

# 보행 점유공간을 이용한 보행자도로 서비스수준 분석방법론 개선 연구

전성욱<sup>1</sup> · 손영태<sup>2\*</sup><sup>1</sup>한국교통연구원, <sup>2</sup>명지대학교 교통공학과

## An Improved LOS Analysis Method for Pedestrian Walkways Using Pedestrian Space

JUN, Sung Uk<sup>1</sup> · SON, Yonug Tae<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Korea Transport Studies, Sejong 30147, Korea<sup>2</sup>Department of Transportation Engineering, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

\*Corresponding author: son@mju.ac.kr

### Abstract

This study describes an improved model for estimating pedestrian LOS (Level of Service) by utilizing the space occupied by pedestrians. The method introduced the concept of conflict along the bi-directional pedestrian flow which enables calculating conflict area and average travel time in walking. Especially, the method incorporates the idea of generalized density concept which can consider effective walking area and pedestrian flow rates that might vary during the analysis period. After establishing methodology, adjustments of pedestrian LOS criteria in term of walking space occupied by pedestrians were performed. As a result, walking-occupied space at capacity level is 0.68 and corresponding pedestrian flow rate was calculated as 80 persons/min/m, while different pedestrian-occupied spaces were ordered to classify LOS at the points where the gradient changes. Furthermore, the statistical verification of service levels has shown that there is significant difference among all LOS categories at 5% significance level.

**Keywords:** pedestrian capacity, pedestrian LOS, pedestrian space, pedestrian walkway, generalized traffic characteristics

### 초록

본 연구는 보행자도로의 서비스수준 산정방법을 개선하는 것으로 보행점유공간을 주 척도로 하고 기존의 방법에서 고려되지 않았던 양방향 보행류에 따른 상충개념을 도입하여 분석을 하였다. 분석 시 보행상충 공간을 산정하였으며, 방향별 보행자 수에 따른 상충공간과 평균보행시간을 산정하였다. 그리고 시간흐름에 따른 유효보도면적을 산정하여 시공간개념의 보행 점유공간을 통해 서비스수준을 재조정하였다. 산출된 보행점유공간은 0.68상태에서 용량상태를 보이며 이때의 보행교통류율은 80인/분/m로 산정되었고 추가적으로 보행점유공간을 크기순으로 나열하여 기울기가 변하는 지점을 기준으로 서비스수준을 분류하였다. 서비스 수준별 통계적 검증을 수행한 결과 유의수준 5%에서 모든 서비스수준 범주별 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

J. Korean Soc. Transp.  
Vol. 34, No. 2, pp. 168-179, April 2016  
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.2.168>

pISSN : 1229-1366  
eISSN : 2234-4217

Received: 20 October 2015

Revised: 17 December 2015

Accepted: 4 March 2016

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.

**주요어:** 보행 용량, 보행자 서비스수준, 보행자 점유공간, 보행자도로, 일반화 교통류 특성

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

보행은 다른 교통수단을 이용하기 위한 가장 원초적이고 기본적인 이동수단이며 모든 통행의 시작과 끝을 담당하고 있다. 또한 최근 녹색교통의 강조와 함께, 보행개선에 관한 연구 및 다양한 시책들이 추진 중에 있는데, 이를 위해서는 보행도로의 합리적인 설계가 필요하고 설계를 위한 전제조건으로 보행자 시설물의 용량 및 서비스 수준을 정확히 분석하는 것이 필요하다. 우리나라의 경우, 한국도로용량편람(KHCM 2013)에서 보행자 시설로 보행자시설 유형별 서비스수준 분석방법을 제시하고 있는데(2001년 최초수록 후 변화없음) 보행자도로 서비스수준 분석방법이 차로용량대비 교통량을 비교하는 차량 서비스수준 분석방법과 유사하여 보행자의 다양한 특성, 즉, 양방향 보행이 가능하며 보행상충, 경로변경 등이 빠른 시간내 진행되는 점 등이 고려되지 않고 주로 단방향에 대한 침투보행량과 유효보도폭에 의해서 서비스수준이 산정되어 현실적으로 서비스수준을 평가한다고 보기에는 무리가 있다.

따라서 본 연구에서는 보행자시설 중 보행자도로에 대해서 서비스수준 재산정에 관한 방법론을 제시하였으며, 기존의 효과적도인 보행교통류율과 더불어 시간 흐름에 따른 시공간개념의 보행점유공간을 통해 서비스수준을 재산정하고자 한다.

### 2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 현재 한국도로용량편람의 문제점을 제시하고 이에 대한 개선방안을 모색하는 것으로 시공간개념의 보행 점유공간모형식을 이용한 개선된 보행자도로 서비스수준산정방법을 제시하고자 한다. 제시된 서비스수준산정 방법은 기존 방법이 보행자 도로 분석 시 보행자시설의 보행지장요인을 감안한 유효폭이 고정된 상태를 가정한 것에서 벗어나 시간에 따라 가변적인 보행 지장요인을 참고하여 시-공간개념의 보행 점유공간을 표현하도록 하였고 양방향 보행류에 따른 상충을 반영할 수 있는 새로운 서비스수준분석 방법을 제시하고자 한다. 보행자시설 중 본 연구의 대상구간은 활용도를 감안하여 유동 보행자가 많은 보행자도로를 대상으로 하며 수행하며 침두시와 비침두시를 조사하여 시간의 흐름에 따른 서비스수준 분석이 가능하도록 한다.

