk step of 2 cm and sidewalk slope of 1/25, which are the current legal standards.

Keywords

Experimental Study, Curbs height, Curbs slope, Vulnerable Road Users(VRUs), ANOVA, t-test

Corresponding Author : Lim, Joonbeom, Senior Researcher
17, Hyeoksins 6-ro Ginchon-si, Gyeongsangbuk-do, 39660, Korea
Tel : +82.54.459.7445 Fax : +82.0502.384.5456
E-mail : limjb@kotsa.or.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Feb. 28, 2017 Revised Mar. 08, 2017 Accepted Jan. 17, 2018

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

교통약자는 장애인, 고령자, 임산부, 영유아를 동반한 사람 및 어린이 등 일상생활에서 이동에 불편을 느끼는 사람인데 한국의 교통약자는 2013년말 기준 12,779천명(전체 인구대비 약 25%)에서 2016년 13,120천명으로 늘어날 것으로 예측되고 있으며, 또한 고령화사회(Aging society)에서 고령사회(Aged society)로의 급속한 이동으로 교통약자는 점점 증가할 것으로 예상된다.

교통약자 이동편의 실태조사(2013)에 따르면 교통약자의 주이용 교통수단은 도보가 41.7%로 보행에 대한 이동 의존도가 가장 높았으나, 개선우선순위 조사에서 1위는 보행시설로 53.8%였고 보행시설 중 1위는 보도가 70.4%를 차지하여 현 교통약자의 보행환경에 많은 문제점이 있음을 알 수 있다.

일반적으로 보도 이용시 불편사항은 '보행 장애물', '보도 연석으로 인한 불편', '보도폭 협소', '육교 이용의 불편', '보도 정비 미비', '급경사 및 경사로 부족', '불법주차로 인한 통행 불편' 등이 있다. 이 중 휠체어 이용자에게 통행상 문제점으로 지적되는 사항은 횡단시설(횡단보도) 턱낮추기 미비에 의한 통행어려움, 보도폭 협소에 의한 교행 및 통과 어려움이 가장 큰 문제점이다. 또한 턱낮추기 미비의 경우 휠체어의 횡단보도 진입이 불가능한 경우가 발생하여 도로를 통해 이동하는 경우가 있으며 이 경우 차랑과의 상충으로 인해 교통사고의 위험성을 내재하고 있다.

서울시 '무장애(Barrier-free) 공간조성 기본 및 실시설계(2009)'에 의하면 횡단보도 턱낮추기 구간과 차도와와의 단차가 클수록 이동하는데 어려움이 발생하며 완만한 경사 및 단차를 줄이는 방안이 필요함을 제시하고 있다. 횡단보도 턱낮추기가 아닌 구간 이용시 지체장애인(휠체어 및 지팡이 이용자)의 불편횟수가 타 이용자에 비해 크게 증가하는 것으로 나타났으며 시각장애인의 경우도 불편횟수가 3회 이상(2.4%), 10회 이상(2.8%)으로 크게 나타나 지체장애인과 함께 턱낮추기가 아닌 구간에서 불편함이 큰 것으로 판단할 수 있다.

독일 등 교통선진국에서는 보도 턱낮추기에 대해 두 가지 관점이 존재한다. 모든 도로이용자가 이용할 수 있게 설계를 할 것인지(curbs for all), 교통약자, 예컨대 휠체어 이용자나 시각장애인의 특성을 고려한 차별화된 설계를 할 것인지(double crossings)가 그것이다. 후자의 경우가 교통선진국에서 다양한 방식으로 시행되고 있는 추세인데, 여기에도 두 가지 관점이 존재한다. 시각장애

인은 보편적인 형태보다 단차가 다소 높은 보도연석을, 휠체어 이용자는 보편적인 형태보다 단차가 훨씬 낮은 보도연석을 선호하여 목표상충을 일으킨다. 독일 도로관리청은 무장애건설지침(DIN 18024-1) 및 도시부도로설계지침(RASt 06)을 적용하여 보도연석의 단차를 3cm로 표준화하여 다양한 이용자계층의 요구의 절충을 모색하였다. 그러나 시각장애인은 만져서 느낄 수 있는 단차가 이동의 안전을 보장하며, 휠체어이용자는 보도와 차도의 경계를 느낄 수 없는 것을 요구한다. 고령화속도가 빨라지면서 휠체어이용자와 시각장애인의 수도 증가하여 모집단의 특성이 변화하기 때문에 3cm 단차의 타당성도 재검토를 요한다. 이에 독일도로교통협회(FGSV)는 2011년에 새로운 설계지침을 제안하였는데, 휠체어 이용자는 3cm 이하 단차를, 시각장애인은 6cm 단차를 분리하여 보도연석을 설계하는 것이다(FGSV, "Hinweise für barrierefreie Verkehrsanlagen", 2011).

