

실험용 횡단보도에서 교통약자 가로횡단시간 분석

김태호^{*} · 허 익^{*} · 황의표^{*} · 원제무^{*}

한양대학교 산업과학연구소 · *한양대학교 도시대학원

(2008. 2. 12. 접수 / 2008. 7. 3. 채택)

An Analysis of the Vulnerable-Pedestrian Crossing Time in Test Crosswalk

Tae-Ho Kim^{*} · Uk Hu^{*} · Eu-Pyo Hwang^{*} · Jai-Mu Won^{*}

The Research Institute of Industrial Science, Hanyang University

^{*}Graduate School of Urban Studies, Hanyang University

(Received February 12, 2008 / Accepted July 3, 2008)

Abstract : Presently, pedestrian's signal time models in Korea are not considering Vulnerable-Pedestrian. So, the safety of Vulnerable-Pedestrian is being threatened and the number of accidents is increasing. Besides, the existing operational system for pedestrians can't offer the cross signal time in road corresponded to the changing environment when the school zone is revitalized and the Silver zone is introduced for Vulnerable-Pedestrian. Conclusively, Vulnerable-Pedestrian's signal time models which are able to consider classified Vulnerable-Pedestrian speed, Vulnerable-Pedestrian perception-reaction time, Vulnerable-Pedestrian Spare(congestion-delay) time are suggested by the result of experiment in virtual crosswalk. The application of suggested models in this study to the site. It is possible to use as a basic stuff on study of pedestrian's signal time and expected to contribute the safety and mobility in future.

Key Words : pedestrian's signal time model, pedestrian speed, P.I.E.V, spare time, vulnerable-pedestrian

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

교통수단의 발달은 인간에게 윤택함과 편리함을 제공하지만, 교통사고와 같은 부정적인 사회적 문제를 발생시키기도 한다. 최근 들어 이러한 사회적 문제 중 교통약자(노약자, 어린이)와 관련된 교통사고가 주목을 받고 있다. 교통약자는 자력에 의한 이동에 있어서 물리적인 제약이 따르는 사람으로 신체적, 정신적인 능력이 감퇴되기 때문에 교통사고와 같은 위험에 대처하기가 매우 어렵다.

경제협력개발기구(OECD)회원국의 노약자, 어린이 사망사고 통계를 비교해보면 국내의 교통약자 사망자수가 상당히 높은 것을 알 수 있다¹⁾.

또한, 국내의 교통약자 사망자수의 40%가 실험용 횡단보도에서 횡단후반부²⁾에 발생하고 있어 교통약자의 특성을 반영해 줄 수 있는 신호시간 연구가 시급한 것을 알 수 있다. 하지만, 교통약자의 특성을 고려하여 제공할 수 있는 보행신호시간 판

련 연구는 미흡하다. 향후 어린이 보호구역(School Zone)과 노인 보호구역(Silver Zone)이 시행될 경우 고령자의 특성을 반영한 신호시간의 중요성은 더욱 부각될 것이다. 따라서 본 연구에서는 교통약자(노약자, 어린이)를 위한 새로운 가로횡단시간 제공 방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

현재 국내의 보행신호시간 산정에 이용되는 방법은 교통약자에 대한 고려가 미흡하다는 것에 착안하여 다음과 같은 연구의 내용을 설정하였다.

- 국내·외의 보행신호시간 산정방법 고찰을 통하여 교통약자의 특성을 반영할 수 있는 새로운 신호시간 산정방안을 제시한다.
- 또한, 보행신호시간에 대한 교통약자의 의식 조사를 토대로 보행신호시간 부족의 심각성을 파악한다.
- 교통약자 특성 반영을 위해서 현장실험을 수행하고, 보행속도, 인지-반응시간, 혼잡지체시간에 대한 조사결과를 분석한다. 또한, 모형개

^{*} To whom correspondence should be addressed.
traffix@hanmail.net

발의 현실성을 높이기 위하여 선행연구에서 제시된 실제 현장 조사결과를 비교 검토하여 현실 적용성을 높인다.

- 교통약자 가로횡단시간에 영향을 주는 보행 속도, 인지-반응시간별로 기술통계 분석을 수행하고, 표준화된 혼잡지체시간 모형 개발을 위해 산점도(Scatter Diagram), 회귀분석(Regression Analysis)등을 이용한다.
- 보행속도, 인지-반응시간, 혼잡지체시간 모형 개발결과를 토대로 교통약자 가로 횡단시간 모형의 틀을 정립하고, 종합하여 표준화된 교통약자 보행신호시간 산정모형을 개발한다.
- 본 연구 제안모형을 경찰청편람(2000)을 포함한 최근 연구와 비교 분석하고 시사점을 정리한다^{주3)}.

2. 선행연구 고찰

2.1. 보행신호시간 관련 연구 고찰

본 연구에서 사용되는 보행자 신호시간 산정 방법에 관한 국내외의 연구를 종합하면, Table 1, 2와

같다. 보행신호시간 관련 선행연구 고찰결과, 보행 속도를 0.8~0.9m/sec로 강화시켜준 기준을 제외하고는 교통약자에 대한 고려가 미흡한 것으로 나타났다. 특히 교통약자들의 특성을 반영한 인지-반응시간(PIEV), 혼잡지체시간(Congestion-delay Time)은 제공되지 않고 있으며, 여유시간에 해당하는 혼잡지체시간이 표준화되지 않아 현장 적용시 분석의 주관성이 개입되는 것을 알 수 있었다.

