보행자 속도 변경 행태의 영향요인 분석

한명주¹ · 정동재^{2*} · 이영인³ · 신성일⁴

¹경기연구원 공공투자관리센터 투자분석위원, ²서울대학교 환경대학원 박사과정, ³서울대학교 환경대학원 교수,

⁴서울연구원 교통시스템연구실 연구위원

Analysis of Affecting Factors to Velocity Changes of Pedestrian

HAN, Myungjoo¹ · JUNG, Dongjae^{2*} · LEE, Young-lhn³ · SHIN, Seongil⁴

¹Research Fellow, Gyeonggi Public investment management center, Gyeonggi Research Institute, Gyeonggi 16207, Korea

²Ph.D Student, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³Professor, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

⁴Research Fellow, Dept. of Transportation System Research, Seoul Institute, Seoul 06756, Korea

*Corresponding author: jdg0418@snu.ac.kr

Abstract

As interest in quality of life improvements and sustainable development has increased, societal need for walking expediency promotion is rising. In order to effectively promote walking related projects and policies, an understanding of pedestrian behavior must take precedence. However, information including, among others, the types of walking environments in which pedestrians feel uncomfortable and thus alter their existing walking speed and direction, and the types of pedestrian attribute groups that are particularly sensitive to walking environments is still insufficient. In this study, we analyze conditions under which the pedestrian changes their existing walking speed and direction. We also examine whether the tendency of this selection is different between pedestrian attribute groups. In order to achieve this, the research is conducted using a stated preference survey based on discrete choice experiments, asking for a preference between a maintenance or change in walking velocity in a virtual walking environment. Influences on changes in walking velocity is determined using the binary logit model for the following factors: (1) the social walking environment, including attributes such as distance, angle, relative speed, walking density with respect to another pedestrian or obstacle, (2) the physical environment regarding the width of the walking space and its slope, and (3) individual pedestrian attributes such as age, gender, trip purpose, and trip frequency. The result show that closer distance to the obstacle or other pedestrian, obstacles positioned in front than to the side, slower relative speeds of the obstacle or other pedestrians and narrower width of the walking space have statistical significance in affecting the change in walking speed and direction. Other findings from this research, we found that older people have lower likelihood of changing their walking speed and direction. Compared to non-business purpose trip pedestrians, the likelihood of pedestrians on business-purpose trips changing their walking velocity was higher. There was also a clear difference between genders. On the other hand, there was no statistical significance between differences in selection tendency of walking velocity according to congestion level, slope, and pass frequency in the walking space. With these findings, we first provide insights on how to evaluate walking policy effects and service levels for individual pedestrians from a micro-level perspective. For example, the possibility that a pedestrian changes velocity or the expected number of changes in velocity can be taken into consideration as an evaluation index. Secondly, the fact that results of this research can be utilized as basic data for the development of a walking behavior simulator at the micro-level will increase its importance and utilization factor in the future.

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.5, pp.360-370, October 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.5.360>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 23 July 2018

Revised: 20 September 2018

Accepted: 12 October 2018

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Keywords: binary logit model, discrete choice experiments, pedestrian, SP survey, walking behavior

초록

삶의 질 향상과 지속가능 발전에 대한 관심이 커지면서 보행 편의 증진에 대한 사회 요구가 높아지고 있다. 보행 관련 사업 및 정책을 효과적으로 추진하기 위해서는 보행자 행태에 대한 이해가 우선되어야 한다. 그러나 보행자가 어떤 보행환경에서 불편함을 느끼고 기존 보행 속력과 방향을 변경하는지, 어떤 보행자 특성 그룹이 보행환경에 민감한지 등에 관한 정보는 여전히 부족하다. 이 연구는 보행자가 기존의 보행 속력 또는 방향을 어떤 조건에서 바꾸려 하는지를 분석하였다. 또한 이 선택의 경향이 보행자 특성 그룹간에 차이가 있는지를 검토하였다. 이를 위해 이 연구는 보행자에게 가상적인 보행 환경을 제시하고 보행 속도를 유지 또는 변경할 것인지를 묻는 이산선택실험 기반의 진술선호 조사를 실시하였다. 장애물 또는 다른 보행자와 거리, 각도, 상대 속력, 보행밀도를 포함하는 사회적 보행 환경과 보행공간의 폭, 경사와 같은 물리적 보행환경, 연령, 성별, 통행목적, 통행빈도와 같은 보행자 특성이 보행속도 변경 행태에 미치는 영향은 이항로짓 모형으로 규명하였다. 그 결과 장애물 또는 다른 보행자와 거리가 가까울수록, 측면보다 정면에 장애물이 있을수록, 장애물 또는 다른 보행자의 상대속력이 느릴수록, 보행공간의 폭이 좁을수록 보행 속력 또는 방향을 변경하는 선택 경향이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다. 또한 고령자일수록 보행 속력 또는 방향의 변경 가능성은 줄었다. 비업무목적 보행자에 비해 업무목적 보행자가 보행속도를 변경할 가능성이 높았다. 성별에 따라서도 뚜렷한 차이가 있었다. 반면 보행공간의 혼잡수준, 경사, 통행빈도에 따른 보행 속도 선택 경향의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 이 연구는 첫째, 미시적 관점으로 개별 보행자 단위의 보행정책 효과 또는 서비스수준을 평가하는 방안에 관한 시사점을 제공한다. 예컨대 보행자가 속도를 변경할 가능성이나 기대 횡수가 평가지표로 고려될 수 있다. 둘째, 이 연구의 결과는 미시적 관점의 보행행태 시뮬레이터 개발에 기초 자료로 활용될 수 있다는 점에서 앞으로 그 중요성과 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