이에 본 연구에서는 휠체어이용자와 안대 및 스틱 이용자(시각장애인)의 인체생리학적 특성을 도출하는 임상실험을 시행하여 보도 턱낮추기 구간 보도와 차도간의 높이차 및 연석경사로 경사의 기준을 도출하기 위한 기초연구를 수행하였다. 본 논문은 이론개발 등의 학술적 의미보다는 교통약자를 고려한 도로설계 기준을 정립하기 위한 실증연구로서 방법론을 정립하는 것이 목적이다. 다만 표본수가 충분치 않아 한계점이 있으나 임상실험을 통해 유의미한 결과를 도출하고 향후 표본수 확대를 통해서 도로설계 기준 제시에 활용할 수 있도록 하는 것이 목적이다.

2. 선행연구

2.1. 임상평가에 관한 연구

일본의 경우, 휠체어 이용자는 도로구간을 휠체어로 이동시 끊임없이 보도연석 단차에 노출되고 이동시 심리적 부담과 신체적 부담이 동시에 동반되는데 이동수준을 스스로 선택할 수 없는 상황에 주목하여 ITS기술로 휴대용 net에 통신기능을 넣어 휠체어 이용자가 이동하기 쉬운 도로를 제시하여 이동부담을 경감시키는 "도로유도시스템" 개발연구를 진행하였다. 이와 관련하여 Tsuji(2004)는 휠체어의 이동부담도 추정에 관한 실험과 계측을 실시하여 유효측정항목으로 심박수, 호흡, 근전도를 거론하였다. Tsuji(2006)는 휠체어의 이동에 동반되는 생리부담을 계측하여 이동부담 요소를 중단분배, 횡단분배, 단차, 쥐는 힘, 끄는 힘으로 평가하였

다. Tsuji(2014)는 휠체어의 이동에 동반되는 피로지표의 비교평가를 실시하여 피로지표로 근전도, NASA-TLX, 소요시간, 피로도를 거론하였다.

한국의 경우, 2004~2010년 보건복지부의 건강 R&D 프로젝트인 휠체어 장애인을 위한 이동형 헬스케어시스템 개발시 심전도, 심박수, 호흡수 등을 측정하였다.

2.2. 보도 턱낮추기에 관한 연구

Eugen-Otto-Butz 연구재단의 연구용역을 수행한 Boenke 등(2010)은 보행환경설계 매뉴얼(Leitfaden Mobilität und Verkehr)을 통해 시각장애인과 휠체어의 경로를 구분하여 차별적인 단차를 제공하는 방안을 제시하였다(Boenke et al., 2010).

Mühr(2010)에 따르면, 노르웨이의 경우 보도연석 단차는 통상 2cm 적용을 하고 있으나 지역에 따라 0~3cm 자율적으로 설치하고 있다. 독일과 마찬가지로 단차영역 앞에 점자블록을 2단계로 60~80cm 깊이로 설치하고 있다. 덴마크도 노르웨이와 사정이 비슷하고 단차영역 전 점자블록의 소재를 철로 제작하고 깊이는 40~60cm 정도이다. 프랑스도 2cm 단차기준을 갖고 있고 단차영역 전 점자블록으로 경고표시를 하고 있다. 이탈리아도 2cm 기준을 적용하며, 보도연석 상 선형블록은 시각장애인이 횡단방향을 알려주는 용도로, 단차영역 전 주의

유도를 위해 늑골블록(ribbed plates)과 점자블록을 이어서 설치하는 것이 특징이다.

시각장애인의 관점에서는 단차 3cm 기준이 보도와 차도의 경계를 구분하는 절대적인 하한선인 반면, 휠체어 이용자의 다수에게는 극복이 불가능한 절대적인 상한선이다(Rebstock, 2007). 보도연석은 시각장애인에게 횡단지점의 탐색을 도와주는 한편, 횡단지점으로 유도하고 차도와 보도의 경계를 경고하는 기능이 있다. 이와 관련하여 DIN 18030 지침에는 휠체어 이용자를 위해 부분적 제로단차를 고려하되, 시각장애인이 감지할 수 있는 보도지표(예. 늑골음각)를 설치하도록 권고하고 있다(Grossmann, 2007). Behling(2008)은 시각장애인과 휠체어를 분리하거나 통합 시 보도연석의 단차를 차별적으로 설계할 것을 주문하고 있다.

3. 실험방법

3.1. 피험자

피험자는 심장 등 병력이 없고 일상적으로 휠체어를 사용하지 않고 시각 장애가 없는 남성(비장애인) 5명, 시각장애인 남성 5명, 지체장애인 남성 5명, 비장애인이나 안대와 스틱을 사용한 남성 5명, 비장애인이나 휠체어를 이용한 남성 5명 총 25명이다. 평균 나이(23±1.6세, 24±1.7세), 신장(173±2.3, 173±1.9cm), 체중(74±1.2, 74±2.4kg)의 피험자는 모두 금연자로 전일 부터 커피와 알코올 섭취를 피하도록 하였다.