따라서 교통약자(노약자, 어린이)에 대한 현장실험연구를 토대로 가로 횡단시간 분석결과를 1차적으로 제시하고, 선행연구의 자료를 포함하여 현장 적용성을 높일 수 있는 모형을 제시한다.

2.2. 교통약자 관련 연구 고찰

Oxely 등(1997)의 연구에서는 노년층 보행자 횡단 사고를 분석하였다. 노년층은 판단시간과 반응속도가 느리기 때문에 횡단 소요시간이 장년층에 비해 긴 것으로 나타났다. 노년층 보행자는 횡단 전반기에는 별다른 문제가 없으나 횡단 후반부에는 횡단시간 부족으로 인하여 위험한 상황에 놓이

Table 1. Synthesis Comparative table of Pedestrian signal time equation : Domestic

출처	최소녹색시간 산정식	보행자 녹색시간		비고
		녹색	점멸	
경찰청 개정전(1992)	$T = \frac{L}{V}$	L / V		V = 0.9m/sec : 학교, 고령자 L = L3 or L1
		L/N-(5~9)	5~9	
		V = 1.0m/sec		
경찰청 개정후(1996)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	V = 0.9m/sec : 학교, 고령자 L = L3 or L1
		4~7	V = 1.0m/sec	
경찰청 개정후(2000)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	V = 0.8m/sec : 어린이 보호구역 V = 0.8m/sec : 보행자 많은 지역
		7	V = 1.0m/sec	
국 내 문 헌 교통안전시설 실무편람 (경찰청 : 1996)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	V = 0.9m/sec : 학교, 고령자 L = L3 or L1
		7	V = 1.0m/sec	
도로용량편람 (건교부 : 1992)	$T = t + \frac{L}{V} - Y$	t	L / V - Y	L = L3 or L1 Y = yellow + all red
		7	V = 1.0m/sec	
도로용량편람 (건교부 : 2004)	$T = 3.2 + \frac{L}{S_p} + 0.81 \times \frac{N}{W_E}$	3.2 + 0.81 × $\frac{N}{W_E}$; 4m 이상	L / Sp	L = L3 or L1 유효 보도폭 : 4m 이상
			V = 1.2m/sec	
도로교통안전관리공단 (한국 : 1992)	$T = t + H \times (R - 1) + \frac{L}{V}$	t + H(R-1)	L / V	L = L3 or L1
		7	V = 1.0m/sec	
박용진 외 (교통학회지 : 2001)	$T = \frac{L}{V_1}$	$L(\frac{L}{V_1} - \frac{L}{V_2})$	$\frac{L}{V_2}$	V1 : 고령자 보행속도 V2 : 일반 보행속도 L = L3 or L1
		-	-	
김태호 외 (국토학회지 : 2002)	$PT = T + \frac{L}{V}$	T (혼잡지체+인지반응)	L / V	V : 토지이용별 차등적용(0.9~1.3m/sec) 혼잡지체시간은 가상실험을 통해 개발되어 현실적용이 다소 미흡함,
		$7.65 + 16.09 \times (\frac{N}{W \times L})$	V = 0.9~1.3m/sec	

Table 2. Synthesis Comparative table of Pedestrian signal time equation : Overseas

출 처	최소녹색시간 산 정 식	보행자 녹색시간		비 고	
		녹 색	점 멸		
국 외 문 헌	Virkler and Guell (미국 : 1984)	$T = D + \frac{L}{S_p} + X \times (\frac{N}{W})$	-	-	X : 평균보행자 Headway
	MUTCD (미국 : 1988)	$T = t + \frac{L}{V}$	t 4~7	L / V V = 1.07~1.22m/sec	L=L4 or L2
	MUTCD (미국 : 2000)	$T = t + \frac{L}{V}$	t 4~7	L / V V = 1.2m/sec	L=L3 or L1
	HCM (미국 : 1998)	$T = t + \frac{L}{V} - Y$	t 7	L / V V = 1.2m/sec	L = L4 or L2 Y = yellow + all red
	HCM (미국 : 2000)	$T = 3.2 + \frac{L}{S_p} + CP \times \frac{N}{W_E}$	$3.2 + 0.81 \times \frac{N}{W_E}$: 3m 이상 $3.2 + 0.27 \times \frac{N}{W_E}$: 3m 이하	L / Sp V = 1.2m/sec	L=L4 or L2 유효 보도폭 : 3m기준 구분
	IIE Crossing Guideline (미국 : 2000)	$T = D + \frac{L}{S_p} + 2(\frac{N}{5} - 1)$	-	L / Sp	L=L3 or L1 D : 인지방응시간(sec) N : 보행자수(명)
	교통공학연구회 (일본 : 1992)	$T = \frac{P}{S_p \times W} + \frac{L}{V}$	T - L / V Min : 5sec	L / V V = 1.5m/sec (Max : 1.0m/sec)	Sp : 보행자 교통류율(0.52~0.92) P : 보행자수

게 되며, 왕복 2차선 이상의 복잡한 도로상황에서 판단능력이 떨어지는 것으로 나타났다.

Jordan(1998)의 연구에서는 학교주변에서 발생한 어린이 교통사고를 분석하였으며, 사고는 등학교 시 주로 발생하며, 학교 인근보다는 학교와 떨어진 통학로에서 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 학교 주변지역에 대한 횡단보도 및 스쿨존(School Zone)위치조정이 필요하다고 강조하였다.