주요어: 이항로짓모형, 이산선택실험, 보행자, 진술선호조사, 보행행태

서론

삶의 질 향상과 지속가능 발전에 대한 관심이 커지면서 보행 편의 증진에 대한 사회 요구가 높아지고 있다. 보행은 사회, 경제 활동의 근간이 되는 교통활동이자 대표적인 비동력, 무탄소 교통수단이기 때문이다. 2009년과 2012년에는 「지속가능 교통물류 발전법」과 「보행안전 및 편의증진에 관한 법률」도 제정되었다. 이와 함께 보행환경 실태조사, 개선 계획 수립, 개선 사업 시행 등 각종 보행 정책의 제도적 기반이 마련되었고 전국에서 보행환경 개선 사업이 추진되고 있다.

보행 정책을 효과적으로 추진하기 위해서는 우선 보행자의 행태를 이해해야 한다. 보행 행태를 파악하기 위한 초기 연구에서는 연령, 성별(Fruin, 1972; Bowman and Vecellio, 1994; Knoblauch et al., 1996; Polus et al., 1983; Tarawneh, 2001), 통행목적, 소지품 유무, 유아동반 여부(Finnis and Walton, 2008)와 보행속력의 상관관계를 분석하는 등 보행자 특성 그룹간 보행속력 차이에 초점을 두고 있다. 이후 연구에서는 보행자 주변 사람의 속도(Ha et al., 2013), 주변 사람 및 장애물과의 거리(Ha et al., 2013; Antonini et al., 2006; Hoogendoorn, 2001; Helbing, 1992), 보행자가 주변 사람과 함께 이동하려는 특성(Ha et al., 2013), 보행자 수(Hoogendoorn, 2001), 주로 쓰는 손(Jung and Jung, 2007)에 따라 보행속력과 방향이 결정되는 것을 보였다.

그러나 보행자가 어떤 보행환경에서 불편함을 느끼고 기존 보행속력과 방향을 변경하는지, 어떤 보행자 특성 그룹이 보행환경에 민감한지 등에 관한 정보는 여전히 부족하다. 앞서 검토하였듯이 기존 연구에서는 보행자의 속력이 어느 수준인지, 보행자가 속력과 방향을 어떻게 바꾸는지에 관심이 많았다. 또한 보행자의 특성, 공간 특성, 장애물 및 다른 보행자와의 상호작용 등의 요인이 포괄적으로 검토되지 않았다. 어느 보행자 특성 그룹이 어떤 보행 환경

에서 기존 보행행태를 변경하는지에 관한 정보는 보행 환경 개선 요소의 우선순위에 관한 시사점을 제공하고, 미시적 관점의 보행 행태 시뮬레이터 개발에 기초 자료로 활용될 수 있다는 점에서 앞으로 그 중요성과 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

이 연구는 보행자가 기존의 보행 속도 또는 방향(이하 속도)을 어떤 조건에서 바꾸려 하는지를 분석한다. 특히 보행자가 속도를 변경하는 것은 보행자가 보행 공간 특성, 장애물과 다른 보행자의 위치 및 상대속력 등을 포괄적으로 고려하여 자신의 효용을 높이는 선택 과정의 결과라는 점에 주목한다. 또한 이 선택의 경향이 보행자 특성 그룹간에 차이가 있는지를 검토한다. 이를 위해 이 연구는 진술선호(stated preference, SP) 조사를 실시하고 이항로짓 모형을 구축한다. 먼저 2장에서 보행자 특성과 보행 환경에 따른 보행 속도 변화 여부를 묻는 진술선호 조사를 실시한다. 3장에서는 설문조사로 수집된 자료를 활용해 이항로짓 모형을 추정하고, 보행속도 선택에 영향을 미치는 요인을 규명한다. 이어서 4장에서는 미시적 관점의 보행정책 평가와 보행행태 시뮬레이터 개발에서 이 연구가 가지는 의의에 대해 토론한다. 마지막으로 5장은 연구의 내용을 요약하고 향후 연구 방향을 정리한다.

진술선호 조사

1. 이산 선택 실험

이 연구는 보행자가 어떤 상황에서 보행 속도를 변경하는지에 관해 분석한다. 이를 위해 보행자에게 가상의 보행 환경을 제시하고 보행 속도를 유지 또는 변경할 것인지를 묻는 진술선호 조사를 실시한다. 진술선호 조사에는 세 가지 기법, 조건부 가치추정(contingent valuation), 컨조인트 분석(conjoint analysis), 이산 선택 실험(discrete choice experiments)이 주로 쓰인다(Ortúzar and Willumsen, 2011).

