

## 접근성 지표를 도입한 보행로 서비스 수준의 영향요인 규명

최성택<sup>1</sup> · 추상호<sup>2\*</sup> · 장진영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>홍익대학교 과학기술연구소, <sup>2</sup>홍익대학교 도시공학과

### Determination of Key Factors for the Pedestrian LOS Introducing the Accessibility Index

CHOI, Sung Taek<sup>1</sup> · CHOO, Sang Ho<sup>2\*</sup> · JANG, Jin Young<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Science and Technology, Hongik University, Seoul 121-791, Korea

<sup>2</sup>Department of Urban Design and Planning, Hongik University, Seoul 121-791, Korea

#### Abstract

A considerable amount of literature has been published on pedestrian LOS. So far, however, there is a limitation that LOS analysis methodologies has concentrated on quantitative variables such as pedestrian flow rate, speed and space. This paper intended to suggest the accessibility variable which can not be considered on previous study. The factor was defined and quantified using public transport attributes in particular. This study was carried out in three phases: 1. defined accessibility employing public mode location and service information. 2. investigated the relationship between accessibility and pedestrian flow rate 3. developed the model to establish the factors affected to pedestrian LOS. The results showed that accessibility, walkway attribute and land use type affected the pedestrian LOS. Especially, accessibility and commercial area ratio had negative relationship with LOS. Futhermore, pedestrian LOS declined when obstacle of bus station located on the walkway. On the contrary, LOS was upgraded when sufficient effective width or residential area was secured. These results can receive considerable critical attentions related to determination of pedestrian LOS or effective walkway width.

보행로 서비스 수준 평가에 활용된 기존 지표는 보행의 양적인 측면에만 집중한다는 점에서 서비스 수준을 올바르게 평가하지 못하는 한계점을 갖고 있다. 이를 극복하기 위해 본 연구는 평가를 위한 효과적으로 접근성 지표를 제안하였다. 특히 대중교통수단과 보행로간의 접근성에 주목하여 변수를 구축하였다. 본 연구는 3단계로 구성된다. 1단계에서는 버스과 지하철 등의 대중교통 지표를 활용해 접근성 변수를 수단별로 정의하였다. 2단계에서는 접근성 변수와 보행류율간의 상관관계를 검토하였다. 3단계에서는 접근성 변수를 포함한 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명하는 모형을 개발하였다. 개발 결과, 접근성, 보행로 기하구조, 주거와 상업 등의 토지이용 용도 등이 보행로 서비스 수준에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 특히 접근성, 상업용도 면적 비율은 보행 활동을 유인하여 서비스 수준을 떨어트리는 것으로 밝혀졌다. 이와 함께 지장물과 버스 정류장이 입지하는 경우에도 서비스 수준은 하락하였다. 그러나 주거면적 비율이 높거나 유효보도폭이 넓을수록 서비스 수준은 향상되는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 보행로 서비스 수준 산정, 유효보도폭 결정 등의 분야에 활용될 수 있다.

#### Keywords

accessibility, LOS, ordered probit model, pedestrian, pedestrian walkway  
접근성, 서비스 수준, 순서형 프로빗 모형, 보행자, 보행로

\* : Corresponding Author  
shchoo@hoingik.ac.kr, Phone: +82-02-320-3068, Fax: +82-02-336-7416

Received 3 September 2015, Accepted 23 December 2015

© 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.

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 녹색교통수단이 주목받게 되면서 보행 수단 또한 많은 관심을 받고 있다. 보행은 국민의 건강을 증진시키며 승용차 이용을 억제함과 동시에 대중교통을 촉진하여 교통 혼잡 및 환경 공해를 완화시킬 수 있다. 미국의 한 연구에서는 대중교통 이용을 위해 약 8분 정도를 걸을 경우, 의료관련 비용이 1인당 연간 \$ 5,500 절약된다고 발표하였다(Chinmoy et al., 2014). 이와 같이 보행 수단이 도시의 핵심적인 수단으로 주목받게 되면서 보행자 및 보행시설이 화두로 떠오르고 있다. 보행시설의 편리성, 안정성, 쾌적성 등이 확보된다면 보행자가 늘어나게 되어 가로변이 활성화되고 도심에 활력을 불어넣기 때문이다.

이러한 관점에서 보행자 도로의 서비스 수준(level of service, LOS)은 보행자 도로를 평가하는 객관적인 기준으로 활용된다. 미국 도로용량편람(Highway Capacity Manual, 이하 HCM)에서는 LOS를 “도로의 기하구조와 교통의 흐름을 고려한 도로 환경의 정량적 평가 수단”으로 정의하고 있다. 국내의 경우, LOS 평가 기준을 한국 도로용량편람(Korea Highway Capacity Manual, 이하 KHCM)에서 제공하고 있다.

그러나 현재 활용되는 효과적도는 보행자의 통행 행태를 현실적으로 고려하지 못하고 보행로의 범위가 지나치게 포괄적이라는 문제점이 있다(Shelia Sarkar, 2003; Jang et al., 2010; Kim et al., 2015). 이를 극복하기 위한 방안으로 기존에 활용되는 효과적도 뿐만이 아니라 보행로를 올바르게 평가할 수 있는 새로운 변수의 도입이 필요하다는 주장이 제기되고 있다(Kim et al., 2009; Shin et al., 2009; Moon et al., 2012). 현재 보행량, 보행속도, 보행밀도 등으로 대표되는 평가지표 외에 활용되는 지표는 전무한 상황이다. 편안함, 깨끗함 등의 심리적 지표와 보행로 접근성, 연결성 등의 물리적 지표 등이 평가척도로 언급되고 있으나 이에 대한 구체적인 논의는 담보 상태에 머물러 있다.

이러한 상황에서 본 연구는 보행로 평가 지표 중의 하나로 접근성을 도입하고자 한다. 보행로의 접근성이 뛰어나도록 많은 사람들이 유입되어 보행로 서비스 수준은 높아지게 된다. 보행로 접근성의 정의하는데 있어서는 다양한 기법이 적용될 수 있다. 본 연구에서는 대중교통

시설을 중심으로 접근성을 정의하였다. 대중교통 시설의 이용이 용이할수록 근방에 위치한 보행로는 많은 사람들도 붐비게 된다. 즉 대중교통 접근성이 뛰어나도록 많은 사람들이 해당 보행로를 이용하게 되며 이는 보행로 서비스 수준을 결정하는 요인으로 작용하게 된다.

또한 접근성은 해당 지역의 기능 및 시설 활성화와 매우 밀접한 관계를 갖는다(Choi et al., 2015). 따라서 보행로의 접근성이 뛰어나다면 보다 많은 보행 유동인구를 유인할 수 있을 것이며 주변에 위치한 시설들은 더욱 활성화 될 것이다. 즉 보행로 접근성 향상은 더 많은 보행자를 끌어들이며 이로 인해 주변 시설은 늘어난 유동인구로 인해 더욱 활성화되는 선순환 구조를 형성한다.

이러한 전제를 바탕으로 보행로 접근성이 보행량과 서비스 수준에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 접근성 변수와 보행량 간의 관계를 1차적으로 검토하고 보행로 서비스 수준을 영향요인을 정의할 수 있는 모형을 개발하였다. 영향요인은 접근성 외에 보행로 서비스 수준에 영향을 끼치는 모든 요인을 포함한다. 현재 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명하는 연구가 부족하다는 점과 접근성이라는 요인을 도입했다는 점에서 기존 연구와 차별화 될 수 있으며 보행관련 연구에 많은 시사점을 제공할 것으로 기대한다.

### 2. 연구의 범위

본 연구의 대상지로는 서울특별시를 선정하였다. 서울특별시는 대한민국의 사회·경제적 기능이 집중된 대표적인 도시로 보행자의 다양한 행태를 관찰할 수 있다는 큰 장점이 있다. 대상지가 서울이라는 점에서 연구의 기초 자료로는 2012년 서울시 유동인구조사자료를 활용하였다. 이 자료는 조사된 각 지점의 보행량과 함께 보행로 기하구조, 주변 토지이용 현황 등을 세밀하게 파악할 수 있다는 특징이 있다.