3.2. 실험조건

피험자의 생체리듬을 최소화하기 위해 동일한 시간대에 실험을 실시하였다. 실험조건은 경사보도판과 단차 보도판 2가지 조건이다. 경사보도판은 갈바늄과 체크철 판으로 제작되었으며 경사는 0, 5, 6.3, 8.3%이다. 단차보도판은 합판으로 제작되었으며 크기는 1120×2240mm이고 높이는 0, 1, 3, 6cm이다. 사용 휠체어는 KS 규격 (KSP6114:2014)에 준한 전동 휠체어(electric wheelchairs)로 건강보험관리공단에서 등록된 모델로 진행하였다. 비장애인이나 장애인의 조건을 위해서 사용한 안대는 시력을 완전히 가릴 수 있는 것으로 하였으며, 스틱은 최소 지지를 충족시키는 일반적인 제품으로 선정하였다. 실험의복의 형태는 긴팔티셔츠와 긴바지이며 동일형태, 동일사이즈로 실험 전 표준상태(20±0.5℃, 65±10%)에서 12시간동안 보관하였다.

Table 1. Feature Comparison of Types Curbstones and Tactile Walking Surfaces Indicators (Mühr, 2010)

Country	Height of curbstones	Ribbed plates	Braille block
England	2 cm		navigation / caution
Norway	1~3 cm		calling attention
Sweden	6 cm	navigation support	
Denmark	1~2 cm		calling attention
France	2 cm		calling attention
Germany	6 cm	indicating direction	navigation support
Austria	3 cm	navigation support	
Switzerland	3~4 cm	navigation support	
Spain	0~2 cm		navigation / caution
Italy	1~2 cm	navigation support	calling attention

3.3. 실험방법

피험자는 실험실에 도착 후 컨디션을 보고하고 실험의 복을 착용 후 의자에 앉는다. 휠체어 이용자는 휠체어에 앉아서 안정 20분 후 각 조건의 보도판을 10회 왕복하였고, 안대와 스틱 이용자는 의자에 앉아서 안정 20분 후 안대를 착용하고 스틱을 지참하여 각 조건의 보도판을 10회 왕복하였다. 실험순서는 Fig. 1과 같다. 보도판의 단차와 경사의 제시는 무작위로 진행하였고 휠체어 이용자의 경우 단차 6cm의 경우는 휠체어 사용이 불가능하여 데이터를 수집하지 않았다. 측정항목은 피부온도, 국소발한량(이마, 가슴), 심박수이다. 피부온도는 피부온도 측정기(LT-8A, Gram Co., 일본)를 사용하여 가슴에서 1분 간격으로 측정하였고 국소발한량은 발한량측정기(SRP7-2000, SKINOS, 일본)를 사용하여 이마와 가슴에서 1분 간격으로 측정하였다. 심박수는 심박수 측정기(RS400, Polar Electro, 핀란드)를 사용하여 1분 간격으로 측정하였다. 실험모습은 Fig. 2와 같다.

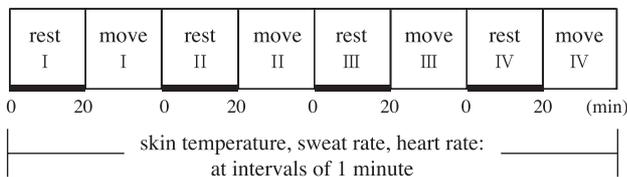


Fig. 1 Experimental Schedule



Wheelchair Users



A Stick and an Eyepatch Users

Fig. 2 Experimental Scene

3.4. 통계분석 방법

결과의 통계분석은 피실험자들이 충분한 안정을 취한 후(20분) 경사판과 단차에 따라 이동시(3~4분)에 측정

된 생체신호(피부온도, 심박수, 이마발한량, 가슴발한량)계측값을 사용하였다.

시각장애인(비장애인이 안대를 착용하여 참여한 5명 포함)과 지체장애인(비장애인이 휠체어를 사용한 5명 포함)의 경우는 각 10명으로 30개 이상의 표본수를 확보하여 모수검정을 실시하였다. 시각장애인 단차는 0cm, 6cm 2가지를 비교하므로 t검정 방법을 사용하였으며, 그 외에는 모두 3개 그룹 이상을 비교하게 되므로 ANOVA 분석을 실시하였다. ANOVA 분석에서 통계적으로 유의한 차이를 보인 그룹이 있으면 사후분석을 하게 되는데 Tukey방법을 사용하였다.

비장애인 5명의 경우는 30개 이상의 표본수가 확보되지 않고, 정규성을 따르지 않아 비모수검정 방법을 이용하였다. 시각장애인 단차는 2개그룹을 비교하는 것이므로 비모수검정 방법 중 Willcoxon rank sum test를 수행하였으며, 나머지는 3개 그룹 이상을 검증시에 사용하는 Kruskal-Wallis test를 사용하였다.