이 연구는 이산 선택 실험법으로 분석한다. 이산 선택 실험법은 컨조인트 분석법이 보완된 방식이다(Louviere and Lancsar, 2009). 이산 선택 실험법과 컨조인트 분석법은 응답자에게 가상의 대안 집합(alternatives)과 각 대안을 구성하는 속성들(attributes)을 제시하고 대안에 대한 선호를 묻는 방식으로, 대안에 대한 선호와 속성의 관계를 분석할 수 있는 점이 공통점이다. 두 방식의 차이는, 이산 선택 실험법은 응답자에게 대안 집합 중에서 가장 선호하는 대안 하나를 선택하게 하는 반면에 컨조인트 분석법은 대안에 대한 선호를 평점 또는 순위로 응답하게 하는 점이다. 그런데 컨조인트 분석법의 응답 방식은 사람이 실제로 의사결정하는 과정과 부합하지 않고, 설령 각 대안에 대해 평점 또는 순위를 매기며 의사결정하더라도 이 평점 또는 순위를 종속변수로 쓰는 것이 이론적으로 적절하지 않다는 지적이 있다(Louviere and Lancsar, 2009). 한편, 조건부 가치추정법은 대안의 속성을 고려하지 않고 대안 전체를 평가하는 기법으로, 대안의 속성 변화에 따른 응답자의 선호 차이를 파악하기 어렵다(Chang et al., 2017; Ortúzar and Willumsen, 2011). 따라서 이 연구는 사람의 의사결정 행태와 일치하고, 종속변수의 통계적 처리가 수월하며, 보행 환경 속성이 보행 속도 변경 여부에 미치는 영향을 평가할 수 있는 이산 선택 실험법을 적용한다.

2. 보행 환경 속성

설문 응답자에게 제시되는 가상의 보행 환경은 보행자 선택에 영향을 미칠 것으로 판단되는 다양한 보행 환경 속성의 조합이다. 이 연구는 보행 환경 속성을 결정하기 위해서 관련 연구를 검토하였다. 서론에서 언급한 바와 같이 보행자가 어떤 보행환경에서 불편함을 느끼고 기존 보행속력과 방향을 변경하는지에 관한 정보가 부족하여 보행 속력과 방향 변경의 영향 요인에 관한 연구(Antonini et al., 2006; Hoogendoorn, 2001; Helbing, 1992; Moon and Sung, 2006; Jung and Jung, 2007)뿐만 아니라 긴급 상황에서 보행 대피 행태 연구(Ha et al., 2013), 보행 경로 선택 행태 연구(Cheung and Lam, 1998) 등 보행행태와 관련된 선행 연구를 포괄적으로 고찰하였다.

그 결과 선행연구에서 발견되는 주요 보행 환경 속성을 Table 1과 같이 사회적 보행 환경 속성과 물리적 보행 환경 속성으로 구분하였다. 또한 주요 보행 환경 속성은 장애물 또는 다른 보행자와 거리(Ha et al., 2013; Antonini et

al., 2006; Hoogendoorn, 2001), 각도(Ha et al., 2013; Antonini et al., 2006; Helbing, 1992), 상대 속력, 보행밀도(Hoogendoorn, 2001), 보행공간의 폭, 경사(Cheung and Lam, 1998) 등과 같이 보행속력과 방향 변경에 영향을 미칠 것으로 판단되는 속성을 선정하였다. 사회적 보행 환경 속성은 장애물 또는 다른 보행자와 거리, 각도, 상대 속력, 보행밀도를 포함하고 물리적 보행 환경 속성은 보행공간의 폭, 경사를 포함한다. 또한 총 6개 속성은 각각 대비되는 2개의 수준을 갖는 것으로 설정하였다.

Table 1. Attribute and attribute levels

Attributes		Level 1	Level 2
Social walking environment	Distance with respect to another pedestrian/obstacle	Close	Far
	Angle	On the front	On the side
	Relative speed	Closer	Further
	Density	Low	High
Physical walking environment	Width of the walking space	Narrow	Far
	Slope	None	Yes

보행환경 속성과 수준 수(6개 속성, 2개 수준)를 조합하면 설문 응답자에게 최대 2^6 개의 가상의 상황(속성 조합)이 제시될 수 있다. 이 연구는 전체 상황 중에서 일부 상황만을 질문하는 방식, 즉 부분 요인 설계법(fractional factorial design)으로 설문을 구성하였다. 2^6 개의 모든 상황에 대해 질문하면 보행 환경 속성의 주 효과와 속성간 상호 작용 효과를 모두 고려할 수 있는 장점이 있으나, 질문의 양이 많아져서 조사에 시간과 비용이 많이 소요되고, 응답자의 피로도가 높아져 조사의 신뢰도가 낮아질 수 있기 때문이다. 또한 일부 상황은 사실상 질문할 필요가 없는 우월 대안(dominated alternatives)에 관한 것이다.

이 연구는 부분 요인 설계법 중에서 가장 일반적으로 쓰이는 방법인 직교 설계법(orthogonal design)으로 설문에 포함되는 가상 상황을 선정하였다. 직교 설계법은 속성간 상관성이 0이고, 속성간 상충현상(trade offs)을 효율적으로 검토할 수 있는 속성 조합을 추출하는 방식이다(Rose and Bliemer, 2009). 직교 설계법의 적용 과정은 관련 자료(Rose and Bliemer, 2009; Kim and Cho, 2006 등)에서 부가 설명과 함께 정리가 되어 있으며, SPSS, SAS 등의 분석통계로 간단히 적용할 수 있다. Table 2는 직교설계법으로 선정된 8개의 가상 상황이다.