본 연구의 흐름은 Figure 1과 같다. 우선 보행로 서비스 수준을 정의하는 방법론과 함께 관련연구 검토를 수행한다. 이후 연구의 착안점을 설정함과 동시에 접근성 지표의 개념을 정의한다. 관련 자료 수집 및 현황 분석에서는 유동인구조사 지점에서 추출 가능한 모든 지표를 변수화하여 서울시 모든 조사 지점의 서비스 수준을 산정하고 그 특징을 분석하였다. 모형 개발 단계에서는 조사지점의 보행량과 접근성과의 상관관계 검토 및 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명하는 모형을 개발하였

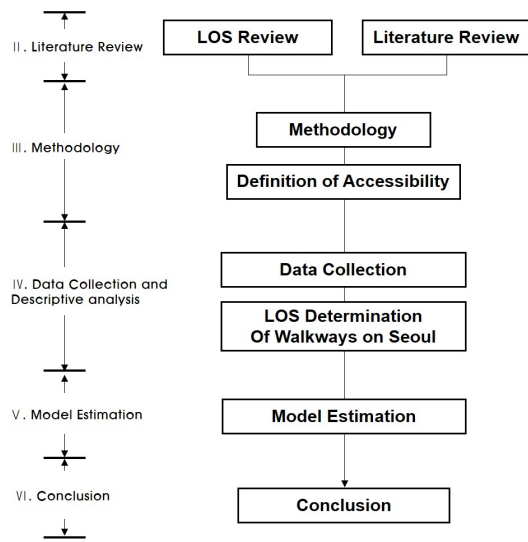


Figure 1. Flow chart

다. 모형은 부호 검증 및 통계적 검증을 통해 타당성을 입증하였으며 모형의 설명변수로 활용된 각 지표를 해석하여 서비스 수준에 영향을 끼치는 다양한 요인을 제시하였다. 최종적으로는 본 연구의 요약 및 시사점, 향후 연구방향 등을 일목요연하게 정리하였다.

## 관련 이론 및 선행연구 검토

### 1. 보행로 서비스 수준

미국 HCM은 보행속도(pedestrian speed), 보행량(pedestrian volume), 유효보도폭(effective walkway width), 보행군집(pedestrian platoon) 등의 변수를 기반으로 보행류율(flow rate)과 보행밀도(pedestrian density), 보행자 점유공간(pedestrian occupancy space) 등을 산정하고 이를 서비스 수준의 평가지표로 활용한다. 이를 위해 보행속도와 보행밀도간의 음의 상관관계를 활용해 회귀모형을 우선 구축한다. 이후 식(1)과 같은 보행류율 공식에 대입한다. 여기서  $v_{ped}$ 는 보행류율(p/min/m),  $S_{ped}$ 는 보행속도(m/min),  $D_{ped}$ 는 보행밀도(p/m<sup>2</sup>)를 의미한다. 이후 각 지표간의 관계는 2차원 그래프로 도식화되며 각 그래프 상의 변곡점을 토대로 Table 1과 같이 서비스 수준을 A부터 F까지 제시하고 있다. 보행로 서비스 수준을 평가함에 있어 점유공간을 효과적으로 활용하며 그 외의 보행속도, 보행류율,

Table 1. LOS threshold for pedestrian walkway in HCM(2010)

| LOS | Occupancy Space (m/p) | Pedestrian Speed (m/min) | Flow Rate (p/min/m) | V/C Ratio |
|-----|-----------------------|--------------------------|---------------------|-----------|
| A   | > 5.57                | ≥ 78                     | ≤ 16.4              | ≤ 0.21    |
| B   | > 3.72                | ≥ 76                     | ≤ 22.97             | ≤ 0.31    |
| C   | > 2.23                | ≥ 73                     | ≤ 32.81             | ≤ 0.44    |
| D   | > 1.39                | ≥ 69                     | ≤ 49.21             | ≤ 0.65    |
| E   | > 0.74                | ≥ 46                     | ≤ 75.46             | ≤ 1.00    |
| F   | < 0.74                | < 46                     | -                   | -         |

Table 2. LOS threshold for pedestrian walkway in KHCM(2013)

| LOS | Flow Rate (p/min/m) | Occupancy Space (m/p) | Density (p/m <sup>2</sup> ) | Pedestrian Speed (m/min) |
|-----|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| A   | ≤ 20                | > 3.3                 | ≤ 0.3                       | ≥ 75                     |
| B   | ≤ 32                | > 2.0                 | ≤ 0.5                       | ≥ 72                     |
| C   | ≤ 46                | > 1.4                 | ≤ 0.7                       | ≥ 69                     |
| D   | ≤ 70                | > 0.9                 | ≤ 1.1                       | ≥ 62                     |
| E   | ≤ 106               | > 0.38                | ≤ 2.6                       | ≥ 40                     |
| F   | -                   | < 0.38                | > 2.6                       | < 40                     |

V/C 등을 보조적인 지표로 활용하고 있다(Kim et al., 2015).

$$v_{ped} = S_{ped} * D_{ped} \quad (1)$$

국내 표준 지침으로 활용되는 KHCM의 경우, 미국 HCM의 표준화된 기법을 활용해 Table 2와 같이 보행로 서비스 수준을 정의하고 있다. 기본적으로 보행교통류율, 보행점유공간, 보행밀도, 보행속도 등을 효과적으로 활용한다. 보행로 서비스 수준은 교통량-속도-밀도-보행자 점유공간의 관계를 통해 얻어진 보행교통류율-속도 관계를 그래프로 도식화하고 기울기 변화가 두드러진 점을 토대로 Table 2와 같이 정의하게 된다(MLIT, 2013). V/C와 보행속도가 아닌 보행밀도를 효과적으로 선정하였다는 점과 점유공간이 주요 효과적으로 활용된다는 점이 미국 HCM과 구별된다.

### 2. 보행로 서비스 수준 관련 선행연구

보행로 서비스 수준과 관련된 선행연구는 국내·외 연구 경향이 뚜렷하게 구별된다. 국외연구는 회귀분석을 활용해 서비스 수준의 영향요인을 규명하는 연구가 주를 이룬 반면 국내연구는 만족도 조사를 통한 보행로 서비

**Table 3.** Literature reviews related to pedestrian level of service

| Authors (Year)         | Title   | Variables  | Methods                      |
|------------------------|---|--|------------------------------|
| Kim (1999)             | Evaluation Criteria of the Walkway Level-of-Service in Korea  | Flow rate, occupancy space, speed, noise, convenience, lighting  | Classification               |
| Kim et al. (2002)      | A Study on Estimating Level-of-Service for Pedestrian Facilities  | Stair:flow rate, walkway attributes<br>Queuing area:occupancy space, pedestrian body ellipse   | Case study                   |
| Lim et al. (2002)      | Estimation of Pedestrian Capacity for Walkways  | Flow rate, speed, density  | Regression analysis          |
| Kim et al. (2006)      | Estimating the Level-of-Service for Walkways by Using Fuzzy Approximate Reasoning                                     | Flow rate, noise, lighting   | Fuzzy reasoning              |
| Kim et al. (2008)      | An Analysis of Influencing Factors to Pedestrian Quality of Service by Utilizing Analytic Hierarchy Process           | Quantitative index:pedestrian volume, traffic signal, walkway attribute<br>Qualitative index:pedestrian behavior, walkway maintenance, information | AHP                          |
| Kim et al. (2009)      | A Development and Application of Evaluation Criteria for Pedestrian Quality of Service using Analytic Network Process | Stair:flow rate, walkway attribute<br>Queuing area:occupancy space, pedestrian body ellipse  | Survey, ANP                  |
| Kim et al. (2009)      | Factor Analysis of Pedestrian Perceived LOS(PLOS)   | Quantitative index:pedestrian volume, traffic signal, walkway attribute<br>Qualitative index:pedestrian behavior, walkway maintenance, information | Survey, factor analysis      |
| Shin et al. (2009)     | A Development of Service Quality Evaluation Models for Pedestrians in Newtown Using Structural Equation Modeling      | Safety, comfort, accessibility, convenience, continuity  | SEM                          |
| Jang et al. (2010)     | A Study on Level of Service of Pedestrian Facility in Transfer Stations at Urban Railroad                             | Flow rate, pedestrian body ellipse, walkway attribute  | Survey, AHP                  |
| Kang et al. (2010)     | Development of the Bicycle Level of Service Model from the User's Perspective   | Width, number of collision, volume   | Ordered probit model         |
| Kim et al. (2011)      | Evaluation of Pedestrian Road Level of Service by Survey and DGPS   | Behavior:flow rate, density<br>DGPS(S.D of speed, acceleration noise)  | Survey, descriptive analysis |
| Kim et al. (2015)      | A Study on Enhancement Methods of Level of Service Analysis for Pedestrian Sidewalks                                  | Volume, walkway width, body ellipse  | Survey                       |
| Frank (2000)           | Pedestrian Level of Service Based on Trip Quality   | Enclosure, network complexity, complexityspace, overhangs/awnings, buffer,shade trees, transparency  | Case study                   |
| Bruce et al. (2007)    | Modeling The Roadside Walking Environment: A Pedestrian Level of Service  | Road and walkway attribute, parking ratio, volume, speed   | Regression analysis          |
| Shelia (2003)          | Qualitative Evaluation of Comfort Needs in Urban Walkways in Major Activity Centers                                   | Stopping places, protection from adverse weather, noise level, pollution level   | Survey                       |
| Thambiah et al. (2005) | Method to Determine Pedestrian Level-Of-Service for Crosswalks at Urban Intersections                                 | Location, crossing facilities, turning vehicle, delay, bicycle events  | Regression analysis          |
| Soren (2013)           | Pedestrian and Bicycle Level of Service at Intersections, Roundabouts and other Crossings                             | Traffic signal, waiting time, crossing distance, pedestrian facility, average speed of motor vehicles on crossed road                              | Survey                       |