통계적 차이를 보이는 유의수준은 $p < .05$ 를 기본으로 하였으며, 일부 항목에 대해서는 $p < 0.1$ 를 적용하여 해석하였다. 자료수집 및 통계분석은 Excel과 SPSS(Ver 18.0)를 이용하였다.

4. 실험결과 및 해석

4.1. 기초통계

Table 2는 단차보도판과 경사보도판 사용에 따른 피험자의 인체생리학적 측정항목들(피부온도, 심박수, 이마발한량, 가슴발한량)의 평균과 표준편차를 나타낸다. 각 항목들의 평균값은 비장애인의 경우 경사도별, 단차별로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 휠체어 이용자와 안대 및 스틱이용자의 경우 단차가 높아질수록 심박수, 이마발한량, 가슴발한량의 평균값이 커지는 경향을 보였으며, 피부온도는 낮아지는 경향을 보였다. 이는 이마발한량과 가슴발한량의 증가로 인해 피부온도는 감소하는 경향인 것으로 보인다. 경사도의 경우는 높아질수록 심박수, 이마발한량, 가슴발한량의 평균값이 높아지며, 피부온도는 낮아지는 경향을 나타냈다. 휠체어 이용자, 안대 및 스틱이용자 모두 피부온도 항목에서는 측정값의 변화가 크지 않았다.

Table 2. Result of Physiological Responses for Each Step Height and Gradient according to Move Condition

Conditions	Height	0cm	1cm	3cm	6cm
		mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.
without disabilities	Chest skin temperature	31.36±1.32	-	-	31.27±1.41
	Heart rate	80.12±11.9	-	-	81.40±12.9
	Forehead sweat rate	0.054±0.02	-	-	0.048±0.02
	Chest sweat rate	0.222±0.14	-	-	0.227±0.09
a wheel chair users	chest skin temperature	33.78±1.33	33.72±1.16	33.38±1.21	-
	Heart rate	77.34±4.96	78.83±3.01	80.61±7.96	-
	Forehead sweat rate	0.05±0.03	0.06±0.03	0.07±0.03	-
	Chest sweat rate	0.31±0.16	0.34±0.11	0.34±0.12	-
an eye-patch users	chest skin temperature	33.45±1.07	-	-	33.31±1.18
	Heart rate	83.99±9.46	-	-	87.68±11.20
	Forehead sweat rate	0.05±0.03	-	-	0.09±0.07
	Chest sweat rate	0.31±0.31	-	-	0.44±0.36
Conditions	Slope	0%	5%	6.3%	8.3%
		mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.	mean±S.D.
without disabilities	chest skin temperature	31.36±1.32	31.39±0.71	31.39±0.73	31.39±0.94
	Heart rate	80.12±11.9	85.22±14.3	80.34±13.9	81.75±12.4
	Forehead sweat rate	0.054±0.02	0.078±0.04	0.047±0.02	0.043±0.02
	Chest sweat rate	0.222±0.14	0.252±0.12	0.223±0.09	0.195±0.08
a wheel chair	chest skin temperature	33.75±1.28	33.90±1.13	33.91±1.23	33.66±0.09
	Heart rate	76.37±5.46	78.72±6.89	80.35±7.21	80.14±6.51
	Forehead sweat rate	0.05±0.03	0.06±0.06	0.05±0.03	0.07±0.03
	Chest sweat rate	0.31±0.16	0.27±0.14	0.27±0.13	0.37±0.12
an eyepatch	chest skin temperature	33.54±1.17	32.94±1.12	32.82±1.11	33.01±1.01
	Heart rate	83.99±9.46	84.33±12.45	87.15±13.47	88.78±13.07
	Forehead sweat rate	0.05±0.03	0.05±0.02	0.06±0.03	0.07±0.03
	Chest sweat rate	0.19±0.13	0.34±0.12	0.34±0.16	0.38±0.16

*the average during from move start to the end, *p<.05

4.2. 집단구분 및 사후검증

휠체어 이용자와 안대 및 스틱 이용자가 단차보도판과 경사보도판 사용에 따른 인체생리학적 측정항목들

(피부온도, 심박수, 이마발한량, 가슴발한량)에 대해서 통계적으로 차이가 있는지 분산분석과 t검정을 통해서 검정하였다. 비장애인의 경우는 표본수 30개를 넘지 않아 비모수검정 방법인 Kruskal -Wallis test와 Willcoxon rank sum test로 검정하였다.

본연구에서 검정하고자 하는 가설은 다음과 같다.

- 귀무가설(H_0) : $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k$

(비교대상 모집단의 평균값은 동일하다.)

- 대립가설(H_1) : $\theta_i \neq \theta_j$

(적어도 한 쌍의 비교쌍에서 또는 비교대상 모집단 k개 중 적어도 2개 모집단의 평균값 사이에 차이가 있다.)

