

■ 論 文 ■

## 교통약자를 고려한 보행 신호시간 산정모형 개발에 관한 연구

Development of Pedestrian Signal Timing Models Considering the Characteristics of Weak Pedestrians

**황 덕 수**

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

**오 영 태**

(아주대학교 건설교통공학과 교수)

**이 상 수**

(아주대학교 건설교통공학과 교수)

**김 태 호**

(대진대학교 도시공학과 강사)

### 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경 및 목적
    - 2. 연구의 범위 및 방법
  - II. 선행연구 고찰
    - 1. 보행신호시간 관련 연구
    - 2. 교통약자 관련 연구
  - III. 실험조사 및 분석
    - 1. 가상횡단보도 현장조사 지점 선정
  - IV. 보행신호시간 산정모형 개발 및 평가
    - 1. 모형의 구상 및 방법론 설정
    - 2. 가상횡단보도 현장조사 결과
    - 3. 보행신호시간 산정모형 종합
    - 4. 보행신호시간 산정모형의 민감도 분석
  - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 보행자, 보행속도, 보행밀도, 교통약자, 여유시간  
 Pedestrian, walking speed, pedestrian density, the weak pedestrian, density-delay time

### 요 약

본 연구는 교통약자(어린이와 고령자)에 대한 보행속도 및 인지-반응을 포함한 보행특성에 관한 기초자료를 제공하고, 이와 같은 교통약자의 보행 특성을 반영한 보행 신호시간 모형을 개발하는 목적으로 수행되었다. 본 연구를 위하여 가상횡단보도를 이용한 현장조사를 실시하여 어린이 및 고령자의 보행특성에 관한 자료를 수집하였다. 자료를 분석한 결과 어린이가 고령자에 비해 보행속도가 높게 나타났고, 약 0.63 m/s, 0.57 m/s의 평균속도를 나타내었다. 그러나 인지-반응시간과 여유시간은 고령자가 어린이에 비하여 높게 조사되었다. 이와 같은 특성을 반영한 보행신호시간 산정모형을 개발하여 제시하였다. 개발된 모형에 대한 민감도 분석 결과 실제 보행행태에 적합한 결과를 얻었고, 이를 현재 사용되고 있는 경찰청 모형과 비교한 결과 대부분의 상황에서 현재의 모형보다 증가된 보행 신호시간을 제공하는 것으로 분석되었다. 본 연구결과는 향후 교통약자의 보행환경을 개선하는데 적용할 수 있고, 장기적으로는 교통약자의 이동성 증진에 기여할 것으로 판단된다.

This study intended to provide the inherent characteristics of weak pedestrian including walking speed and perception-reaction time and to propose pedestrian signal timing models considering those characteristics. To collect the relevant data, field studies were conducted in virtual crosswalk environments. Walking speed were found to be 0.63 m/s and 0.57 m/s for children and the elderly, respectively. However, the elderly had higher perception-reaction time than children. By considering these characteristics, two pedestrian signal timing models were developed. Sensitivity analysis results showed that the models can produce reasonable ranges of pedestrian signal time. The data in this paper can be used for future references, and the mobility of weak pedestrian may be improved by applying the models suggested in this paper.

본 연구는 건설교통부 교통체계효율화사업의 연구비지원(과제번호 06-교통핵심 C01)에 의해 수행되었습니다.

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

국내에는 고령자와 어린이를 포함한 교통약자에 포함되는 인원수의 증가와 더불어 이들의 사회활동이 더욱 활발해지면서 교통사고 위험에 노출될 가능성이 점차로 증가하고 있다. 실제로 국내의 전체 교통사고 중 교통약자가 차지하는 비율은 점차 증가하고 있는 추세이다. 그리고 교통약자는 신체적, 정신적인 대처능력이 일반인과 비교하여 떨어지므로 교통사고와 같은 위험상황에 노출될 때 다른 연령층에 비하여 신체적 피해가 매우 크게 나타나고 있다.

국내의 교통약자 관련 교통사고의 추이는 경제협력개발기구(OECD)회원국 간의 교통사고를 비교해 보더라도 상당히 높은 것을 알 수 있다.<sup>1)</sup> 이러한 현상은 보행자 안전과 관련된 시설정비 및 투자를 확대하기에는 경제적 타당성이 확보되지 않았기 때문이다. 따라서 교통약자의 보행안전을 증진시키기 위한 이동권(Right of Way) 확보와 보행환경 개선에 관한 연구가 시급히 이루어져야 한다고 생각 된다.

현재 우리나라에는 교통약자에 대한 보행자신호시간 산정방법에 관한 연구가 미흡한 실정이며, 어린이보호구역(School Zone)과 향후 노인 보호구역(Silver Zone)의 도입시 기존의 보행자 신호운영방식으로는 변화된 환경에 부합하는 도로횡단신호시간을 제공할 수 없다.<sup>2)</sup> 따라서 현재의 보행자 신호시간 제공방법에 대한 새로운 접근방식과 교통약자를 위한 모형의 개발이 필요하다.

본 연구는 가상횡단보도를 이용한 현장조사를 통하여 어린이와 고령자에 대한 보행자 신호시간 모형을 개발하여 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 교통약자의 보행특성에 관한 기초자료를 현장조사를 통하여 수집하고, 이를 이용하여 모형을 수립한다. 또한, 이러한 자료는 향후 관련 연구의 기초자료로 이용될 수 있다. 본 연구결과를 적용하면 교통약자의 보행환경을 개선할 수 있고, 나아가 교통약자의 이동성 증진에 크게 기여할 것으로 판단된다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구를 위하여 다음과 같이 연구의 내용 및 범위를 설정하였다. 우선, 국내 및 국외의 보행신호시간 산정방법에 대한 선행연구 고찰하고, 이를 토대로 하여 본 연구의 착안점을 수립한다. 연구의 착안점은 크게 3가지로 분류하여 접근하였으며, 교통약자들에게 제공되고 있는 불합리한 보행속도, 보행행태측면(인지-반응시간), 그리고 횡단보도내의 보행자(교통약자) 밀도 및 상충으로 발생하는 혼잡지체시간(이후 여유시간이라고 표기)으로 구분하여 접근하였다.

