

# 비신호 교차로에서 횡단 기다림 시간 및 시도횟수에 관한 보행행태 연구

장태연\* · 오도형\*\*

Jang, Tae Youn\*, Oh, Do-Hyoung\*\*

## Analysis on Pedestrian Behavior Focused on Waiting Time and Trial Frequency for Crossing in the Unsignalized Intersection

### ABSTRACT

This study analyzes the factors effecting on pedestrian crossing behavior in the unsignalized intersection. Pedestrian crossing behavior is the results of mental stress defined as a combination of environment perception, avoiding accidents, halting collision, and instant crossing decision. It is necessary to make walkable intersection in cities through relieving this stress influenced by personality, traffic condition, and roadway environment. The purpose of study is empirically to examine the crossing behavior such as crossing satisfaction, crossing trial frequency and waiting time based on various factors effecting on crossing intersection by video and questionnaire survey. The  $\chi^2$ -test is applied to analyze the characteristics of crossing trial frequency according to each factor. Also, the hazard rate model is established to find the factors effecting on waiting time for crossing. Finally, the direct and indirect effects on the pedestrian crossing satisfaction are presented as the results of LISREL.

**Key words** : Pedestrian crossing behavior, Pedestrian waiting time, Hazard ratio, Unsignalized intersection

### 초록

본 논문은 무신호 교차로에서 보행자의 횡단행태에 영향을 주는 요소를 분석하였다. 보행행태는 교차로 주변의 환경과 횡단의 기준, 안전에 대한 예견, 순간적인 판단 등이 복합적으로 작용하는 정신적 스트레스의 결과이다. 이러한 복합적 스트레스는 개인의 속성, 교통여건, 환경요인 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는데, 이러한 영향요인을 파악하여 교차로를 운영하는데 있어 보행친화적인 환경을 조성할 필요가 있다. 현장과 설문 조사를 통하여 보행자가 비신호 교차로를 횡단하는데 있어서 영향을 주는 다양한 결정변수를 기초로 하여 횡단시도 횟수, 기다림 시간 및 보행횡단 만족도 등에 대한 횡단행태를 분석하는 것이 목적이다. 횡단시도횟수에 대한 각 요소별 특성을 분석하기 위해  $\chi^2$ 테스트를 실시하였으며 횡단을 위한 기다림 시간에 영향을 주는 요소를 분석하기 위해 위험률 모형을 구축하였다. 마지막으로 구조방정식을 적용하여 보행자의 보행 횡단 환경에 대한 만족도에 대한 직·간접 효과도 제시되었다.

**검색어** : 보행자 횡단행태, 보행자 기다림 시간, 위험률, 비신호 교차로

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

도시내 일반적인 도로체계는 이동성을 중요시하는 간선도로에서 부터 접근성의 집분산도로까지 개념적 위계를 기본으로 하지만, 이러한 도로 위계나 기능 측면과는 무관하게 모든 도로에 보행자는 존재한다. 현재 도로시설물은 원활한 차량소통을 위해 계획되어

\* 정회원·교신저자·전북대학교 도시공학과 교수 (Corresponding Author·Chonbuk National University·jangty@jbnu.ac.kr)

\*\* 전북대학교 건축도시공학과 박사과정, 군산시 교통전문위원 (Chonbuk National University, Kunsan City·doli50@korea.kr)

Received November 15, 2014/ revised February 8, 2015/ accepted February 17, 2015

있으며 도로운영에 있어서는 자동차가 통행의 우선권을 가지고 있고 이러한 차량중심의 도로운영상황하에서 보행자 및 자전거 등의 녹색교통을 위한 배려는 충분히 고려되어 있지 않다.

사회적 차원에서 보행이 편리한 도시, 보행친화적인 도시 등의 조성을 위한 다양한 방법이 논의되지만, 보행의 연속성이 매우 중요한 요소임에도 불구하고 보행단절이 도로상에서 발생되고 있다. 특히, 보행 단절과 안전사고는 주로 교차로에서 발생되어 교차로에서 보행의 적정 서비스수준과 연속성이 확보되는 적절한 운영이 필요하다. 보행과 관련된 교통사고는 도시화가 진행됨에 따라 인구와 차량증가, 운전자 및 보행자의 범규 미준수 등으로 사회의 주요 문제가 되었다.

대부분의 도시내 비신호 교차로에서 보행자가 자유롭게 횡단할 수 있도록 통행권을 양보하는 운전자는 드물다. 보행자는 운전자가 교차로 횡단을 배려하지 않을 거라는 것을 알기 때문에 보도 가장자리에서 일반적으로 횡단을 기다린 후 운전자가 멈추기를 기대하면서 여러번의 횡단을 시도하고, 만약 횡단이 성공하지 못한다면 보행자는 보도로 돌아와 횡단이 성공할 때까지 횡단을 시도하는 행태를 보인다. 이와 같은 교차로에서 횡단행태는 지체 시간증가와 잠재적인 보행 사고증가를 가져오며, 보행자는 횡단을 위해 시간절약과 안전성과의 상호교환을 고려한다(Faria et al., 2010). 보행자가 시간절약만을 위해 횡단을 시도할 경우 사고 가능성은 높아짐으로, 보도에서 사고감소를 위해 보행자가 횡단을 위해 기다릴 수 있는 시간 및 횡단시도횟수 등 횡단행태의 연구는 필요하다. 보행자 횡단행태연구는 보행자, 도로, 교통상황 등의 상호반응과 범규내에서 안전성과 지체비용의 균형에 대한 이해도를 높이는데 도움이 될 것이다(Das et al., 2005).

Fig. 1은 연구개념을 보여주는데 현장 비디오와 설문조사를 통해 비신호 교차로 횡단시 횡단행태에 영향을 주는 결정요인을 평가하여 보행자가 느끼는 보행횡단에 대한 만족도의 탐색적 분석

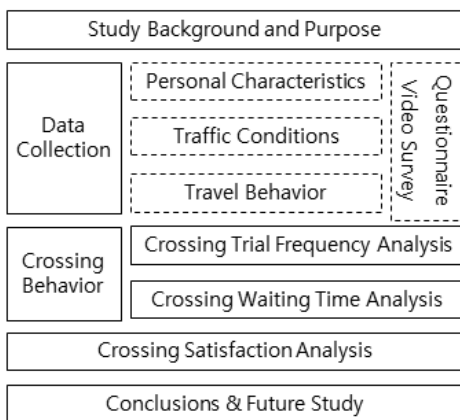


Fig. 1. Research Concept

이 목적이다. 보행행태는 교차로 환경과 횡단기준, 안전에 대한 예견, 순간적인 판단 등이 복합적으로 작용하는 정신적 스트레스의 결과이다(Osaragi, 2004). 이러한 스트레스는 개인속성, 교통여건, 환경요인 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는데, 영향요인을 파악하여 교차로를 개설하는데 있어 보행친화적인 환경을 조성할 필요가 있다.

