

## 구조방정식(S.E.M.)을 이용한 보행량 영향요인분석

### Factor Analysis Influencing Pedestrian Volumes Based on Structural Equation Models

김 태 현\*  
(Tae-hyun Kim)  
(The Seoul Institute)

오 주 택\*\*  
(Ju-taek Oh)  
(Korea National University  
of Transportation)

이 규 훈\*\*\*  
(Kyu-hoon Lee)  
(Korea National University  
of Transportation)

#### 요 약

보행은 일상생활에서 행해지는 가장 기본적인 이동수단으로 보행에 대한 관심과 이를 활성화시키고자 하는 노력이 지속적으로 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 구조방정식을 이용하여 보행량에 영향을 미치는 여러 요인들 간의 관계를 규명하고자 하였다. 본 연구에서는 하루 전체시간, 비첨두시간, 첨두시간으로 분류하여 시간대 별로 요인들이 보행량에 미치는 영향의 변화를 비교·분석하였다. 분석결과 상업·업무요인, 접근성요인, 보행환경요인이 보행량을 증가시키는 요인으로 작용하는 것으로 나타난 반면, 주거요인은 보행량을 증가시키는데 기여하지 못한다는 결과를 도출하였다. 또한 비첨두시간에는 하루 전체시간보다 상업·업무요인의 가중치가 증가한 반면 주거요인, 접근성요인, 보행환경요인의 가중치는 상대적으로 감소하였다. 첨두시간의 경우 비첨두시간과는 달리 하루 전체시간보다 상업·업무요인의 가중치가 감소하였으며 나머지 세 요인의 가중치는 증가한 것으로 나타났다.

핵심어 : 보행량, 보행환경, 구조방정식, 요인분석

#### ABSTRACT

Walking behaviors are one of the most basic transport modes in daily life. As a result, the efforts and concerns on pedestrians are consistently increased. This study tried to reveal significant factors for pedestrian volumes through structural equation models and compare the impacts of the whole time of day, off-peak time, peak time on the pedestrian volumes. The results of the analysis show that commercial·business factors, accessibility factors, walking environment factors are the most significant factors that increase pedestrian volumes. Whereas, housing factors do not contribute to increase the pedestrian volumes. In the non-peak time, the weight of commercial·business factors is higher than the whole time of day, while the weight housing factors, accessibility factors, walking environment factors are lower. In the peak time, however, the weight of commercial·business factors decreases rather than the whole time of day, while the weight of the other factors increase.

Key words : Pedestrian volume, Pedestrian environment, Structural equation model, Factor analysis

\* 주저자 : 서울연구원 도시공간연구실 연구위원

\*\* 교신저자 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 부교수

\*\*\* 공저자 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 석사과정

† Corresponding author : Ju-taek Oh(Korea National University of Transportation), E-mail jutaek@ut.ac.kr

† Received 28 April 2016; reviewed 17 May 2016; Accepted 18 May 2016

## I. 서 론

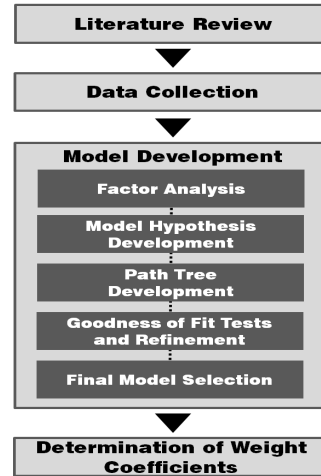
보행은 일상생활에서 행해지는 가장 기본적인 이동수단으로 차량 등 다른 교통수단을 이용하는 경우에도 그 시작과 끝은 보행으로 이동한다. 동시에 보행을 통한 신체활동은 질병, 스트레스, 비만 등을 예방하는 건강증진의 효과는 물론 도시의 활동을 활력 넘치게 만들어주며, 자동차 위주의 도시 교통 및 환경 문제를 해결하는 지속가능한 수단으로써의 역할을 가능하게 한다. 이와 관련하여 Jang et al.(2015)은 보행이 환경오염 절감효과, 건강의 증진 뿐 아니라 보행 활성화를 통한 가로변 활성화를 유도할 수 있는 훌륭한 수단이 될 수 있다고 주장하고 있다[1].

기존의 보행분석을 실시한 선행 연구들은 토지 이용, 도로구조, 보행환경, 접근성 등의 다양한 변수들을 바탕으로 보행환경과 보행량 사이의 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 그러나 이들 연구의 대부분이 다중회귀분석을 사용하여 분석을 진행하였는데, 다중회귀분석 기법은 측정오차를 무시하여 분석결과가 정확하지 않을 가능성을 가지고 있으며, 1차원적이고 단편적인 인과관계를 보여주는 한계점을 가지고 있다[2]. 또한 기존 선행 연구들은 토지이용, 가로유형, 생활권 등 공간적 특성으로 분류하여 보행특성을 분석한 반면, 침투시간, 비침투시간 등 하루의 시간대별 특성으로 보행에 미치는 영향을 분석한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 구조방정식을 이용하여 보행발생량에 영향을 미치는 여러 요인들 간의 관계를 구조적으로 규명하고자 하였다. 구조방정식은 측정오차를 고려하며, 다양한 설명변수들을 포함하여 변수의 다중관계를 포괄적으로 측정하고 탐색적인 분석이 가능하므로 여러 가지 변수들 간 복잡한 관계를 규명하는데 적합한 것으로 알려져 있다[2]. 또한 본 연구에서는 분석시간대를 하루 전체시간과 보행발생량의 차이를 보일 것으로 판단되는 비침투시간, 침투시간대로 나누어 요인들이 보행발생량에 미치는 영향의 변화를 비교분석하였다.