그리고 본 연구에서는 기존 선행연구에서 제안하고 있는 보행자 신호시간 모형의 형태를 수용하여, 보행속도, 인지-반응시간을 재검토하였다. 그리고 보행자 수(N), 횡단보도 길이(L) 및 폭원(W)을 종합적으로 고려한 보행 밀도개념(Pedestrian Density)을 도입하여 이를 여유시간의 변수로 대변하고, 이를 교통약자 보행자에 표준화하여 적용하는 방안을 제시하였다. 이러한 과정을 위한 자료는 가상실험을 통하여 현장에서 수집되었고, 이의 분석 결과를 토대로 교통약자 보행신호시간 모형을 개발하여 제시하였다. 그리고 제시된 모형에 대하여 보행밀도를 변화시키면서 민감도 분석을 실시하였고, 현재 사용 중인 경찰청편람(2000)에서 제시한 모형과 비교하여 분석하였다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 보행신호시간 관련 연구

보행자 신호시간 산정 방법에 관한 국내·외의 연구사례를 정리하면 <표 1>, <표 2>와 같다.

국내·외의 보행신호시간 관련 연구를 고찰한 결과, 국내에서 사용되는 모형은 미국의 모형과 매우 유사한 방식으로 적용하고 있고, 교통약자의 경우에는 보행속도를 0.8~0.9m/sec로 약간 강화된 기준을 적용하는 경우를 제외하고는 교통약자에 대한 배려가 미흡한 것으로 나타났다. 특히 교통약자들의 특성을 반영한 인지-반응시간에 대한 기준이 제시되어 있지 않은 것으로 나타났다.

1) 우리나라를 중심으로 인구 10만 명당 보행자 사망자수를 OECD(2003)년 통계자료를 이용하여 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 고령자 사망자수는 한국(43.0명), 영국(6.9명), 스웨덴(7.7명), 노르웨이(7.9명)으로 OECD국가들 보다 상당히 높은 것으로 나타났다.

2) 횡단보도 신호시간을 결정하는 기준 보행속도를 어린이보호구역과 노인보호구역에 1.0m/sec에서 0.8m/sec로 연장할 계획이다. 일본의 경우는 우리의 절반 수준인 0.5m/sec로 적용되고 있음.

〈표 1〉 국내 보행신호시간 산정방법 비교표

출처	최소녹색시간 산정식	보행자 녹색시간		비고	
		녹색	점멸		
국내 문헌	경찰청 개정전(92)	L / V		V=0.9m/sec : 학교, 교령자 L=L3 or L1	
		L/V-(5~9)	5~9		
		V=1.0m/sec			
	경찰청 개정후(96)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	V=0.9m/sec : 학교, 교령자 L=L3 or L1
			4~7	V=1.0m/sec	
	경찰청 개정후(00)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	V=0.8m/sec : 어린이 보호구역 V=0.8m/sec : 보행자 많은 지역
			7	V=1.0m/sec	
	교통안전시설 실무편람 (경찰청 : 96)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	V=0.9m/sec : 학교, 교령자 L=L3 or L1
			7	V=1.0m/sec	
도로용량편람 (건교부 : 92)	$T = t + \frac{L}{V} - Y$	t	L / V - Y	L=L3 or L1 Y=yellow + all red	
		7	V=1.0m/sec		
도로용량편람 (건교부 : 04)	$T = 3.2 + \frac{L}{S_p} + 0.81 \times \frac{N}{W_E}$	$3.2 + 0.81 \times \frac{N}{W_E}$ : 4m이상	L / Sp	L=L3 or L1 유효보도폭 : 4m이상	
			V=1.2m/sec		
도로교통안전 관리공단 (한국 : 92)	$T = t + H \times (R-1) + \frac{L}{V}$	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 : 교령자 보행속도 V2 : 일반 보행속도 L = L3 or L1	
		-	-		
김태호 외 (국토학회지 : 2002)	$PT = T + \frac{L}{V}$	T (혼잡지체+인지반응)	L / V	V : 토지이용형태별, 업무/ 혼잡/대학 :1.3, 주거/상업:0.9	
		$7.65 + 16.09 \times (\frac{N}{W \times L})$	V=0.9~1.3 m/sec		

〈표 2〉 국외 보행신호시간 산정방법 비교표

출처	최소녹색시간 산정식	보행자 녹색시간		비고	
		녹색	점멸		
국외 문헌	Virkler and Guell (미국 : 84)	$T = D + \frac{L}{S_p} + X \times (\frac{N}{W})$		X : 평균보행자 Headway	
		-	-		
	MUTCD (미국 : 88)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	L=L4 or L2
			4~7	V=1.07~1.22m/sec	
	MUTCD (미국 : 00)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	L=L3 or L1
			4~7	V=1.2m/sec	
	HCM (미국 : 98)	$T = t + \frac{L}{V} - Y$	t	L / V	L=L4 or L2 Y=yellow + all red
7			V=1.2m/sec		
HCM (미국 : 00)	$T = 3.2 + \frac{L}{S_p} + CP \times \frac{N}{W_E}$	$3.2 + 0.81 \times \frac{N}{W_E}$ : 3m이상	L / Sp	L=L4 or L2 유효보도폭 : 3m기준 구분	
		$3.2 + 0.27 \times \frac{N}{W_E}$ : 3m이하	V=1.2m/sec		
ITE Guideline	$T = D + \frac{L}{S_p} + 2(\frac{N}{5} - 1)$	-	L / Sp	L=L3 or L1 D : 인지반응시간(sec) N : 보행자수(명)	
교통공학 연구회 (일본 : 92)	$T = \frac{P}{S_p \times W} + \frac{L}{V}$	T - L / V	L / V	Sp : 보행자 교통류율(0.52~0.92) P : 보행자수	
		Min : 5sec	V=1.5m/sec (Max : 1.0m/sec)		