## 1.2 기존연구

지금까지의 보행자 관련 연구는 보행자 횡단특성, 보행자 안전, 횡단모형구축 등으로 구분된다. 보행자가 횡단보도를 통과할 때 노출되는 위험성을 이해하기 위해서는 크게 교통운영, 도로설계, 보행자 행태와 관련한 연구가 주요한 대상이 된다. 보행과 관련된 기존연구는 교통사고에 대한 연구가 주를 이루며, 보행행태에 대한 연구는 많지 않다. 횡단보도상 안전과 주요 분석변수에 대한 기존연구는 보행자 지체(Griffiths et al., 1984)와 안전측면에서 운전자의 운전행태와 보행자와의 상호작용(Varhelyi, 1998) 등이 있으며, 도로폭, 보도상 중앙 피난지역의 물리적 환경, 나이, 성별, 사회경제적 특징, 결혼여부의 보행자 개인속성, 횡단 보행자수 등이 주요 변수로 제시되었다. 이러한 변수는 보행자가 교차로를 횡단할 것인지 판단하는데 있어 영향을 주고 있는데, 개인속성으로 성별에 있어서 남성의 경우 여성보다 보행횡단시 위험을 더 감수하는 것으로 나타났으며(Holland et al., 2007; Rosenbloom, 2009), 젊은층과 노년층이 중년층보다 도로 횡단위반을 하는 경우가 더 높음을 제시하고 있다(Sullman et al., 2012). 또한, 보행자가 동행자가 있거나 집단일 경우 횡단보도에 벗어난 보행특성에 영향을 주는 것으로 분석되었다(Faria et al., 2010).

보행자의 위험성 연구로 Sueur et al. (2013)은 생존모형을 이용하여 프랑스와 일본의 문화적 차이에 따른 신호교차로에서 횡단 통행시 개인의 위험성 인지에 영향을 주는 요인을 분석하였다. King et al. (2009)는 경찰의 사고조사와 현장조사를 통해 신호교차로에서 불법 보행횡단에 의한 교통사고와 위험성 증대의 상호관련성을 분석하였으며, 이를 기초로 불법 횡단보행자에 대한 충돌예방, 과태료, 법집행에 대해 강화된 법령제정의 근거를 제시하였다. Leden (2002)는 보행자 위험성은 보행자수가 증가함으로써 감소하고, 교통량이 증가할수록 증가한다는 결과를 제시하는데, 보행을 장려함으로써 신호교차로에서는 보행사고의 감소효과를 보이나, 차량속도 저감시설 및 신호에 대한 주의 등 적절한 시설이 보완되지 않는다면 보행자 충돌사고는 증가할거라고 분석하였다.

보행자 횡단행태와 관련하여 이론적 모형개발연구로 Papadimitriou (2012)는 도시내에서 보행자의 통행경로를 조사하여 횡단행태를 분석하기 위한 이론적인 방법을 구축하였는데, 보행자 행태분석에서 지형적 고려가 매우 중요함을 제시하고 있으며, Yannis et

al. (2007)은 보행자가 도로구간에서 횡단할 때 사고위험에 노출될 확률을 산정하는 네스티드 로짓모형과 선형회귀모형을 구축하였다. Lee et al. (2008)는 신호등이 설치된 횡단보도에서 보행자 행태를 분석하기 위한 시뮬레이션 모형을 구축하였는데, 최소한의 보행자 횡단 지속시간을 결정하기 위해 양방향 보행 흐름에 영향을 주는 보행자 속도의 변이를 측정하였고, 보행자가 자유흐름에서 용량상태에 도달할수록 양방향 보행흐름은 보행자 횡단기회에 부정적 영향이 있음을 제시하였다. 기존연구의 경우 보행자 교통사고와 원인요소와의 관계분석, 보행자 통행경로에 대한 시뮬레이션 구축 등에 집중되어 있으며, 사고발생에 영향 주게 되는 횡단지체시간 및 횡단시도 빈도수를 기초로 한 교차로의 보행 만족도에 대한 연구는 미미하다.

## 2. 자료

보행자 개인의 속성이 교차로를 안전하게 횡단하는데 있어서 중요한 역할을 한다(Granie, 2009; Kim et al., 2008; Rosenbloom et al., 2008). 보행자 속성과 연관된 자료수집을 위해 연구는 비디오 촬영조사와 보행자에 대한 설문조사를 하였다. 자료는 전주 사가지 내 양방향 2차로 도로와 접속된 무신호 4지교차로 3개, 점멸신호 4지 교차로 2개를 선정하여 2014년 2월부터 6월까지 수집되었다. 조사는 주간에 첨두시간대 시행되었으며, 날씨의 영향을 배제하기 위해 주로 맑은 날에 실시하였다. 668명의 보행자가 조사되었으며 유효 표본수는 647명이다.