본 연구에서 사용한 데이터는 서울시 유동인구

조사 자료를 바탕으로 총 9,177개 지점의 보행량 조사 자료를 활용하였다. <Fig. 1>은 본 연구를 수행하기 위한 연구 흐름도를 나타낸다.



<Fig. 1> Research Procedure Flow

## II. 관련 연구 고찰

본 연구와 관련하여 보행분석 연구들을 살펴보면 국내외에서 다양한 연구들이 수행되었음을 알 수 있다.

우선 국내의 연구들을 살펴보면, 보행환경과 관련하여 Lee et al.(2015)은 다중회귀분석을 이용하여 가로유형별 보행영향요인을 분석하였다. Lee et al.(2015)의 연구에서는 가로유형을 업무위주 상업가로, 주거위주 상업혼재가로, 상업위주 업무복합가로, 주거위주 산업·업무혼재가로, 그리고 공동주택 위주 상업·업무혼재가로의 5개 유형으로 나누어 분석하였으며, 보행량 증감에 영향을 미칠 수 있는 특정 계획요소들이 가로 유형별로 상이함을 보여주고 있다[3].

Lee et al.(2013)은 생활권역별 보행변화율에 영향을 미치는 특성변수들을 도출하기 위해 인구, 고용 등 비공간요소를 중심으로 영향관계를 회귀분석을 통해 분석하였는데, 분석결과 토지이용 다양성이

증가할수록 보행의 변화량이 증가한다는 결과를 도출하고 있다[4].

Jang et al.(2015) 역시 토지이용유형별로 보행량에 영향을 미치는 요인을 비교분석한 연구결과를 제시하고 있는데, Jang et al.(2015)은 그의 연구를 위해 선형회귀분석을 통해 주거, 상업, 공업, 녹지 등의 토지이용을 바탕으로 5개의 군집으로 분류하고, 군집별 1일 및 시간대별 평균보행량의 차이를 비교하였다[1].

Lee et al.(2013, 2014)은 서울시 중심업무지구와 주요 상업가로 11개 역세권을 대상으로 보행량에 영향을 미치는 가로의 물리적 환경 등에 대해 분석하였는데, 분석결과 상업밀도, 건폐율, 인구집중시설거리, 용도지역, 비정형블록, 도로폭, 도로교차수, 간선도로, 지하철역거리, 보도폭이 보행량에 영향을 미치는 요인으로 나타났다[5, 6].

Yun and Choi(2013)는 서울시 6개 구를 대상으로 상업지역에 해당하는 조사지점을 중심으로 보행권별로 토지이용, 도시조직, 대중교통과의 접근성을 밀도, 다양성, 디자인 측면으로 나누어 보행량과의 관련성을 분석하였다. Yun and Choi(2013)는 보행량에 미치는 영향을 확인하기 위하여 다중회귀분석을 실시하였는데, 분석결과 보행환경요인 5가지 중 밀도와 관련된 변수들이 보행증진에 가장 중요한 요소로 나타났다[7].

보행량과 관련한 해외연구들을 살펴보면, 우선 Frank and Engelke(2005)은 보행공간에 영향을 주는 환경적 요인들을 규명한 연구에서 도시구조 특성인 교차로 밀도와 주거 밀도, 토지이용 등이 보행량을 증가시킬 수 있는 주요 요인임을 나타내고 있다[8].

Lee and Moudon(2006)의 연구에서는 토지이용, 도시계획시설, 편의시설 등의 요소를 사용하여 보행량과의 관계를 분석하여 도시계획시설 및 편의시설 등이 많으면 보행량을 유발시키며 보행시간 또한 길어진다고 연구결과를 도출하고 있다[9].

Pulugurtha et al.(2008)은 시내 교차로를 대상으로 개인특성(소득수준, 고용상태), 토지이용, 도로의 물리적 여건 등의 요인들이 보행에 미치는 영향력에 대해 분석하였으며, Schneider et al.(2011)의

연구에서는 보행량에 대한 도시공간구조모형을 제시하고 있는데, 그들의 연구에서는 가구수, 종사자수가 많거나, 높은 활동구역(High-Activity Zone)이 존재할 경우, 접근성이 좋을수록 보행량이 높아진다는 결과를 도출하였다[10, 11].

보행환경 및 보행량과 관련한 국내외의 연구결과들을 정리하면, 국내의 경우 다중회귀분석을 통해 보행환경과 보행량 간의 관계를 분석하는 연구들이 대다수를 차지하고 있으며, 국외의 경우도 회귀분석 등을 통해 보행에 영향을 미치는 요인들의 규명과 모형정립의 내용들이 연구의 주류를 이루고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 구조방정식을 통해 보행량과 요인들 간의 인과관계를 분석하고자 한 본 연구와는 차별성이 존재함을 확인할 수 있다.

### III. 연구 방법론

많은 변수를 사용하여 요약된 정보를 얻어내고자 할 때 요인분석을 사용한다. 요인분석(Factor Analysis)은 여러 변수들 사이의 상관관계를 바탕으로 하여 정보의 손실을 최소화하면서 변수의 개수보다 적은 수의 요인(factor)으로 자료 변동을 설명하는 다변량 분석기법이다.