## 2. 교통약자 관련 연구

Oxley 등(1997)은 교통사고 조사결과를 이용하여 노년층 보행자의 도로횡단 사고를 분석하였다. 노년층은 판단이 느리고 반응속도가 느리기 때문에 도로 횡단 시 차량이 횡단보도를 통과한 후 연석을 내려오는데 걸리는 시간이 장년층에 비해 길었으며, 그들은 보행속도가 느리기 때문에 안전하게 횡단하는데 문제가 있다고 하였다. 노년층 보행자는 횡단 전반기에는 별다른 문제가 없으나 횡단 후반부에는 횡단시간이 부족하여 위험한 상황에 놓이게 되는데, 일방로와 같이 도로 상황이 복잡하지 않은 곳에서 횡단할 경우는 안전하게 판단할 수 있으나 왕복 2차선과 같은 복잡한 도로상황에서는 판단능력이 장년층에 비해 떨어지는 것으로 나타났다.

Jordan(1998)의 연구에서는 학교주변에서 발생한 어린이 보행자 교통사고를 분석한 결과 사고는 등하교시 주로 발생하며, 학교 인근보다는 학교와 떨어진 통학로에서 많이 발생하는 것으로 나타났다. 그래서 학교 주변 횡단보도가 설치된 간선도로에 제한속도나 스쿨존(School Zone)의 재조정이 필요하다고 강조하였다.

교통안전공단(2002)의 연구에서는 고령자와 장애인 통행자의 교통사고 및 통행특성을 조사 분석하여 교통안전대책을 도출하고자 하였으며, 고령자와 장애인이 횡단보도에서 보행과 이동을 용이하게 할 수 있는 방안을 제시하였다.

성낙문(2004)은 보행자 교통사고 예방을 위하여 보행자 사고원인을 분석하여 사고 잦은 곳 개선, 어린이 보호구역의 개선, 지방부 도로 중 취약지역 인접도로에 보도 설치 및 이외 지방부 도로에 대하여는 최소한의 노면 1m 확보, 교통정온화(Traffic Calming) 등을 포함한 구체적인 전략을 제시하였다. 특히, 어린이 보호구역 관리강화와 지방도로에서 발생하는 교통사고를 예방하기 위하여 운전자의 시야를 확보할 수 있도록 장애 요인을 제거할 것을 지적하였으며, 교통 정온화 추진시 필요한 세부사항을 정립하고, 실버존(Silver Zone)의 도입을 제안하였다.

Garder(2004)는 차량의 속도가 높을수록, 그리고 도로가 넓을수록 사고가 많이 발생한다고 보고하였으며, 차량의 속도와 사고의 심각성은 매우 밀접한 관계를 갖는다고 제시하였다. 특히 보행자 사고 감소 및 안전성을 보장하기 위해서는 간선도로와 집산도로에서의 안전성을 향상시켜야 한다고 하였다.

경찰청(2005)은 TAMS 자료를 이용하여 2004년도 고령의 보행자와 운전자의 시간대별, 유형별 교통사고 분석을 실시하였으며, 설문을 통하여 고령보행자의 통행실태와 교통사고 위험인자에 관한 주관적인 평가조사를 실시하였다. 또한, 고령 보행자 교통사고 다발지역에 대한 현장조사를 통하여 사고를 심층 분석하고, 고령의 보행자를 위하여 보행자 보호구역(Green Zone)을 지정하는 정책적 대안을 제시하였다.

Oxley 등(2005)은 노년층 보행자가 도로를 안전하게 횡단할 수 있는 판단능력을 실험하기 위하여, 세 연령 집단(30~45세, 60~69세, 75세 이상)을 대상으로 차량이 도로로 진입하는 여러 상황을 스크린으로 제공하여 보행자(피실험자)가 도로를 안전하게 횡단할 수 있는 시점을 부저를 이용하여 선택하도록 하였다. 그 결과 75세 이상의 연령층에서는 도로를 안전하게 횡단하기에 충분한 시간이 주어졌음에도 다가오는 차량의 거리나 속도를 잘못 판단하여 횡단을 시작하는 시점을 잘못 판단하여 횡단시간이 부족했던 것으로 나타났다.

교통안전공단(2006)은 보행자 교통사고 현장조사를 통하여 사고유형별 원인과 대책을 제시하였으며, 사고 감소를 위한 보행환경 개선 대책을 제시하였다. 특히, 교통신호등 개선 및 교차로 차량신호등 설치를 위한 신호현시 표시방법 및 신호시간 개선방안을 제안하였다.

Leden 등(2006)은 도로 폭을 부분적으로 좁히거나, 연석을 연장시키는 방법 등에 의해 차량의 감속효과를 시험한 결과, 차량의 90%가 30km/h 이하 속도를 유지한 것으로 나타났다. 그러나 횡단보도에서의 안전은 차량의 감속만으로 보장되는 것은 아니므로 횡단보도의 시인성을 높이기 위하여 사다리 꼴등으로 표시를 함으로서 운전자의 양보를 유도할 수 있도록 해야 한다고 제시하였다.