Table 2. Orthogonal design

Choice task	Distance	Angle	Relative speed	Width	Density	Slope
1	Far	On the side	Further	Narrow	Low	Yes
2	Close	On the side	Closer	Far	Low	Yes
3	Close	On the front	Further	Narrow	High	Yes
4	Far	On the side	Closer	Narrow	High	None
5	Close	On the front	Closer	Narrow	Low	None
6	Close	On the side	Further	Far	High	None
7	Far	On the front	Closer	Far	High	Yes
8	Far	On the front	Further	Far	Low	None

3. 보행자 특성

보행속도 변경에 대한 보행자의 선택 경향이 보행자 특성에 따라 차이가 있는지를 분석하기 위하여 보행자 특성도 조사한다. 이 연구에서는 연령, 성별, 통행목적, 통행빈도를 보행자 특성 설문 항목에 포함한다. 이러한 보행자 특성에 따라 보행행태가 다르다는 사실은 관련연구에서 보고된 바 있다. 예컨대 여성보다 남성의 보행속력이, 고령자보다 비고령자의 보행속력이 빠른 것으로 나타난다(Dammen, 2004; Fruin, 1972; Polus et al., 1983; Bowman and Vecellio, 1994; Knoblauch et al., 1996; Tarawneh, 2001). 또한 통근 중인 보행자가 그렇지 않은 보행자에 비

해 보행속력이 빠른 것도 조사된 바 있다(Finnis and Walton, 2008). 통행빈도는 보행 경로 선택에 영향을 준다(Song and Song, 2005). 보행자의 연령, 성별, 통행목적, 통행빈도에 따라 보행속력 또는 방향을 변경 또는 유지하는 선택 경향에도 차이가 있는지는 이 연구를 통해서 살펴본다.

4. 설문조사

설문조사는 2015년 9월 15일부터 9월 30일까지 2주간 1대1 대인면접 방식으로 시행하였다. 00대학교의 대학원생과 그 가족을 대상으로 조사하였으며, 연령대(20대, 30대, 40대, 50대 이상)별 25%씩, 성(남자, 여자)별 50%씩 표본을 할당하였다. 설문문항은 8가지 가상의 보행환경(Table 2 참조)에서 기존의 보행 속력 또는 방향을 변경할 것 인지를 묻는 질문과 응답자의 특성을 묻는 질문으로 구성되었다. 가상의 보행환경에 대한 설명은 그림과 함께 제시되어서 응답자의 이해를 돕는다. Figure 1은 8가지 문항 중에서 한 문항을 예시로 나타낸 것이다.

Q. In the given virtual situation, please respond with the wanted change for current pedestrian's speed or direction.

[Virtual situation]

- You are waking on a stair where width is narrow and it's not too congested.
- You are far away from other pedestrian/obstacle.
- On the side, there is a pedestrian/obstacle.
- They/These are moving further away from you.

There is no possibility in changing your speed or direction.	There is low possibility in changing your speed or direction.	Don't know	There is some possibility in changing your speed or direction.	There is high possibility in changing your speed or direction.
Maintain at current speed or direction ☐			Change at current speed or direction ☐	

Figure 1. Example of survey

설문조사로 표본크기 640개(80명)의 진술선호 응답을 수집하였다. 설문조사 결과를 요약하면 Table 3, 4와 같다. 먼저 Table 3은 응답자의 연령, 성별, 통행목적, 통행빈도 특성을 정리한 것이다. 응답자의 통행목적은 출퇴근, 등하교, 업무 목적 비율이 전체의 57.5%, 쇼핑, 여가 및 오락 등의 목적은 42.5%로 나타난다. 통행빈도는 전체 응답자의 76.3%가 주 3회 이상, 20.0%가 주 1회 이상 3회 미만, 3.8%가 주 1회 미만이다.

Table 4는 8개의 가상 상황에 대한 진술선호 응답 결과를 요약한 것이다. 가상 상황에 따라 기존의 보행속도를 변경 또는 유지하는 선호 비율이 다르게 나타난다. 가상 상황 8의 경우 기존의 보행 속력 또는 방향을 변경한다고 응답한 비율은 2.5%이다. 반면 가상 상황 5의 경우 93.8%가 보행 속력 또는 방향을 변경할 것이라고 응답하였다.

Table 3. Socioeconomic characteristics of samples

		Frequency	Percentage
Gender	Male	40	50.0
	Female	40	50.0
Age*	20s	20	25.0
	30s	20	25.0
	40s	20	25.0
	50s	10	12.5
	60s	10	12.5
Trip purpose	Business	46	57.5
	Non-business	34	42.5
Trip frequency	7/week	31	38.8
	3-6/week	30	37.5
	1-2/week	16	20.0
	0/week	3	3.8

note: *Age is continuous variable, mean: 40.6, standard deviation: 13.0, minimum: 21, maximum: 67.

Table 4. Results of stated preference survey

Choice task	Preference in change velocity		Ratio of wanting change(%)
	Maintain	Change	
1	73	7	8.8
2	29	51	63.8
3	44	36	45.0
4	63	17	21.3
5	5	75	93.8
6	58	22	27.5
7	53	27	33.8
8	78	2	2.5

모형 추정

1. 모형 설정

응답자는 장애물과 거리, 장애물이 위치한 각도, 장애물의 상대속력, 보행공간의 밀도, 보행공간의 폭, 경사유무 등과 같은 보행 환경을 고려하여 두 대안 즉, 보행 속력 또는 방향을 유지하는 대안 i 와 변경하는 대안 j 중에서 자신의 효용 U 을 극대화하는 대안을 선택한다. 이를 확률 효용 모형(random utility model)의 개념으로 정리하면, 보행자 n 이 대안 집합 $A_n = \{i, j\}$ 중에서 대안 j 를 선택할 확률은 Equation 1과 같다.