구조방정식은 구성개념 간의 이론적인 인과관계와 상관성의 측정지표를 통한 경험적 인과관계를 분석할 수 있도록 개발된 통계기법이다. 다시 말해 확인요인분석을 통해서 측정오차가 없는 잠재요인을 발견하고 회귀분석으로 잠재요인 간을 연결하는 방법이다. 연구자는 이를 통해 다중변수 관계를 포괄적으로 측정하고 탐색적인 분석에서 확인적인 분석까지 할 수 있다[12].

요인분석의 적합성은 KMO(Kaiser-Meyer-Olkin) and Bartlett's Test를 통해 이루어지며, Bartlett's Test는 P-값이 0.05 이하이면 “모상관행렬이 단위행렬이다”라는 귀무가설을 기각한다. KMO 검정 결과 MSA(Measure of Sampling Adequacy)값이 0.5 이상이면 신뢰성이 존재한다는 것을 의미한다.

모형의 분석 및 인정평가 단계에서는 모형이 신뢰성 있는 모형으로 받아들여질지를 평가하는 것을

말한다. 즉, 모형이 수집된 자료에 적용해 볼 수 있는지를 평가하는 과정이다. 모형의 적합도 지수의해서 모형의 적합도가 만족하였다면 연구자는 이에 따라 결과에 대한 논리적 해석을 도출해야 한다.

인정평가 단계를 통해 낮은 적합도가 발견되었다면 모형의 적합도를 개선할 수 있는데, 이를 위해 M.I.(Modification Indices)의 Covariances Data 중 M.I.를 검토하여 연구모형을 수정할 수 있으며, 수정지수 처리할 때 주의할 사항은 논리적으로 변수 간의 관계가 타당한지 여부를 반드시 점검해야 한다.

앞서 언급한 모형의 적합성 인정평가방법에는 절대부합지수와 증분적합지수, 간명부합지수 등을 이용한다. 절대적합지수는  $\chi^2$ (카이제곱), GFI(Goodness of Fit Index), AGFI (Adjusted GFI), RMR(Root Mean-Square Residual)이 있으며, 증분적합지수는 NNFI(Non-Normed Fit Index)가 있다. 간명적합지수는 PGFI (Parsimonious Goodness-of-Fit Index), PNFI (Parsimonious Normed-of-Fit Index), AIC(Akaike Information Criteria) 등이 있다. 본 연구에서는 <Table 1>과 같은 기준을 설정하여 모형의 적합성을 판단할 수 있도록 하였다.

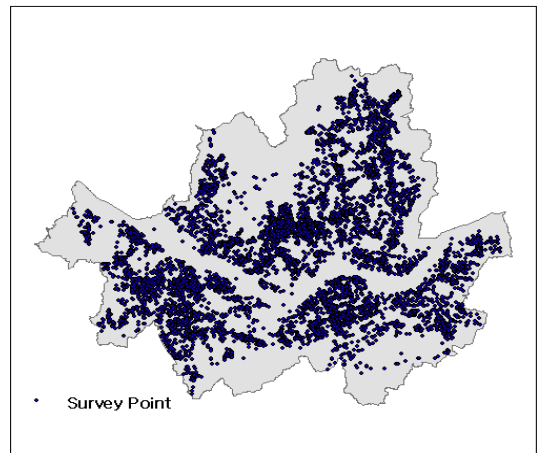
<Table 1> Goodness-of-Fit Index

	Fit Measures	Worst Model	Titration Model	Optimum Model
Absolute Fit Measures	$\chi^2$	sig.< $\alpha=0.1$	sig.> $\alpha=0.1$	sig.> $\alpha=0.1$
	GFI	0	above 0.9	1
	AGFI	0	above 0.9	1
	RMSEA	1	below 0.05	0
	RMR	above 0.1	below 0.1	0
Incremental Fit Measures	NNFI(TLI)	0	above 0.9	1
	CFI	0	above 0.9	1

## IV. 분석

### 1. 자료수집

본 연구에서는 서울특별시에서 진행한 서울시 유동인구조사 자료를 활용하여 보행량 및 도로시설, 토지이용, 보행환경 등을 조사한 총 9,177개 지점의 데이터를 이용해 분석하였으며, 대상 지점은 <Fig. 2>와 같다.



<Fig. 2> Locations of Survey

모형 개발에 사용한 변수로는 보행발생량(1일, 11-13시, 17-19시)을 종속변수로 사용하였고, 버스정류장까지 보행거리, 간선도로까지 보행거리, 지하철출입구까지 보행거리, 사업체수, 종사자수, 보도폭 등 총 44개의 변수들을 설명변수로 고려하였다. 이 중 요인분석과 상관분석을 통하여 12개의 신뢰성이 높은 변수들을 모형개발에 최종 활용하였다. 12개의 설명변수 중 보행발생량과 사업체수, 종사자수는 LN(Log)을 사용하여 변수의 자리 수를 맞추었고, 업무면적, 상업면적의 단위는 ha로, 버스정류장까지 보행거리, 간선도로까지 보행거리, 지하철출입구까지 보행거리는 km로 단위를 맞추었다. 또한 경사로유무의 경우 0: 있음, 1: 없음으로 설정하였다. 모형개발에 사용된 주요 설명변수들의 기초통계는 <Table 2>에 나타난다.