성낙문(2004)의 연구에서는 보행자 교통사고 예방을 위하여 사고원인을 분석하고, 사고 잦은 곳 개선, 어린이 보호구역의 개선, 지방부 도로 중 취약지역 인접도로에 보도 설치와 같은 다양한 방안을 제시하였다. 특히 지방부 도로의 최소 노면폭(1.0m)확보, 실버존(Silver Zone) 도입을 포함한 구체적이고 다양한 교통정온화(Traffic Calming) 전략을 제시하였다.

Garder(2004)의 연구에서는 차량의 속도가 높고, 도로폭원이 넓은 경우에 사고가 많이 발생하며, 차량의 속도와 사고의 심각성은 매우 밀접한 관계를 갖는다고 하였다. 특히 보행자 사고 감소 및 안전성을 보장하기 위해서는 간선 및 집산도로에서 대한 집중적인 안전성 개선이 필요하다고 하였다.

경찰청(2005)의 연구에서는 TAMS 자료를 이용하여 고령자의 시간대별, 유형별 교통사고 분석을 실시하였으며, 설문문을 통하여 고령보행자의 통행실태와 교통사고 위험인자에 관한 주관적인 평가 조

사를 실시하였다. 또한, 고령 보행자 교통사고 다발 지역에 대한 현장조사를 통하여 사고를 심층 분석하고, 고령의 보행자를 위하여 보행자 보호구역(Green Zone)과 마을통과 Zone 속도 규제 등과 같은 제도 및 정책 대안을 제안하였다.

Oxely 등(2005)의 연구에서는 노년층 보행자가 도로를 안전하게 횡단할 수 있는 판단능력을 실험하기 위하여, 연령집단(30~45세, 60~69세, 75세 이상)을 대상으로 다양한 상황을 스크린으로 제공하여 실험을 수행하였다. 분석결과 75세 이상의 노년층에서는 도로를 안전하게 횡단하기에 충분한 시간이 주어졌음에도 접근하는 차량의 거리, 속도를 잘못 판단하여 횡단 시작 시점을 잘못 판단하여 횡단 시간이 부족했던 것으로 나타났다.

교통안전공단(2006)의 연구에서는 보행자 교통사고를 통하여 사고유형별 원인을 분석하고, 사고 감소를 위한 신호등 설치, 신호현시 표시방법에 관련된 신호시간 개선방안을 제안하였다.

Leden 등(2006)의 연구에서는 교통약자에 대한 교통정온화기법(도로 폭 부분조정, 연석 연장) 등에 의해 차량의 접근속도 감소효과를 시험한 결과, 차량의 90%가 30km/h 이하 속도를 유지하여 차량감속 효과는 있는 것으로 나타났다. 그러나 교통약자의 횡단 안전을 위해서는 차량의 감속만으로 보장되는 것이 아니라 시인성과 같은 부가적인 요소도 높여주어야 한다고 강조하였다.

교통약자관련 선행연구 고찰결과 제도적이거나, 정책적인 개선안 도출에 국한되어, 보행속도, 인지-반응시간에 대한 실증연구가 필요하다.

또한, 교통약자의 보행속도 및 인지-반응시간 등을 고려할 수 있는 충분한 보행시호시간을 제공해 줄 수 있는 주어야 한다.

2.3. 교통약자의 횡단시간 의식 분석결과

교통약자 가로 횡단시간의 의식수준 파악을 위하여 만족도 및 위험도를 파악하였으며 Fig. 1, 2와 같다.

첫째, 「보행자 신호시간이 도로를 횡단하기에 적당인가?」라는 질문에 전체 응답자의 51%가 보행 신호시간이 부족하다고 응답하여 현재 제공되고 있는 보행신호시간은 교통약자에게는 매우 부족하다는 것을 알 수 있다.

「신호횡단보도를 건널 때 교통사고의 위험을 느낀 적이 있는가?」라는 질문에 전체 응답자의 57%가 신호 횡단보도를 건널 때 사고의 위험을 느낀 경험이 있는 것으로 나타나 신호횡단보도에 대한 신호시간 개선이 시급히 필요한 것을 알 수 있다.

이렇게 통행특성분석에서 나타난 결과를 토대로 살펴보면, 전반적으로 노약자들이 횡단보도 횡단시 불안감을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 50%에 달하는 고령자의 보행자 횡단사고를 해결해주기 위해서는 보행신호시간에 대한 새로운 접근방법이 필요하다고 판단된다.

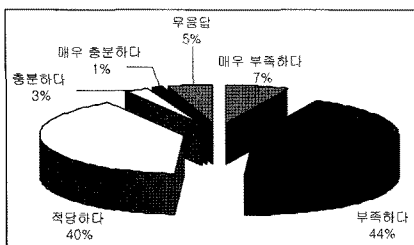


Fig. 1. Satisfaction of signal-crosswalk signal time.

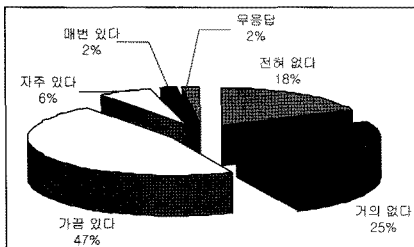


Fig. 2. Risk of crossing signal-crosswalk.