박용진(2001) 등은 일반보행자와 노약자에 대한 보행신호시간을 구별하여 적용한 새로운 보행자 신호시간 설정 방법을 제시하였고, 이를 적용하여 교차로의 운영 효율이 높아질 수 있음을 보였다. 임정실(2002) 등은 역주변의 실측자료를 수집하여 보행자 관련 도로의 용량을 추정하여 제시하였다. 논문에서는 각 나라별로 상이한 문화적인 차이로 보행특성이 다르게 나타나고, 이는 용량값의 변동에 직접적인 영향을 미치는 것으로 분석하였다. 김종혁(2002) 등은 시뮬레이션 기법을 이용하여 보행자와 차량간의 충돌시 보행자의 충돌 형태를 다양한 속도하에서 평가하였고, 이를 보행자 관련 모델링에 적

용할 수 있도록 제시하였다.

이철기(2003) 등은 보행자신호 전 일정 시차를 가지고 보행자 신호를 운영하여, 회전교통류의 꼬리물림 현상을 제거를 소거하여 직진 교통류의 흐름을 극대화하는 방안을 제시하였다. 하태준(2003) 등은 우리나라에 설치된 횡단보도에 대하여 안전측면에서 사고율을 최소화할 수 있는 횡단보도 형태를 결정하는 모형을 회귀식으로 개발하여 제시하였다. 김상구(2003)는 중앙분리대 대기공간이 있는 횡단보도에서 보행자의 용량을 추정할 수 있는 모형을 개발하여 보행자 신호등 설치기준등에 활용하도록 제시하였다.

장명순(2006) 등은 보행 잔여시간을 표시하는 표시장치에 대하여 설치 유/무에 따른 보행속도의 차이를 통계적으로 검증하여 새로운 보행자 속도 값을 제안하였다. 안계형(2006) 등은 국내 보행신호시간에 대한 보행자 조사를 통하여 보행자 특성 및 주변지역 특성을 고려한 보행신호시간 산정식을 개발하여 제시하였다.

이와 같은 교통약자에 관한 국내외 선행연구들은 정책적인 접근위주의 개선안을 도출하였으며, 교통약자에 대한 보행자신호시간 산정에 직접적으로 관련된 연구는 미흡한 것으로 파악되었다.

### III 실험조사 및 분석

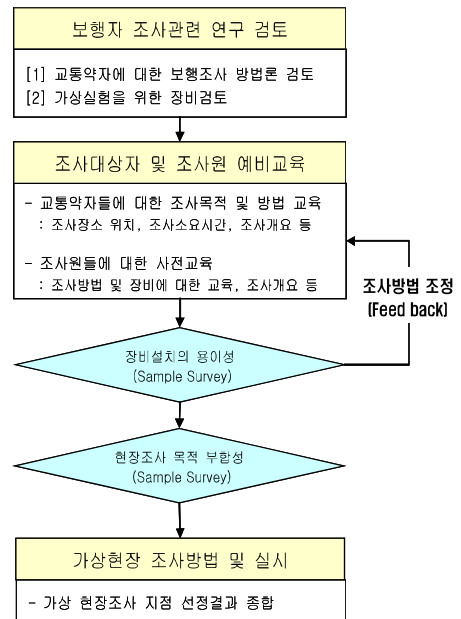
#### 1. 가상횡단보도 현장조사 지점 선정

##### 1) 현장조사지점 선정절차

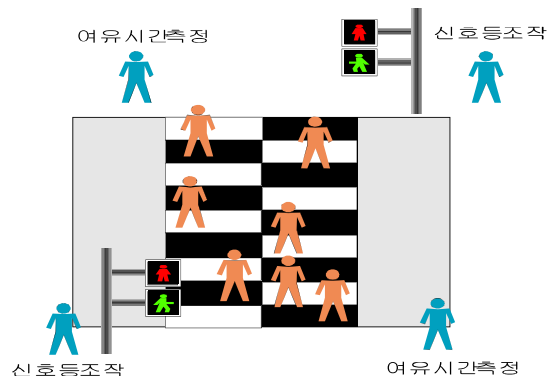
본 연구는 실제 현장조사에서 수집할 수 없는 교통약자(실버존의 고령자)에 대한 자료가 포함되어 있고, 이를 대상으로 한 보행신호시간 모형개발을 계획하고 있다. 따라서 통제된 환경하에서 가상횡단보도를 설치하여 자료를 수집하였고 이를 위하여 <그림 1>과 같은 절차를 거쳐 현장조사지점을 선정하고, 표본수 등을 결정하였다.

##### 2) 현장조사 방법 및 개요

가상횡단보도를 이용한 현장조사는 한양대학교 서울캠퍼스 운동장에 가상의 횡단보도 15m, 20m, 30m, 40m, 50m를 설치한 후, 단순화시킨 신호등과 Stop-Watch를 이용하여 동시에 5개의 가상횡단보도에서 10명의 조사원들의 진행에 따라 보행시간에 관련된 영향요소들을 조사



<그림 1> 실험 조사절차



<그림 2> 실험 예시도

하였다. 조사의 신뢰성과 원활함을 위해 조사원들에 대해 사전교육을 실시하였다. <그림 2>는 현장조사를 통하여 자료를 수집하는 과정을 예시한 그림이다.

보행속도 및 인지-반응시간은 실제횡단보도에서 측정하는 것과 동일한 방법으로 수집하였으며, 여유시간은 가상 횡단보도(15m, 20m, 30m, 40m, 50m)에서 10명에서 50명까지 한꺼번에 통과할 때 소요되는 보행시간을 조사하여 이를 혼잡이 없는 보행자상황의 보행시간과 비교하여 측정하였다.