〈Table 2〉 Main Explanatory Variables

Variables	Min.	Max.	Avg.
Pedestrian Volume(Whole Time)	1.79	11.56	7.58
Pedestrian Volume(11-13h)	0.00	8.65	5.47
Pedestrian Volume(17-19h)	0.00	10.24	5.89
Walking Distance to Bus Stop(km)	0.001	0.828	0.116
Walking Distance to Subway Entrance(km)	0.002	3.667	0.412
Walking Distance to Main Road(km)	0.000	1.284	0.075
Number of Establishment	0.00	8.37	4.72
Number of Practician	0.00	9.73	6.35
Sidewalk Width(m)	1	22	3.96
Footpath Division	0	2	0.50
Slope Way	0	1	0.76
Residential Ratio	0.000	1.000	0.487
APT Ratio	0.000	1.000	0.259
Business Area(ha)	0.00	82.38	2.05
Commercial Area(ha)	0.00	34.44	2.19

## 2. 구조방정식 모형 개발 및 분석

데이터 수집을 통해 입력한 자료는 분석을 위해 SPSS 20을 이용하였다. KMO and Barlett's 검정 분석 결과는 <Table 3>과 같다.

〈Table 3〉 KMO and Bartlett's Test

Test Method	Result	
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0.600	
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	28821.37
	df	66
	Sig.	0.000

KMO의 MSA 값은 0.600으로 분석되어  $MSA > \alpha = 0.5$ 를 만족하므로 요인분석을 계속 진행할 수 있다는 결론을 도출하였으며, Bartlett 검정 ( $p < 0.01$ ) 결과 또한 통계적으로 유의함을 보여준다.

본 연구에서는 연구모형 및 연구가설을 개발하기 위하여 Rotation Component Matrix 분석을 시행하였다. 분석결과 종사자수, 사업체수, 상업면적, 업무면적으로 총 4개의 변수가 요인 1, 주거비율, APT비율이 요인 2에 속하였고 요인 3은 간선도로까지 보행거리, 버스정류장까지 보행거리, 지하철

출입구까지 보행거리가, 요인 4는 보도폭, 보행로 구분, 경사로유무가 속해 있는 것을 <Table 4>를 통해 확인할 수 있다.

〈Table 4〉 Rotation Component Matrix

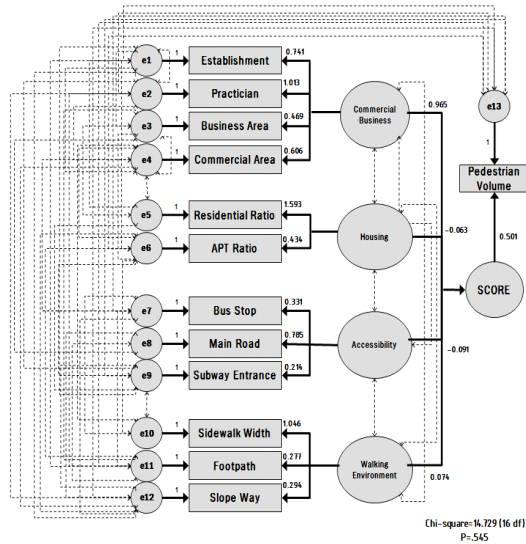
	component			
	1	2	3	4
Walking Distance to Bus Stop	-.008	-.057	.700	.116
Walking Distance to Subway Entrance	.008	.111	.451	-.192
Walking Distance to Main Road	-.037	-.038	.738	-.014
Number of Establishment	.870	.111	-.010	.000
Number of Practician	.910	-.178	-.022	-.003
Sidewalk Width	.031	-.032	-.072	.800
Footpath Division	.043	.043	.304	.650
Slope Way	-.071	-.032	-.276	.610
Residential Ratio	-.404	.843	.026	-.025
APT Ratio	.009	.910	.011	-.018
Business Area	.465	-.380	.025	-.013
Commercial Area	.702	-.177	-.018	.013

<Table 4>의 Rotation Component Matrix 분석 결과를 이용하여 각 요인이 보행발생량에 영향을 미칠 것이라는 연구모형 가설을 설정할 수 있으며 <Table 4>의 Rotation Component Matrix와 연구가설 결과를 반영하여 경로 도형은 AMOS 20을 이용하여 구축하였고, 전체시간, 비침두시간, 침두시간으로 종속변수를 세 가지로 나누어 분석하였다.

### 1) 전체시간(1일)

전체시간을 종속변수로 하여 경로도형 분석을 시행한 결과,  $\chi^2: 0.000$ , RMSEA: 0.082, NNFI: 0.847, CFI:0.890으로 나타나 <Table 1>에서 제시한 적정모형 기준에 미치지 못함을 알 수 있다. 이에 본 연구에서는 모형의 적합도를 높이기 위해 수정지수(Modification Indices)의 Covariances를 이용하여 최적모형에 가장 부합할 수 있는 수정모형을

제시하였으며, 결과는 <Fig. 3>과 같다.



<Fig. 3> Final Model of the Whole Time

전체시간의 분석 결과는  $\chi^2$ : 0.545, GFI: 1.000, AGFI: 0.999, RMSEA: 0.000, RMR: 0.004, NNFI: 1.000, CFI: 1.000으로 나타나 모두 적정모형의 충족 요건을 만족하는 것으로 분석되었다. 인정평가 분석 수치는 <Table 5>에서 확인 할 수 있다.