Fig. 2는 조사 개념도를 보여주고 있으며, Fig. 3은 조사방법 과정에 대한 흐름도이다. Table 1은 횡단행태에 활용될 자료에 대한

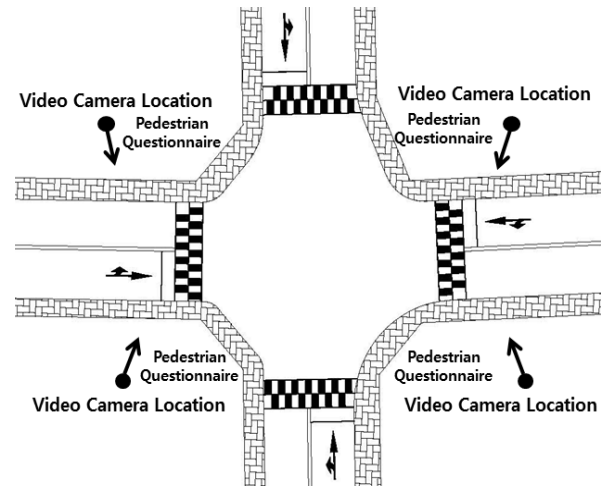


Fig. 2. Surveying Concept

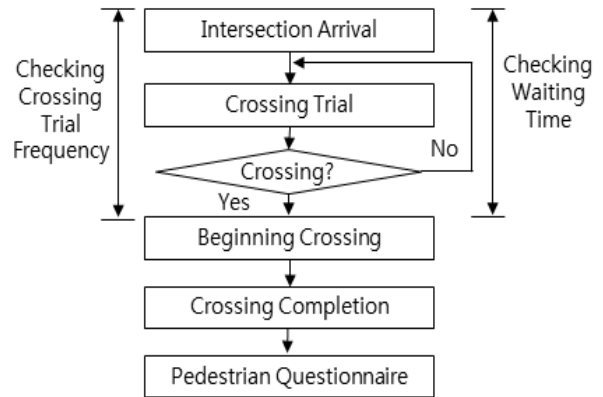


Fig. 3. Surveying Process

Table 1. Data

Variables		Mean	Std.	Contents
Survey	Gender	0.362	0.481	Female=0, Male=1
	Age	44.519	16.985	Below 35=1, 36-50=2, Over 51=3
	Purpose	0.481	0.503	Trip(Obligatory=1 : work, school; Discretionary=0 : shopping, leisure, return)
	Crosstrial	1.564	1.429	Number of Crossing trial frequency
	Signalneed	0.440	0.497	Need of signal(yes=1, no=0)
	Accident	0.266	0.442	Past accident experience or witnessing at the intersection(yes=1, no=0)
	Safety	0.506	0.501	Consideration of crossing intersection (safety=1, convenience=0)
Video	Satisfaction	3.022	1.823	Emotional satisfaction on Crossing(5 point measures)
	Flash	0.686	0.465	Flashing Signal installation(flashing=1, no signal=0)
	Luggage	0.620	0.486	Pedestrian with luggages(yes=1, no=0)
	Company	0.144	0.352	Pedestrian with company(yes=1, no=0)
	Law	0.694	0.461	Obeysance of law(yes=1, no=0)
	Waittime	7.969	10.606	Waiting time in the intersection from arrival to leaving(seconds)
	Headway	4.197	1.263	Times between vehicles(seconds)

내용이다. 비디오 촬영을 통해 보행자가 교차로 보도연석에 발을 들여 놓는 시간부터 횡단시작시간까지의 시간, 즉 기다림 시간을 측정하였다. 비디오 촬영으로부터 보행자가 동행자가 있는지 여부, 가방을 가지고 있는지 여부를 조사하게 되며, 교차로를 통과하는 차량의 차두간격도 계산하게 된다. 또한, 보행자가 무리하게 교차로를 횡단하게 될 경우 기다림 시간과 횡단시도횟수에 직·간접적 관계가 있을 것으로 판단하여 횡단보도를 통해 정확히 횡단하였는지 여부를 판단하는 법규준수에 대한 내용도 포함하였다.

설문을 통해 수집된 개인속성으로는 성별, 나이가 포함되며, 통행목적은 의무적 활동(일, 학교, 일과 관련 있는 통행)과 자유재량 활동(쇼핑, 여가, 귀가)으로 분류하였다. 귀가는 시간적으로 의무적 활동보다 덜 제한적이어서 자유재량활동에 포함하였다. 교차로 횡단에 대한 만족도인 감성적 속성을 5점 척도로 조사하였다. 보행자가 조사당일 비신호 교차로 횡단을 경험하면서 개인이 느끼고 있는 신호등 필요성과 교통사고의 직접적 경험이나 목격한 경우도 조사되었다.

### 3. 보행자 횡단행태 분석

#### 3.1 분석이론

보행자 횡단행태 안전성은 교통법규가 횡단을 허락하는 범위내에서 기다림 상태를 유지하는 능력이며, 보행자가 참을 수 있을 정도의 기다림 시간(T) 이후에도 차량지체를 유발하거나 위험에 노출되지 않고 횡단할 확률로 정의 내린다. 교차로 횡단보도에 도착한 보행자는 차량흐름에 있어서 차량간격이 충분할 때 횡단하는 것으로 가정할 수 있으며, 충분한 차량간격을 확보하지 못할 때 교차로에서 일정시간 기다려야 하는데, 이 기다림 시간을 연구에서는 위험률모형(hazard rate model)을 통해 분석한다. 임의 변수(random variable)로 고려되는 비신호 교차로 횡단보도에서 보행자 기다림 시간(t)은 분포특성에 의해 위험함수(h(t))로 표현되는데, 보행이 시작될 확률은 시간함수로 표현되며 이를 위험률이라고 하고 보행자가 시간 t까지 성공적으로 횡단을 시작할 수 없다는 가정하에 보도에서의 기다림 시간이 측정변수가 된다. 계량생물학과 산업공학분야에 주로 적용 되어온 위험률을 기초로 한 지속시간 모형은 최근에 들어 경제학, 교통, 마케팅 분야에서의 활용이 증가되고 있으며, 기본적인 분석과정은 다음과 같다.

어떤 사건의 지속시간분석에 있어 변수는 사건의 시작부터 끝나는 시간까지의 시간적 크기이며, 임의시간 T를 어떤 사건의 지속시간이라면, 시간 t까지 사건이 지속되어 t시간 후 순간시간 dt에 끝나는 순간확률을 위험률 혹은 전이강도(transition rate)라 정의 내려진다. 위험률은 어떤 사건이 시간 t까지 아직 완료되지 않은 상황에서 다른 활동이 시간 t에서 선택될 가능성을 의미한다.

f(t)를 사건이 시간 t에서 종료할 확률밀도함수(Pr[T=t])라 하고, F(t)를 사건이 시간 t에서 혹은 그 이전에 종료할 누적확률밀도함수(Pr[T≤t])라 한다면,  $F(t) = \int_0^t f(u)du$ 이고, 어떤 사건의 지속시간 T가 t까지 진행 될 생존함수 S(t)는 Pr[T≥t]이며 S(t) = 1 - F(t)가 된다. 위험률(h(t))은 다음과 같다.

$$h(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{\Pr[t+dt \geq T \geq t \mid T \geq t]}{dt} = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (1)$$

위험률은 시간 t에서 사건이 종료 될 비조건 확률 f(t)가 t까지 사건이 지속될 확률 S(t)와의 비율로서 표현되며, 사건종료가 t 이전까지는 발생되지 않는다는 가정하에 시간 t에서 종료가 일어나는 순간확률이다. 단순 지속시간에 대한 위험률 분석이 아닌 변수의 영향성을 고려한 위험률 산정에서는 회귀모형이 적용된다 (Allison, 2004; Song et al., 2002).

$$h_k(t|X) = h_0(t)\exp(-XB) \quad (2)$$

여기서,  $XB = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k$ 이고, X는 독립변수, β는 독립변수의 측정계수가 되며, h<sub>0</sub>(t)는 모든 독립변수의 값이 0일 경우의 기본위험률이 된다. 연구에서는 보행자 횡단행태분석을 위해 통계프로그램 SAS 9.3을 이용하였으며, 지속시간을 기준으로 추정하는 모형은 SAS의 Proc Lifereg, 위험률을 기준으로 추정하는 모형은 Proc Phreg를 적용하여 기다림 시간을 분석하였다.