이를 위해 보행교통류와 국내외 도로용량편람을 검토하여 현재 문제점을 파악하고, 양방향 보행류 및 보행상충, 보행충돌에 관한 문헌들을 수집하여 시사점을 도출하고, 앞서 전술한 개념이 포함된 서비스 수준 방법을 개발하고, 현장조사를 수행하여 기초자료를 수집후, 조사자료를 분석하여 상충을 고려한 양방향 보행류의 보행 점유공간을 산정한다. 도출된 결과를 통하여 보행자도로 서비스수준 기준을 재산정한다.

## 선행연구

### 1. 국내외 도로용량편람

KHCM(2013)은 2001년도 도로용량편람 개선연구를 통하여 보행자시설에 대한 서비스수준을 최초로 제시하였다. 연구방법은 2000년판 미국 도로용량편람은의 방법론에 준하여 국내실정에 맞는 조사방법론을 수립하였다. 보행자 시설은 보행자도로, 계단, 대기공간, 횡단보도 등으로 구분하였으며, 보행자 시설별로 효과적도를 달리하여 제시하였다. 보행자도로는 보행교통류율, 보행점유공간, 보행밀도, 보행속도 등으로 다양하게 사용될 수 있으나 보행자도로 내 다양한 요인에 의해 방해받게 됨으로 이를 제외한 유효보도폭을 산정하여 보행교

통류율로써 보행자 공간의 서비스 수준을 판정한다.

미국 HCM(1985)에서는 Fruin(1971)와 Pushkarev and Zupan(1975)의 선행연구를 기초로 하여 보행자시설의 서비스수준 분석을 실시하는 분석과정을 제시하였다. 여기서 보행자시설은 보행자도로 및 보도, 횡단보도, 보도의 가각부에 대한 서비스수준을 제시하였다. 1985년판 미국 도로용량편람은 보행점유공간(Space)를 주요효과척도로 선정하였다. 추후 개정판인 미국 도로용량편람(2000)에서는 보행자시설 관련 부문다양한 시설 유형으로 보행자도로, 보도, 횡단보도, 보행자 대기공간이나 계단 등을 다루고 있으며 이외 보행자도로와 결부된 시설로는 횡단보도 가각부, 터미널, 교차보행교통류, 보행자-자전거도로, 연속되는 횡단보도 구간 등까지 분석범위에 포함하고 있다.

## 2. 보행자도로 관련 선행연구

보행관련 국내연구에서는 2001년판 도로용량편람이 출판되기 이전의 연구는 대부분 정량적 요소를 분석하거나 미국도로용량편람에 준용하여 분석을 수행한 연구가 많다. Kim(1999)은 미국 도로용량편람에서 제시한 보행교통류율을 기준으로 서비스 수준이 A, C, E인 지점을 선정하여 보행자들이 실제로 느끼는 서비스수준을 분석하였으며, 동시의 설문조사를 통하여 정량적인 평가도 수행하였다. 정량적인 요소로는 편리성, 안전성, 쾌적성뿐만 아니라 환경요소, 연결성, 보호성을 추가적으로 분석을 수행하였다. 그 후 Lim et al.(2002)는 보행자도로의 용량을 산정하고 서비스수준을 제시하며 보행자도로의 계획 및 설계기준을 제시하였는데 미국도로용량편람과 동일한 방법론을 사용하였고, 역내 환승로, 주변도로를 대상으로 각 조사지점의 보행속도와 보행밀도자료를 수집하여 회귀분석을 통해 직선식을 도출하였다. 산정된 결과 용량 값의 범위는 106인/분/m에서 126인/분/m사이로 분포되었다.

보행자시설 분석방법론이 정립되면서부터 최근까지 다양한 시설 중 보행자도로의 서비스수준이 다소 양호하게 도출되는 사례를 지적하는 연구결과가 존재한다. 이들은 기존의 방법론을 토대로 새로운 변수를 추가하여 분석하는 연구와 기존 방법론 내 변수를 현실화하는 연구로 분류할 수 있다. 이신해(2012)는 기존의 한국도로용량편람에 의한 보행자 서비스수준과 유효보도폭의 절대적 값에 의한 보행자 서비스수준을 동시에 고려하여 연구한 반면, Kim et al.(2013)은 한국, 미국 도로용량편람을 적용했을 시 현실적인 보행자도로의 서비스수준을 분석하기 어렵다고 판단하여, 보행교통류율을 주요효과척도로 사용하기 보다는 점유공간으로 보행 서비스수준을 분석하였다. 점유공간을 기준으로 한 개선방안은 크게 3가지로 나뉘게 되며 보행자간의 간격 설정, 보행자의 표준 인체 치수, 보행자의 가로 폭 설정 등으로 제시하여 새로운 점유공간을 산정하여 서비스수준을 재조정하였다.

보행관련 국외 연구에서는 대부분의 연구자들은 Fruin(1971)의 저서를 참고할 정도로 많이 인용되어 왔으며, 특히 보행환경을 분석함으로써 보행자의 심리, 특성, 서비스수준, 설계 등 많은 내용을 포함하고 있다. Fruin(1971)은 보행자 시설에 대한 분석결과 1인의 보행자에게 제공되는 공간의 크기인 보행점유공간( $m^2$ /인)과 1분 동안 1m를 통과한 보행자의 수로 환산한 보행교통류율(인/분/m)등의 척도를 이용하여 서비스수준 A-F로 산정하였다.