그리고 조사에 사용된 기구는 교통안전공단의 신호등 모형과 횡단보도 모형을 이용하였고, 조사대상자들에게

〈표 3〉 횡단보도 보행실험 관련 조사지점 및 표본수

조사일자	2007. 1. 22	
조사장소	한양대학교 서울캠퍼스 제1운동장	
표본수 (Sample Size)	남자	112명 (어린이56+고령자 56)
	여자	30명 (어린이15+고령자 15)
	합계	142명 (어린이71+고령자 71)
가상횡단보도 길이	15m, 20m, 30m, 40m, 50m	
가상횡단보도 폭	4m, 6m, 8m, 10m, 12m	

실제로 횡단보도를 횡단하는 환경을 최대한 제공하여 측정하였다. 〈표 3〉은 실험과 관련된 정보를 요약한 결과이다. 실험에 참가한 어린이와 고령자는 동일한 구성비와 동일인수로 구성되어 실험을 진행하였고, 횡단보도 길이와 폭도 다양하게 변화를 주었다.

2. 표본수 산정 및 분포검증 결과

1) 표본수 산정결과

교통약자 보행신호시간 산정모형의 신뢰도를 높이기 위한 최소 표본수를 산정하기 위하여 추정오차(d) 0.05, 신뢰구간(95%)를 적용하여 계산한 결과, 약 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 수집된 표본수는 64개 보다 많은 71개 자료를 이용하여 신뢰성을 확보하였다.

2) 자료에 대한 분포검증

본 연구는 회귀분석 기법을 이용하여 여유시간에 대한 모형을 개발하고자 한다. 회귀분석 모형을 시행하기 위해서는 모집단의 분포가 정규분포를 따른다는 가정을 만족하여야 한다. 따라서 평가지표를 정립하기 이전에 정규분포가정을 만족하는지를 조사된 보행신호시간 자료를 이용하여 검증하였다.

정규분포에 대한 검증은 비모수기법인 K-S검증기법

을 이용하여 실시하였고, 이를 위한 가설설정은 아래와 같다.

$H_0$  : 조사자료는 정규분포를 따른다.

$H_1$  : 조사자료는 정규분포를 따르지 않는다.

본 연구에서 조사된 보행속도, 인지반응시간, 여유시간 각각에 대하여 분포검증을 실시하였으며, 결과는 〈표 4〉와 같다. 분석결과 수집된 자료들은 정규분포를 따르는 것으로 나타나 회귀분석을 적용하는 것이 적절하다고 판단된다.

〈표 4〉 Kolmogorov-Smirnov 검증 결과

구분	보행속도	인지반응시간	여유시간
N	71	71	71
Kolmogorov-Smirnov Z	1.303	1.368	.659
Asymp. Sig. (2-tailed)	.067	0.47	.777

IV. 보행신호시간 산정모형 개발 및 평가

1. 모형의 구상 및 방법론 설정

교통약자의 보행신호시간 산정모형은 기본적으로 현재 사용되고 있는 인지-반응시간과 횡단시간 개념을 수용하고, 이에 여유시간의 개념을 적용하여 개발하였다. 그리고 분석방법은 회귀분석 기법을 적용하여 자료의 동질성과 선형성을 분석하고, 최종적인 모형을 정립하였다.

〈표 5〉는 교통약자 보행신호시간 산정모형의 구성요소를 정리한 결과이다.

〈표 5〉 교통약자의 보행신호시간 모형의 구성요소

모형 구분	모형구상 및 접근형태
보행자 점멸시간 (어린이, 고령자)	$\frac{L}{V} = \frac{\text{횡단보도 길이}}{\text{교통약자 보행속도}}$ : 보행속도는 어린이, 고령자의 보행속도 적용
보행자 녹색시간 (어린이, 고령자)	$t_1 = \text{교통약자 인지-반응시간}$
	여유시간( $t_2$ ) = $f(\text{보행자 밀도}) + \text{상수}$ 여기서, 여유시간 : 종속변수 보행자밀도 : 독립변수 <sup>3)</sup>
$PT_{\text{교통약자}} = \frac{L}{V} + t_1 + t_2$	

3) 보행자 밀도 = 보행자수 / (횡단보도 길이 × 횡단보도 폭) = 인 / (m×m) = 인/m<sup>2</sup>, 보행자수는 양방향 보행자를 구분하여 적용함.

## 2. 가상횡단보도 현장조사 결과

### 1) 보행속도 조사결과

〈표 3〉의 다양한 교통조건하에서 조사된 어린이, 고령자의 보행속도 결과는 〈표 6〉에 제시되어 있다. 전체적으로 어린이가 고령자에 비해 보행속도가 다소 높은 것으로 파악되었고, 평균값은 어린이와 고령자가 각각 0.63, 0.57 m/s로 조사되었다.

〈표 6〉 보행속도 실험 결과표 (단위 : m/sec)

구분	어린이	고령자
평균값	0.63	0.57
15%	0.57	0.53
최소값	0.51	0.48
최대값	0.88	0.79

### 2) 인지-반응시간 조사결과

〈표 3〉의 다양한 교통조건하에서 조사된 어린이, 고령자의 인지-반응시간에 대한 결과는 〈표 7〉에 제시되어 있다. 전체적으로 고령자가 어린이에 비하여 인지-반응시간이 다소 높은 것으로 파악되었다. 평균값은 어린이가 2.63초, 고령자가 2.82초로 나타나 고령자가 어린이에 비하여 인지-반응시간이 다소 늦게 나타났다.

〈표 7〉 인지-반응시간 실험결과표 (단위 : sec)

구분	어린이	고령자
평균값	2.63	2.82
85%	3.88	4.15
최소값	0.95	1.02
최대값	5.91	6.32

### 3) 여유시간 조사결과 및 추정 모형개발

가상횡단보도에서 수집된 자료를 분석하여 조사된 어린이, 고령자의 여유시간에 대한 기초적 분석결과는 〈표 8〉에 제시되어 있다. 자료에 따르면 여유시간의 평균값은 어린이가 6.92초, 고령자가 7.52초로 나타났고, 다른 통계치 값도 전체적으로 고령자가 어린이에 비하여 큰 것으로 파악되었다. 그러므로 고령자가 어린이에 비하여 여유시간에 대한 요구가 높은 경향을 자료로부터 확인할 수 있다.