$$P(j|A_n) = \Pr(U_{jn} \geq U_{in}, \quad \forall i \in A_n). \quad (1)$$

여기서, 보행자 n 이 대안 j 를 선택할 때의 효용 U_{jn} 은 결정적 효용 V_{jn} 과 확률적 효용 ϵ_{jn} 으로 구성된다. 이 연구에서는 결정적 효용 V_{jn} 을 사회적, 물리적 보행 환경 X_{jn} 과 보행자 특성 Z_n 의 함수로 표현한다. 즉, Equation 2와 같다.

$$U_{jn} = V_{jn}(X, Z) + \epsilon_{jn}. \quad (2)$$

따라서 Equation 1은 Equation 3과 같이 정리할 수 있다.

$$P_n(j) = \Pr(\epsilon_{in} - \epsilon_{jn} \leq V_{jn} - V_{in}). \quad (3)$$

이 연구는 $\varepsilon_n = \varepsilon_{in} - \varepsilon_{jn}$ 가 로지스틱 분포(즉, ε_{in} 과 ε_{jn} 는 겐벨 분포)를 따르는 것으로 가정하고, 이항 로짓 모형(binary logit model)을 추정한다.

2. 변수 설정

Table 5는 이항 로짓 모형에 포함된 변수를 정리한 것이다. 사회적, 물리적 보행 환경 변수 6개($X_1, \dots, X_6$)와 보행자 특성 변수 4개($Z_1, \dots, Z_4$), 대안 j 의 대안특성 상수(alternative-specific constant, C)가 대안 j 의 효용함수에 포함되었다. 보행속도를 유지하는 대안 i 에 대한 보행속도를 변경하는 대안 j 의 상대적 효용이 주된 관심사이기 때문이다. 대안 j 의 대안특성 변수(alternative-specific variable)로 고려된 10개의 변수 중에서 연령(Z_1)을 제외한 9개 변수는 모두 더미 변수(dummy variable)이다. 또한, 각 변수의 파라미터는 모두 선형으로 가정하였다.

Table 5. Specification of the binary logit model

Variables	Alternative j
Distance (X_1)	if close 1; if far 0
Angle (X_2)	if on the front 1; if on the side 0
Relative speed (X_3)	if closer 1; if further 0
Density (X_4)	if low 1; if high 0
Width (X_5)	if narrow 1; if far 0
Slope (X_6)	if none 1; if yes 0
Age (Z_1)	continuous
Gender (Z_2)	if male 1; if female 0
Trip purpose (Z_3)	if business 1; if non-business 0
Trip frequency (Z_4)	if 0/week 0; if 1-2/week 1; if 3-6/week 2; if 7/week 3
Alternative specific constants (C)	1

3. 추정 결과

이항 로짓 모형을 최대 우도 추정법(maximum likelihood estimation)으로 추정한 결과는 Table 6과 같다. 먼저 우도비 검정 통계량(Likelihood ratio test statistic) $-2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})]$ 는 259.006으로 유의수준 1%에서 귀무가설을 기각하여 모형의 전반적인 적합성을 뒷받침한다. 또한 모형의 적합도(goodness-of fit index)를 나타내는 $\rho^2 = 1 - (\mathcal{L}(\hat{\beta}) / \mathcal{L}(0))$ 는 0.307, 적중률(hit ratio)은 평균 79.5%로 양호한 수준이다.

사회적, 물리적 보행 환경에 따른 보행속도 변경의 선호 차이는 $X_1, \dots, X_6$ 의 계수 추정치로 확인할 수 있다. 장애물 또는 다른 보행자와 거리(X_1), 장애물 또는 다른 보행자와 각도(X_2), 장애물 또는 다른 보행자의 상대속력(X_3)의 계수는 각각 2.426, 0.830, 2.045로 양(+)의 값으로 추정되었으며 유의수준 1%에서 유의한 것으로 나타난다. 또한 보행공간 폭(X_5)의 계수 추정치는 0.508로 유의수준 5%에서 유의하다. 즉, 장애물 또는 다른 보행자와 거리가 가까울수록, 측면보다 정면에 장애물이 있을수록, 장애물 또는 다른 보행자의 상대속력이 느릴수록, 보행공간의 폭이 좁을수록 보행속력 또는 방향을 변경하는 선택 경향이 통계적으로 유의하게 높으며 이는 직관적으로 합리적인 결과이다. 반면 보행공간의 혼잡수준(X_4), 공간의 경사(X_6)에 따른 선택 경향의 차이는 통계적으로 유의하지 않다. 이 결과는 오르막 경사와 내리막 경사에서 보행자가 인지하는 혼잡의 영향이 다르다는 점을 발견한 Cheung and Lam (1998)과도 관련이 있을 것으로 판단된다. 다만 오르막과 내리막 경사의 구분된 영향과 혼잡과 경사의 관계가 고려된 두 변수의 비선형적 영향을 검토하는 것은 향후 연구과제로 남긴다.