Pushkarev and Zupan(1975)에서는 보행교통상황을 일반적인 상황과 군집상황(Platoon), 제한을 받는 상황과 제한을 받지 않는 상황 등으로 분류하여 차량교통류율과의 유사함을 증명하였으며 보행교통류율과 보행속도, 보행밀도, 보행점유공간 등의 관계를 도출하였다. Fruin의 연구와 동일하게 1985년판 미국도로용량편람에 보행 교통류의 특성 분석 시 반영되었다. 이러한 연구는 모두 보행 서비스수준 분석 시 단방향 보행류에 대한 분석에 한하였으며 최근에는 양방향 보행류에 관한 관심도 점차 증가하고 있었다. 이를 대표할 수 있는 연구가 Blue V.J.(2001)의 연구이며 이는 Cellular Automata(CA) 마이크로 시뮬레이션을 통하여 양방향 보행자도로의 교통류특성을 분석하였다. 해당 모형에서 교차되는 보행자가 1 cell안에 존재하였을 때 지나가려는 움직임

을 취할 확률을  $P_{exchg}$  으로 표기하였으며 이는 랜덤확률분포를 따른다고 가정하였으며 양방향 보행교통류를 Separated flow, Interspersed flow, Dynamic Multi-lane flow 등으로 분류하여 방향별 보행자 비에 따른 결과를 제시하였다.

### 3. 보행상층 관련연구

Lee(2005)은 보행자시설중 기본이 되는 보행자 전용도로를 대상으로 회귀분석을 통한 보행교통류특성을 분석하였으며 보행자 통행특성 및 보행환경 만족도 조사를 하였으며 보행공간의 계획 및 설계의 기초자료를 제공하고자 하였다. 여기서 보행자 통행특성과 만족도 조사를 수행하기 위하여 보행자 간격분포, 보행자 최소 필요공간 등을 산정하여 추월·상층에 필요한 면적을 산정하였다.

Fruin(1971)에 의하면 정상적인 보행속도로 걸을 수 있는 보행간격은 보행군을 평가하는데 있어서 좋은 기준으로써 판단할 수 있다고 하였는데 보행자 도로내에서의 보행자 간격은 밀도와 점유공간과 밀접한 관계를 형성하고 있는 것으로 본다. 또한 보행자간 다른 방향에서 횡단하는 사람들과의 충돌문제는 보행속도 및 보행 밀도와 관계가 깊어 보행자 충돌은 보행점유공간  $1.5m^2$ /인인 경우에 충돌확률은 100%가 되며 보행 점유공간  $1.5m^2$ /인이상 증가되면 보행자들 간의 간격이 증가하여 충돌의 위험성이 감소되는 것으로 분석하고 있어 보행 점유공간  $3m^2$ /인일 경우 충돌확률은 50%가 된다고 제시하고 있다.

미국 HCM(2000)에서는 보행자들이 보행 교통류를 횡단 시의 자유도를 제시하고 있다. 점유공간  $3.5m^2$ /인 미만의 경우 상층의 가능성이 존재하며,  $3.5m^2$ /인의 경우는 대부분의 보행자가 상층을 경험하게 됨을 제시하고 있다. 유사하게  $3.5m^2$ /인 이상의 경우 통일방향 보행자를 추월하는데 어려움이 없으나  $1.8m^2$ /인으로 낮아지는 경우 점차 어려움을 경험하게 됨을 언급하였다. 교통류 특성과 다른 평가척도로서 대향방향의 보행 교통량이 많은 경우에 겪는 어려움을 언급하고 있으며, 양방향 교통량의 비율이 동일한 경우 한 방향교통류와 크게 차이가 없는 통행 특성을 보이지만, 양방향 통행비율에 차이가 있는 경우는 통행 특성을 유지하기 어려우며, 점유공간  $1.0m^2$ /인에서 양방향 교통량 비율이 “90:10”의 경우에 용량의 15%가 감소하였음을 언급하고 있다.

### 4. 시사점 도출

본 연구에서는 한국 도로용량편람 보행자시설 서비스수준 개선방안의 현실 반영을 위해 다음과 같은 변수를 반영을 제안한다.

첫째, 유효보도 폭은 보행자도로 내에서 시간의 흐름에 따라서 변할 수가 있다. 기존 분석방법은 보행교통류와 유효보도폭 등을 이용하여 보행교통로율을 산정하고 LOS를 결정한다. 하지만 유효보도폭은 불법노점상, 대형 운송행위, 공사, 단체인원들의 보행자도로내 버스 탑승대기 등 유효보도폭이 시간에 따라 변화하는 많은 이유들이 존재한다. 따라서 유효보도 폭을 고정값으로 가정하지 않고 시간에 따른 유효보도 폭 변화를 고려하여야 한다.

둘째, 2001년판 한국도로용량편람은 보행자도로 용량 산정 시 단방향 보행류에 한하여 분석을 수행하였다. 하지만 현실적으로 설계자가 보행흐름을 분리시키지 않는 한 양방향 보행이 대부분이며 방향별 보행자수에 따른 보행속도 및 보행밀도가 변할 수 있다.

셋째, 양방향 보행자들로 인하여 방향별 보행자간의 상층은 불가피한 일이다. 선행연구결과에 의하면 50:50의 경우에는 단방향과 유사한 결과 값이 도출되는 반면 90:10의 경우가 많은 변화를 가져오게 된다. 방향별 보행자 비에 따른 상층에 관한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 공간개념의 유효보도폭이 아닌 시간-공간개념을 도입한 유효보도 면적으로써 제시할 예정이며, 보행자도로의 주 효과척도인 보행교통류율이 아닌 보행 점유공간으로써 서비스수준을 산정이 보다 합리적이라고 판단된다. 또, 양방향 보행자 수에 따른 상층면적 및 상층횟수에 대한 관계를 도출하여 최대한

현실적이고 합리적인 서비스수준 분석 방법론을 제시하고자 한다.