스 수준 평가를 위한 효과척도의 타당성을 검증한 연구가 대부분을 차지하였다. 그 내용은 Table 3과 같다.

국외와 국내 연구에서 활용된 변수는 상당수 일치하였다. 그중에서 미국 HCM에서 제안하는 보행량, 보행 속도, 보행밀도, 보행류율 등의 변수를 활용한 연구가 가

장 많았다. 이 중에서 보행로 서비스 수준을 종속변수로 설정하여 다양한 독립변수의 영향요인을 규명한 연구가 가장 대표적이다(Lim et al., 2002; Bruce et al., 2007; Thambiah et al., 2005). 현장조사를 통해 보행자의 만족도를 비롯한 다양한 변수를 수집한 결과를

바탕으로 현재 보행로 평가기법의 타당성을 검증한 연구도 다수 수행되었다(Shelia, 2003; Jang et al., 2010; Kim et al.) 특히 GPS 장치를 활용해 일반적인 조사로는 얻기 힘든 보행자 가속도, 가속소음 등의 보행자 행태를 직접 계측하여 이를 변수로 활용한 연구도 수행되었다(Kim et al., 2011)

이 밖에도 퍼지근사추론을 활용한 연구(Kim et al., 2006), 네트워크 분석 기법을 활용한 연구(Kim et al., 2009), 순서형 프로빗 모형을 통해 만족도 영향요인을 규명한 연구(Kang et al., 2010) 등 다양한 분석도구를 활용한 사례가 있었다.

또 하나 주목할 점은 기존에 활용된 효과척도가 아닌 새로운 요인을 도입하여 서비스 수준, 또는 보행자 만족도와의 영향 관계를 파악하고 이를 변수화 하고자 시도한 연구가 상당수 존재하였다. 새로운 변수는 주로 보행자의 심리적 만족도, 안정성, 쾌적성, 편리성 등과 같은 정성적 변수로 구성된다. 단 이러한 변수는 계량화가 어렵다는 점에서 보행자, 또는 전문가 설문조사 등을 통해 계량화되었다는 점이 특징이다(Kim, 1999; Frank, 2000; Kim et al., 2009; Shin et al., 2009; Jang et al., 2010; Soren, 2013).

추가적으로 현재 국내에서 활용되는 보행로 서비스 수준 평가 기법의 한계점으로 인체타원 면적을 고려하지 않는 점을 지적하며 이에 대한 개선방안을 제시한 연구도 수행되었다(Kim et al., 2002; Kim et al., 2015)

이와 같이 보행자 서비스 수준에 대해 수행된 다양한 연구에서 활용된 영향요인을 분류하자면 크게 정량적 변수와 정성적 변수로 구분할 수 있다.

정량적 변수는 보행류율, 보행신호운영, 보도기하구조 등으로 구분된다. 보행류율은 보행속도, 보행밀도 등이 포함된다. 보행신호운영은 보행자 및 차량의 신호 현시를 의미한다. 보도 기하구조는 보행로 유효보도폭, 대기공간 면적, 지장물 여부 등 보행로 설계와 관련된 모든 변수를 포함한다. 정량적 변수는 측정도구가 명확하여 계량화가 용이하다는 점에서 많이 활용된다.

정성적 변수는 안정성, 쾌적성, 접근성, 편리성, 연속성 등으로 구분할 수 있다. 안정성은 보행자 녹색신호 만족도, 보차분리, 보행로 조명, 범규준수 현황 등이 해당된다. 쾌적성은 보도 유지관리 상태, 소음 및 진동, 보행경관, 보행관련 편의시설, 교통약자 시설, 보행자 상충정도 등이 포함된다. 접근성은 네트워크 효율성, 대중교통노선 및 정류장 수, 주차공간의 적절성, 주변 토지이용

현황 등으로 구성된다. 편리성은 보행공간, 보행 만족도, 대중교통 및 보행관련 정보제공 등이 해당되며 연속성은 보도의 연속성으로 주변 지역과의 연계 가능성 정도를 의미한다.

정성적 변수는 정량적 변수와는 달리 추상적인 항목, 또는 계량화가 어려운 변수가 다수이기 때문에 서비스 수준을 정의하는데 활용되기 어렵다. 이러한 점을 극복하기 위하여 선행연구에서는 만족도 측정을 통해 해당 변수를 계량화하였다. 그러나 이러한 방법은 조사 기법과 설문 항목 등에 의해 매번 다르게 정의될 수 있다는 점에서 표준화된 측정방법론으로 채택하기는 현실적으로 불가능하다.

## 분석의 틀 수립

### 1. 연구의 착안점

현재 보행로 평가 기법은 보행로의 접근성에 의해 유인된 보행량을 보행밀도 및 속도와의 관계를 통해 1차원적으로 정의하는데 그치고 있다. 만약 보행량을 유발하는 주요 요인인 접근성을 명확히 정의하고 보행량과의 인과관계를 밝힌다면 보행로 서비스 수준을 정의할 수 있는 새로운 효과척도로 제안할 수 있을 것이다. 특히 이러한 시도는 계량화가 쉽지 않은 정성적 요인으로 분류된 접근성이라는 개념을 보다 구체적으로 정의하여 계량화한다는 점에서 큰 시사점을 갖는다.

이러한 관점에서 본 연구는 보행로 서비스 수준을 평가하기 위한 요인으로 접근성을 도입하였다. 서론에서 언급한 것과 같이 접근성은 보행 인구를 유인하는 가장 큰 요인으로 접근성이 떨어질수록 많은 사람들이 해당 보행로를 이용하게 된다. 이와 같은 점을 증명하기 위해 두 변수간의 인과관계를 모형화하여 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명하고자 하였다.

또한 선행연구와는 달리 유동인구조사자료를 보행로 서비스 수준 평가에 적극 활용하였다. 선행연구의 대부분은 자체적인 현장 조사를 통해 자료를 수집하였다. 이는 유동인구조사 자료에서는 보행속도 및 밀도, 점유공간 등의 주요 평가 지표를 얻을 수 없기 때문이다. 그러나 자체적인 현장조사를 통한 자료 수집은 대표성을 가지기 어렵다는 점에서 서울시 전역을 대상으로 한 본 자료의 활용이 타당하다고 판단된다. 또한 KHCM에서는 점두시 보행량과 유효보도폭만을 활용해 각 단계별 서비

스 수준을 제시하고 있다. 이는 유동인구조사 자료에서 모두 추출이 가능한 지표로 해당 지표만을 활용해 보행로 서비스 수준을 정의할 수 있다.