보행자 특성 그룹에 따라 보행속도를 변경하는 선택 경향에 차이가 있는지는 $Z_1, \dots, Z_4$ 의 계수 추정치로 확인할 수 있다. 먼저 연령(Z_1)의 계수는 -0.035로 추정되었으며 유의수준 1%에서 유의한 것으로 나타난다. 동일한 보행 환경

에서 고령자일수록 보행 속력 또는 방향의 변경 가능성이 줄어드는 것을 의미한다. 성별(Z_2)의 추정계수는 0.434로 유의수준 5%에서 유의하다. 성별에 따라 보행 속력 또는 방향을 변경하는 경향에 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다. 통행목적(Z_3)의 계수는 0.364로 유의수준 10%에서 유의한 것으로 추정되었다. 즉, 비업무목적 보행자에 비해 업무목적 보행자가 보행속도를 변경할 가능성이 높다. 반면 통행빈도(Z_4)에 따른 차이는 통계적으로 유의하지 않다.

사회적, 물리적 보행 환경과 보행자 특성 변수의 Odds비와 표준화 계수를 활용하면 계수 추정치보다 더 직관적으로 해석할 수 있다. 먼저 Odds비는 특성 변수별로 각 특성변수가 포함하는 그룹의 선택 확률을 비교할 수 있다. 예컨대 Table 6에서 성별의 Odds비는 1.544인데, 이는 동일 조건에서 남성의 속도 변경 가능성이 여성에 비해 1.544배 높은 것을 의미한다. 다른 특성 변수에 대해서도 같은 방식으로 해석할 수 있다. 장애물 또는 다른 보행자와 거리가 가까운 보행환경에서 그렇지 않은 경우보다 보행자가 속도를 변경할 가능성이 11.314배 높아진다. 장애물 또는 다른 보행자가 보행자의 정면에 있으면 그렇지 않은 경우에 비해 2.294배, 다른 보행자가 다가오면 멀어질 때에 비해 7.730배만큼 보행자가 속도를 변경할 확률이 높아진다.

Table 6. Estimation results for binary logit model

Variables	Coefficient	Std error	Odds ratio	Standardized estimate
X_1	2.426***	0.247	11.314	0.669
X_2	0.830***	0.232	2.294	0.229
X_3	2.045***	0.246	7.730	0.564
X_4	0.125	0.241	1.133	0.035
X_5	0.508***	0.217	1.662	0.140
X_6	0.111	0.231	1.118	0.031
Z_1	-0.035***	0.008	0.965	-0.253
Z_2	0.434**	0.209	1.544	0.120
Z_3	0.364*	0.219	1.439	0.099
Z_4	0.129	0.125	1.137	0.060
C	-3.003***	0.545		
Sample size			640	
$\mathcal{L}(\hat{\beta})$			-292.335	
$\mathcal{L}(0)$			-421.838	
$-2[\mathcal{L}(0) - \mathcal{L}(\hat{\beta})]$			259.006	
ρ^2			0.307	
Hit ratio			0.795	

note: *10% significance level; **5% significance level; ***1% significance level.

사회적, 물리적 보행 환경과 보행자 특성 변수가 보행자의 보행속도 변경 행태에 미치는 영향의 상대적 크기는 표준화 계수로 비교할 수 있다. Table 6에서 장애물 또는 다른 보행자와 거리(X_1)의 표준화 계수가 0.669로 가장 높은 것으로 나타난다. 다음으로 장애물 또는 다른 보행자의 상대속력(X_3)과 연령(Z_1)의 표준화 계수가 각각 0.564, -0.253이다. 통행빈도(Z_4)는 0.060, 보행공간의 혼잡수준(X_4)은 0.035, 보행공간의 경사(X_6)는 0.031로 다른 특성 변수에 비해서 미미한 영향을 미친다.

토론

이 연구는 보행자가 기존의 보행속력 또는 방향을 어떤 보행환경에서 변경하려고 하는지, 어떤 보행자 특성 그룹이 보행환경에 민감한지를 분석하였다. 이 과정에서 비집계된 개별 보행자의 선호와 특성 자료를 활용하였다. 또한 보행자는 다양한 보행환경 요소를 포괄적으로 고려하여 보행의 불편함을 줄이는 선택 즉, 속도를 유지 및 변경한다는 점에 주목하였다.

이로부터 이 연구는 첫째, 보행정책 효과(또는 보행공간의 서비스수준)를 미시적 관점으로 평가하는 방안에 관하여 시사점을 제공한다. 이를테면 보행자가 어떤 보행환경에서 불편함을 느끼는지, 어떤 보행자 특성 그룹이 보행환경에 민감한지에 관한 정보는 개별 보행자 단위의 정책(또는 서비스수준) 평가 지표(MOE, measure of effectiveness)로 활용될 수 있는데, 이 연구에서 분석한 사회적, 물리적 보행환경에 의해 보행자가 속도를 변경할 가능성 또는 이를 토대로 산출할 수 있는 속도 변경 기대횟수가 대리 지표로서 고려될 수 있다. 보행정책이 시행되는(또는 서비스수준 평가대상인) 보행공간의 특성과 그 공간을 주로 통행하는 보행자 그룹의 정보를 이용해 속도변경 가능성 및 기대횟수를 산출하고 이 수치를 토대로 보행정책의 효과 또는 보행공간의 서비스 수준을 평가한다. 이러한 미시적 관점의 평가는 보행공간 특성과 보행자 그룹의 특성별로 정책 목적에 대응하는 세분된 평가 결과를 도출할 수 있으며, 보행자와 보행공간이 동질적이라 가정하고 보행자 수, 보행밀도와 같은 집계된 지표를 이용하는 거시적 관점의 평가(Fruin, 1971; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013)가 갖는 한계를 보완한다.