#### 3.2 횡단시도횟수 분석

Table 2는 보행자가 횡단보도상에서 횡단을 하려고 시도한 횡단 횟수에 대한 분석을 제시하고 있으며 변수내 집단간 횡단시도횟수의 차이에 대해 χ<sup>2</sup> 가설검증을 실시하였다. 횡단시도횟수가 적다는 의미는 보행자가 교차로 횡단을 위한 충분 여건이 조성되었다는 의미도 있지만, 자료 수집이 이루어진 침두시간의 상황을 고려한다면 약간의 무리수를 두어 급하게 교차로를 횡단할 가능성이 높음을 가정할 수도 있다.

횡단시도횟수에서 통계적으로 10% 정도의 중요성을 보이고 있는 성별에서 남성보다 여성이 횡단을 하려는 횟수가 많게 나타난다. 여성은 횡단행태에 있어서 조심스러운 반응을 보임을 가정할 수 있다. 통행목적에서는 의무적 활동이 자유재량활동에 비해 횡단 횟수가 적게 나타나, 시간적 제약을 받는 의무적 활동에서 교차로 횡단에 공격적 행태를 보임을 알 수 있으며 통계적으로 중요성이 높게 나타났다. 교차로 횡단시 동행자 유무는 횡단시도횟수에서 통계적으로 중요성을 보이지 않지만, 자료의 단순결과로 볼 때 자신 외에 동행자가 있을 경우 횡단시도횟수가 많은 것으로 조사

Table 2. Crossing Trial Frequency Analysis

Category		Crossing Trial Frequency					$\chi^2$ Test
		0	1	2	3+	Total	
Gender	Male	61(25.9%)	95(40.5%)	41(17.5%)	38(16.1%)	234(100.0%)	$\chi^2=6.33$ p<0.096
	Female	82(19.9%)	141(34.1%)	88(21.4%)	102(24.6%)	413(100.0%)	
Purpose	Obligatory	97(31.1%)	103(33.2%)	59(18.9%)	52(16.8%)	311(100.0%)	$\chi^2=18.56$ p<0.000
	Discretionary	46(13.6%)	133(39.5%)	71(21.0%)	87(25.9%)	336(100.0%)	
Company	Yes	16(17.5%)	31(33.3%)	20(21.1%)	26(28.1%)	93(100.0%)	$\chi^2=2.15$ p<0.541
	No	126(22.8%)	205(37.0%)	110(19.8%)	113(20.4%)	554(100.0%)	
Safety	Convenience	108(33.8%)	113(35.4%)	52(16.4%)	46(14.4%)	319(100.0%)	$\chi^2=36.21$ p<0.000
	Safety	34(10.5%)	123(37.5%)	77(23.5%)	93(28.5%)	328(100.0%)	
Luggage	Yes	102(25.3%)	136(33.9%)	83(20.8%)	80(20.0%)	401(100.0%)	$\chi^2=5.23$ p<0.155
	No	41(16.7%)	100(40.7%)	46(18.6%)	59(24.0%)	246(100.0%)	
Accident	Yes	29(17.1%)	61(35.3%)	29(17.1%)	52(30.5%)	172(100.0%)	$\chi^2=8.52$ p<0.047
	No	113(23.8%)	175(36.9%)	100(21.0%)	87(18.3%)	475(100.0%)	
Age	Below 35	67(32.3%)	79(37.8%)	11(5.5%)	51(24.4%)	208(100.0%)	$\chi^2=77.34$ p<0.000
	36-50	66(33.9%)	72(37.3%)	26(13.6%)	29(15.2%)	193(100.0%)	
	Over 51	10(4.0%)	85(34.7%)	92(37.3%)	59(24.0%)	246(100.0%)	
Signalneed	Yes	31(10.9%)	101(35.6%)	64(22.4%)	89(31.1%)	285(100.0%)	$\chi^2=31.46$ p<0.000
	No	111(30.8%)	134(37.1%)	66(18.1%)	51(14.0%)	362(100.0%)	
Flash	Yes	85(19.2%)	177(39.8%)	75(17.0%)	107(24.0%)	444(100.0%)	$\chi^2=12.27$ p<0.006
	No	57(28.2%)	59(29.0%)	54(26.6%)	33(16.1%)	203(100.0%)	
Law	Yes	101(22.6%)	151(33.6%)	93(20.8%)	99(22.0%)	444(100.0%)	$\chi^2=3.37$ p<0.337
	No	42(20.6%)	87(43.0%)	37(18.2%)	37(18.2%)	203(100.0%)	

되었다. 보행자가 지니고 있는 가방이나 짐의 유무의 경우에도 횡단횡수 차이에 있어 통계적으로 중요성을 보이고 있지 않다. 교차로 횡단시 안전성과 편리성에 대한 의식에서는 안전성을 중요시하는 보행자 일수록 횡단시도횡수가 많은 것으로 나타나 횡단시 충분히 안전하다고 판단될 경우 횡단이 이루어 졌음을 가정할 수 있다. 과거 사고를 당하였거나 목격한 경험이 있는 경우 3번이상의 횡단시도횡수가 높은 비율을 보여 횡단에 있어 조심스럽고 소극적인 자세임을 알 수 있다. 3단계로 나눈 나이에 따른 횡단시도횡수의 차이는 통계적으로 매우 중요성이 있다. 36세에서 50세의 보행자 횡단시도횡수가 타 나이에 비해 적게 나타났으며, 나이가 많은 그룹이 대체적으로 횡단시도횡수가 많다. 나이가 많은 고령층이 횡단에 있어 조심스러운 반응을 보임을 가정할 수 있다. 현재 비신호 교차로에 신호의 필요에 대한 질문에서 필요하다고 응답한 보행자가 그렇지 않은 보행자에 비해 횡단시도횡수에 있어 매우 높게 나타나 횡단에 있어 신호설치와 같은 보호된 보행권의 요구가 높음을 가정할 수 있다. 현재 교차로가 점멸등으로 운영되고 있는 경우 횡단시도횡수에 따라 다양한 비율을 보이며, 특히, 3번 이상의

횡단시도횡수는 점멸 교차로에서 높은 비율을 보인다.