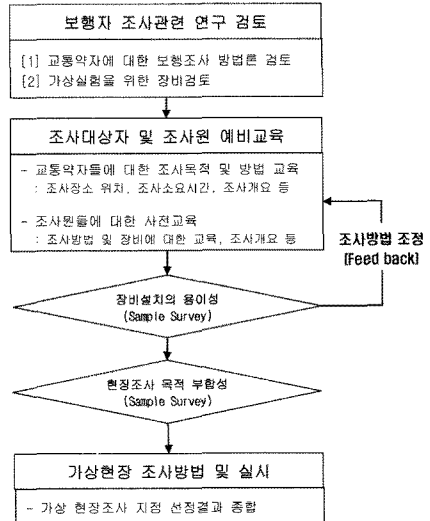


Fig. 3. Field test flowchart.

따라서 본 연구에서 교통약자(노약자, 어린이)에 대한 현장실험을 통하여 교통약자의 특성을 반영할 수 있는 보행속도, 인지-반응시간, 혼잡지체시간에 대한 행태를 파악은 필요하다는 것을 알 수 있었다.

3. 현장실험조사 및 신뢰성 분석

3.1. 현장실험 조사의 개요

본 연구에서 실험용횡단보도에 대한 실험조사의 신뢰성을 확보는 매우 중요하다. 따라서 다음의 Fig. 3과 같은 절차를 고려하여 교통약자의 가로횡단시간 실험을 실시하였다.

현장조사 방법은 교통약자의 특성별(노약자, 어린이)로 구분하여 실시하였으며, 단순화된 신호등

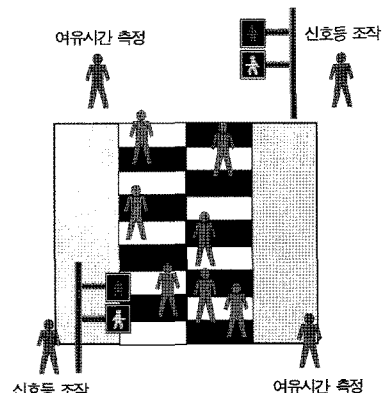


Fig. 4. Field test conceptual flowchart.

모형과 Stop-Watch를 이용하여 5개의 가상횡단보도에서 10명의 조사원들의 진행에 따라 보행시간에 관련된 영향요소들을 조사하였다.

조사의 신뢰성과 원활함을 위해 조사원들에 대해 사전교육을 실시하였다. 보행속도 및 인지-반응시간은 실제횡단보도와 동일한 방법으로 수집하였으며, 혼잡지체시간은 가상 횡단보도(15m, 20m, 30m, 40m, 50m)에서 10명에서 50명까지 한꺼번에 통과할 때 소요되는 보행시간을 조사하여 이를 혼잡이 없는 상황의 보행시간과 비교함으로써 측정하였다.

현장실험에 대한 개요는 Table 3에 구체적으로 언급되어 있다.

실험대상자들의 자세한 연령별 분포를 살펴보면 다음의 Table 4, 5와 같다.

3.2. 표본수 산정 및 분포검증 결과

3.2.1. 표본수 산정결과

교통약자의 특성을 반영한 신호시간산정모형의

Table 3. Outline of Actual experiment in Vulnerable-Pedestrian

구분	어린 이(현장실험)	고령 자(현장실험)
조사 일자	2007. 4. 9~13	2007. 4. 22
조사 장소	한양대학교 서울캠퍼스 (제 2 운동장)	한양대학교 서울캠퍼스 (제 1 운동장)
표본수 (Sample Size)	남자	56명
	여자	15명
	합계	71명

주 1 : 어린이의 구분기준은 초등학교(12세 이하)이며, 노약자는 통계청기준(65세 이상)으로 설정함.

Table 4. Age distribution Composition rate of Senior

연령대구분	실험 참여자수
8세~9세	22
9세~10세	73
10세~11세	120
12세 이상	148
합계	363

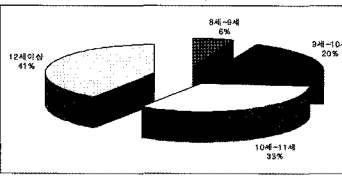
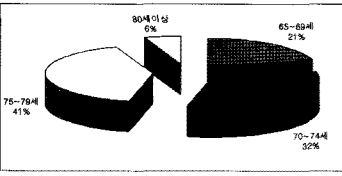


Table 5. Age distribution Composition rate of Children

연령대구분	실험 참여자수
65~69세	15
70~74세	23
75~79세	29
80세 이상	4
합계	71



신뢰도를 높이기 위한 최소 표본수를 산정하기 위하여 모집단의 표준편차(σ) 0.204^(주4), 추정오차(d) 0.05, 신뢰구간(95%)을 적용하였으며, 64개의 표본이상일 경우 신뢰성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha} \times \sigma}{d} \right)^2 = \left(\frac{1.96 \times 0.204}{0.05} \right)^2 = 64$$

본 연구에서는 최소 표본수(64개) 보다 많은 71개(노약자), 363개(어린이)의 자료를 수집하였다.

3.2.2 자료에 대한 분포검증

본 연구에서 혼잡지체시간 모형개발을 위한 방법론인 회귀분석의 경우 모집단의 분포가 정규분포(Normal Distribution)를 따른다는 가정을 만족하여야 한다. 따라서 혼잡지체시간의 표준모형을 정립하기 이전에 정규분포에 대한 검증을 수행하였다. 전체 차량집단의 K-S 검증의 정규분포 검증을 위한 가설설정은 다음과 같다.