4.2.1. 경사보도판

경사보도판의 4가지 경사도에 따라서, 비장애인, 안대 및 스틱 이용자, 휠체어 사용자의 인체생리학적반응(피부온도, 심박수, 이마발한량, 가슴발한량)이 차이가 있는지 검증하였다. 4가지 경사도를 비교하기 때문에 ANOVA 분석을 수행하였으며, 비장애인의 경우 표본수가 30개를 넘지 않아 비모수 검정방법인 Kruskal-Wallis test를 수행하였다. 분석결과는 Table 3과 같다.

Table 3. ANOVA Results of between Step Gradient and Physiological Responses

Condition	Skin temp.		Forehead sweat rate		Chest sweat rate		Heart rate	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
without disabilities	0.171	0.982	0.183	0.757	1.483	0.686	0.142	0.767
a wheel chair users	0.427	0.734	1.873	0.137	4.439**	0.006	2.425*	0.068
an eyepatch users	2.87**	0.039	2.767**	0.044	11.249**	0.000	1.248	0.295

**p<0.05, *p<0.1

비장애인의 경우 4가지 인체생리학적반응 모두 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 즉, 경사도 0%, 5%, 6.3%, 8.3%에 따라서 인체생리학적반응 정도가 모두 같다는 귀무가설을 채택하였다.

휠체어 사용자의 경우 가슴발한량(sig. 0.006), 심박수(sig. 0.068) 항목에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며, 안대 및 스틱 이용자의 경우 피부온도(sig. 0.039), 이마발한량(sig. 0.044), 가슴발한량(sig. 0.000) 항목에서 유의한 차이를 나타냈다.

즉, 비장애인에 비해서 휠체어 사용자와 안대 및 스틱

이용자의 경우는 경사도에 따라서 인체생리학적반응에 차이를 보이는 것으로 나타났다.

ANOVA 분석결과 통계적으로 유의한 차이를 보이는 항목에 대해서는 어떤 그룹에서 차이를 보이는지 사후검정을 실시하였다. 사후검정 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Post-Hoc Test Results between each Gradient Condition

Conditions	Physiological responses	(I) case	(J) case	(I-J)	S.E.	F-value
A wheelchair users	Heart rate	0.0%	5.0%	-2.3507	1.6503	0.486
		0.0%	6.3%	-3.9807	1.6308	0.074*
		0.0%	8.3%	-3.7719	1.6608	0.110
		5.0%	6.3%	-1.6299	1.5383	0.715
		5.0%	8.3%	-1.4211	1.5700	0.802
		6.3%	8.3%	0.2088	1.5495	0.999
	Chest sweat rate	0.0%	5.0%	0.0306	0.0338	0.801
		0.0%	6.3%	0.0339	0.0336	0.743
		0.0%	8.3%	-0.0613	0.0342	0.282
		5.0%	6.3%	0.0032	0.0317	1.000
		5.0%	8.3%	-0.0919	0.0324	0.027**
		6.3%	8.3%	-0.0952	0.0322	0.019**
An eyepatch users	Skin temp.	0.0%	5.0%	0.5981	0.2623	0.108
		0.0%	6.3%	0.7261	0.2639	0.034**
		0.0%	8.3%	0.5293	0.2656	0.196
		5.0%	6.3%	0.1280	0.2546	0.958
		5.0%	8.3%	-0.0688	0.2564	0.993
		6.3%	8.3%	-0.1968	0.2580	0.871
	Forehead sweat rate	0.0%	5.0%	0.0036	0.0067	0.950
		0.0%	6.3%	-0.0092	0.0068	0.531
		0.0%	8.3%	-0.131	0.0068	0.223
		5.0%	6.3%	-0.0128	0.0066	0.210
		5.0%	8.3%	-0.0168	0.0066	0.058*
		6.3%	8.3%	-0.0039	0.0066	0.933
	Chest sweat rate	0.0%	5.0%	-0.1458	0.0338	0.000**
		0.0%	6.3%	-0.1412	0.0340	0.000**
		0.0%	8.3%	-0.1878	0.0343	0.000**
		5.0%	6.3%	0.0046	0.0328	0.999
		5.0%	8.3%	-0.0420	0.0331	0.584
		6.3%	8.3%	-0.0466	0.0333	0.502

**p<0.05, *p<0.1

휠체어 이용자의 경우, 심박수는 0.0%~6.3%(sig. 0.074), 가슴발한량은 5.0%~8.3%(sig. 0.027), 6.3%~8.3%(sig. 0.019)에서 차이가 있는 것으로 나타났다.

안대 및 스틱이용자의 경우, 피부온도는 0%~6.3%(sig. 0.034), 이마발한량은 5.0%~8.3%(sig. 0.058), 가슴발한

량은 0%~5.0%(sig. 0.000), 0%~6.3%(sig. 0.000), 0%~8.3%(sig. 0.000)에서 차이가 있는 것으로 나타났다. 피부온도는 경사도 0%보다 6.3%일 때 더 낮게 나타나 다른 생체생리학적반응과는 반대로 나타났는데, 이는 발한량 증가에 따라 피부온도가 낮아지는 현상이다.