## 분석모델 제시 및 조사방법 수립

### 1. 보행점유공간을 이용한 분석모델 제시

현재 도로용량편람에서 보행자도로의 서비스수준을 나타내는데 있어 주 효과척도는 보행교통류율이고, 보조 효과척도는 보행점유공간이다. 보행교통류율은 정의상 특정지점을 통과하는 보행자의 수로써 현재 기준으로는 공간으로서의 보행자도로의 서비스수준을 분석하기는 힘들다고 판단하였다. 따라서 보조 효과척도인 보행 점유공간을 주목하였다. 보조효과척도인 보행점유공간은 보행자당 보행자도로를 점유하고 있는 공간으로써 보행자도로내의 변화를 좀 더 현실적으로 감지하고 보행자간의 차지하고 있는 공간의 침해여부로 보행자간 상충여부를 유추할 수 있다.

따라서 본 연구에서 제시하고자 하는 양방향 교통류에 따른 상충횟수를 고려하기 위하여 보행점유공간을 적용하되 평균점유공간의 역수인 밀도를 확장시켜 일반화 밀도를 기반으로 보행점유공간 모델을 제시하고자 한다.

일반화된 차량 밀도는 관측구간에서 특정시점에 관측되는 차량 수에서 시간을 미세시간 만큼 확장시키고, 관측구간의 길이도 미세 시간에 따라 변화하는 것으로 확장하여 특정시점에 존재하는 차량이 모두 미세 시간 동안 구간 내에 존재한다는 가정하에 표현하여 분모를 시간 거리의 총면적으로 하고 분자를 차량이 시간 거리 총면적에서 소비한 총시간으로 표현하는 것으로 Figure 1와 같이 시공도로 표현할 수 있다.

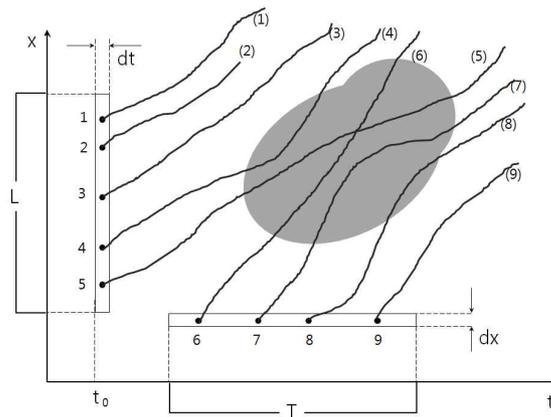


Figure 1. Trajectories and time-space concept of vehicles

$$K = \frac{n}{L} = \frac{ndt}{Ldt} \quad (1)$$

여기서,  $n$ : 차량대수  
 $L$ : 관측구간의 길이  
 $ndt$ : 사각형 공간내 존재하는 모든 차량이 소비한 시간  
 $Ldt$ : 수직 사각형 시간-공간 면적

(1)의 식을 확장하여 변화되는 시 공간을 대상으로 일반화된 밀도를 표현하면 Equation 2와 같게 된다.

$$K(A) = \frac{t(A)}{|A|} \quad (2)$$

여기서,  $K(A)$ : 일반화 밀도  
 $t(A)$ : 시공간 내 존재하는 모든 차량이 소비한 시간  
 $|A|$ : 시간-공간 면적

즉, 밀도는 time-space 면적을 분모로 하고 시공간상에서 차량이 보낸 총 시간을 분자로 한 식이 된다. 일반화 밀도의 장점은 직사각형이 아닌 시공간을 area를 사용할 수 있다는 것으로 보행공간의 경우 일반화 밀도 개념을 활용하면, 일정시간동안 변화해가는 유효보도폭을 표현할 수 있게 된다. 따라서 점유공간의 역수인 밀도, 즉 일반화된 밀도를 검토하여 이를 기반으로 하여 보행점유공간 모델을 제시하고자 한다.

일반화된 보행자 밀도의 역수인 점유공간은 Equation 3과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{|A|}{t(A)} = \frac{\sum_{i=1}^{\bar{T}} A_i (\Delta T_i)}{\sum_{i=1}^{\bar{T}} (V_{ai} + V_{ri}) \times \Delta T_i} \quad (3)$$

여기서,  $M$ : 보행자당 보행자도로 점유공간( $m^2$ /인)

$A_i$ :  $i$ 시간대의 시공간 면적

$\Delta T_i$ :  $i$ 시간대의 조사시간 또는 단위시간(1초)

$V_{ai}$ :  $i$ 시간대 순방향으로 진행하는 보행자 수(인)

$V_{ri}$ :  $i$ 시간대 역방향으로 진행하는 보행자 수(인)

$\bar{T}$ : 전체 조사시간단위 수(초)

Equation 3의 분자는 단위시간별 시공간의 변화를 합한 총 시공간 면적이 되며, 분모는 단위시간별 보행자의 공간내에서의 총소요시간으로 구성된다. 이를 보행자 교통조건과 보도폭의 변화를 상세히 반영하면 Equation 4와 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^{\bar{T}} (L \times W_{Ei} - A_c \times N_c) \times (\Delta T_i)}{\sum_{i=1}^{\bar{T}} (V_{ai} + V_{ri}) \times t_i} \quad (4)$$

여기서,  $W_{Ei}$ :  $i$ 시간대의 유효보도 폭( $m$ )

$L$ : 설정된 조사 구간( $m$ )

$A_c$ : 역방향 보행자간 상충으로 인해 손실되는 보행자 최소 점유공간( $m^2$ )

$N_c$ :  $i$ 시간대 역방향 보행자에 따른 평균 상충횟수( $n$ /초)