## 2. 접근성 지표의 정의

앞서 밝혔듯이 보행로는 대중교통 접근성과 매우 밀접한 상관관계를 갖는다. Door-to-door 이동이 가능한 승용차, 오토바이 수단보다는 대중교통 수단이 보행을 촉진시키기 때문이다. 접근성 변수는 조사 지점을 기준으로 일정 반경 내에 위치한 지하철 및 버스 수단의 특성을 반영할 수 있도록 정의하였다. 일정 반경은 일반적으로 정의하는 대중교통 영향권인 500m를 기준으로 설정하였다. 이는 다수의 선행연구에서 400-600m를 반경으로 정의하고 있으며 서울시 역세권 지구단위 계획에서 역세권 범위를 500m로 정의한다는 사실을 기반으로 하였다(Sohn et al., 2010; Jang et al., 2015). 접근성을 정의하는 일련의 과정은 ArcGIS 10.2.2 버전을 활용하여 진행하였다.

접근성 변수는 버스 접근성과 지하철 접근성으로 구분된다. 지하철 접근성은 보행조사지점 기준 500m내에 위치한 지하철 역사 출입구 수로 정의하였다. 출입구 수가 많다는 점은 두 가지를 의미한다. 우선 해당 역을 운행하는 노선수가 많음을 의미한다. 이는 즉, 보다 많은 사람들이 해당 지역에 접근할 가능성이 높아짐을 시사하고 보행량 증가로 이어질 수 있다. 또한 출입구 수가 많을수록 보행자가 편리하며 신속하게 목적지로 접근할 수 있기 때문에 주변 보행로의 접근성이 상승하는 효과를 기대할 수 있다.

버스 접근성은 지하철 접근성과는 조금 다른 방식으로 접근하였다. 버스는 지하철 수단과 달리 노선별 배차간격이 매우 다양하며 정류장 입지 패턴이 일정하지 않다. 버스가 같은 지역에 정차하더라도 버스 노선마다 정류장 위치가 상이하기 때문에 지하철 접근성과 같이 단순히 정의하기에는 다소 무리가 따른다. 따라서 버스 정류장 별 노선수, 노선별 배차간격, 그리고 정류장과의 거리 등을 종합적으로 고려하는 기법을 활용해 버스 접근성을 정의하였다. 이는 선행연구(Cho, 2014; Jang et al., 2015)에서 거리조각효과를 반영해 정의한 접근성과 동일한 개념이다.

우선 서울시 유동인구 조사지점의 좌표를 기준으로 500m 반경 내에 있는 버스 정류장 수를 파악하였다. 이

후 각 정류장을 운행하는 노선 수를 각각 파악하였다. 단 영향권 내에 하나의 노선이 두 개 이상의 버스 정류장을 거쳐 갈 경우에는 가장 가까운 정류장만을 선별하고 나머지 정류장을 포함시키지 않았다. 이렇게 집계된 정류장을 대상으로 서울시 open API 상의 버스 정류장 ID를 활용해 최종 집계하였다. 그 다음으로는 각 정류장의 노선별 운행횟수를 집계하였다. 이를 위해서는 수도권 KTDB(2013)에서 제공하는 침두 및 비침두 시 배차간격 정보를 활용하였다. 마지막으로 이렇게 산정된 각 정류장별 운행횟수에 보행 조사지점과 정류간의 거리효과를 반영하였다. 최종적으로 버스 접근성은 식(2)와 같이 정의된다.

$$ACC_{bus} = \sum_{r,j,w} B_{r,j,w} f(c_{ij}) \tag{2}$$

여기서  $ACC_{bus}$ 는 버스 접근성,  $B$ 는 버스정거장 수,  $r$ 은 버스 노선,  $i$ 는 보행량 조사지점,  $j$ 는 영향권 내 버스 정류장,  $w$ 는 해당 노선의 1시간 운행간격,  $f(c_{ij})$ 는 통행저항인자로서 거리조각효과를 나타낸다. 이는 통행본포단계에서 활용되는 중력모형의 통행저항함수(deterrence function)와 같은 개념으로 보행로와 버스 정류장간의 거리가 증가할수록 접근성이 감소하는 관계를 설명한다. 결론적으로 버스 정류장이 가깝고 운행하는 노선 수가 많을수록 버스 접근성 지표는 큰 값을 가지게 된다. 단 보행 활동과 관련된 통행저항인자라는 점에서 KTDB에서 배포하는 통행저항계수(deterrence parameter)를 활용할 수는 없다. 보행 통행에 대한 저항계수는 정의되지 않기 때문이다. 따라서 Jang et al.(2015)의 연구에서 정의한 방법론을 토대로 통행저항인자를 정의하였다.

식(3)과 같은 중력모형의 구조를 활용해 2012 KTDB에서 존간 보행 O/D와 통행거리를 활용하여 보행 통행의 통행저항함수를 정의하였다. 여기서  $i$ 는 출발존,  $j$ 는 도착존,  $T_{ij}$ 는 존간 교차통행량,  $O_i$ 는 존의 유출량,  $D_j$ 는 존의 유입량,  $c_{ij}$ 는 존간 통행거리,  $a_i, b_j$ 는 유출 및 유입량의 균형인자를 의미한다.

$$T_{ij} = a_i O_i b_j D_j f(c_{ij}) \tag{3}$$

본 연구에서는 선행연구의 결과를 참고하여 음지수(negative exponential)형태의 저항함수를 선택하였다. 저항함수의 정산 결과는 Table 4와 같다.

**Table 4.** Estimation result of deterrence parameter for gravity model

| Function             | Coefficient( $\beta$ )                    | OD RMSE    |
|----------------------|---|------------|
| Negative exponential | -0.745115<br>$F_{ij} = e^{\beta(d_{ij})}$ | 111.452644 |
| Inverse Power        | -3.436706<br>$F_{ij} = d_{ij}^{\beta}$    | 113.069395 |

source: Jang et al.(2015), A comparison analysis of factors to affect pedestrian volumes by land-use type using Seoul Pedestrian Survey data

버스 접근성 변수를 구축한 결과, 접근성이 가장 뛰어난 지점은 중구 서소문동에 위치한 시청 앞 지점과 중구 순화동에 위치한 경찰청 앞 사거리 지점으로 나타났다. 해당 지점 모두 서울 및 수도권 주요 지점을 연결하는 버스 정류장과 매우 밀접해있다. 그 뒤를 이어서는 서초구 강남대로의 주요 지점이 모두 선정되었다. 다양한 버스 노선이 운행한다는 점과 정류장 지점 또한 많다는 점에서 버스 접근성이 뛰어나다. 전반적으로 중구와 종로구, 서초구 서초동에 위치한 지점이 상위권에 위치하였다. 접근성이 낮은 지점은 성동구 사근동, 강동구 성내동, 구로구, 노원구와 은평구의 주요 지점 등이 선정되었다. 이들 지역은 버스 노선과 정류장 위치가 매우 적고 서울시 외곽에 위치하였다는 특징이 있다.

이러한 결과를 토대로 버스 접근성 지표가 신뢰성 있게 도출되었다는 점을 확인할 수 있다. 강남과 강북의 대표적 대중교통 요지인 중구, 종로구와 서초구 대부분 지역이 버스 접근성이 우수하며 서울시 외곽에 위치한 조사 지점이 버스 접근성이 떨어지는 것으로 분석되었기 때문이다.

## 자료 수집 및 기초통계 분석

### 1. 서울시 유동인구조사

서울시 유동인구조사는 서울시 행정수요의 정확한 예측과 효율적인 행정서비스 배분, 지역경제 활성화를 위해 유동인구 규모, 특성, 유출 및 유입 흐름 등을 계량적으로 파악하기 위해 실시되었다(Seoul, 2012). 이 조사는 2009년과 2012년에 걸쳐 2회 수행되었다. 2009년은 1만개 지점을 대상으로 각 보행로의 속성을 조사하였다. 2012년에는 상권의 변화 및 사회경제적 변동, 교통

**Table 5.** Measurement items for pedestrian LOS

| Category                | Contents  |
|-------------------------|---|
| HCM                     | volume, speed, walkway width, length of sidewalk, corner radius   |
| KHCM                    | volume, speed, walkway width                                      |
| Seoul pedestrian survey | volume, speed, walkway width, obstacle, type of walkway, land use |

수단의 변화, 도시정책의 집행 등을 감안하여, 기존 조사 지점 중 2,000개 지점에 대한 유동인구를 재조사하였다 (Jang et al., 2015).