### 3.3 기다림 시간분석

비신호 교차로 횡단보도에서 기다림 시간에 대한 최대우도측정법 모형결과가 Table 3에서 보여주고 있다. 3개의 변수가 5%의 통계적 신뢰성을 보이고 있으며, 3개의 변수가 10%의 통계적 신뢰성을 보이고 있다. 직접적인 해석으로 변수의 계수값이 양(+) 값을 보이는 경우 횡단보도에서 기다림 시간이 증가됨을 의미한다. 계수값의 효율적인 해석을 위해  $\exp(\beta)$ 의 형태를 취한다. 성별의 경우  $\exp(-0.1629)=0.8496$ 으로서 남성의 기다림 시간의 길이는 여성의 84.96%를 보이고 있다. 즉, 남성이 여성에 비해 급하게 교차로를 횡단하는 행태를 보임을 가정할 수 있다. 프랑스와 일본의 보행자에 대한 횡단행태를 연구한 Sueur et al. (2013)도 남성이 여성에 비해 위험을 감수하는 행동을 보이는 것으로 제시하고 있다. 통계적 중요성이 높게 나타나는 나이의 계수가 양(+)의 값을 보여 고령자 일수록 기다림 시간이 증가됨을 알 수 있다. Hamed (2001)의 연구도 보도가장자리에서 횡단을 위한 기다림 시간은

Table 3. Waiting Time Analysis

Parameter	Estimate	Pr > ChiSq
Intercept	3.1726	<.0001
Gender	-0.1629	0.0738
Age	0.0137	<.0001
Accident	0.1603	0.0976
Safety	0.1919	0.0429
Signalneed	0.3351	0.0152
Luggage	-0.1523	0.0781
Company	-0.0192	0.1948
Law	0.1283	0.2470
Flash	-0.2725	0.0418
Purpose	-0.4198	0.0004
Headway	-0.0305	0.1902
Scale	0.8274	
Weibull Shape	1.2164	
Log-likelihood	-361.712	
No. of Obs.	647	

나이가 많은 보행자, 남성에 비해 여성의 경우 조기 종료될 가능성이 낮다고 제시하고 있어 연구 결과와 일치한다. 교차로에서 교통사고를 목격했거나 직접 경험이 있는 보행자와 횡단시 편리성보다는 안전성을 중요시 하는 보행자는 그렇지 않은 경우보다 상대적으로 각각 117.3%, 121.1% 정도로 기다림 시간이 길어질 가능성이 높다. 즉, 교통사고에 대한 직·간접적인 경험이 있거나 안전을 중요시하는 보행자는 사고에 대한 보편적인 의식을 보유하고 있음을 가정할 수 있다. 반대로, 가방이나 동행자가 있는 경우 및 통행목적의 의무적 활동인 경우 그렇지 않은 경우의 85.8%, 98.0%, 65.7% 등으로 기다림 시간이 감소되는 경향이 크다. 특히, 의무적 활동은 직장이나 학교와 관련된 활동으로서 자유재량 활동에 비해 시간적 여유가 충분하지 못해 보행자가 횡단을 서두를 가능성이 높다. 통계적 중요성을 보이는 교차로에 신호가 필요하다고 느끼는 보행자는 필요 없다고 느끼는 보행자의 기다림 시간의 139.0%의 정도로 기다림 시간이 크다. 또한, 점멸등 교차로의 경우 없는 경우의 76.1%의 기다림 시간을 보이고 있어, 보행자가 점멸등 교차로에서 횡단보도에서 짧은 지체를 보인다. 차간간격은 통계적 중요성이 높을 것으로 예상되었으나, 침두시간 대 교통량으로 산정된 까닭에 대상지에서는 비슷한 차간간격으로 기다림 시간에 대해 통계적 중요성이 낮음을 가정할 수 있다.

Table 4는 위험률이며 기다림 시간이 종료될 가능성을 의미한다. 기다림 시간이 조기에 종료될 가능성은 일정부분 위험을 감수하면서까지 서두르며 횡단을 감행함을 의미한다. 자료값이 0과 1인

Table 4. Hazard Ratio Analysis

Parameter	Hazard Ratio	95% Wald Con. Limits
Gender	1.232	0.981-1.547
Age	0.842	0.645-1.028
Accident	0.802	0.635-1.012
Safety	0.719	0.576-0.898
Signalneed	0.726	0.548-0.962
Luggage	1.185	0.941-1.493
Company	0.892	0.664-1.199
Law	0.981	0.787-1.223
Flash	1.179	0.918-1.514
Purpose	1.700	1.345-2.149
Headway	1.125	1.049-1.234

다미변수의 경우 상호 대상에 대한 상대적인 위험률을 의미한다. 성별에 의한 위험률은 1.232로 산정되었는데 남성의 위험률은 여성의 123.2%에 해당된다. 여성에 비해 남성이 23.2% 교차로를 횡단하려는 행태가 강함을 알 수 있다. 3단계의 나이는 0.842의 위험률을 보이는데, 해석하면  $100(0.842-1)=-0.158$ , 즉 나이가 증가할수록 기다림 시간이 종료될 위험률이 15.8%정도 낮아짐으로 보도에서 횡단을 위한 기다림 시간이 길어질 가능성이 크다. Lassarre et al. (2007)의 연구에서도 고령보행자 일수록 횡단시 안전한 통행행태를 보여 교차로에서의 횡단을 위해 많은 시간을 필요로 한다고 제시하고 있다. 사고경험이 있는 경우 19.8%, 횡단의 효율성보다 안전성을 중요시하는 보행자는 28.1%, 비신호 교차로에 신호체계가 필요하다고 느끼는 보행자는 27.4%, 동행자가 있는 경우 10.8%, 법을 잘 지키는 보행자의 경우 1.9%의 위험률이 낮아지는 특징을 보여 기다림 시간이 길어질 가능성이 크다. 반면에 가방을 가지고 있는 보행자 18.5%, 점멸등 교차로 17.9%, 의무적 활동의 보행자는 70.0%, 차간간격이 클 경우 1.6%의 위험률이 증가되어 결론적으로 기다림 시간이 짧아질 가능성이 높다.