제시한 점유공간 식에서 분자에 있는 시공간 개념을 살펴보면 설정된 단위시간( $\Delta T_i$ )동안의 유효보도면적이 존재한다. 여기서의 설정된 조사구간( $L$ )은 분석자의 임의로 설정하게 되며 설정된 단위시간( $\Delta T_i$ )동안의 유효 보도폭( $W_{Ei}$ )과 조사구간( $L$ )의 곱으로 유효보도면적으로 제시한다. 그리고 여기서 상충면적( $A_c$ )와 상충횟수( $N_c$ )의 곱을 빼주게 되는데 이는 보행자간 상충이 일어날 경우 보행자의 몸을 비틀어서 경로를 진행하거나 보행자들 중 하나는 정지, 또는 저속보행등으로 양보하는 행위가 일어나게 된다. 이러한 것을 보행 상충으로 정의하여 보행자간 보행상충이 일어났을 때 보행자가 갖는 최소 보행면적을 사용하지 못하게 되는 점을 감안한다. 따라서 설정된 단위시간( $\Delta T_i$ )동안에 보행자간 상충이 일어난 횟수를 산정하여야 한다. 이러한 보행자 상충 횟수( $N_c$ )는 보행자수에 증가하게 되는데 설정된 단위시간( $\Delta T_i$ )동안에 역방향 보행자수( $V_{ri}$ )에 의해서 결정된다. 분모는 전체 보행자가 보행자도로를 점유한 시간, 즉 보행자들의 소요시간들의 총합을 나타낸다. 이는 전체 보행자 수( $V$ )와 평균 보행자당 보행시간의 곱으로 나타낼 수 있다. 하지만 보행자 수는 순방향 보행자( $V_{ai}$ )와 역방향 보행자( $V_{ri}$ )의 비율이 조사시간 마다 다를 수 있다. 따라서 순방향 및 역방향 보행자 수에 따른 평균 보행자 보행시간이 필요하고, 순방향 보행자( $V_{ai}$ )와 역방향 보행자( $V_{ri}$ )의 수에 따라서 상충횟수( $N_c$ )와 평균 보행자당 보행시간( $t_i$ )을 구하고 보행교통류율-점유공간의 관계를 통하여 보행자도로 서비스수준을 산정한다.

## 2. 조사방법 수립

보행자 행태 조사는 사전에 지정된 지점에서 조사공간을 설정한 뒤 고층건물 위에서 비디오카메라 촬영으로 수행하였다. 카메라 설치 시 보행상충 산정을 위해 보행자간 간격을 파악해야 하므로 비디오카메라와 보도면과 수직으로 고정 설치하여 촬영을 수행하였다. 조사지점은 보행자 서비스수준 E를 기준으로 용량상태가 간헐적으로 파악할 수 있는 곳을 선정하였으며 양방향 보행이 활발히 일어나는 지점을 선택하였다.

조사대상자로는 유아, 고령자, 보행자, 조사구간내 정지하고 있는 보행자, 지나치게 보행동작이 큰 보행자, 부피가 큰 수화물을 지니고 있는 보행자는 제외하고 분석을 수행하였다. 보행면적 산정 시 보행자간 좌우·전후 간격을 파악해야 하므로 단독보행자를 대상으로 하였다.

조사지점은 Table 1과 같이 강남대로 10번출구 인근 보도를 대상으로 하였으며 보도폭은 7.0m이며 조사구간은 6.0m로 설정하여 오전침두, 오후비침두, 오후침두를 대상으로 조사를 수행하였다. 조사구간은 자료수집 시 가능한 최대한의 범위로 임의로 설정하였다. 시간대별로 도로내 지장물이 변동적으로 존재하였다.

Table 1. Survey points and position overview

Survey Time	Width	Survey Point Status
07:20-09:00	7.0m	Street Trees, Phone Booth
15:00-18:30	7.0m	Street Trees, Phone Booth, Vendors
18:30-21:20	7.0m	Street Trees, Phone Booth, Vendors, Event Agents

보행점유공간 모델 분석과정은 Figure 2으로 나타났으며 크게 나누어서 현장조사를 통하여 보행상충면적 산정, 양방향 보행자와 상충횡수와의 관계 도출, 양방향 보행자에 따른 평균보행속도 산정이 될 수 있다. 산정된 자료를 토대로 보행교통류율과 보행점유공간을 산출하여 보행자 서비스수준을 재산정한다.

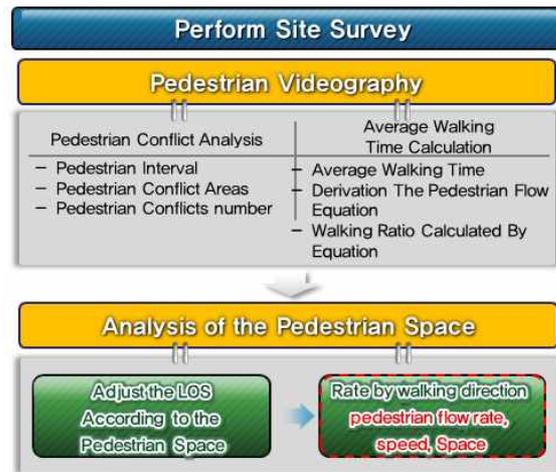


Figure 2. Model analysis process

## 보행점유공간을 이용한 보행교통류 특성 분석

### 1. 보행자당 최소면적 산정

보행자 최소 상충면적을 산정하기 위해서는 최소 좌우간격과 전후간격을 우선 산출하였다. 보행자간 좌우·전후간격 산정은 머리를 기준으로 하여 인두거리를 측정하여 인두거리에서 대한민국 표준치수를 제외한 값으로 사용하였다. 최소 좌우간격과 전후간격으로 보행자간 최소 필요면적을 산정하였는데 동일방향의 경우  $0.57m^2$ 이며 대향방향의 경우  $0.68m^2$ 로 산정되었다.