Table 6의 분석결과 정규분포를 따르는 것으로 나타났다.

H_0 : 혼잡지체시간은 정규분포를 따른다.

H_1 : 혼잡지체시간은 정규분포를 따르지 않는다.

4. 교통약자를 위한 가로 횡단시간 분석

4.1. 혼잡지체시간 모형개발 및 자료검증

가상횡단보도의 보행신호시간 산정모형개발에 대한 모형구상 및 방법론은 선행연구에서^(주5) 제시한 신호시간 산정방법론의 틀을 수용한다.

하지만, 현장실험을 통한 자료의 특성이 회귀분석을 적용하기 적합하지에 대한 선형성을 검증을 실시하였다. 다음의 산점도 분석을 수행한 결과를 살펴보면, 선형성(Linearity)이 나타남을 알 수 있다. 따라서 기존에 적용한 선형회귀분석을 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

다음으로 노약자에 대한 현장실험 결과를 토대로 동일한 방법으로 자료의 형태를 파악하여 보았다.

Table 6. Result of Kolmogorov-Smirnov Test

구분	혼잡지체시간(Congestion-delay time)
N	71
Kolmogorov-Smirnov Z	.659
Asymp. Sig.(2-tailed)	.777

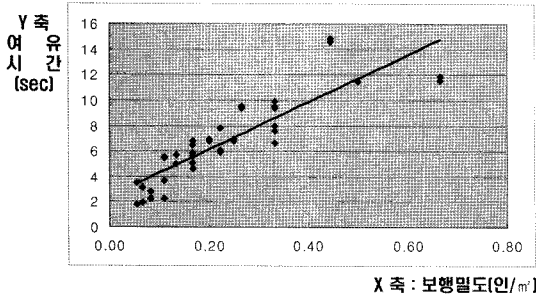


Fig. 5. Result of Spare time Scatter Diagram : children.

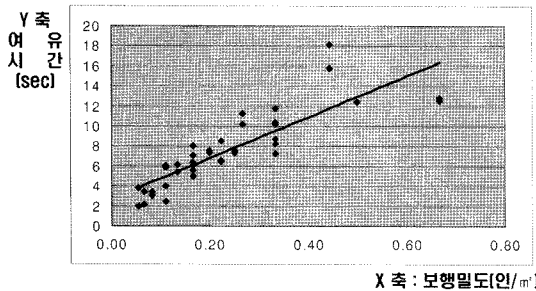


Fig. 6. Result of Spare time Scatter Diagram : Senior.

다음은 가로 횡단시간 모형구상 결과이다.

모형구분	모형구상 및 접근형태
고령자 녹색시간 (Flashing -Green)	$\frac{L}{V}$ 횡단보도 길이 교통약자 보행속도 : 어린이, 노약자의 보행속도 적용 (현장실험 + 조사결과)
고령자 점멸시간 (Solid -Green)	t_1 = 교통약자 인지 / 반응시간 : 어린이, 노약자의 인지-반응시간 적용 (현장실험 + 조사결과) 혼잡지체시간(t_2) = f (보행자 밀도) + 상수 여기서, 혼잡지체시간 : 종속변수 보행자밀도 : 독립변수 ^{7,9)}
$PT_{\text{교통약자}} = \text{Flashing Green} + \text{Solid Green}$ $= \frac{L}{V} + t_1 + t_2$	

4.2. 현장실험을 통한 분석결과

4.2.1. 보행속도 분석결과

가상횡단보도에서 조사한 노약자, 어린이의 보행속도를 조사한 결과를 살펴보면, 어린이가 노약자에 비해 보행속도가 다소 높은 것을 알 수 있다.

선행연구에서 조사된 결과와 비교하여 보면, 현장실험에 의한 결과의 보행속도가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 교통약자의 보행속도 결정시 실제 자료의 특성을 반영하기 위하여 현장실험과 선행연구 조사 자료를 종합하여 Table 7에 제시하였다.

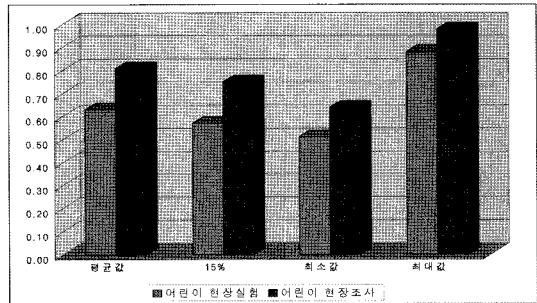


Fig. 7. Comparison of pedestrian speed : children.

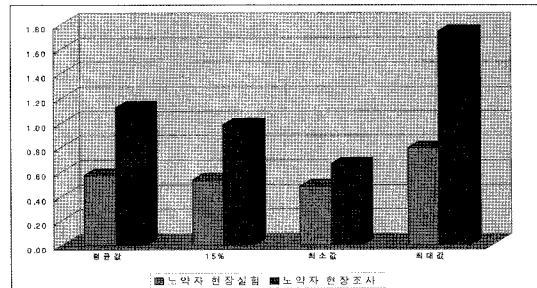


Fig. 8. Comparison of pedestrian speed : Senior.