본 연구에서 활용된 2012년 조사는 사전조사와 본조사로 구성된다. 사전조사는 조사 지점에 대한 현장조사를 통해 최종 조사지점을 확정하기 위해 실시된다. 조사 내용으로는 보도 폭, 장애물 여부, 보도 유형, 보도 옆 차로 현황 등의 보도현황과 조사지점 기준 좌·우 50m 내 건물 1층부 시설 업종 등이 해당된다. 이와 함께 5분 간 유동인구 예비조사를 수행하며 종합된 결과를 토대로 최종 조사지점을 결정한다. 본 조사에서는 최종적으로 선정된 지점의 보행량을 조사한다. 조사시간은 오전 7시 30분부터 오후 7시30분까지이며 5분 조사, 10분 휴식하는 패턴으로 화(또는 목), 금, 토요일 유동인구를 조사하였다.

Table 5는 HCM, KHCM과는 차별화되는 서울시 유동인구조사 자료의 조사 항목을 나타낸다. HCM의 경우, 길어깨 폭과 코너 반경을 함께 조사하며 서울시 유동인구조사는 기존의 보행량 지표와 함께 장애물 유무, 보행로 유형, 주변 토지이용 용도 등을 함께 조사한다.

### 2. 서울시 보행로 서비스 수준

2012년 유동인구조사 자료를 바탕으로 유동인구조사 지점의 보행자 도로 서비스 수준 현황을 검토하였다. 단 2,000개 조사지점 자료 중에서 이상치가 존재하거나 접근성이 정의되지 않는 일부 지점을 제외하여 1,977 지점 자료만을 활용해 연구를 수행하였다.

서비스 수준은 각 지점에서 관측된 한시간 보행량을 분 단위로 변환한 뒤 유효보도폭으로 나눈 보행률을 기준으로 정의하였다. 모든 보행량은 평일 보행량만을 활용하되 시간대에 따라 오전 첨두시(AM 8:00-9:00), 오후 첨두시(PM 6:00-7:00), 지점별 최고 첨두시 보행량 등 3개로 정의하고 그 특성을 검토하였다.

| LOS   | Morning (AM 08:00-09:00) | Afternoon (PM 06:00-07:00) | Peak of the day |
|-------|--------------------------|----------------------------|-----------------|
| LOS A |                          |                            |                 |
| LOS B |                          |                            |                 |
| LOS C |                          |                            |                 |
| LOS D |                          |                            |                 |
| LOS E | -                        | -                          |                 |
| LOS F | -                        | -                          |                 |

Figure 2. LOS determination by peak time type

오전 침두시 보행량은 오전8시부터 9시까지의 평일 평균 보행량 값을 의미한다. 오전 침두시 특성을 파악할 수 있는 지표이지만 출근 및 등교 통행이 다수 발생하는 지점의 보행량이 상대적으로 높다는 단점이 있다. 오후 침두시 보행량은 퇴근시간인 오후 6시부터 7시까지의 평일 평균 보행량을 의미한다. 업무 시설이나 상업 시설이 밀집한 지역일수록 보행량이 집중 될 가능성이 높다. 지점별 최대 침두시 보행량은 각 지점별 가장 많은 보행량이 발생한 시간대의 보행량을 의미한다. 각 지점의 최대 보행량을 나타낸다는 특징이 있으나 해당 보행량의

시간대는 파악할 수 없다.

시간대별 LOS 평가 결과는 Table 6과 같다. 오전 침두시 보행량 자료의 경우, 서비스 수준 A인 지점 93%, B인 지점 4% 수준으로 나타났다. 평일 평균 보행량에 비해서는 다양한 서비스 수준 분포를 보이나 A급 간에 지나치게 많은 표본이 몰려있는 점은 변함이 없다. 오후 침두시 보행량 자료는 오전에 비해 A급간에 집중된 비율은 낮았으나 E와 F급간으로 평가된 지점이 없는 것으로 나타났다. 최대 침두시 보행량을 기준으로 분석한 결과, A급간 80%, B급간 10%, C급간 4% 수준으로



**Table 6.** Walkway LOS in Seoul by pedestrian volume type

| Pedestrian volume (p/hr) | Level of Service(LOS) |     |     |     |    |    |
|--------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|----|----|
|                          | A                     | B   | C   | D   | E  | F  |
| Peak time (AM 8-9)       | 1,840                 | 82  | 30  | 25  | 0  | 0  |
| Peak time (PM 6-7)       | 1,182                 | 347 | 194 | 254 | 0  | 0  |
| Peak time of the day     | 1,574                 | 207 | 96  | 58  | 25 | 17 |

나타나 서비스 급간별로 비교적 고른 분포를 보이고 있다는 점을 확인할 수 있다. 이는 특정 시간대로 한정하거나 평균값을 활용하지 않고 하루 중 보행량이 가장 많은 시간대 자료를 활용하였기 때문이다.

본 연구의 목적이 접근성을 포함한 다양한 지표가 보행자 서비스 수준에 끼치는 영향정도를 밝히기 위함이라는 점에서 서비스 급간이 가장 다양하게 분포하는 침두시 보행량 자료가 가장 적합하다. 이는 KHCM에서도 침두시 보행량 자료를 기준으로 서비스 수준별 효과척도의 급간을 결정하였다는 점과도 일맥상통한다.

Figure 2는 세 가지 침두시간 유형별 보행로의 서비스 수준 분포 현황을 나타낸다. A와 B 수준은 전 지역에 걸쳐 고르게 분포하는 점을 확인할 수 있다. C 이하의 급간으로 판정이 난 지점은 주로 중구, 종로구, 강서구와 강남구 지역에 편중되어 있는 점을 확인할 수 있다. 오전 침두의 경우, 중구, 종로구, 목동, 서초구 등에 위치한 지점이 C와 D 수준으로 나타났다. 오후 침두의 경우, 서비스 급간에 따른 지역적 편차가 거의 나타나지 않았다. 최대 침두시 서비스 수준은 E와 F 수준으로 평가된 지점이 일부 도출되었다. 이를 통해 보행환경이 낙후된 지점은 주로 강북 지역에 70%이상 편중되어 있으며 침두시가 아닌 비침두시에도 보행량이 집중된다는 사실을 유추할 수 있다.

### 3. 서비스 수준의 영향요인 구축

보행자 도로의 서비스 수준에 영향을 끼치는 요인을 규명하기 위해 영향요인 변수들을 수집하였다. 변수는 접근성, 보도 기하구조, 토지이용 형태 등으로 구분된다.

접근성은 보행자를 유인하는 주된 요소라는 점에서 선정되었다. 보도 기하구조는 보행자가 쾌적하고 편리하게 이용할 수 있는 정도를 의미하는 요인들로 구성되어 있다. 마지막으로 토지이용 형태는 주변 토지이용 형태

**Table 7.** Key factors of pedestrian walkway LOS

| Category           | Variable          | Note                |
|--------------------|-------------------|---------------------|
| Accessibility      | Bus               | -                   |
|                    | Subway            | -                   |
| Walkway attributes | Effective width   | Continuous variable |
|                    | Obstacle          | Dummy(yes or no)    |
|                    | Braille block     | Dummy(yes or no)    |
|                    | Station           | Dummy(yes or no)    |
|                    | Slope             | Dummy(yes or no)    |
| Land use           | Residential ratio | 500m radius         |
|                    | Commercial ratio  | 500m radius         |

**Table 8.** Descriptive analysis

| Variable                   | Average | S.D     | Min   | Max     |
|----------------------------|---------|---------|-------|---------|
| LOS                        | 4.62    | 0.91    | 0.00  | 5.00    |
| Accessibility (bus)        | 1988.27 | 1387.68 | 69.85 | 9188.24 |
| Accessibility (subway)     | 5.26    | 4.26    | 0.00  | 26.00   |
| Land use ratio (residence) | 0.69    | 0.28    | 0.00  | 1.00    |
| Land use ratio (commerce)  | 0.20    | 0.24    | 0.00  | 1.00    |

에 따라 보행량이 유입되는 수준이 결정된다는 선행연구 내용을 바탕으로 선정하였다(Frank, 2000; Jang et al., 2015). 그 내용은 Table 7과 같다.

접근성은 버스과 지하철 접근성으로 정의된다. 보도 기하구조는 보도에서 지장물이 차지하는 면적을 뺀 유효 보도폭, 지장물 여부, 점자블록 여부, 버스 정류장 여부, 버스 정류장 또는 지하철 출입구 입지 여부 등이 해당된다. 기하구조와 관련된 모든 변수는 2012 서울시 유동 인구조사 자료에서 추출하였다.