보행자간 상충면적은 최소필요면적에 의해 유형별로 분류하여 산정할 수 있다. 유형으로는 보행자간 전면충돌과 측면충돌로 분류할 수 있으며 이를 도식화한 내용은 Figure 3과 같다.

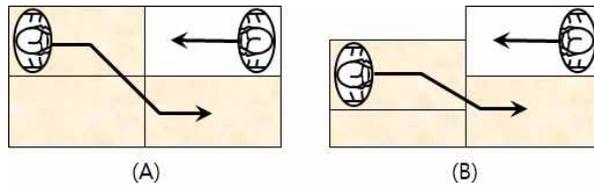


Figure 3. Type of pedestrian conflict

Table 2는 상충 보행의 유형별로 보았을 경우 1인 보행자 공간이 보행행태를 통해 분석된 최소필요면적이며 유형(A)의 경우 상충을 피하기 위해서 보행 시 최소필요면적의 약 2.0배가 필요하며 유형(B)는 약 1.5배가 필요로 한다. 상충 보행의 유형별 구성비를 파악해본 결과 유형(A)는 15.5%가 나왔으며 유형(B)는 84.5%가 산정되었다.

Table 2. Minimum conflict area

Conflict Type (A)		Conflict Type (B)	
Area ( $m^2$ )	Composition (%)	Area ( $m^2$ )	Composition (%)
1.36	15.5	1.02	84.5

따라서, 산정된 보행 상충면적을 구성비별로 보정한 값인  $1.07m^2$ 으로써 보행 점유공간 모델에서 상수로 대입할 수 있다.

## 2. 보행상충 및 평균 보행시간 산정

본 연구에서는 상충면적에 이어서 보행자수에 따른 상충횟수와의 관계를 알아보려고 단위시간 동안의 보행자수, 역방향 보행자수에 따른 상충횟수 자료를 수집하였다. Figure 4는 보행자수(보행비율60:40)에 따른 상충횟수 관계를 나타낸 것이다. 1분당 집계데이터를 사용하였으며 집계데이터가 1분 이하일 경우 보행자수가 많아도 방향별 보행류가 형성되어 상충이 발생하지 않았다. 따라서 데이터를 10초, 20초, 30초, 60초로 정리한 결과 1분 단위 집계 데이터가 가장 적합하게 나타났다. 보행교통류율이 20인/분/m로 적을 경우에는 5회 이하로 매우 적은 상충이 일어났으며, 그 이후 70인/분/m까지 꾸준히 증가한 이후 용량상태에 도달하였을 때에는 상충이 더 이상 증가하지 않는 경향을 보였다.

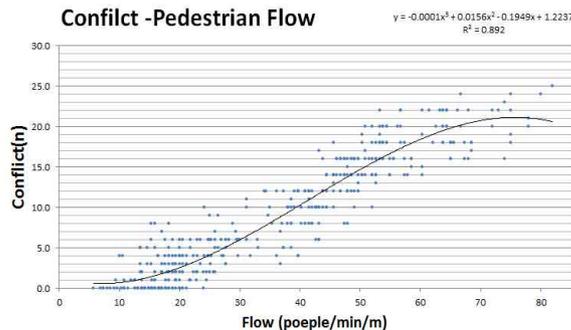


Figure 4. Relationship between the conflict number and number of pedestrians

양방향 보행자 비율(60:40)에 따른 평균 보행시간 산정은 관측된 보행교통류율과 샘플조사를 통해 산정한 보행속도를 이용하여 산정하였다. 보행교통류는 차량교통류와 달리 지·정체가 해소되는 시간이 매우 빠르게 일

어나며 이를 무수히 많이 반복하게 된다. 따라서 기초 수집단위를 15초로 설정하여 1분단위 주기로 분석하였을 때 가장 적합한 결과가 도출되었다. 현재 분석된 최대 관측보행량은 80.0인/분/m로 나타났으며 간헐적으로 용량상태를 나타낸다. 그리고 최대 자유류상태의 보행속도는 75m/분으로 산정되었다. Figure 5와 같이 간헐적으로 나타나는 용량상태일 때의 보행밀도는 1.48인/m<sup>2</sup>로 나타났다.

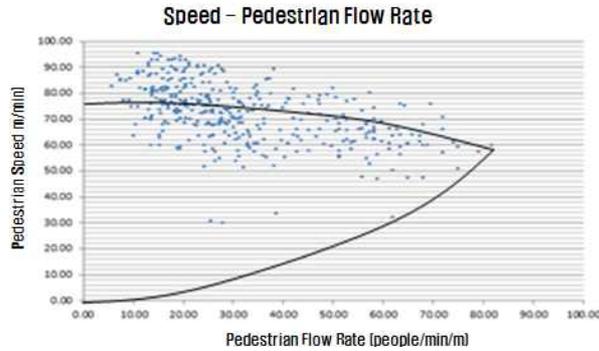


Figure 5. Relation of speed - pedestrian flow rate (pedestrian rate 60:40)

### 3. 보행점유공간을 통한 서비스수준 산정

본 연구의 결과값과 비교하기 위하여 기존의 방법론에 따른 서비스수준 분석을 수행하였다.

현 도로용량편람의 방법론에 준하여 침두 15분 보행량을 유효보도폭으로 나누어 산정한 결과, 오전 침두시 일때는 서비스수준 A로 매우 양호한 상태이며, 오후비침두는 대부분 B였으며, 오후 침두는 대부분 서비스수준 C로 산정되었다.