Table 7. Descriptive analysis of Pedestrian speed(unit : m/sec)

구분	어린이		노약자	
	평균값	15%	최소값	최대값
실험결과 (본 연구)	0.63	0.57	0.51	0.88
	0.57	0.53	0.48	0.79
	0.51	0.48	0.48	0.79
	0.88	0.79	0.79	0.79
조사결과 (선행연구)	0.81	1.12	0.75	0.98
	0.75	0.98	0.64	0.66
	0.64	0.66	0.64	0.66
	0.98	1.74	0.98	1.74
결과종합 (실험+조사)	0.72	0.85	0.66	0.76
	0.66	0.76	0.58	0.57
	0.58	0.57	0.58	0.57
	0.93	1.27	0.93	1.27

주 1: 조사결과는 아래의 선행연구결과의 원자료를 토대로 추가 분석을 수행하여 제시함.

주 2: 어린이의 경우 김상규, 서울시립대학교 석사학위논문 「보행자 횡단특성을 고려한 보행신호시간 산정모형개발에 관한 연구, 2007」의 자료를 인용하여 분석함.

주 3: 노약자의 경우 도로교통안전관리공단, 「횡단보도 보행신호시간 산정 및 운영방법에 관한 연구, 2004」의 자료를 인용하여 분석함.

4.2.2. 인지-반응시간 분석결과

가상횡단보도에서 조사한 노약자, 어린이의 인지-반응시간 분석결과를 살펴보면, 어린이가 노약자에 비해 인지-반응시간이 다소 높은 것을 알 수 있다. 선행연구에서 조사된 결과와 비교하여 보면, 현

장실험에 의한 결과의 인지-반응시간이 높은 것으로 나타났다. 따라서 교통약자의 인지-반응시간 결정시 실제 자료의 특성을 반영하기 위하여 현장실험과 선행연구 조사 자료를 종합하여 Table 8에 제시하였다.

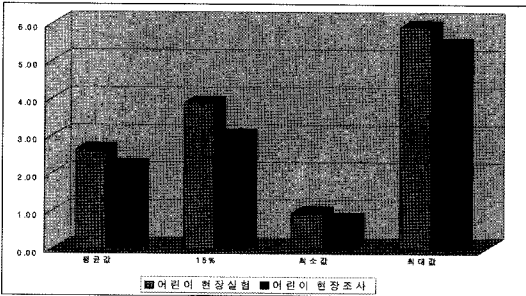


Fig. 9. Comparison of Perception-reaction time : children.

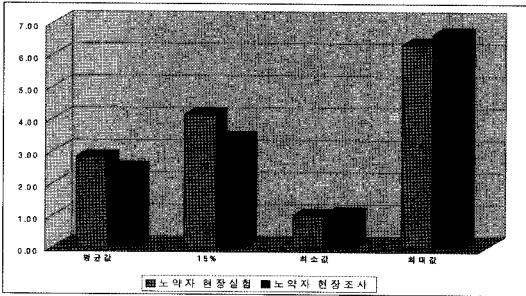


Fig. 10. Comparison of Perception-reaction time : Senior.

Table 8. Descriptive analysis of Perception-Reaction time (unit : sec)

구분		어린이	노약자
실험결과 (본 연구)	평균값	2.63	2.82
	85%	3.88	4.15
	최소값	0.95	1.02
	최대값	5.91	6.32
조사결과 (선행연구)	평균값	2.21	2.47
	85%	3.01	3.43
	최소값	0.80	1.07
	최대값	5.44	6.64
결과종합 (실험+조사)	평균값	2.42	2.65
	15%	3.46	3.79
	최소값	0.88	1.05
	최대값	5.68	6.48

주 1 : 조사결과는 아래의 선행연구결과의 원자료를 토대로 추가 분석을 수행하여 제시함.

주 2 : 어린이의 경우 김상규, 서울시립대학교 석사학위논문 「보행자 횡단특성을 고려한 보행신호시간 산정모형개발에 관한 연구, 2007」의 자료를 인용하여 분석함.

주 3 : 노약자의 경우 도로교통안전관리공단, 「횡단보도 보행신호시간 산정 및 운영방법에 관한 연구, 2004」의 자료를 인용하여 분석함.

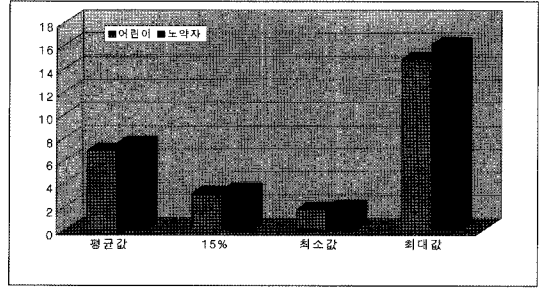


Fig. 11. Comparison of spare time : children + Senior.

Table 9. Descriptive analysis of Spare time (unit : sec)

구분	어린이	노약자
평균값	6.92	7.52
85%	3.18	3.46
최소값	1.82	1.98
최대값	14.81	16.10

4.2.3. 혼잡지체시간 분석결과

가상횡단보도에서 조사한 노약자, 어린이의 혼잡지체시간 결과를 살펴보면, 노약자가 어린이에 비해 혼잡지체시간이 다소 높은 것을 알 수 있다.

선행연구에서는 노약자에 대한 혼잡지체시간 모형개발 관련 연구가 이루어지지 않아 현장실험 자료만을 토대로 결과를 제시하였으며 Table 9와 같다.