둘째, 이 연구의 결과는 미시적 관점의 보행행태 시뮬레이터 개발에 기초 자료로 활용될 수 있다는 점에서 앞으로 그 중요성과 활용도가 높아질 것으로 기대된다. 최근 컴퓨터 성능과 분석 기술이 발달함에 따라 보행 시뮬레이터 연구(Asano et al., 2009; Robin et al., 2009; Asano et al., 2010 등)가 활발하게 진행되고 있다. 비디오로 촬영한 보행자 행태 자료의 활용성도 높아지면서 시뮬레이터 개발 속도는 빨라지고 있다. VISSIM에 내장된 Social Force Model (SFM; Helbing and Molnar, 1995)은 보행 시뮬레이션 모형의 대표적인 예이다. 이 연구에서 도출한 보행자의 선호 특성과 확률적 모형의 결과 즉, 어느 보행자 특성 그룹이 어떤 보행 환경에서 기존 보행방향과 속력을 어느 정도의 확률로 변경하는지에 관한 정보는 비디오 자료 등의 현시자료를 보완하고, SFM을 비롯한 시뮬레이션 모형이 갖는 결정론적(deterministic) 가정을 완화하는 시뮬레이터 개발의 기초자료로 활용될 수 있다.

결론

삶의 질 향상과 지속가능 발전에 대한 관심이 커지면서 보행 편의 증진에 대한 사회 요구가 높아지고 있다. 보행 관련 사업 및 정책을 효과적으로 추진하기 위해서는 보행자 행태에 대한 이해가 우선되어야 한다. 그러나 보행자가 어떤 보행환경에서 불편함을 느끼고 기존 보행속력과 방향을 변경하는지, 어떤 보행자 특성 그룹이 보행환경에 민감한지 등에 관한 정보는 여전히 부족하다. 또한 보행자의 특성, 공간 특성, 장애물 및 다른 보행자와의 상호작용 등의 요인이 포괄적으로 검토되지 않았다. 어느 보행자 특성 그룹이 어떤 보행 환경에서 기존 보행행태를 변경하는지에 관한 정보는 보행 환경 개선 요소의 우선순위에 관한 시사점을 제공하고, 미시적 관점의 보행 행태 시뮬레이터 개발에 기초 자료로 활용될 수 있다는 점에서 앞으로 그 중요성과 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

이 연구는 보행자가 기존의 보행 속력 또는 방향을 어떤 조건에서 바꾸려 하는지를 분석하였다. 또한 이 선택의 경향이 보행자 특성 그룹간에 차이가 있는지를 검토하였다. 이를 위해 이 연구는 보행자에게 가상적인 보행 환경을 제시하고 보행 속도를 유지 또는 변경할 것인지를 묻는 이산선택실험 기반의 진술선호 조사를 실시하였다. 장애물 또는 다른 보행자와 거리, 각도, 상대 속력, 보행밀도를 포함하는 사회적 보행환경과 보행공간의 폭, 경사와 같은 물리적 보행환경, 연령, 성별, 통행목적, 통행빈도와 같은 보행자 특성이 보행속도 변경 행태에 미치는 영향은 이항로짓 모형으로 규명하였다. 그 결과 장애물 또는 다른 보행자와 거리가 가까울수록, 측면보다 정면에 장애물이 있을수록, 장애물 또는 다른 보행자의 상대속력이 느릴수록, 보행공간의 폭이 좁을수록 보행 속력 또는 방향을 변경하는 선택 경향이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다. 또한 고려자일수록 보행 속력 또는 방향의 변경 가능성은 줄었다. 비업무목적 보행자에 비해 업무목적 보행자가 보행속도를 변경할 가능성이 높았다. 성별에 따라서도 뚜렷한 차이가 있었다. 반면 보행공간의 혼잡수준, 경사, 통행빈도에 따른 보행 속도 선택 경향의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

이로부터 이 연구는 첫째, 미시적 관점으로 개별 보행자 단위의 보행정책 효과 또는 서비스수준을 평가하는 방안

수 있는 속도변경 기대횟수 등을 평가 지표로 활용하여 보행정책 또는 보행공간을 평가할 수 있다. 둘째, 이 연구의 결과는 미시적 관점의 보행행태 시뮬레이터 개발에 기초 자료로 활용될 수 있다는 점에서 앞으로 그 중요성과 활용도가 높아질 것으로 기대된다. 이 연구에서 도출한 보행자의 선호 특성과 확률적 모형의 결과는 비디오 자료 등의 현시자료를 보완하고, SFM을 비롯한 시뮬레이션 모형이 갖는 결정론적가정을 완화하는 기초자료로 활용될 수 있다.

한편 이 연구는 보행자가 어떤 보행환경에서 불편함을 느끼고 기존 보행속도를 변경하는지에 주목하고 있다. 보행속도를 속력과 방향으로 구분하여 어느 보행자 특성 그룹이 어떤 보행 환경에서 기존 보행속도를 유지하는지 또는 방향만 변경, 속력만 변경, 방향과 속력을 모두 변경하는지를 분석하는 것은 후속 연구과제로 남긴다. 또한 이 연구에서는 표본크기 640개(80명)의 진술선호 응답을 사용하였는데 향후 충분한 표본크기가 뒷받침된다면 추정 결과의 신뢰성을 높일 수 있을뿐만 아니라, 변수의 세분(예컨대 경사를 오르막, 내리막 경사로 구분)에 따른 영향, 변수 간 상호작용(예컨대 혼잡과 경사)을 고려한 비선형성의 영향, 신규 변수(예컨대 보행자의 주이용교통수단과 일평균 보행시간 등)의 영향 등을 추가로 분석할 수 있을 것이다.