Table 3. LOS produced by suggested methodology

Survey Time	Ped. flow (Ped/15min)	Effective walk way (m)	Ped. flow rate (Ped/nin/m)	LOS
07:20-09:00	859	7.0	8.2	A
	923	7.0	8.8	
	962	7.0	9.2	
15:00-17:00	1015	3.4	19.9	B
	1089	3.4	21.4	
	1125	3.4	22.1	
17:00-18:30	1233	3.4	24.2	B
	1452	3.4	28.5	
	1523	3.4	29.9	
18:30-19:20	1850	3.4	36.3	C
	1818	3.4	35.6	
	1936	3.4	38.0	
19:30-20:20	2158	3.4	42.3	C
	2352	3.4	46.1	
	2370	3.4	46.5	
20:30-21:20	2390	3.4	46.0	C
	2272	3.4	44.5	
	2054	3.4	40.3	

보행 점유공간에 따른 서비스수준 조정하기 위하여 보행자들간의 인두거리분석을 통해 보행상충면적을 산정하였고, 양방향보행량-속도관계를 도출하여 평균보행시간을 산정하였다. 이후 조사시간 동안의 유효보도면적이 변화한 상황은 Figure 6과 같으며 변화요인은 전단지를 배포하는 행사요원과 도로 내 누워있는 걸인, 노점상 등이 존재하였다.

앞서 산정한 보행상충 면적, 양방향 보행류에 따른 평균 보행시간, 시간에 따른 유효보도면적의 변화량을 이용하여 본 연구에서 제시하는 보행점유공간 모형을 분석하였다. 분석결과, Figure 7과 같이 최대관측 보행교통

류율은 80인/분/m로 조사되었으며 간헐적인 용량상태이다. 이때의 보행밀도는 1.48인/㎡이며, 보행점유공간은 0.68㎡/인으로 나타났다.

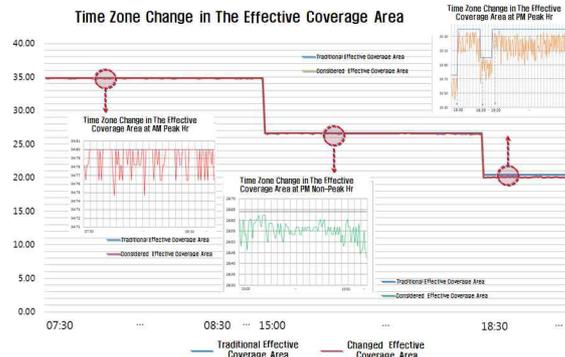


Figure 6. Effective area changes over time

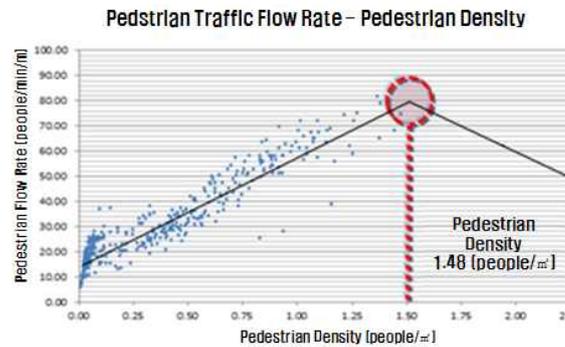


Figure 7. Relationship between pedestrian flow and density

본 연구에서 제시하고자 하는 보행점유공간에 따른 서비스수준 재조정은 보행점유공간을 크기순으로 나열하여 변곡점 위주로 서비스수준을 분류하고자 한다. 위에서 언급한 간헐적 용량상태가 나타나는 지점을 서비스수준 E라고 설정하여 점유공간 0.68㎡/인으로 제시하였다.

보행 점유공간을 순위분포를 나타내어 기울기의 변화가 완만하다가 급격히 증가하는 지점을 기준으로 선정하였다. 해당 지점은 1.37㎡/인, 1.81㎡/인, 2.60㎡/인, 3.61㎡/인으로 나타났다. 서비스수준 E를 기준으로 보행점유공간 0.68㎡/인일때의 보행교통류율은 75인/분/m로 산정이 되었다. 위에서 제시된 보행점유공간을 기준으로 보행교통류율은 51인/분/m, 36인/분/m, 26인/분/m, 20인/분/m으로 산정되었다. 이에 대한 결과는 Figure 8과 같다.

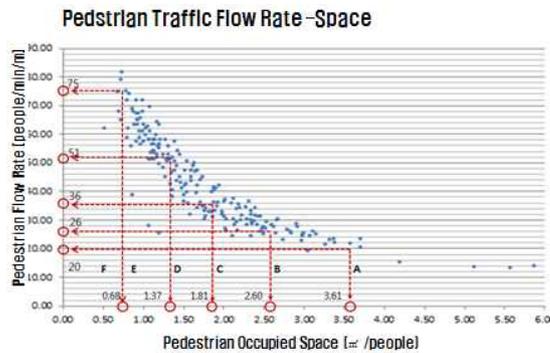


Figure 8. Service level by pedestrian space

보행점유공간을 통하여 서비스수준을 분류하였으며 보행점유공간에 따른 보행교통류 및 속도를 제시하였다. Table 4은 서비스수준의 기준을 재분류한 것이다.