<Table 5> Goodness-of-Fits for the Final Model (Whole Time)

	Fit Measures	Worst Model	Titration Model	Basic Model	Final Model
Absolute Fit Measures	$\chi^2$	sig.< $\alpha=0.1$	sig.> $\alpha=0.1$	0.000	0.545
	GFI	0	above 0.9	0.945	1.000
	AGFI	0	above 0.9	0.911	0.999
	RMSEA	1	below 0.05	0.082	0.000
	RMR	above 0.1	below 0.1	0.082	0.004
Incremental Fit Measures	NNFI (TLI)	0	above 0.9	0.847	1.000
	CFI	0	above 0.9	0.890	1.000

최종 모형에 대한 Standardized estimates 분석 결과를 요약하여 잠재요인을 수식화하여 <Table 6>과 같이 나타낼 수 있다.

<Table 6> Weights for the Latent Factors (Whole Time)

	Formula
Score	Commercial·Business*0.965+Housing*(-0.063)+Accessibility*(-0.091)+Walking Environment*0.074
Commercial·Business	Establishment*0.741+Practician*1.013+Business Area*0.469+Commercial Area*0.606
Housing	Residential Ratio*1.593+APT Ratio*0.434
Accessibility	Bus Stop*0.331+Main Road*0.785+Subway Entrance*0.214
Walking Environment	Sidewalk Width*1.046+Footpath*0.277+Slope Way*0.294

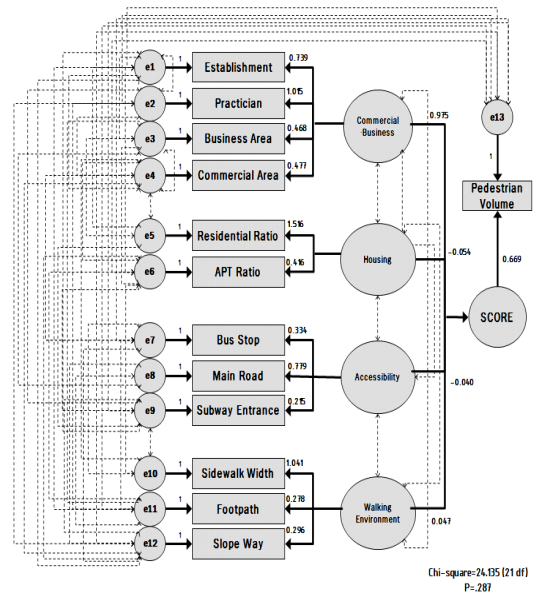
모형 결과, 총 4개의 요인으로 구분되었으며, 상업·업무: 0.965, 주거: -0.063, 접근성: -0.091, 보행환경: 0.074로 보행발생량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 상업·업무 관련 요인은 0.965로 가중치가 가장 높게 분석되어 네 요인들 중 보행발생량에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 변수들 중 사업체수, 종사자수, 업무면적, 상업면적이 0.741, 1.013, 0.469, 0.606으로 네 변수 중에서 종사자수가 보행발생량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 보행발생량이 토지이용 중 산업경제활동에 많은 영향을 받는 것을 의미하며, 업무시설이 간선가로에 주로 입지하고 특히 종사자들의 출·퇴근 통행이 활발하므로 이것이 보행발생량에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이러한 연구 결과와 관련하여 Lee and Koo(2013)의 연구에서도 상업용도의 밀도와 용도복합도가 높을수록 보행발생량이 많다는 분석결과를 도출하였다[5]. 주거 관련 요인은 가중치가 음(-)적 영향을 나타내 변수의 영향에 따라 보행발생량이 감소하는 요인으로 나타났으며 특히 주거비용 변수는 1.593으로

크게 영향을 미친다. 이는 주거지역은 출·퇴근이나 통학 등을 제외하면 활발한 보행활동이 일어나지 않으며, 상업, 업무지역은 중심지 지역에 많이 분포한 반면, 주거지역은 외곽지역에 많이 분포하여 통행이 보행발생량에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 판단된다. 접근성 관련 요인은 -0.091로 보행발생량에 음(-)의 영향을 보이는 변수로 나타났으며, 버스정류장, 간선도로, 지하철출입구와의 거리가 가까울수록 보행발생량이 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 이면도로보다 보행활동의 활발한 간선도로의 영향과 함께 버스, 지하철과 같은 교통수단을 이용하여 다른 지역으로 통행하므로 가로보행량에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. Lee and Koo(2013), Lee et al.(2015)의 연구에서도 접근성과 보행발생량간의 관계가 음(-)의 상관관계로 나타난다는 결과를 확인할 수 있다[5, 3]. 보행환경 관련 요인은 0.074로 보행발생량에 양(+)의 영향을 미치는 변수로 나타나며, 보도폭이 넓고 보행자전용도로가 있으며, 경사도가 없을수록 보행발생량이 증가하는 것으로 나타나는 것으로 보아 쾌적한 보행환경이 보행발생량을 증가시키는 데 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) 비첨두시간(11-13시)

비첨두시간의 경우 점심시간대의 보행활동이 보행발생량에 영향을 미칠 것으로 판단되어 11-13시 시간대의 보행발생량을 종속변수로 설정하고 경로도형을 분석하였다. 분석 결과,  $\chi^2$ , RMSEA, NNFI, CFI 값이 <Table 1>에서 제시한 적정모형 기준에 미치지 못해 수정지수를 이용하여 <Fig. 4>와 같은 수정모형을 제시하였다.

<Fig. 4>의 분석결과  $\chi^2$ , GFI, AGFI, RMSEA, RMR, NNFI, CFI의 부합지수들이 적정모형의 충족요건을 만족하는 것으로 분석되었다. 인정평가 분석 수치는 <Table 7>에서 확인할 수 있다.