토지이용 변수는 조사 지점 기준으로 일정 반경 내 주거 및 상업용도지역의 비율 변수를 선정하였다. 용도별 면적 비율은 2012 서울시 토지이용 현황 자료를 기반으로 GIS 상에서 반경 500m안의 주거 및 상업용도지역 면적 비율을 산정하여 구축하였다. 주거 및 상업용도는 조사 지점으로 유입되는 보행량과 밀접한 관계에 있는 주요 용도이다.

연속형 변수에 대한 기초통계 분석 결과는 Table 8과 같다. 종속변수에 해당되는 서비스 수준은 F부터 A를 0에서 5까지로 각각 정의하였다. 서비스 수준은 평균 4.62, 표준편차 0.91로 A와 B에 상당수 표본이 집중

**Table 9.** Correlation analysis between flow rate and accessibility

| Variable               | Flow rate | Accessibility (bus) | Accessibility (subway) |
|------------------------|-----------|---------------------|------------------------|
| Flow rate              | 1         | 0.521**             | 0.398**                |
| Accessibility (bus)    | 0.521**   | 1                   | 0.286                  |
| Accessibility (subway) | 0.398**   | 0.286               | 1                      |

\*\* : statistically significant at a level of  $\alpha = 0.01$ .

되어있다는 점을 확인할 수 있다. 버스 접근성은 버스 정류장별 노선수와, 운행간격, 그리고 거리조락까지를 고려한 값을 모두 합한 변수로 평균은 1,988, 표준편차는 1,387로 나타났다. 최대값은 9188.24, 최저값은 69.85로 큰 편차가 존재하였다. 지하철 접근성은 평균 5.26, 표준편차는 4.26으로 조사지점 반경 500m내에 평균 약 5개 정도의 지하철 역 출구가 위치하였다. 주거용도의 면적 비율은 평균 0.7로 조사지점 반경 500m내 약 70%지역은 주거용도인 것으로 분석되었다. 상업면적 평균 0.20으로 약 20%는 상업용도가 입지한 것으로 나타났다.

본 연구의 핵심변수인 접근성 변수와 보행류율 간의 상관관계를 검토한 결과는 Table 9와 같다. 보행류율이 버스 접근성과는 0.5, 지하철 접근성과는 0.4정도 수준의 상관성을 보이는 것으로 나타나 두 개의 변수는 각 지점의 보행류율에 일정수준 이상 영향을 끼친다고 결론내릴 수 있다.

## 모형 개발

### 1. 순서형 프로빗 모형

보행로 서비스 수준은 F부터 A까지 6단계로 정의된다. 본 연구에서는 이를 0부터 5까지의 등간척도로 정의하였다. 따라서 이들 값의 증가와 감소는 서비스 수준의 변화를 의미한다. 특히 종속변수가 이산형이라는 점에서 독립변수와 종속변수간의 비선형 관계를 정의할 수 있는 프로빗(probit)모형이 적합하다. 프로빗 모형은 오차항의 분포를 누적 정규분포 형태로 정의한다. 또한 보행로 서비스 수준을 의미하는 변수가 위계를 갖는 다항 ( $y=0,1,2,3,\dots$ )이기 때문에 순서형 프로빗 모형을 분석 모형으로 선정하였다. 종속변수는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 y &= 0 \text{ if } y^* \leq \mu_1 \text{ (LOS F)} \\
 &= 1 \text{ if } \mu_1 \leq y^* \leq \mu_2 \text{ (LOS E)} \\
 &= 2 \text{ if } \mu_2 \leq y^* \leq \mu_3 \text{ (LOS D)} \\
 &= 3 \text{ if } \mu_3 \leq y^* \leq \mu_4 \text{ (LOS C)} \\
 &= 4 \text{ if } \mu_4 \leq y^* \leq \mu_5 \text{ (LOS B)} \\
 &= 5 \text{ if } \mu_5 \leq y^* \text{ (LOS A)}
 \end{aligned}$$

일반적으로 순서형 프로빗 모형의 기본 형태는 다음과 같다.  $y^*$ 는 서열을 갖는 종속변수이다. 이는 측정 가능한 효용( $\beta x_i$ )과 측정 불가능한 효용( $\epsilon_i$ )으로 구성된다. 여기서  $\epsilon$ 는 표준 정규분포(standard normal distribution)를 따르는 허용오차이다(Choi et al., 2015).

$$y^* = \beta x_i + \epsilon_i \tag{4}$$

$$\epsilon_i \approx N[0,1]$$

허용오차는 누적분포를 따르는  $\Phi(\cdot)$  로 정의 하고 밀도함수는  $\phi(\cdot)$ 라고 정의 내릴 때, 각 대안의 선택확률은 아래 식과 같이 나타낼 수 있다(Chung et al., 2014).

$$\begin{aligned}
 Prob[y=0] &= \Phi(-\beta x) \\
 Prob[y=1] &= \Phi(\mu_1 - \beta x) - \phi(-\beta x) \\
 Prob[y=2] &= \Phi(\mu_2 - \beta x) - \phi(\mu_1 - \beta x) \\
 &\vdots \\
 Prob[y=n] &= \Phi(\mu_n - \beta x) - \phi(\mu_{n-1} - \beta x)
 \end{aligned}$$

### 2. 영향요인 규명

보행로 서비스 수준의 영향요인 규명을 위해 순서형 프로빗 모형을 구축하였다. 모형의 정산 결과는 Table 10과 같다. 모형의 적합도( $\rho^2$ )는 0.231이며 총 9개의 변수 중에서 점자블록 여부와 경사도를 제외한 7개 변수는 부호 검증 및 통계적 유의성 검증을 통과하였다.

결과를 구체적으로 살펴보면 본 연구에서 도입한 접근성 변수는 버스와 지하철 모두 보행로 서비스 수준에 영향을 끼치는 것으로 증명되었다. 두 변수 모두 보행로 서비스 수준과 음의 상관관계를 갖는 것으로 나타나 보행로의 대중교통 접근성이 뛰어나수록 보행로 서비스 수준은 낮아지는 것으로 해석된다.

보행로 기하구조 특성으로는 유효보도폭, 장애물 여부, 버스정류장 유무 등 3개의 변수가 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 유효보도폭은 보행자의 안정성, 쾌적성을 보장하는 주요 지표로 넓을수록 보행자의 통행속도는 개선되고 보행밀도는 낮아지게 된다. 모형개발 결과, 유

**Table 10.** Model estimation results for pedestrian LOS

| Variable                 | Coefficient     | t-value | significant probability |       |
|--------------------------|-----------------|---------|-------------------------|-------|
| Accessibility            | Bus             | -0.001  | -6.986                  | 0.000 |
|                          | Subway          | -0.068  | -8.286                  | 0.000 |
| Walkway attributes       | Effective width | 0.081   | 6.120                   | 0.000 |
|                          | Obstacle        | -0.671  | -8.230                  | 0.000 |
|                          | Braille block   | 0.051   | 0.714                   | 0.475 |
|                          | Station         | -0.181  | -2.071                  | 0.038 |
| Land use                 | Slope           | 0.070   | 0.921                   | 0.357 |
|                          | Residence       | 1.839   | -6.986                  | 0.000 |
| Threshold parameter      | Commerce        | -2.133  | -8.286                  | 0.000 |
|                          | Mu(1)           | 0.185   | 5.781                   | 0.000 |
| Statistical verification | Mu(2)           | 0.501   | 12.784                  | 0.000 |
|                          | Mu(3)           | 0.846   | 22.102                  | 0.000 |
|                          | Mu(4)           | 1.306   | 31.760                  | 0.000 |
|                          | No.sample       |         | 1,977                   |       |
| LL( $\beta$ )            |                 |         | -1,503.656              |       |
|                          | $\rho^2$        |         | 0.231                   |       |

효보도폭이 1m 넓어질수록 보행로 서비스 수준은 약 0.1 향상되는 것으로 나타나 앞서 설명한 일반적인 현상을 적절히 설명하는 것으로 분석되었다. 특히 이러한 결과는 보행로를 설계하는데 있어 유효 보도폭을 결정하는 표준화된 방법론이 없다는 점에서도 시사하는 바가 크다. 보행로의 적정 서비스 수준을 먼저 결정하게 된다면 이에 따른 적정 유효보도폭의 구체적인 값을 얻을 수 있다. 또한 유효보도폭의 한 단위 변화에 따른 보행로 서비스 수준의 변화, 즉 유효보도폭의 민감도 분석도 함께 수행할 수 있다는 장점이 있다.