〈표 8〉 여유시간 실험결과표 (단위 : sec)

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

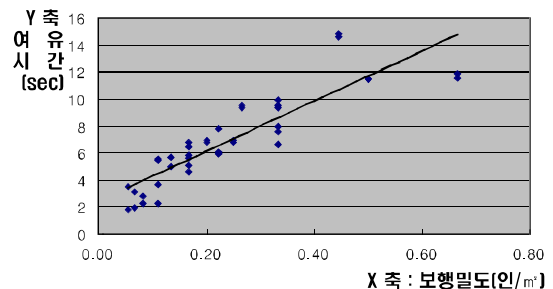
본 연구에서 제시한 여유시간은 횡단보도내의 밀도에 큰 영향을 받는다. 따라서 가상횡단보도에서 수집된 여유시간과 횡단보도 밀도 자료를 이용하여 여유시간을 추정할 수 있는 회귀분석 모형을 도출하였다.

어린이를 대상으로 수집된 여유시간과 보행밀도의 산점도 결과는 〈그림 3〉과 같다. 여유시간과 밀도는 양의 상관관계를 나타내었고, 여유시간과 보행밀도 변수간에 매우 의미있는 선형 관계가 존재함을 알 수 있다. 이를 이용하여 구축된 모형은 〈표 9〉에 제시되어 있다.

〈표 9〉에 제시된 회귀식은 높은 결정계수( $r^2=0.75$ ) 값으로 나타나, 밀도를 독립변수로 하여 신뢰성 있는 어린이 여유시간값 추정이 가능함을 나타내고 있다.

고령자로부터 수집된 여유시간과 보행밀도의 산점도 결과는 〈그림 4〉와 같다. 고령자의 경우에도 여유시간과 밀도는 양의 상관관계를 나타내었고, 여유시간과 보행밀도 변수 사이에 의미있는 선형 관계가 존재하는 것으로 파악되었다. 따라서 고령자 자료를 이용하여 동일한 방법으로 선형회귀 분석을 실시하였고, 결과값은 〈표 10〉에 제시되어 있다.

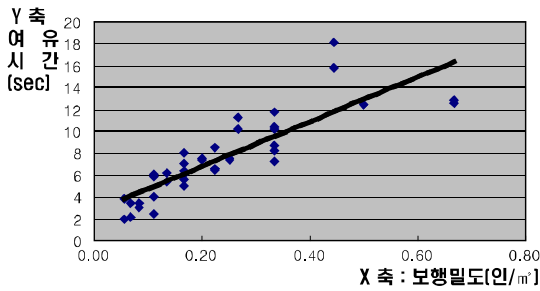
결과에서 나타난 바와 같이 고령자의 경우도 회귀식 모형은 높은 결정계수( $r^2=0.77$ ) 값을 나타내었고 추정



〈그림 3〉 어린이 여유시간의 산점도(Scatter Diagram) 결과

〈표 9〉 어린이 여유시간 추정모형 결과

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



〈그림 4〉 고령자 여유시간의 산점도(Scatter Diagram) 결과

〈표 10〉 고령자 여유시간 추정모형 결과

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

된 상수값도 모두 통계적으로 의미가 있는 것으로 파악되었다. 그리고 동일한 보행밀도에 대하여 고령자모형이 어린이모형보다 약 8.7% 높은 여유시간을 제공하는 것으로 나타나 고령자의 특성이 잘 반영된 것으로 판단된다.

### 3. 보행신호시간 산정모형 종합

본 연구에서 수집된 현장자료를 이용하여 개발된 어린이, 고령자를 고려한 보행시간 산정모형은 〈표 11〉과 같다.

제시된 두 모형들은 어린이와 고령자의 보행속도와 인지-반응 시간을 포함한 보행특성을 반영하였고, 혼잡으로 인한 지체시간을 추가로 반영하므로 보행자의 안전성을 크게 향상시킬 수 있다고 판단된다. 특히 국내에서 빠른 속도로 진행되고 있는 고령화 시대를 맞이하여, 향후 실버존등의 고령자를 고려한 정책 및 제도의 도입시 위와 같이 고령자의 안전을 고려한 모형을 적용하는 것이 바람직하다.

〈표 11〉 교통약자의 보행자신호시간 모형

구분	보행속도 (V), m/sec	인지-반응시간 ( $t_1$ ), sec	여유시간 모형 ( $t_2$ ), sec
어린이 (School Zone)	0.63	2.63	$t_2 = 2.449 + 18.500 X_1$
고령자 (Silver Zone)	0.57	2.82	$t_2 = 2.662 + 20.107 X_1$
보행시간 모형	$PT_{교통약자} = \frac{L}{V} + t_1 + t_2$		

### 4. 보행신호시간 산정모형의 민감도 분석

본 연구에서 제안된 교통약자를 위한 보행신호시간 산정모형은 보행자의 상태, 즉 보행밀도에 영향을 받게 된다. 따라서 개발된 모형들에 대하여 보행밀도에 따라 보행신호시간에 미치는 영향을 파악하는 민감도 분석을 수행하였고, 또한 현재 국내에서 사용되는 모형과도 비교하였다.

〈표 12〉는 어린이에 대한 보행신호시간 모형값을 보행자 밀도를 변화시키면서 분석하였고, 이를 녹색신호시간과 점멸신호시간으로 구분하여 제시한 결과이다.