<Fig. 4> Final Model of Off-Peak Time

<Table 7> Goodness-of-Fits for the Final Model (Off-Peak Time)

	Fit Measures	Worst Model	Titration Model	Basic Model	Final Model
Absolute Fit Measures	$\chi^2$	sig.< $\alpha=0.1$	sig.> $\alpha=0.1$	0.000	0.287
	GFI	0	above 0.9	0.948	1.000
	AGFI	0	above 0.9	0.915	0.998
	RMSEA	1	below 0.05	0.080	0.004
	RMR	above 0.1	below 0.1	0.087	0.006
Incremental Fit Measures	NNFI (TLI)	0	above 0.9	0.857	1.000
	CFI	0	above 0.9	0.897	1.000

최종 모형에 대한 Standardized estimates 분석 결과를 요약하면 <Table 8>과 같이 나타낼 수 있다.

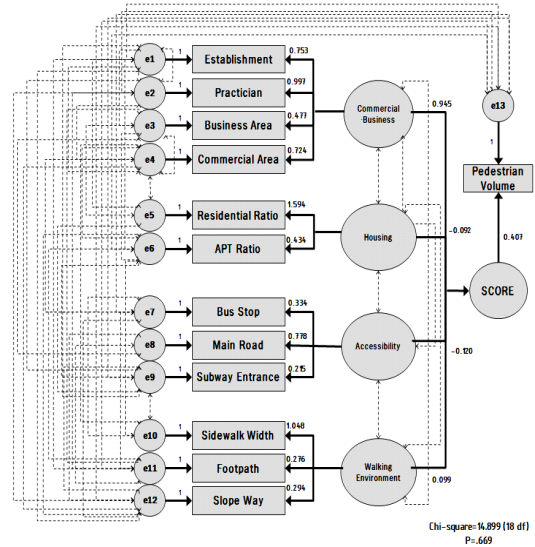
<Table 8> Weights for the Latent Factors (Off-Peak Time)

	Formula
Score	Commercial·Business*0.975+Housing*(-0.054) +Accessibility*(-0.040)+Walking Environment*0.047
Commercial·Business	Establishment*0.739+Practician*1.015 +Business Area*0.468+Commercial Area*0.477
Housing	Residential Ratio*1.516+APT Ratio*0.416
Accessibility	Bus Stop*0.334+Main Road*0.779 +Subway Entrance*0.215
Walking Environment	Sidewalk Width*1.041+Footpath*0.278 +Slope Way*0.296

모형 결과, 상업·업무: 0.975, 주거: -0.054, 접근성: -0.040, 보행환경: 0.047로 보행발생량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 전체 시간과 비교해보면 상업·업무 관련 요인은 전체시간의 가중치인 0.965에서 0.975로 증가한 반면, 주거 관련 요인은 -0.063에서 -0.054로 감소하였고, 접근성 관련 요인은 -0.091에서 -0.040으로 감소하였으며, 보행환경 관련 요인 또한 0.074에서 0.047로 감소하였다. 이는 11-13시간대가 점심시간과 맞물려 이를 위한 종사자들의 보행활동이 일어나므로 전체시간과 비교해 보았을 때 가중치에 소폭이지만 증가요인을 주는 것으로 판단된다. 이와 관련해서 Lee et al.(2015)의 연구에서도 업무시설이 높은 가로는 보행발생량이 점심시간에 뚜렷하게 증가하는 것으로 결론짓고 있다[3].

3) 첨두시간(17-19시)

출·퇴근 통행이 발생하는 오전, 오후 첨두시간대 중에서 통행량이 가장 많은 17-19시를 대상으로 경로도형을 분석하였고,  $\chi^2$ , RMSEA, NNFI, CFI 값이 적정모형 기준에 미치지 못해 <Fig. 5>와 같은 수정모형을 제시하였다.



<Fig. 5> Final Model of Peak Time

<Fig. 5>의 분석결과  $\chi^2$ , GFI, AGFI, RMSEA, RMR, NNFI, CFI의 부합지수들이 적정모형의 충족요건을 만족하는 것으로 분석되었다. 인정평가 분석 수치는 <Table 9>에서 확인 할 수 있다.

<Table 9> Goodness-of-Fits for the Final Model (Peak Time)

	Fit Measures	Worst Model	Titration Model	Basic Model	Final Model
Absolute Fit Measures	$\chi^2$	sig.< $\alpha=0.1$	sig.> $\alpha=0.1$	0.000	0.669
	GFI	0	above 0.9	0.944	1.000
	AGFI	0	above 0.9	0.909	0.999
	RMSEA	1	below 0.05	0.083	0.000
	RMR	above 0.1	below 0.1	0.083	0.007
Incremental Fit Measures	NNFI (TLI)	0	above 0.9	0.842	1.000
	CFI	0	above 0.9	0.887	1.000

<Table 10>은 최종 모형에 대한 Standardized estimates 분석 결과를 나타낸다.