보행로의 지장물은 보행로 서비스 수준을 떨어트리는 것으로 나타났다. 유효보도폭이 보행로 서비스 수준과 양의 상관관계를 갖는다면 지장물은 음의 상관관계를 갖게 된다. 지장물이 보행로를 점유할 경우, 유효보도폭은 감소하게 되며 보행자의 통행을 방해하여 보행 흐름을 단절시키게 된다. 또한 보행량이 많을 경우에는 순간적인 정체를 야기할 수 있다. 분석 결과에서도 지장물이 위치할 경우, 서비스 수준은 약 0.7감소하는 것으로 나타났다. 이를 통해 쾌적한 보행환경을 위해서는 지장물이 보행로에 위치하는 설계는 지양해야 함을 알 수 있다.

버스 정류장은 보행로 상에 위치할 경우, 버스 탑승을 기다리는 대기인원과 보행자간의 상충을 야기한다. 또한 버스 승·하차를 위한 보행자가 유입됨으로 인해서 보행

량 또한 증가하게 된다. 따라서 버스 정류장의 입지는 보행로 서비스 수준을 하락시키게 된다. 모형의 개발 결과에서도 이러한 점을 확인할 수 있다. 버스 정류장 더미 변수는 보행로 서비스 수준과 음(-)의 상관관계를 갖는 것으로 분석되었다. 정류장이 위치할 경우, 서비스 수준은 약 0.2 감소하는 것으로 나타났다.

토지이용 용도 또한 보행로 서비스 수준과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 주거용도 면적의 비율과 상업용도 면적의 비율은 각각 양(+)과 음(-)의 상관관계를 갖는다. 주거용도의 면적이 한 단위 증가하면 보행로 서비스 수준은 약 1.8 상승하는 것으로 해석된다. 주거용도 면적이 넓다는 점은 해당 보행로를 이용할 보행자가 한정적임을 의미한다. 주거지역에 거주하는 인원은 한정적이며 예측 불가능한 보행량이 해당 보행로로 유입될 가능성은 적다. 이와는 반대로 상업용도는 다양한 외부 인구의 유입을 초래하므로 해당 용도 면적의 비율이 높을수록 불특정 다수의 보행인구가 유입된다. 상업용도 면적이 한단위 증가하면 서비스 수준은 약 2.1 감소하였다. 이러한 결과를 토대로 보행로의 적정 서비스 수준을 유지하기 위해서는 주거용도와 상업용도의 균형 있는 배분이 필요하다는 점을 유추할 수 있다.

이와 함께 모형의 추정력 검토를 위해 cross tabulation 검증을 수행하였다. Contingency table이라고도 불리는 이 검증은 변수간의 분포 현황을 보여주는 매트릭스 형태의 표이다. 두 변수간의 관계를 파악하기 위해 각 변수를 행과 열에 배치하고 두 개 변수 간에 교차되는 표본의 수를 한눈에 파악할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 개발된 모형의 추정력을 검증하기 위해 실제 보행로 서비스 수준을 행으로, 추정된 서비스 수준을 열로 배치한 cross table을 Table 11과 같이 작성하였다. 추정력 검증 결과, 모형은 총 1,977개의 관측 값 중에서 1,350개의 값을 적중시킨 것으로 분석되어 약 70%의

**Table 11.** Cross tabulation of predictions

|       | A     | B   | C  | D  | E  | F  |
|-------|-------|-----|----|----|----|----|
| A     | 1,079 | 443 | 21 | 32 | 0  | 0  |
| B     | 23    | 157 | 13 | 12 | 2  | 0  |
| C     | 16    | 11  | 58 | 11 | 0  | 0  |
| D     | 13    | 0   | 0  | 35 | 4  | 6  |
| E     | 8     | 0   | 0  | 0  | 13 | 4  |
| F     | 8     | 0   | 0  | 0  | 0  | 8  |
| Total | 1,147 | 611 | 92 | 90 | 19 | 18 |

Note: row is actual, column is predicted

추정력을 갖는 것으로 나타났다.

이와 같은 순서형 프로빗 모형의 통계적 검증 결과와 모형의 추정력 검증 결과를 통해 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명하기 위해 개발한 본 연구모형은 서비스 수준의 영향요인을 적절히 도출하였다고 평가할 수 있다.

## 결론

### 1. 요약 및 시사점

보행량과 보행속도만으로 보행로의 서비스 수준을 결정하는 기존 방법론은 보행로의 다양한 속성을 고려하지 못한다는 한계점을 갖고 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 본 연구에서는 접근성 지표를 도입하였다. 접근성은 보행로에 유입되는 보행량을 결정짓는 중요한 요인이라는 점에서 보행로 서비스 수준을 가늠할 수 있는 척도 중 하나이다. 접근성을 정의하기 위해서는 대중교통과의 접근성을 고려하였다. 보행자의 관점에서 보행로에 대한 접근성은 대중교통과 밀접한 관련이 있기 때문이다.

이를 증명하기 위해 대중교통을 기반으로 한 접근성을 정의하고 보행류용, 나아가 보행로 서비스 수준과의 영향관계를 검토하였으며 이를 바탕으로 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명할 수 있는 순서형 프로빗 모형을 개발하였다. 단 이 모형을 활용한 보행로 서비스 수준 평가가 아닌 보행로의 서비스 수준에 영향을 끼치는 요인을 도출하고 향후 이들 요소의 도입 가능성을 제시함이 본 연구의 주 목적이라는 점을 인지할 필요가 있다. 본 연구의 내용 및 결과를 상세히 요약한 내용은 다음과 같다.

첫째, 접근성이라는 효과척도를 정의하였다. 이를 위해 접근성이라는 추상적인 개념을 대중교통과의 접근성으로 구체화하였다. 대중교통 수단은 버스와 지하철 수단으로 정의하였으며 각 수단의 접근성을 대표할 수 있도록 정류장 개소, 노선 수, 배차간격과 함께 정류간격의 거리를 거리조각 함수를 활용해 접근성을 계량화하였다.

둘째, 접근성과 보행로 서비스 수준과의 상관관계를 규명하였다. 이를 위해 2012년 수행된 서울시 유동인구조사 자료를 활용하여 서울시 약 1,900여개 지점의 서비스 수준을 정의하였다. 그 결과, 보행하기 가장 쾌적한 수준인 서비스 수준 A에 해당하는 지점이 약 80%정도를 차지하는 점을 확인하였다. 이후 각 지점의 접근성과 보행로 서비스 수준과의 상관분석을 통해 0.5이상의 상

관관계가 존재한다는 사실을 확인하였다.

셋째, 보행로 서비스 수준에 영향을 끼치는 요인을 규명하였다. 이 과정에 있어 KHCM에서 제안하는 보행량과 보행속도 등의 일반적인 효과척도가 아닌 접근성, 보행로 기하구조, 토지이용 현황 등의 변수만을 활용하였다. 그 결과, 접근성은 보행인구의 유입을 초래하여 보행로 서비스 수준을 감소시킨다는 점을 규명하였다. 또한 보행로 상에 지장물, 버스 정류장 등이 입지할 경우 보행 활동을 방해하는 요소로 작용하여 보행로 서비스 수준을 감소시키는 것으로 분석되었다. 토지이용 용도는 주거용도 비중이 높을수록, 상업용도 비중이 낮을수록 보행로 서비스 수준이 상승하는 것으로 나타났다.

이와 같은 연구 결과를 통해 도출할 수 있는 본 연구의 시사점은 세 가지로 대별된다.

첫 번째로는 체계적인 분석 과정을 통해 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명하였다는 점이다. 무엇보다 서울시 유동인구조사 자료를 활용했다는 점은 현장 조사를 통해 구축된 일부 지점의 자료를 활용한 선행 연구와는 차별화되는 요소이다. 구축된 기초 자료를 바탕으로 보행로 서비스 수준의 분포 현황을 1차적으로 검토하고 관련 요인들을 도출한 뒤, 서비스 수준의 영향요인을 규명하기 위한 모형을 개발하는 일련의 과정은 국내에서는 시도되지 않은 연구 방법론이다.