**Table 4.** Level of service for pedestrian way

Division		Pedestrian Flow Rate (People/min/m)	Space (m <sup>2</sup> /People)	Density (People/m <sup>2</sup> )	Speed (m/min)
Study Result	A	≤ 20	≥ 3.61	≤ 0.27	≥ 72
	B	≤ 26	≥ 2.60	≤ 0.38	≥ 68
	C	≤ 36	≥ 1.81	≤ 0.55	≥ 65
	D	≤ 51	≥ 1.37	≤ 0.73	≥ 62
	E	≤ 75	≥ 0.68	≤ 1.48	≥ 49
	F	-	< 0.68	> 1.48	< 49
KHCM(2013)	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

보행점유공간을 통하여 서비스수준을 재조정하고 제시된 서비스수준 범주별로 의미 있는 차이를 나타내는지 검증하기 위해 통계분석을 수행하였다. 차이검증 대상은 총 5개 경우로 서비스수준 A-E까지로 분류되며 통계적 검증은 분산분석(ANOVA)를 수행하였다.

통계적 검증을 수행한 결과, 유의수준 5%에서 서비스수준 범주별로 차이가 있는 것으로 나타나 [p(0.000) < 0.05] 서비스수준 범주별 보행점유공간은 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서, 서비스수준 범주별 보행점유공간에 따른 교통류특성을 분석하기에 적합한 분류로 판단된다.

## 결론

현재 보행자도로의 서비스수준분석 방법은 유효보도폭 및 보행 교통류를 기준으로 산정하고 있어 보행자간의 상충이나 양방향 보행에 대한 반영이 어려운 등 단점이 있음을 감안하여 이 방법을 개선하고자 본 연구에서는 보행 점유공간을 이용하여 양방향 보행류에 따른 상충개념을 도입한 보행 점유공간을 통해 보행자도로 서비스수준산정 방법론을 제시하였고 산정에 필요한 파라미터 값과 서비스수준 기준을 제시하였다. 보행자간 상충으로 인한 최소 필요면적은 동일방향에 대해서 0.57m<sup>2</sup>, 대향방향에 대해서 0.68m<sup>2</sup>로 산정되었고, 최소 필요면적을 기준으로 하여 상충 시 유형을 (a)전면 상충, (b)측면상충으로 분류하여 상충으로 인한 손실면적을 산출하였는데, 전면 상충은 최소 필요면적의 2배한 값인 1.36m<sup>2</sup>, 측면 상충은 1.5배인 1.02m<sup>2</sup>로 산출되어 유형별 구성비를 적용하여 최종적으로 보행상충면적은 1.07m<sup>2</sup>로 산정되었다. 양방향 보행자 비율에 따른 평균보행시간을 산정하기 위해서 샘플조사를 통해 산정한 동일한 시간대의 보행속도와 보행 교통류율간의 관계식을 도출하였고 또한 시간흐름에 따른 유효보도면적을 산정하여 시공간개념이 보행 점유공간을 산출하였다. 산출된 보행점유공간은 0.68m<sup>2</sup>/인 상태에서 용량상태를 보이며 이때의 보행교통류율은 75인/분/m로 산정되었다. 본 연구에서 제시된 보행자도로 서비스수준은 기존의 도로용량편람에서 제시된 서비스수준 표에 비해서 보행교통류율 및 보행밀도는 낮게 제시되었으며, 보행속도는 큰 차이를 보이지 않았다. 본 연구의 결과는 보다 현실적이고 합리적인 보행자 서비스수준 평가를 위한 기초자료로써 의의가 있다고 판단된다.

본 연구의 한계점은 보행자도로 중에서 특정한 보도폭만을 대상으로 양방향 보행자비율 60:40으로 단일값만을 분석하였으며 집계자료도 충분한 상태가 아니므로 보행자도로를 대표하는 값이라고 보기에 어렵다. 향후 지점별 상업지역, 주거지역등으로 구분하고 유효보도폭에 따라, 조사지점에 따라, 방향별 보행비율에 따라 데이터를 충분히 확보한 이후 추가 분석하여 보행자도로의 서비스수준을 일반화 할 수 있으리라 기대된다.

## REFERENCES

- Adolf M. (1991), *Traffic Flow Fundamentals*, Prentice Hall.
- Blue V.J., Adler J.L. (2001), Cellular Automata Microsimulation for Modeling Bi-directional Pedestrian Walkways, *Transportation Research Part B* 35, 293-312.
- Daganzo C.F. (2007), *Fundamentals of Transportation and Traffic Operations*, Lighting Source Inc.
- Fruin J. (1971), *Pedestrian Planning and Design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners.
- Fruin John J. (1971), *Pedestrian Planning and Design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, N.Y.
- Kim K.-W. (1999), Evaluation Criteria of the Walkway Level-of-Service in Korea, *J. Korean Soc. Transp.*, 17(3), Korean Society of Transportation, 31-46.
- Kim S.-M. (2012), *The Study on the Level of Service Standard Evaluation With the Walkway Through the Pedestrian Conflicting Analysis*, Seoul City University Graduate School Master's Thesis.
- Korea Ministry of Land (2013), *Infrastructure, and Transport, Korea High-way Capacity Manual 2013*.
- Lee J.-W. (2005), *Study on The Pedestrian Traffic-Flow Characteristics and Its Applications*, Yeungnam University, Master's Thesis.
- Lee S.-H. (2012), Improvement of Analysis Method for Pedestrian LOS on Sidewalk in Seoul, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(3), Korean Society of Transportation, 7-15.
- Lee W.-C., Yang J.-Y., Lee S.-Y. (2013), A Study on the Improvement Method of Level of Service Analysis for Pedestrian Sidewalks, *Proceedings of the KOR-KST Conference/ver.69*, 221-225.
- 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.
- Pushkarev Zupan (1977), *Urban Space for Pedestrians*, Cambridge.
- Transportation Research Board (1985), *Highway Capacity Manual*.
- Transportation Research Board (2000), *Highway Capacity Manual*.