<Table 10> Weights for the Latent Factors (Peak Time)

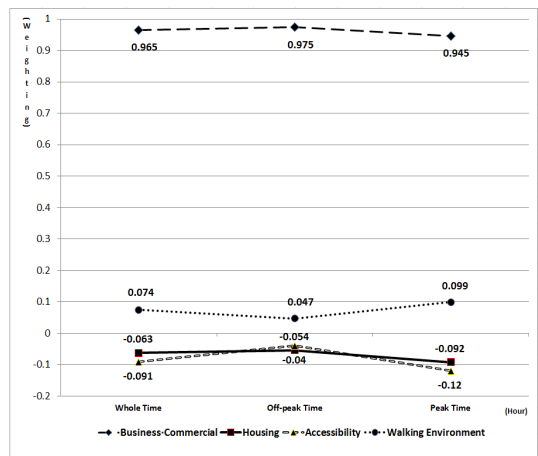
	Formula
Score	Commercial·Business*0.945+Housing*(-0.092)+Accessibility*(-0.120)+Walking Environment*0.099
Commercial·Business	Establishment*0.753+Practician*0.997+Business Area*0.477+Commercial Area*0.724
Housing	Residential Ratio*1.594+APT Ratio*0.434
Accessibility	Bus Stop*0.334+Main Road*0.778+Subway Entrance*0.215
Walking Environment	Sidewalk Width*1.048+Footpath*0.276+Slope Way*0.294

모형 결과, 상업·업무: 0.945, 주거: -0.092, 접근성: -0.120, 보행환경: 0.099로 보행발생량에 영향을 주는 것으로 나타났다. 전체시간과 비교해보면 상업·업무 관련 요인은 전체시간의 가중치인 0.965에서 0.945로 감소한 반면, 주거 관련 요인은 -0.063에서 -0.092로 증가하였고, 접근성 관련 요인은 -0.091에서 -0.120으로 증가하였으며, 보행환경 관련 요인 또한 0.074에서 0.099로 증가하였다. 비첨두시간과 비교한 결과도 마찬가지로 상업·업무 관련 요인은 비첨두시간의 가중치인 0.975에서 0.945로 감소하였고, 주거 관련 요인은 -0.054에서 -0.092로 증가하였고, 접근성 관련 요인은 -0.040에서 -0.120으로 증가하였으며, 보행환경 관련 요인 역시 0.047에서 0.099로 증가하였다. 이러한 연구 결과는 첨두시간대의 경우 비첨두시간대와 달리 주거 관련 요인, 접근성 관련 요인, 그리고 보행환경 관련 요인이 보행발생량에 보다 높은 영향력을 미친다는 것을 의미한다. 이와 관련하여 Lee and Koo(2013)는 그의 연구에서 오후첨두시간대의 이면가로구역에서 버스정류장까지의 거리, 지하철역까지의 거리가 가까울수록 보행발생량이 많으며 보행자전용도로 여부 및 보행장애물 유무가 보행발생량에 영향을 줄 수 있다고 결론짓는다[5].

### 3. 분석결과 종합

전체시간, 비첨두시간, 첨두시간대의 보행발생

량 모형 결과들을 종합하여 비교해보면, 전체적으로 세 모형 모두 여러 요인들 중 상업·업무와 관련된 요인이 보행발생량 증가에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 상업·업무 요인 관련 변수들 중 종사자수가 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 보행환경 관련 요인 또한 상업·업무 관련 요인 보다는 영향력이 적지만 보도폭이 넓을수록, 경사도가 완만할수록 보행발생량이 증가하는 것으로 나타났다. 주거관련 요인과 접근성 관련 요인은 주거의 비율이 높을수록, 접근성이 좋을수록 보행발생량은 증가하는 것으로 나타났다. 시간대별로 비교하면 비첨두시간에는 전체시간(1일)보다 상업·업무 관련 요인의 가중치가 증가한 반면 나머지 세 요인의 가중치는 감소하였다. 반면 첨두시간의 경우 비첨두시간과는 반대로 전체시간(1일)보다 상업·업무 관련 요인의 가중치가 감소하였고 나머지 세 요인의 가중치는 증가하였다. 이는 상업, 업무지역에서 종사자들의 점심시간대 보행활동이 전체시간과 비교해보았을 때 보행발생량에 증가요인을 주었으며, 반대로 퇴근 첨두시간대의 보행발생량은 전체시간과 비교해보았을 때 접근성 관련 요인과 보행환경 관련 요인에 더 큰 영향을 받는 것을 의미한다할 수 있다. <Fig. 6>은 상업·업무 관련 요인, 주거 관련 요인, 접근성 관련 요인, 보행환경 관련 요인의 시간대별 변동폭을 나타낸다.



<Fig. 6> Hourly Factors Fluctuation

## V. 결 론

본 연구에서는 보행발생량에 영향을 미치는 요인들을 시간대별로 분석하기 위하여 전체시간, 비첨두시간, 첨두시간의 보행발생량을 내생 잠재변수로, 상업·업무 관련 요인 및 주거 관련 요인, 접근성 관련 요인, 보행환경 관련 요인을 외생 잠재변수로 설정한 구조방정식 모형을 개발·분석하였다.

본 연구의 분석결과는 보행발생량에 영향을 주는 요인들이 토지이용(비주거용도) > 접근성 > 가로환경의 관계로 중요성이 차별화될 수 있다는 점을 분명히 하고 있다.