〈표 12〉에서 제시되어 있듯이 점멸신호시간은 횡단보도 길이와 조사된 어린이 보행속도에 의해 결정되는 것이므로 보행자수에 관계없이 동일하게 나타난다. 그러나 본 연구에서 제안된 모형의 녹색신호시간은 횡단보도의 공간과 보행자수(밀도)에 영향을 받으므로 보행자수가 증가할수록 여유시간이 증가되어 제공되는 보행신호시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 소로의 보행자수가 10명인 경우는 약 24초의 보행시간 값을 제시하고, 보행자수가 30명인 경우는 약 28초의 보행시간을 나타내어, 보행자수의 증가에 따라 16.7% 증가된 보행시간 값을 제공한다. 이와 같은 결과는 실제 횡단보도에서 보이는 보행자의 보행행태를 고려할 때 매우 타당성 있는 결과라고 판단된다.

그리고 본 연구에서 제시한 어린이 보행신호시간 산정모형과 현재 경찰청(2000)에서 적용하고 있는 모형을 비교하였다. 예를 들어 길이 8m의 횡단보도의 경우 보행속도를 0.9 m/s로 적용하면 보행신호시간이 14초이나 본 모형은 23.3초 이상의 결과로 나타난다. 이와 같이, 보행자 공간이 비교적 넓고 보행자수가 20명이하인 경우를 제외하고는 전반적으로 어린이에게 제공되는 보

〈표 12〉 어린이 보행신호시간 모형의 민감도 분석결과

구분	폭×길이 (W×L)	보행자수(N) 신호시간	보행자수(N)				
			10명	20명	30명	40명	50명
어린이	10m ×8m (소로)	보행신호시간	23.3	25.6	27.9	30.2	32.5
		녹색신호시간	7.4	9.7	12.0	14.3	16.6
		점멸신호시간	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
	20m ×8m (중로)	보행신호시간	37.9	39.1	40.3	41.4	42.6
		녹색신호시간	6.2	7.4	8.6	9.7	10.9
		점멸신호시간	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7
30m ×8m (대로)	보행신호시간	53.5	54.2	55.0	55.8	56.5	
	녹색신호시간	5.9	6.6	7.4	8.2	8.9	
	점멸신호시간	47.6	47.6	47.6	47.6	47.6	



〈표 13〉 고령자 보행신호시간 모형의 민감도 분석결과

구분	폭×길이 (W×L)	보행자수(N) 신호시간	10명	20명	30명	40명	50명
			고령자	10m ×8m (소로)	보행신호시간	25.3	27.8
녹색신호시간	7.8	10.3			12.8	15.4	17.9
점멸신호시간	17.5	17.5			17.5	17.5	17.5
20m ×8m (중로)	보행신호시간	41.7		42.9	44.2	45.4	46.7
	녹색신호시간	6.6		7.8	9.1	10.3	11.6
	점멸신호시간	35.1		35.1	35.1	35.1	35.1
30m ×8m (대로)	보행신호시간	58.7		59.6	60.4	61.2	62.1
	녹색신호시간	6.1		7.0	7.8	8.6	9.5
	점멸신호시간	52.6		52.6	52.6	52.6	52.6

행신호 시간이 부족한 것으로 파악되었다.

고령자에 대하여 동일한 방법으로 보행자 밀도를 변화시키면서 분석을 실시하였고, 이를 녹색신호시간과 점멸신호시간으로 구분하여 분석한 결과는 〈표 13〉에 제시되어 있다.

전체적인 분석내용은 〈표 12〉와 유사하게 점멸신호시간은 도로의 폭별로 보행밀도의 변화에 따라 동일한 값으로 나타났고, 녹색신호시간은 보행밀도의 증가에 비례하여 증가하는 것으로 파악되었다. 동일한 예로, 소로의 보행자수가 10명인 경우는 약 26초의 보행시간 값이, 그리고 보행자수가 30명인 경우는 약 31초의 보행시간을 나타내어, 보행자수의 증가에 따라 19.2% 증가된 보행시간 값을 제공하는 것을 알 수 있다. 따라서 고령자 모형이 어린이 보행시간 모형과 비교하여 여유시간의 증가폭이 약간 크게 나타났고 전체적으로 모형이 제공하는 보행신호시간도 약간 증가하는 결과를 확인 할 수 있다. 본 연구에서 제시된 고령자 보행신호시간 산정모형과 경찰청(2000)에서 적용하고 있는 모형을 비교한 결과, 보행자 공간이 비교적 넓으며 보행자수가 10명이하인 경우를 제외하고는 전반적으로 고령자에게 제공되는 신호시간이 부족한 것으로 나타났으며, 어린이 모형과 비교하면 부족한 보행시간이 더욱 큰 것으로 파악되었다.

## V. 결론

본 연구에서는 어린이와 고령자에 대한 보행속도 및 인지-반응을 포함한 보행특성에 관한 기초자료 제공하고, 어린이와 고령자를 위한 보행자 신호시간 모형을 개발하기 위하여 가상횡단보도를 이용한 현장조사를 실시하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 보행속도 결과에 따르면 전체적으로 어린이가

고령자에 비해 보행속도가 다소 높은 것으로 파악되었다. 그리고 어린이와 고령자는 각각 0.63 m/s, 0.57m/s의 평균속도로 나타나 현재 적용되는 경찰청판람의 0.8m/s 보다 낮은 것으로 조사되어 향후 어린이와 고령자를 고려한 운영 계획시 보행속도에 대한 재검토가 필요하다고 판단된다.

둘째, 인지-반응시간에 대한 조사 결과 고령자가 어린이에 비하여 인지-반응시간이 다소 높은 것으로 파악되었다. 평균값은 어린이와 고령자가 각각 2.63초, 2.82초로 나타나 어린이의 보행상황의 변화에 대한 인지-반응시간이 고령자보다 빠른 것으로 파악되었다.

셋째, 어린이 및 고령자의 여유시간에 대한 조사결과 고령자가 어린이에 비하여 크게 나타나, 향후 고령보행자에 대한 고려가 더욱 필요한 특징을 파악하였다. 본 연구에서는 이와 같은 특성을 반영하여, 동일한 보행밀도에서 고령자모형이 어린이모형보다 약 8.7% 높은 여유시간을 제공하도록 모형을 제시하였다.