4.2.2. 단차보도판

단차보도판의 높이에 따라서, 비장애인, 안대 및 스틱 이용자, 휠체어 사용자의 인체생리학적반응(피부온도, 심박수, 이마발한량, 가슴발한량)이 차이가 있는지 검증하였다. 안대 및 스틱이용자는 2가지 높이(0cm, 6cm)를 비교하기 때문에 t검정을 수행하였으며, 휠체어 사용자는 3가지 높이(0cm, 1cm, 3cm)를 비교하므로, ANOVA 분석을 수행하였다. 비장애인의 경우 표본수가 30개를 넘지 않고 2가지(0cm, 6cm) 높이에 대해서 비교하므로, 비모수 검정방법인 Willcoxon rank sum test를 수행하였다. 분석결과는 Table 5과 같다.

Table 5. ANOVA Results of between Step Gradient and Physiological Responses

Condition	Skin temp.		Forehead sweat rate		Chest sweat rate		Heart rate	
	W	Sig.	W	Sig.	W	Sig.	W	Sig.
	F		F		F		F	
	t		t		t		t	
Without disabilities (W-value)	50	0.713	61	0.211	45	1.000	40	0.719
A wheel chair users(F-value)	0.986	0.377	3.096*	0.052	0.490	0.615	2.016	0.139
An eyepatch users(t-Value)	-0.507	0.616	3.944**	0.000	2.899**	0.007	3.531**	0.001

**p<0.05, *p<0.1

비장애인의 경우 4가지 인체생리학적반응 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 즉, 단차높이 0cm, 6cm에 따라서 인체생리학적반응 정도가 모두 같다는 귀무가설을 채택하였다. 휠체어 사용자의 경우 이마발한량(sig. 0.052) 항목에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며, 안대 및 스틱이용자의 경우 이마발한량(sig. 0.000), 가슴발한량(sig. 0.007), 심박수(sig. 0.000) 항목에서 유의한 차이를 나타냈다. 즉, 비장애인에 비해서 휠체어 사용자와 안대 및 스틱이용자의 경우는 단차높이에 따라서 인체생리학적반응에 차이를 보이는 것으로 나타났다.

ANOVA 분석결과 통계적으로 유의한 차이를 보이는 항목에 대해서는 어떤 그룹에서 차이를 보이는지 사후

검정을 실시하였다. 이에 대한 사후검정 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Post-Hoc Test Results between Each Height Condition

Conditions	Physiological responses	(I)case	(J)case	(I-J)	S.E.	F-value
A wheel chair users	Forehead sweat rate	0cm	1cm	-0.0163	0.0074	0.076*
		0cm	3cm	-0.0176	0.0073	0.047**
		1cm	3cm	-0.0013	0.0071	0.982

**p<0.05, *p<0.1

휠체어 이용자의 경우, 이마발한량이 0.cm-1cm(sig. 0.076), 0cm-3cm(sig.0.047)에서 차이가 있는 것으로 나타났다.

4.3. 실험결과와 해석

휠체어 이용에 따른 이용자의 신체반응에 대한 연구는 주로 훈련, 재활과정에서 심박수와 피부온도를 중심으로 이루어져 왔는데, 남성 하반신 장애인을 대상으로 휠체어와 암 크래킹 운동에 따른 심박수 비교 측정에 관한 연구에서는, 휠체어 운동 중의 심박수가 유의하게 높게 나타났다(Gass GC et al., 1984), 일반 여성을 대상으로 한 연구에서도 암크래킹보다 휠체어 운동 중의 심박수가 유의하게 높게 나타났다(Sedlock DA et al., 1990). 또한 휠체어 운동선수를 대상으로 휠체어와 암 크래킹 운동에 따른 피부온도를 비교한 결과에서는 휠체어 운동 중의 위팔 피부온도가 유의하게 낮게 나타났다(Price MJ et al., 1990). 이와 같이 휠체어 이용자는 휠체어 이동만으로도 심박수가 증가하고 피부온도가 낮아지는데 특히, 도로구간을 휠체어로 이동시에는 끊임없이 보도단차와 경사에 노출된다. 이때, 이용자는 이동의 심리적 부담과 신체적 부담이 동시에 동반되는데 Tsuji(2004)는 휠체어의 이동부담도 추정에 관한 실험과 계측을 실시하여 유효측정항목으로 심박수, 호흡, 근전도를 거론하였다. 이는 보도단차 1cm부터 휠체어 이용자의 심박수가 높게, 발한으로 피부온도가 낮게 나타난 본 실험의 결과와도 유사한 결과를 보인다. 휠체어 사용자는 지속적인 팔 사용으로 이용자의 정신적, 신체적 부담을 반영하는 것으로 판단할 수 있다. 또한 경사보도판 이용에 따른 휠체어 이용자의 소요 힘을 측정된 결과에서는 보도판의 경사가 커질수록 필요한 힘도 함께 커지는 것으로 나타났다. 즉, 경사 5%의 경우는 0.23W/kg, 6.7%의 경우는 0.24W/kg, 8.3%의 경우는 0.26W/kg이 소요된다(Hashizume T et al., 2015). 이는 보도 이용 시 불편사

향에 대한 설문조사 결과에서도 보행 장애물 및 보도 턱으로 인한 불편이 36%로 나타나(박준태 외, 2012) 본 실험의 결과를 뒷받침하고 있다.