Figs. 4 and 5는 수량변수인 나이와 차두간격의 위험률과의 관계를 보여준다. 평균 나이와 차두간격의 위험률은 1.0이다. 평균 나이보다 많은 보행자는 위험률이 1.0보다 작은 값으로 감소되는 반면에, 평균 차두간격보다 클 경우 위험률은 1.0보다 큰 경향을 보인다. 나이가 30살에서 40살로 나이가 증가함에 따라 기다림 시간이 끝나는 위험률은 약 68%정도 감소된다. 즉, 40대의 경우 30대에 비해 기다림 시간이 증가될 경향이 68%이다. 차두간격도 4초에 6초로 증가될 경우 21.3% 기다림 시간이 축소된다.

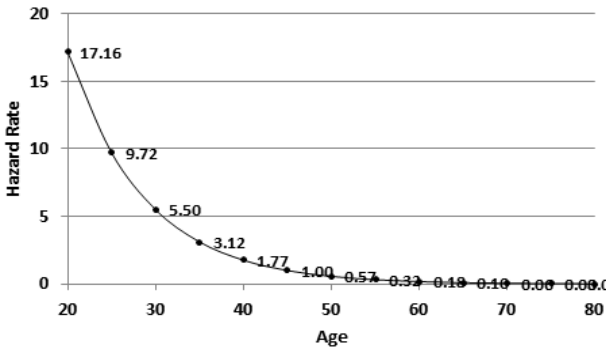


Fig. 4. Estimated Hazard Rate with Age

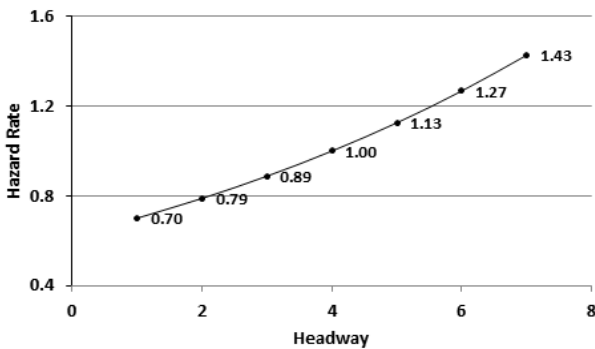


Fig. 5. Estimated Hazard Rate with Headway

#### 4. 횡단행태 직간접 효과분석

##### 4.1 분석이론

본 장에서는 보행자의 감성적 측면을 반영한 횡단 만족도에 대한 영향요인을 분석한다. 보행환경에 대한 만족도를 리커드 5점 척도로 측정하였다. 구조방정식모형(LISREL)의 잠재변수 및 측정변수로 구분하여 변수간 직·간접효과를 분석한다. 지금까지의 회귀분석과 같은 인과관계분석은 외생변수가 내생변수에 주는 직접효과만을 제시함으로써 변수간 복잡한 관계를 파악하는데 불리하다. 특정 외생변수가 내생변수에 주는 영향은 직접효과와 다른 변수를 통한 간접효과가 존재하는데 이러한 인과관계 파악은 다양한 요소가 복합적으로 작용하는 행태분석에서 매우 중요하다. 구조방정식모형은 이러한 목적에 부합된다 할 수 있다(Joreskog et

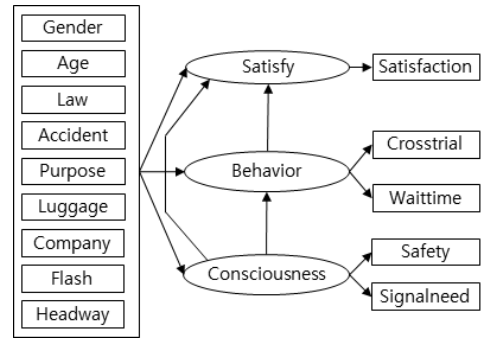


Fig. 6. LISREL Model for Crossing Behavior

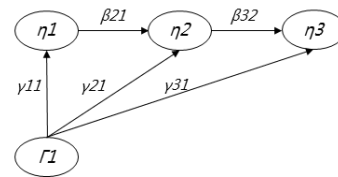


Fig. 7. Definition of Indirect Effects

al., 1973; Wiley et al., 1973). 또한, 회귀분석, 경로분석과는 달리 모형에 내재되어 있는 측정오차를 알 수 있으며 이론변수와 측정변수 사이의 인과관계를 검증하는 것이 큰 장점이다. 연구목적 을 반영하는 측정변수간의 관계는 다음과 같다.

$$\eta = B\eta + \Gamma X + \zeta \quad (3)$$

실제 관측되지 않는  $\eta$ 는 잠재내생변수 벡터,  $X$ 는 실제 관측되는 측정외생변수 벡터,  $B$ 와  $\Gamma$ 는 계수 행렬,  $\zeta$ 는 오차 벡터이다. 내생개 념은 다른 내생개념에 의해 예측되지만, 외생개념은 내생개념에 단지 인과적으로 관련된다.

Fig. 6 and Table 5는 효과분석을 위한 모형에 활용되는 변수들 의 관계를 보여준다. 연구는 내생변수에 미치는 외생변수의 총효과, 직접효과, 간접효과에 대해 분석한다. Fig. 7과 같은 경로가 개념적 으로 주어졌을 때 외생변수  $\Gamma_1$ 이 내생변수  $\eta_3$ 에 미치는 간접효과는 다음과 같다(Jho, 1999).

$$\Gamma_1 \text{의 } \eta_3 \text{ 간접효과} = \gamma_{11}\beta_{21}\beta_{32} + \gamma_{21}\beta_{32} \quad (4)$$

Table 5. LISREL Model Variables

Variable		Contents
Indogenous Variable	Satisfy	Satisfaction
	Behavior	Crosstrial, Waittime
	Consciousness	Safety, Signalneed
Exogenous Variable		Gender, Age, Law, Accident, Purpose, Luggage, Company, Flash, Headway

Table 6. Total, Direct and Indirect Effects Analysis of Exogenous Var. on Latent Var.