넷째, 조사된 어린이와 고령자의 보행속도, 인지-반응시간, 그리고 여유시간을 반영한 교통약자를 위한 보행자신호시간 모형을 제시하였다. 제시된 모형에 대한 민감도 분석결과 보행밀도가 증가함에 따라 여유시간이 변화하여 녹색신호시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 실제 현장에서 보여지는 보행자의 보행행태를 고려할 때 타당성 있는 결과라고 판단된다.

본 연구에서 제시된 보행자신호시간 산정모형은 국내에서 적용되는 경찰청 모형과 비교하여 대부분의 경우 보행자 신호시간이 증가되는 결과를 제공하였고, 이는 어린이와 고령자가 횡단보도를 이용할 때 보다 안전한 보행환경을 제공할 수 있다고 판단된다. 그러나 교차로 부근의 보행자 신호시간의 증가는 교차로 신호운영계획에 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 향후 이를 함께 고려하여 운영계획을 수립하는 것이 필요하다.

본 연구는 실버존에서의 자료수집이 불가능하여 가상 횡단보도의 실험조사 결과를 통하여 작성되었으나, 향후 이와 같은 현장조사가 가능할 때 관련 자료를 수집하고 이를 반영하여 보다 실제적인 운영이 가능한 모형을 개발하는 노력이 필요하다.

그리고 향후 교통약자와 일반 보행자가 혼재된 상황을 반영할 수 있는 모형의 개발과 신호기형태(일반신호, 잔여신호기 등)와 횡단보도형태(일반, 대각, 이단 등)의 특성을 세분화하여 반영할 수 있는 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

## 참고문헌

1. 건설교통부 (2004), “도로교통용량편람”.
2. 경찰청 (1996), “교통안전시설 실무편람”.
3. 경찰청 (2000), “교통안전시설 실무편람 개정판”.
4. 경찰청 (2005), “고령자 교통사고 원인분석과 예방대책 연구”.
5. 교통안전공단 (2004), “고령자 및 장애인 교통안전대책 연구”.
6. 교통안전공단 (2006), “노년층 보행자의 보행환경 개선방안 연구”.
7. 김상구 (2003), “중앙분리대 대기공간이 있는 비신호 횡단보도에서의 보행자 횡단용량 모형식 개발”, 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.103~111.
8. 김종혁·박경진·장명순·유장석·손봉수·홍을표 (2002), “컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 보행자 충돌 선회특성에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp.81~92.
9. 김태호·원제무·이수일 (2002), “보행자 가로횡단 특성과 횡단시간 분석에 관한 연구”, 대한국토도시계획학회지, 제37권 제7호, pp.169~180.
10. 도로교통안전협회 (1992), “보행속도조사연구보고서”.
11. 박용진·손한철·박종규·김종태 (2001), “보행자 신호체계에 대한 새로운 제안”, 대한교통학회지, 제19권 제3호, 대한교통학회, pp.7~18.
12. 성낙문 (2004), “보행자 교통사고 예방전략 개발”, 교통연구원.
13. 안계형·김은정·이용일·정준하·김영찬 (2006), “횡단보도 보행신호시간 산정에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제24호 제5호, 대한교통학회, pp.57~66.
14. 이철기·이석·심대영·김관조 (2003), “신호교차로에서 보행자 신호 전시간 운영기준 설정을 위한 연구”, 한국ITS학회지, 제2권 제1호, pp.41~52.
15. 임정실·오영태 (2002), “보행자 도로의 용량산정”, 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.91~99.
16. 장명순·임삼진·김경희 (2006), “보행신호 잔여시간 표시장치에 따른 보행속도 분석”, 대한교통학회지, 제24권 제4호, 대한교통학회, pp.43~53.
17. 하태준·박제진·이형무 (2003), “신호교차로 횡단보도 설치기준에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.47~56.
18. Caremn Hass-Klau (1990), “The pedestrian and city traffic”.
19. FHWA (1999), “Research, development, and implementation of pedestrian safety facilities in the United Kingdom”.
20. FHWA(2000), “Manual on uniform traffic control device”.
21. Garder P.E. (2004) “The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine” Accident Analysis and Prevention, Vol.36, No. 4, pp.533~542.
22. Jordan G. (1998) “Child pedestrian car crash near schools are a small percentage of total child pedestrian crash in Philadelphia” TRR 1636, TRB, pp.132~137.
23. Leden L., Farder P, and Johansson, C. (2006), “Safe pedestrian crossings for children and elderly”, Accident Analysis and Prevention, Vol.38, No. 2, pp.289~294.
24. Oxley J., Elfriede I., Fildes B. Charlton J., and Day R. (2005) “Crossing roads safely: an experimental study of age differences in gap selection by pedestrians” Accident Analysis and Prevention, Vol.37, No. 5, pp.962~971.
25. Oxley J., Field S., Elfriede I., Charlton J., and Day R. (1997) “Differences in traffic judgements between young and old adult pedestrians” Accident Analysis and Prevention, Vol.29, No. 6, pp.839~847.
26. TRB(2000), “Highway Capacity Manual 3rd edition”
27. Virkler M. R. and Guell D. L. (1984), “Pedestrian crossing time requirements at intersections”, TRR 959, TRB, pp.47~51.

✉ 주 작 성 자 : 황덕수

✉ 교 신 저 자 : 이상수

✉ 논문투고일 : 2007. 8. 31

✉ 논문심사일 : 2007. 10. 10 (1차)

2007. 12. 21 (2차)

2008. 2. 3 (3차)

✉ 심사관정일 : 2008. 2. 3

✉ 반론접수기한 : 2008. 6. 30