이는 보도단차 6cm를 기준으로 안대와 스틱 이용자의 심박수가 높게 나타난 본 실험의 결과와도 관계가 있는 것으로 시각 장애인의 경우 시야제약으로 인한 불안감이 정신적 부담감으로 작용하여 심박수를 증가시키는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 기존연구(Takahiro H et al., 2013) 결과와 유사한 것으로 나타났다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 비장애인과 장애인 모두 실험에 참가하여, 보도경사(0%, 5%, 6.3%, 8.3%)와 보도단차(0cm, 1cm, 3cm, 6cm)에 대해 인체생리학적 반응항목(피부 온도, 가슴발한량, 이마발한량, 심박수)에 대한 차이를 도출하였다. 비장애인은 보도경사와 단차에 따라 인체생리학적 반응이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그만큼 비장애인은 보행에 있어서 인체생리학적 불편함을 크게 느끼지 않는다고 할 수 있다.

경사보도판의 경우, 휠체어 사용자의 경우 6.3%일 때 심박수가 증가하는 것으로 나타났으며, 안대 및 스틱 이용자의 경우는 5.0%일 때 가슴발한량이 증가하는 것으로 나타났다. 종합적으로 보면 보도의 경사도는 5% 미만으로 하는 것이 인체생리학적 반응의 변화를 주지 않는 것으로 판단된다.

단차보도판의 경우, 휠체어 사용자의 경우 0cm, 1cm, 3cm를 비교했을 때 1cm부터 이마발한량이 증가하는 것으로 나타났으며, 안대 및 스틱이용자의 경우는 0cm와 6cm를 비교했을 때 이마발한량, 가슴발한량, 심박수 모두 6cm가 증가하는 것으로 나타났다. 종합하면 휠체어 사용자의 경우 보도의 단차 0cm 기준으로 1cm부터 차이를 보여 결론적으로 0cm로 설치하는 것이 인체생리학적 불편함이 없는 것으로 판단된다. 안대 및 스틱이용자의 경우도 0cm, 6cm 두 가지만 비교했을 때 6cm에서 인체생리학적 반응이 차이가 있기 때문에 0cm가 적합한 것으로 판단된다.

본 연구 진행에 있어서 몇가지 한계점들이 있었다. 첫 번째로 비장애인의 경우 5명, 휠체어 사용자, 안대 및 스틱이용자 각 10명 밖에 실험에 참가하지 못하였다. 특히, 실제 실험에 참가한 장애인들의 경우 그 등급도 다양하기 때문에 모든 장애인들에 대한 결과라고 할 수는 없다. 피실험자의 참여자를 좀 더 보강하여 통계

적인 신뢰성을 더욱 확보할 필요는 있을 것으로 판단된다. 다음으로 휠체어 이용자가 보도단차를 이용 시 휠체어를 뒤로 이동하는 방법을 허용하지 않았다. 휠체어 이용자의 실생활에서는 휠체어를 뒤로 진행하여 보도단차를 이용하는 경우가 보고되고 있으나 이 또한 실험 중 발생할 수 있는 안전에 대한 확보가 이루어지지 않았기 때문이다. 이와 같이 제한된 범위 내에서 연구가 진행되었으나, 본 연구에서는 가슴 피부온도, 발한량, 심박수 등 인체생리학적반응을 평가항목으로 하여, 휠체어 이용자와 안대 및 스틱이용자를 대상으로 실험을 실시한 의미있는 시도라고 판단된다. 인체생리학적반응이 평가항목으로 유의미한 결과를 보임으로써, 측정항목의 타당성을 확인하였다. 향후 상기 측정항목을 활용하여 데이터를 축적해 간다면 상대적으로 저비용, 단시간으로 재현성 있는 측정항목 산출이 가능할 것으로 기대된다. 한계점들에 대해서 좀 더 보완하면 보도판의 단차와 경사에 따른 휠체어 및 안대와 스틱이용자의 신체적 부담감의 객관적, 정량적인 데이터가 확보될 수 있다. 이를 통해 휠체어, 스틱 등 보행 보조 장비를 이용하는 이용자에게는 신체, 생리적 부담이 가중되어 신체적, 심리적 스트레스의 발생 가능성이 매우 높다고 판단할 수 있다. 국내에서는 휠체어 이용자와 시각 장애인에 대한 보행 안전체계 확립이 정립되지 않은 상황을 고려하였을 때 본 연구 결과는 이들의 설계기준을 정립하기 위한 실증적 실험 방법을 시도하여 검증한 연구라고 할 수 있다. 즉, 보도설계에 있어 현재, 법적 기준 보도단차 2cm, 보도횡단 기울기 1/25를 일률적으로 적용하기 보다는 교통약자의 유형별로 차등적용이 필요하다. 본 실험의 결과는 휠체어 이용자 및 시각장애인의 이동환경을 개선하고 신체적 스트레스를 줄여 그들 삶의 질 향상에도 도움이 될 것으로 생각된다. 본 실험은 실험실 환경에서 진행하였으나 향후, 실제 보도환경 조건을 추가하여 진행할 필요가 있으며 신체적 변화뿐만 아니라 심리적 변화 데이터의 확보도 필요하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다(과제 ID-79209).