Variables	Gender	Age	Law	Accident	Purpose	Luggage	Company	Flash	Headway
Satisfy	0.376	-0.178	0.324	-0.199	0.166	0.197	-0.135	-0.301	0.278
	0.143	0.283	0.202	-0.088	-0.041	0.125	-0.074	-0.109	-0.114
	0.233	-0.461	0.122	-0.111	0.207	0.072	-0.061	-0.192	0.392
Behavior	-0.268	-0.513*	0.216	0.251	-0.595*	0.265	0.131	0.227	-0.274
	-0.171	-0.630*	0.165	0.178	-0.401*	0.346	0.492	0.142	-0.193
	-0.097	0.117	0.051	0.073	-0.194	-0.081	-0.361	0.085	-0.081
Conscious.	-0.234	0.632	-0.121	0.158	-0.170	-0.014	0.017	0.196	-0.397
	-0.234	0.632	-0.121	0.158	-0.170	-0.014	0.017	0.196	-0.397
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1<sup>st</sup> Total Effect, 2<sup>nd</sup> Direct Effect, 3<sup>rd</sup> Indirect Effect

\* p<0.1 and others p<0.05

#### 4.2 효과분석

Table 6은 개인속성을 포함한 독립변수가 보행자 통행행태 (Behavior), 횡단 만족도(Satisfy), 의식(Consciousness)에 미치는 총효과, 직접효과, 간접효과를 보여주고 있다. 비신호 교차로 보행 횡단시 만족도에 대한 내용을 살펴보면, 성별에 의한 만족도는 여성보다는 남성에게서 양의 효과를 나타내고 있어 남성이 비신호 교차로 횡단에 대한 만족도가 높으며, 성별에 의한 영향은 직접적인 것보다는 간접적인 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 나이는 직접적으로는 보행자횡단 만족도에 양(+)의 효과를 보이나, 나이가 증가될수록 만족도에 대한 총효과는 음(-)의 값을 보여 나이가 들수록 교차로 횡단에 대해 부정적 경향이 크다. 나이가 증가될수록 비신호 교차로를 횡단하는데 있어 육체적 및 상황판단 능력이 있어 불리해 횡단에 대한 만족도가 낮아짐을 가정할 수 있다. 또한, 나이는 직접적인 양(+)의 효과보다는 간접적인 음(-)의 영향이 큰 것으로 나타났다. 법준수 정도는 효과측면에서 양(+)의 값을 보이고 있어 법준수 의식이 높을수록 보행횡단의 만족도가 높다. 반대로 과거 사고경험이나 목격 했을 경우는 보행횡단 만족도가 낮은 경향을 보인다. 비신호 교차로 횡단시 동행자가 있거나, 점멸등은 만족도에 대해서 음(-)의 값을 보인다. 비신호 교차로에서 차량의 차두간격이 클수록 횡단 만족도에 대해 총효과는 양(+)을 보여 만족도가 증가되는 것으로 나타났으나, 직접적인 효과에서는 음(-)을 보인다.

횡단시도횟수와 기다림 시간으로 표현되는 횡단행태(Behavior)의 경우 남성이 여성에 비해 전반적으로 음(-)의 효과를 보인다. 남성이 횡단시도횟수 및 기다림 시간이 짧은 경향을 보임을 의미한다. 나이는 직접적으로는 횡단행태에 음(-)의 효과를 보이고 있지만 간접적으로는 양(+)의 영향을 보이고 있다. 법준수, 사고경험, 점멸등에 있어서는 양(+)의 효과를 보이나, 통행목적 및 차간은 음(-)의 효과를 보인다. 가방과 동행자의 경우 총효과와 직접효과는 양(+)의 효과를 보이나, 간접적으로는 음(-)의 영향을 보인다. 직장 등의 의무적 활동에 따른 통행행태는 음(-)을 보이고 있어 횡단시도횟수

Table 7. Effect Analysis among Latent Variables

Variables	Behavior		Consciousness	
	Total	Direct	Total	Direct
Satisfy	-0.142	-0.142	-0.929	-0.922
	-0.142	-0.142	-0.922	-0.922
	0.000	0.000	-0.007	-0.007
Behavior	-	-	0.050	0.050
	-	-	0.050	0.050
	-	-	0.000	0.000

Table 8. Assessing Fits

	Basic Model	Modified Model
$\chi^2$	1,370.463	76.890
df	91	17
Prob.	0.000	0.000
GFI	0.648	0.975
AGFI	0.594	0.902
NFI	0.085	0.955
NNFI	0.091	0.915
RMR	0.190	0.057
CN	37.02	213.20

및 기다림 시간을 낮게 하는 요인이다.

교차로운영의 편리성보다는 안전성이 중요하다는 의식과 조사 교차로에 신호체계 필요의 의식분석에서 남성, 법준수, 통행목적, 가방, 차간거리 등의 변수가 음(-)을 보여 편리성을 중요시하는 경향이 있으며 비신호 교차로에 대한 신호체계의 필요성에 대해 부정적 경향을 보이고 있다. 반면에 나이가 증가할수록, 사고경험이 있는 경우, 동행자가 있는 경우, 교차로에 점멸등이 있는 경우 등은 안전성을 중요시하고 신호체계의 필요성에 대해 긍정적 경향을 보이고 있다.



Table 7은 잠재변수간의 효과를 제시하는데, 만족도(Satisfy)는 통행행태(Behavior)에 의해 음(-)의 영향을 받으며, 이는 횡단시도 횡수와 기다림 시간 증가는 교차로 횡단에 대해 만족도 감소를 의미한다. 또한, 만족도는 의식(Consciousness)에 의해 직접적인 음(-)이 효과를 크게 받고 있으며 간접적인 효과는 낮게 나타났다. 통행행태는 의식에 의해 양(+)의 효과를 보인다. 대체적으로 의식이 높을수록 횡단시도횡수 및 기다림 시간이 증가되는 즉, 횡단에 대해 소극적인 행태를 보임을 가정할 수 있다.

Table 8은 모형의 부합도이며 모형개발의 시발점으로서 기초모형의 결과를 제시한다. 수정모형의 GFI는 0.9 이상이고 AGFI, NFI, NNFI, RMR은 권장수용수준에 근접하고 있어 모형이 적어도 나쁘지 않을 것이라는 생각을 할 수 있다. CN값이 200이상이면 모형이 전반적으로 주어진 경험자료에 맞는다 할 수 있는데 수정모형은 213.20을 보인다.

## 5. 결론

비신호 교차로 상에서 보행자 횡단행태는 복합적인 요소에 의한 정신적 스트레스의 결과물이다. 논문은 보행자 횡단행태에 영향을 주는 복합적인 요소들의 분석하였다.