두 번째로는 선행 연구에서는 시도하지 못한 접근성이라는 평가지표를 계량화하여 보행로 서비스 수준의 효과척도로 제시한 점이다. 앞서 언급한 것과 같이 보행로의 서비스 수준을 보다 현실적으로 평가하기 위해서는 기존의 효과척도가 아닌 새로운 변수의 도입이 요구되고 있다. 이러한 상황에서 접근성 변수를 정의하고 도입한 과정은 정성적 변수의 도입에 많은 시사점을 제공할 것으로 기대된다.

마지막으로는 본 연구에서 제안한 모형은 해당 보행로의 서비스 수준을 설계 단계에서부터 개략적으로 파악할 수 있다는 장점을 갖는다. 다시 말하자면 본 모형의 설명변수는 보행로 설치 이후에 관측되는 변수가 아닌 설계 단계에서부터 수집할 수 있는 변수들만으로 구성된다. 따라서 설치하고자 하는 보행로의 적정 유효보도폭을 결정하는 과정에서 설계 단계에서 계획한 보행로 서비스 수준만 정의되어 있다면 유효보도폭 한 단위 변화에 따른 서비스 수준 변화를 관찰하면서 적정 보도폭을 산정할 수 있을 것이다. 현재 국내에서는 보도폭 설정과 관련된 지침, 또는 표준화된 방법론이 없기 때문에 본 연

구모형을 활용한다면 이러한 문제점을 극복할 수 있을 것이라 생각한다.

## 2. 향후 연구방향

접근성 변수를 도입해 보행로 서비스 수준의 영향요인을 규명한 본 연구는 일련의 연구 과정 및 결론을 통해서 많은 시사점을 제공하였다. 그러나 접근성 변수가 추상적이라는 점에서 표준화를 통해 해석의 용이함을 도모해야 할 필요가 있다. 이러한 점에서 네트워크 분석 기법과의 접목을 통해 보행로의 연속성 및 접근성을 정의하는 것도 하나의 방법이 될 수 있을 것이다.

또한 KHCM에서 정의된 보행로 기준을 보다 세분화하여 보행로 유형별 서비스 수준을 제시할 필요가 있다. 앞선 분석에서도 지리적 위치와 토지이용 특성 등으로 인해 서비스 수준의 분포가 뚜렷하게 나타난 점을 확인할 수 있다. 이러한 점에 비추어 볼 때, 보행로의 공간적 특성, 또는 보행로 유형에 따라 각기 다른 평가 지표와 기준을 제시한다면 실제 보행자들이 느끼는 서비스 수준을 효과적으로 대변할 수 있을 것이다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning(NRF-2013R1A2A2A01015411).

## REFERENCES

- Bruce W. L., Venkat R. V., Russell M. O., Douglas S. M., Martin G. (2007), Modeling The Roadside Walking Environment: A Pedestrian Level of Service, Transportation Research Board, 01-0511, 1-27.
- Chinmoy S., Chris W., John G. (2014), Healthy Cities: Public Health through Urban Planning, Edward Elgar.
- Cho D. H. (2014), The Spatial Distribution of the Single-households Elderly and Public Transport Accessibility in Seoul, Journal of the Korean Urban Geographical Society, 17(2), 119-136.
- Choi S. T., Rho J. H. (2015), Development and Implementation of a 2-Phase Calibration Method for Gravity Model Considering Accessibility, J. Korean Soc. Transp., 33(4), Korean Society of Transportation, 393-404.
- Chung J. H., Seol J. H., Choi S. T., Rho J. H., Lee J. S. (2014), Severity Analysis for Vulnerable Pedestrian Accident Utilizing Vehicle Recorder Database of Taxi, Journal of the Korean Society of Safety, 29(3), 98-106.
- Frank J. (2000), Pedestrian Level of Service Based on Trip Quality, Transportation Research Board, G-1/1-14.
- Jang J. Y., Choi S. T., Lee H. S., Kim S. J., Choo S. H. (2015), A Comparison Analysis of Factors to Affect Pedestrian Volumes by Land-use Type Using Seoul Pedestrian Survey Data, The journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 14(2), 39-53.
- Jang S. Y., Han S. Y., Kim S. G. (2010), A Study on Level of Service of Pedestrian Facility in Transfer Stations at Urban Railroad, Journal of the Korean Society for Railway, 13(3), 339-348.
- Kang K. W., Lee K. R. (2010), Development of the Bicycle Level of Service Model From the User's Perspective, J. Korean Soc. Transp., 28(3), Korean Society of Transportation, 75-84.
- Kim E. C., Choi E. J., Yang J. Y. (2015), A Study on Enhancement Methods of Level of Service Analysis for Pedestrian Sidewalks, J. Korean Soc. Transp., 33(1), Korean Society of Transportation, 29-39.
- Kim J. H., Oh Y. T., Son Y. T., Park W. S. (2002), A Study on Estimating Level-of-Service for Pedestrian Facilities, J. Korean Soc. Transp., 20(1), Korean Society of Transportation, 149-156.
- Kim K. H. (1999), Evaluation Criteria of the Walkway Level-of-Service in Korea, J. Korean Soc. Transp., 17(3), Korean Society of Transportation, 31-46.
- Kim K. H., Park S. H., Kim D. H. (2006), Estimating the Level-of-Service for Walkways by Using Fuzzy Approximate Reasoning, Journal of the Korean

Society of Civil Engineers, 26(2), 241-250.

Kim S. K., Choi J. S., Kim S. Y., Kim S. M. (2011), Evaluation of Pedestrian Road Level of Service by Survey and DGPS, 2011 Conference of Korean Society of Road Engineers, 179-184.

Kim T. H., Jeong K. S., Koo J. H., Won J. M. (2009), A Development and Application of Evaluation Criteria for Pedestrian Quality of Service Using Analytic Network Process, Journal of Korea Planners Association, 44(1), 211-222.

Kim T. H., Jin J. W., Bae G. M. (2008), An Analysis of Influencing Factors to Pedestrian Quality of Service by Utilizing Analytic Hierarchy Process, Journal of Korean Society of Road Engineers, 10(3), 69-77.

Kim T. H., Lee K. Y., Park J. J. (2009), Factor Analysis of Pedestrian Perceived LOS, Seoul Metropolitan Research, 10(2), 161-173.

Lim J. K., Shin H. S., Kim H. C. (2004), New Pedestrian Level of Service by Trip Purpose and Walkway Function, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 24(5), 723-728.

Lim J. S., Oh Y. T. (2002), Estimation of Pedestrian Capacity for Walkway, J. Korean Soc. Transp., 20(1), Korean Society of Transportation, 91-99.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), Korea Highway Capacity Manual, Ch.14.

Moon J. S., Lee J. L., Koo J. H. (2012), Selection of Evaluation Items for Pedestrian -Priority Zone Plan and Weights Analysis according to Zone Types, Journal of Korea Planners Association, 47(4), 241-251.

Sarkar S. (2003), Qualitative Evaluation of Comfort Needs in Urban Walkways in Major Activity Centers, TRB 2003 annual meeting, 1-32.

Seoul (2012), 2012 Seoul Pedestrian Survey, 3.

Shin H. M., Kim T. H., Jeong K. S., Won J. M. (2009), A Development of Service Quality Evaluation Models for Pedestrians in Newtown Using Structural Equation Modeling, Seoul Metropolitan Research, 10(1), 183-196.

Sohn D. W., Kim J. (2010), Analysis of the Relation-

ships between Land Use Characteristics of Urban Transit Centers and the Level of Transit Usage: Case Studies of Seoul Metropolitan Area, journal of the urban design institute of Korea, 11, 33-44.

Soren U. J. (2013), Pedestrian and Bicycle Level of Service at Intersections, Roundabouts and other Crossings, TRB 2013 annual meeting, 1-19.

Transportation Research Board (2010), Highway Capacity Manual, TRB, Ch.11 and Ch.18.

- ☞ 주 작성자 : 최성택
- ☞ 교신저자 : 추상호
- ☞ 논문투고일 : 2015. 9. 3
- ☞ 논문심사일 : 2015. 11. 30 (1차)  
2015. 12. 23 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2015. 12. 23
- ☞ 반론접수기한 : 2016. 4. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필