4.3. 가로 횡단시간 모형개발 및 검증

4.3.1. 어린이 가로 횡단시간 모형개발 결과

가상횡단보도의 어린이 혼잡지체시간과 횡단보도 밀도를 토대로 다음과 같은 회귀분석 모형을 도출하였으며 Table 10과 같다.

4.3.2. 노약자 가로 횡단시간 모형개발 결과

가상횡단보도의 노약자 혼잡지체시간과 횡단보도 밀도를 토대로 다음과 같은 회귀분석 모형을 도출하였으며 Table 11과 같다.

Table 10. Spare time regression model : children

구분	회귀모형식	
어린이 혼잡지체시간 모형	$t_2 = 2.449 + 18.500X_1$ (5.21) (11.27)	$R^2 = 0.750$ D.W = 2.134

Table 11. Spare time regression model : Senior

구분	회귀모형식	
노약자 혼잡지체시간 모형	$t_2 = 2.662 + 20.107X_1$ (5.02) (10.27)	$R^2 = 0.770$ D.W = 2.041

Table 12. Spare time regression model synthesis

구 분			모형형식(t_2 : sec)
기준연구 ^{주1)} (김태호) (2002)	대학생 (20세 이상)	현장실험	$t_2 = 2.13 + 16.09X_1$
본 연구 (2006)	어린이 (12세 이하)	현장실험	$t_2 = 2.449 + 18.500X_1$
	노약자 (65세 이상)	현장실험	$t_2 = 2.662 + 20.107X_1$

Table 13. Vulnerable-Pedestrian Crossing time model

구 분	보행속도 (v) (m/sec)	인지- 반응시간 (t_1 : sec)	혼잡지체시간 모형(t_2) (sec)
어 린 이 보호구역 (School Zone)	0.66	3.46	$t_2 = 2.449 + 18.500X_1$
노인 보호구역 (Silver Zone)	0.76	3.79	$t_2 = 2.662 + 20.107X_1$
종 합	$PT_{교통약자} = \frac{L}{V} + t_1 + t_2$		

주 1: 보행속도, 인지-반응시간은 현장자료를 포함한 결과를 제시하여 현실 적용성을 향상시킴.
 주 2: 보행속도는 85-percentile 값을 적용함.
 주 3: 인지-반응시간은 15-percentile 값을 적용함

기준의 현장실험 자료를 이용하여 연구한 결과를 토대로 혼잡지체시간에 대한 결과를 비교하였으며, 현장실험에 대한 신뢰성을 살펴보았다. 검토 결과, 20세 대학생들을 대상으로 현장 실험 결과보다 교통약자가 다소 많은 혼잡지체시간을 필요로 하고 있는 것으로 나타났다.

4.4. 보행신호시간 산정모형 결과종합

교통약자 특성별로 제안된 모형식을 종합하면, Table 13과 같다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 교통약자의 보행속도, 인지-반응시간, 혼잡지체시간 특성 실험 및 선행연구 자료를 바탕으로 가로 횡단시간 모형을 개발 제시하였다.

첫째, 교통약자에 대한 가로 횡단시간 만족도 및 위험도에 대한 설문조사결과, 교통약자들의 약 50% 이상이 보행자 신호시간이 부족하며, 이로 인해 위험을 느끼는 것으로 나타났다. 신호횡단보도 횡단시 교통약자에 대한 불안감을 감소시켜주기 위해서는 교통약자 가로 횡단시간 산정 연구가 필요한 것을 알 수 있다. 교통약자 가로 횡단시간 모형결과는 Table 13에 나타났다.

둘째, 교통약자의 보행속도 측면에서 살펴보면

0.66~0.76m/sec로 나타나 현재 적용되고 있는 경찰청편람의 교통약자 기준인 0.90m/sec보다 강화된 기준을 적용하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

셋째, 교통약자의 인지반응시간 측면에서 살펴보면 3.46~3.79sec로 나타나 교통약자의 횡단에 부족한 시간을 파악할 수 있었다. 이러한 인지-반응시간은 혼잡지체시간과 함께 교통약자 보행신호시간 산정시 고려되어야 한다고 판단된다.

넷째, 노약자와 어린이의 가로 횡단시간 영향인자를 비교해보면, 보행속도는 노약자가 빠른 것으로 나타났으나, 인지-반응시간은 노약자가 많이 소요되는 것을 알 수 있다.

지금까지의 연구결과를 토대로 살펴보면, 현재 경찰청(2000)에서 제공하고 있는 보행신호시간 산정 적용되는 기준 보다 보행속도를 다소 강화하여야 하며, 안전율을 고려한다면 일본에서 적용되고 있는 0.5m/sec 수준을 적용하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한, 인지-반응시간과 혼잡지체시간을 추가적으로 보완하여 산정한다면 교통약자(노약자, 어린이)가 횡단보도를 횡단시 안전도는 향상될 것이다. 본 연구내용은 다음과 같은 한계점을 지니고 있는데 이를 극복하기 위해서는 다음과 같은 사항을 향후 연구과제로 남긴다.

첫째, 보행속도 및 인지-반응시간은 현장 조사 자료를 포함하여 현실적용성이 있으나, 혼잡지체시간은 현장 조사 자료의 미비로 이에 대한 보완이 필요하다. 둘째, 신호제공 방식(일반신호, 잔여신호기 등) 및 횡단보도(일반, 대각, 이단 등)의 행태를 고려하는 연구가 추가적으로 수행되어야 한다.