ORCID

HAN, Myungjoo <http://orcid.org/0000-0001-7182-5630>

JUNG, Dongjae <http://orcid.org/0000-0001-7369-8081>

LEE, Young-lhn <http://orcid.org/0000-0001-5022-596X>

SHIN, Seongil <http://orcid.org/0000-0002-4691-9472>

References

- Antonini G., Bierlaire M., Weber M. (2006), Discrete Choice Models of Pedestrian Walking Behavior, *Transportation Research Part B*, 40(8), 667-687.
- Asano M., Iryo T., Kuwahara M. (2009), A Pedestrian Model Considering Anticipatory Behaviour for Capacity Evaluation, *Transportation and Traffic Theory*, 559-581.
- Asano M., Iryo T., Kuwahara M. (2010), Microscopic Pedestrian Simulation Model Combined with a Tactical Model for Route Choice Behaviour, *Transportation Research Part C*, 18(6), 842-855.
- Bowman B. L., Vecellio R. L. (1994), Pedestrian Walking Speeds and Conflicts at Urban Median Locations, *Transportation Research Record*, 1438, 67-73.
- Chang J. S., Jung D., Ross C. L., Kim J. (2017), Evaluating the Nonuse Values of Expressways, *Transportmetrica A: Transport Science*, 13(5), 449-466.
- Cheung C. Y., Lam W. H. K. (1998), Pedestrian Route Choices between Escalators and Stairways in Metro Stations, *Journal of Transportation Engineering*, 124(3), 277-285.
- Daamen W. (2004), Modelling Passenger Flows in Public Transport Facilities, Ph.D. Thesis, Delft University of Technology.
- Finnis K. K., Walton D. (2008), Field Observations to Determine the Influence of Population Size, Location and Individual Factors on Pedestrian Walking Speeds, *Ergonomics*, 51(6), 827-842.
- Fruin J. J. (1971), *Pedestrian Planning and Design*.
- Ha S., Cho Y.O., Ku N.K., Park K.P., Lee K.Y., Roh M.I. (2013), Passenger Ship Evacuation Simulation using

- Algorithm for Determination of Evacuating Direction based on Walking Direction Potential Function, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(5), 307-313.
- Helbing D. (1992), A Fluid-dynamic Model for the Movement of Pedestrians, *Complex Systems*, 6, 391-415.
- Helbing D., Molnar P. (1995), Social Force Model for Pedestrian Dynamics, *Physical Review E*, 51(5), 4282-4286.
- Hoogendoorn S. P. (2001), Normative Pedestrian Flow Behavior: Theory and Applications, Delft University of Technology.
- Hoogendoorn S. P., Bovy P. H. L., Daamen W. (2002), Microscopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics Modelling, *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, 123-154.
- Jung I. J., Jung H. S. (2007), Survey and Analysis of Pedestrians' Preferences on Walking Directions, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(4), 75-83.
- Kim K. S., Cho H. J. (2006), Stated Preference Methods, *Bosungkak*.
- Knoblauch R., Pietrucha M., Nitzburg M. (1996), Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-up Time, *Transportation Research Record*, 1538, 27-38.
- Louviere J. J., Lancsa E. (2009), Choice Experiments in Health: The Good, the Bad, the Ugly and Toward a Brighter Future, *Health Economics, Policy and Law* 4, 527-546.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), *Korea Highway Capacity Manual*.
- Moon T. H., Sung H. U. (2006), Agent-based Pedestrian Model and Simulation for the Improvement of Pedestrian Environment, *Journal of Korea Planning Association*, 41(6), 79-92.
- Ortúzar J. de D., Willumsen L. G. (2011), *Modelling Transport (Fourth Edition)*, John Wiley & Sons, Ltd. Chichester.
- Peeta S., Zhou W. (2004), Minimizing Truck-car Conflicts on Highway, *JTRP Technical Reports*.
- Polus A., Schofer J., Ushpiz A. (1983), Pedestrian Flow and Level of Service, *Journal of Transportation Engineering*, 109(1), 46-56.
- Robin T., Antonini G., Bierlaire M., Cruz J. (2009), Specification, Estimation and Validation of a Pedestrian Walking Behavior Model, *Transportation Research Part B*, 43(1), 36-56.
- Rose J. M., Bliemer M. C. (2009), Constructing Efficient Stated Choice Experimental Designs, *Transport Reviews*, 29(5), 587-617.
- Seyfried A., Steffen B., Lippert T. (2006), Basics of Modelling the Pedestrian Flow, *Physica A*, 368(1), 232-238.
- Song S.Y., Song B.H. (2005), A Study on Visitors' Circulation Pattern and Amount of Traffic in the Multi-Purpose Commercial Complex, *Korean Institute of Interior Design Journal*, 14(5), 236-244.
- Tarawneh M. S. (2001), Evaluation of Pedestrian Speed in Jordan with Investigation of Some Contributing Factors, *Journal of Safety Research*, 32(2), 229-236.
- Werner T., Helbing D. (2003), The Social Force Model Applied to Real Life Scenarios, *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2003, Proceedings of the 2nd International Conference*, 17-26.