REFERENCES

- BEHLING, K. (2008). "Anforderungen an die Profile und den Einsatz von Bodenindikatoren im öffentlichen Raum", *GFUV-Workshop Bodenindikatoren*, Oktober 2008, Berlin, pp.9-11.
- Boenke, D., Grossmann, H., Piazzolla, A. (2014), *Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhoehe und Bodenindikatoren an Ueberquerungsstellen*, BAST.
- Boenke, D., Gerlach, J., Ronsch-Hasselhorn, B., Conrad, V. (2010), *Empfehlungen zur Mobilitätssicherung älterer Menschen im Straßenraum. Leitfaden Mobilität und Verkehr*, Band 01. Eugen-Otto-Butz-Stiftung (Hrsg.). Kön, TÜV Media.
- Gass, G. C., Camp, E. M. (1984). "The maximum physiological responses during incremental wheelchair and arm cranking exercise in male paraplegics", *Med Sci Sports Exerc.*, Vol. 16(4), pp.355-359.
- Hashizume, T., Kitagawa, H, Lee, H., Ueda, H., Yoneda, I., Booka, M. (2015). "Biomechanics and Physiology for Propelling Wheelchair Uphill slope", *Stud Health Technol Inform.*, Vol. 217, pp.447-454.
- GROSSMANN, H. (2007). "Barrierefreie Umweltgestaltung für seh- und hörgeschädigte Menschen - Probleme, Standards, Entwicklungen. In: LEIDNER, R., NEUMANN, P., REBSTOCK, M. (Hrsg.): Von Barrierefreiheit zum Design für Alle - Erfahrungen aus Forschung und Praxis", *Arbeitsberichte der Arbeitsgemeinschaft Angewandte Geographie Münster e. V.*, S. pp.73-83, Münster.
- Mühr, W. (2010), "Gestaltung barrierefreier Fußgänger-Querungsanlagen nach den Prinzipien design for all", *Präsentation zum Referat, Freie Universität Bozen (Veranst.): Tagung "Design for All mobile 2010" - Städtische Mobilität für Alle*, 6.10.2010, Fulda.
- Okayama Prefectural University, (2001, 2002). *Influence on psychological / physiological stress response and walking accompanied by visually handicapped individual walking*.
- Park J.T., Han D.H., Kim, (2012), "Implication of Transport Facilities for Vulnerable Pedestrians Utilizing Interview & Questionnaire Survey", *Transportation Technology and Policy*, Vol. 9(1), pp.57-66.
- Price, M. J., Campbell, I. G. (1999). "Thermoregulatory and physiological responses of wheelchair athletes to prolonged arm crank and wheelchair exercise", *Int J Sports Med.*, Oct, Vol. 20(7), pp.457-463.
- REBSTOCK, M. (2007). "Verkehrsraumgestaltung für Alle! Auch für Fußgänger?!. In: LEIDNER, R., NEUMANN, P., REBSTOCK, M. (Hrsg.): Von Barrierefreiheit zum Design für Alle - Erfahrungen aus Forschung und Praxis", *Arbeitsberichte der Arbeitsgemeinschaft Angewandte Geografie Münster e. V.*, Nr. 38, S. pp.59-72, Münster.
- Sedlock, D. A., Knowlton, R. G., Fitzgerald, P. I. (1990). "Circulatory and metabolic responses of women to arm crank and wheelchair ergometry", *Arch Phys Med Rehabil*, Vol. 71(2), pp.97-100.
- Takahiro, H., Yukiko, N., Masahito, I., Yoshihiro, K. (2013). "Effects of Visual Field Limited Driving on Psychological and Physiological Aspects of Subjects Playing Driving

Stimulation”, *Kawasaki Medical Welfare Journal*, Vol. 22(2), pp.208-212.

Tsuji, H., Mikiko, K., Takayuki, M., Narihiro, N. (2004).
“Experiment and measurement on estimation of movement

burden of wheelchair” , *Aichi Shukutoku University contemporary sociological studies (Aichi Shukutoku University, Faculty of Studies in contemporary society)*, Vol. 9, pp.123-135.