횡단시도횡수에서 여성보다 남성이, 시간적 제약을 받는 의무적 활동에서 많거나 공격적 행태를 보임을 알 수 있었다. 안전성을 중요시하는 보행자의 횡단시도횡수가 많으며, 과거 사고를 당하였거나 목격한 경험이 있는 경우 3번이상의 횡단시도횡수에 있어 높은 비율을 보였다. 나이가 많은 그룹이 대체적으로 횡단시도횡수가 많아 고령층이 횡단에 있어 조심스러운 반응을 보인다. 비신호 교차로에서 신호필요의 의견을 제시한 보행자가 횡단을 위해 신호와 같은 보호된 보행권 요구가 높았다. 기다림 시간에서 남성이 여성보다 급하게 횡단하는 행태를 보이며 고령자 일수록 기다림 시간이 증가되었다. 교통사고를 목격했거나 경험이 있는 보행자와 횡단시 편리성보다는 안전성을 중요시 하는 보행자는 그렇지 않은 경우보다 기다림 시간이 길어질 가능성이 높았으나, 가방이나 동행자가 있는 보행자 및 통행목적이 의무적 활동인 경우 점멸등 교차로에서 감소되는 경향이 컸다. 횡단 만족도 분석에서는 남성이 비신호 교차로 횡단에 대한 만족도가 높으며, 나이가 들수록 교차로 횡단에 대해 부정적 경향이 큼을 알 수 있었다. 성별과 나이는 직접적인 것보다는 간접적인 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 법준수 의식이 높을수록 보행횡단 만족도가 높으나, 과거 사고경험이나 목격했을 경우는 보행횡단 만족도가 낮은 경향을 보였다. 잠재변수간의 효과성 분석에서 횡단시도횡수와 기다림 시간 증가는 횡단에 대해 만족도 감소를 의미한다. 또한, 만족도는 의식에 의해 직접적인 음(-)이 효과를 받고 있으며 간접적인 효과는 낮게 나타났다. 대체적

으로 의식이 높을수록 횡단시도횡수 및 기다림 시간이 증가되는 즉, 교차로에서 횡단에 대해 소극적인 행태를 보이고 있다. 최종 내생변수인 만족도에 대해 행태와 의식은 음(-)의 효과를 보여 비신호 교차로 횡단에 대한 만족도에 부정적인 측면이 큰 것으로 판단된다.

비신호 교차로에서의 횡단은 보행자의 판단에 의해 이루어지고 있기 때문에 횡단행태를 분석하는 것은 교차로 횡단시 안전에 대한 중요성을 높이고 교차로의 안전한 설계 및 물리적 시설의 개선 등을 고려하여 전반적인 사회의 교통사고율을 낮추기 위한 기초 방안을 탐구할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제시하지 못한 공학적 및 정책적인 대안제시의 한계를 극복하기 위해 향후 연구에서는 보행자들이 가지고 있는 비신호 교차로 횡단에 대한 감성적인 인식을 분석하여 횡단시 불편원인을 파악하여 올바른 보행교통 정책수립과 신호설치를 위한 기준설정이 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Allison, P. (2004). *Survival analysis using SAS*, SAS Institute Inc., NC USA.
- Das, S. and Manski, M. (2005). "Walk or Wait? An empirical analysis of street crossing decisions." *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 20, No. 4, pp. 445-577.
- Faria, J., Krause, S. and Krause, J. (2010). "Collective behavior in road crossing pedestrians: The Role of Social Information." *Behavioral Ecology*, Vol. 21, pp. 1236-1242.
- Granie, M. (2009). "Effects of gender, sex-stereotype conformity, age and internalization on risk-taking among adolescent pedestrians." *Safety Science*, Vol. 47, No. 9, pp. 1277-1283.
- Griffiths, J. D., Hum, J. G. and Marlow, M. (1984). "Delays at pedestrian crossings." *Traffic Engineering and Control*, Vol. 25, pp. 365-371.
- Hamed, M. (2001). "Analysis of pedestrian's behavior at pedestrian crossings." *Safety Science*, Vol. 38, No. 1, pp. 63-82.
- Holland, C. and Hill, R. (2007). "The effect of age, gender and driver status on pedestrians' intentions to cross the road in risky situations." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 39, No. 2, pp. 224-237.
- Jho, H. (1999). *Structural equation model by LISREL*, Sukjung (In Korean).
- Joreskog, K. and Sorbom, D. (1995). *LISREL 8*, Scientific Software International, Inc., Chicago.
- Kim, K., Brunner, I. and Yamashita, E. (2008). "Modeling violation of hawaii's crosswalk law." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, No. 3, pp. 894-904.
- King, M., Soole, D. and Ghafourian, A. (2009). "Illegal pedestrian crossing at signalized intersections: Incidence and Relative Risk." *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 41, No. 3, pp. 485-490.
- Lassarre, S., Papadimitriou, E., Yannis, G. and Golias, J. (2007).

- “Measuring accident risk exposure for pedestrians in different micro-environments.” *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 39, No. 6, pp. 1226-1238.
- Lee, J. and Lam, W. (2008). “Simulating pedestrian movements at signalized crosswalks in Hong Kong.” *Transportation Research, Part A* 42, pp. 1314-1325.
- Lenden, L. (2002). “Pedestrian risk decrease with pedestrian flow. A case study based on data from signalized intersection in hamilton, ontario.” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 34, No. 4, pp. 457-464.
- Osaragi, T. (2004). “Modeling of pedestrian behavior and its applications to spatial evaluation.” *Proceedings of the third international joint conference on autonomous agents and multi-agent systems*, 2004.
- Papadimitriou, E. (2012). “Theory and models of pedestrian crossing behavior along urban trips.” *Transportation Research, Part F* 15, pp. 75-94.
- Rosenbloom, T. (2009). “Crossing at a red light: Behavior of Individuals and Groups.” *Transportation Research, Part F: Traffic Psychology and Behavior* 12, pp. 389-394.
- Rosenbloom, T., Ben-Eliyahu, A. and Nemrodov, D. (2008). “Children’s crossing behavior with an accompanying adult.” *Safety Science*, Vol. 46, No. 8, pp. 1248-1254.
- Song, H., Jung, G. and Lee, W. (2002). *Survival analysis*, Chung-mungak (In Korean).
- Sueur, C., Class, B., Hamm, C., Meyer, X. and Pele, M. (2013). “Different risk thresholds in pedestrian road crossing behavior: A Comparison of French and Japanese Approaches.” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 58, pp. 58-63.
- Sullman, M, Thomas, A. and Stephens A. (2012). “The road user behavior of school students in belgium.” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 48, pp. 495-504.
- Varhelyi, A. (1998). “Drivers’ speed behavior at a zebra crossing: A Case Study.” *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 30, No. 6, pp. 731-743.
- Wiley, D., Schmidt, W. H. and Bramble, W. (1973). “Studies of a class of covariance structure models.” *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 68, No. 342, pp. 317-323.
- Yannis, G., Golias, J. and Papadimitriou, E. (2007). “Modeling crossing behavior and accident risk of pedestrians.” *Journal of Transportation Engineering*, ASCE, Vol. 133, No. 11, pp. 634-644.