참고문헌

- 1) Carol H. Tan, Charles V. Zegeer, "European Practices and Innovations for OECD", Pedestrian, 1970.
- 2) Wilson D. G. and Grayson G. b. "Age-related Differences in the Road Crossing Behavior of Adult Pedestrians", Laboratory Research 933, Crowthore : TRRL, 1980.
- 3) Mark R. Virkler, D. L. Guell, "Pedestrian Crossing Time Requirements at Intersections", Transportation Research Record 959, 1984.
- 4) Caremn Hass-Klau, "The Pedestrian and City Traffic", 1990.
- 5) Owsley, C., Ball, K., Sloane, M. E., Roenker, D. L. and Bruni, J. R., "Visual/Cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers", Psychology and Aging,

1991.

- 6) Charles V. Zegeer, Michael Cynecki, John Fegan, Brian Gilleran, "FHWA Study Tour for Pedestrian and Bicyclist Safety in England, Germany, and The Netherlands", FHWA, 1994.
- 7) "Child Pedestrian-Car Crashes Near Schools Are a small Percentage of Total Child Pedestrian Crashes in Philadelphia", TRR 1636, 1998.
- 8) Mark R. Virkler, "Scramble and Crosswalk Signal Timing", Transportation Research Record 1636, 1998.
- 9) "HIGHWAY CAPACITY MANUAL Third Edition", TRB, 2000.
- 10) "Manual on Uniform Traffic Control Device", FHWA, 2000.
- 11) Leden, L., Gårdar, Per E. and Johansson, C., "Safe pedestrian crossing for children and elderly", Accident Analysis and Prevention, 2006.
- 12) 한국건설기술연구원, "도로교통 운영개선 실무서", 1993.
- 13) 경찰청, "교통안전시설 실무편람", 1996.
- 14) 경찰청, "교통안전시설 실무편람 개정판", 2000.
- 15) 김태호, 이수일, 원제무, "토지이용과 보행자 행태를 고려한 보행자 가로횡단시간 분석에 관한 연구", 대한국토도시계획학회지, 2002.
- 16) 교통안전공단, "고령자 및 장애인 교통안전대책 연구" 2002.
- 17) 도로교통안전관리공단 "횡단보도 보행신호시간 산정 및 운영방법에 관한 연구", 2004.
- 18) 대한교통학회, 도로교통용량편람, 2004.
- 19) 성낙문, "보행자 교통사고 예방전략 개발, 교통개발연구원", 2004.
- 20) 이수일, 원제무, 김태호, 김용식, "보행 잔여신호기 도입에 따른 보행행태 변화에 관한 연구", 대한국토도시계획학회지, 2004.
- 21) 경찰청, "고령자 교통사고 원인분석과 예방대책 연구", 2005.
- 22) 교통안전공단, "노년층 보행자의 보행환경 개선 방안 연구", 2006.
- 23) 김상규, "보행자 횡단특성을 고려한 보행신호시간 산정모형개발에 관한 연구", 서울시립대학교 석사학위논문, 2007.

주 1 : 우리나라를 중심으로 인구 10만 명당 보행자 사망자수를 비교하면 다음과 같음.

14세 이하의 어린이 사망자수는 한국(4.1명), 슬로베니아(1.0명), 룩셈부르크(1.2명), 영국, 스웨덴, 일본(1.3명)으로 나타났으며, 65세 이상 노약자 사망자수는 한국(43.0명), 영국(6.9명), 스웨덴(7.7명), 노르웨이(7.9명)로 OECD국가들 보다 상당히 높음.

주 2 : 도로교통안전관리공단(2005) 「교통사고 증감 원인 분석 및 대책연구」의 연구에 따르면 2005년 한해 총 6천376명이 교통사고로 사망했으며, 이 중 38.5%인 2천457명이 보행자 교통사고로 사망한 것으로 나타남.

또한, 교통안전공단(2002)의 고령자 및 장애인 교통안전대책 연구에 의하면 2000~2001년 노약자 횡단보도 사고를 분석한 결과 횡단 후반에 사고가 전체 횡단 사고의 48.4%를 차지하고 있으며, 사고지점이 횡단후반 지점이 많은 것은 다른 연령층에 비해 보행속도가 느리기 때문이라고 보고하고 있음.

주 3 : 김태호, 이수일, 원제무, 대한국토도시계획학회지, 「토지이용과 보행자 행태를 고려한 보행자 가로횡단시간 분석에 관한 연구, 2002」

김상규, 서울시립대학교 석사학위논문 「보행자 횡단특성을 고려한 보행신호시간 산정모형개발에 관한 연구, 2007」

도로교통안전관리공단, 「횡단보도 보행신호시간 산정 및 운영방법에 관한 연구, 2004」

주 4 : 「횡단보도 보행신호시간 산정 및 운영방법에 관한 연구, 도로교통안전관리공단, 2004」에서 표본수산정시 제공한 모집단의 표준편차를 인용함.

주 5 : 김태호, 이수일, 원제무, "토지이용과 보행자 행태를 고려한 보행자 가로횡단시간 분석에 관한 연구", 대한국토도시계획학회지, 2002.

주 6 : 보행자 밀도 (양방향 보행자 구분적용)

$$= \text{보행자수} / (\text{횡단보도 길이} \times \text{폭})$$

$$= \text{인} / (m \times m) = \text{인} / m^2$$

주 7 : 참고문헌 17의 가상실험의 장소 및 방법이 본 연구와 동일하여 결과비교가 가능함.