본 연구의 의의를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 보행은 교통수단의 하나로서 일상적으로 가야할 목적지의 기종점에 영향을 받는다. 그러나 또한 보행은 종전의 교통에서 말하는 교통-토지이용 모델의 미시적인 메커니즘으로 보여진다. 다시 말하면, 도보통행의 목적지가 되는 기종점의 배치가 보행발생량, 가로활성화에 중요한 요소라고 볼 수 있다. 둘째, 보행중심 도시재생의 시사점을 줄 수 있다. 예를 들면 서울형 도시재생은 “경제기반”, “중심시가지형”, “역사문화특화”, “일반근린형”으로 구분하는데 경제기반형의 경우는 업무상업, 중심시가지형은 특히 상업시설의 배치에 따라서 보행축이 형성될 것이며, 접근성이 높을수록, 가로환경이 좋을수록 보행발생량은 증가할 것이다. 셋째, 이러한 연구결과는 도심지역에 대중교통의 접근성을 극대화시키고 복합적인 용도의 고밀도개발을 추구하는 대중교통중심개발에 대한 필요성을 제시하는 연구결과라 할 수 있다. 즉, 대중교통 연결점을 중심으로 상업, 업무기능을 입지시켜 고밀 복합적 토지이용과 중심 기능의 집중배치를 유도하는 도시개발방식의 필요성을 뒷받침하는 연구결과라 할 수 있다. 넷째, 본 연구에서는 가로보행량은 비첨두시간에는 전체시간보다 상업·업무 관련 요인의 가중치가 증가한 반면 주거 요인, 접근성요인, 보행환경요인의 가중치는 감소하였고, 첨두시간의 경우 비첨두시간과는 반대로 전체시간보다 상업·업무요인의 가중치가 감소하였으며 나

머지 세 요인의 가중치는 증가한 것으로 나타났다. 이처럼 시간대별로 요인들이 보행발생량에 미치는 영향력이 상이하게 변하는 것은 시간대에 따른 보행자들의 보행활동 목적이 다르기 때문으로 해석된다. 따라서 가로의 보행활성화를 위해서는 그 지점의 시간대에 따른 특성을 파악하여 이를 반영한 보행 친화적인 가로환경 조성계획을 수립이 필요할 것으로 생각된다.

## REFERENCES

- [1] Jang J. Y., Choi S. T., Lee H. S., Kim S. J. and 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*, vol. 14, no. 2, pp.39-53.
- [2] Heo J.(2013), *Amos structural equation models: Fundamentals*, Hannarae Academy.
- [3] Lee J. W., Kim H. Y. and Jun C. M.(2015), “Analysis of Physical Environment Factors the Affect Pedestrian Volumes by Street Type,” *Journal of The Urban Design Institute of Korea*, vol. 16, no. 2, pp.123-140.
- [4] Lee Y. S., Choo S. H. and Kang J. M.(2013), “Analysing Key Factors to Affect Change of Pedestrian Volumes by Neighborhood Units in Seoul,” *Journal of the Korea Planning Association*, vol. 48, no. 5, pp.197-208.
- [5] Lee J. A. and Koo J. H.(2013), “The Effect of Physical Environment of Street on Pedestrian Volume,” *Journal of the Korea Planning Association*, vol. 48, no. 4, pp.269-286.
- [6] Lee J. A., Lee H. and Koo J. H.(2014), “The Study on Factors Influencing Pedestrian Volume based on Physical Environment of Street,” *Journal of the Korea Planning Association*, vol. 49, no. 2, pp.145-163.

- [7] Yun N. Y. and Choi C. G.(2013), "Relationship between Pedestrian Volume and Pedestrian Environment Factors on the Commercial Streets in Seoul," *Journal of the Korea Planning Association*, vol. 48, no. 4, pp.135-150.
- [8] Frank L. D. and Engelke P.(2005), "Multiple Impacts of the Built Environment on Public Health: Walkable Places and the Exposure to Air Pollution," *International Region Science Review*, vol. 28, no. 2, pp.193-216.
- [9] Lee C. and Moudon A. V.(2006), "The 3Ds+R: Quantifying land use and urban form correlates of walking," *Transportation Research Part D 11*, Science Direct, pp.204-215.
- [10] Pulugurtha S. S. and Repaka S. R.(2008), "Assessment of Models to Measure Pedestrian Activity at Signalized Intersections," *The Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2073, pp.39-48.
- [11] Schneider R. J., Henry T., Mitman M. P., Stonehill L. and Koehle J.(2011), "Development and Application of the San Francisco Pedestrian Intersection Volume Model," *n:Proceedings of the Transportation Research Board 91st Annual Meeting*, vol. 2299, pp.65-78.
- [12] Kim K. S.(2010), AMOS 18.0, Hannarae Academy.

저자소개



김 태 현 (Kim, Tae-Hyun)

2008년 8월 : 서울대학교 도시 및 지역계획학 박사  
2010년 6월 ~ 현재 : 서울연구원 도시공간연구실 연구위원  
2004년 6월 ~ 2010년 6월 : 서울시청 도시계획·정책연구위원  
e-mail : innerpower69@si.re.kr



오 주 택 (Oh, Ju-Taek)

2002년 1월 : Georgia Institute of Technology 교통공학 박사  
2011년 9월 ~ 현재 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 부교수  
2003년 12월 ~ 2011년 8월 : 한국교통연구원 도로교통연구실 연구위원  
2003년 6월 ~ 2003년 11월 : 한국교통연구원 ITS연구센터 책임연구원  
2002년 6월 ~ 2003년 5월 : University of Arizona, Research Associate  
e-mail : jutaek@ut.ac.kr



이 규 훈 (Lee, Kyu-Hoon)

2016년 2월 : 한국교통대학교 도시·교통공학과 졸업(공학사)  
2016년 3월 ~ 현재 : 한국교통대학교 대학원 석사과정 재학(도시·교통공학과)  
e-mail : gganggoo0505@naver.co