

# 토지이용 및 보행자 특성을 고려한 보행신호시간 산정모형 개발에 관한 연구

## Development of the Pedestrian Signal Timing Models

Considering the Characteristics of Land-use and Crosswalk

황 덕 수

(호원대학교 자동차기계학부 겸임교수)

이 상 수

(아주대학교 교통공학과 교수)

오 영 태

(아주대학교 교통공학과 교수)

### 목 차

#### I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법

#### II. 선행연구 고찰

1. 국내 보행신호시간 관련 연구 고찰
2. 국외 보행신호시간 관련 연구 고찰

#### III. 현장조사 및 분석

1. 현장조사 지점 선정 및 근거
2. 표본수 산정 및 분포검증 결과

#### IV. 보행신호시간 산정모형 개발

1. 현장조사 결과 및 분석
2. 보행영향인자 특성분류 및 검증
3. 여유시간 모형개발
4. 보행신호시간 산정모형 종합

#### V. 결 론

참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 자동차 이용과 교통사고의 급격한 증가는 기존에 추구해 왔던 이동성 향상에 대한 관점에서 교통안전을 우선시 하는 관점으로 전환되어 가고 있다. 이러한 관점의 전환에도 불구하고, 우리나라 보행자 교통사고는 감소하지 않고 오히려 증가추세에 있는 것이 현실이다. 교통사고의 증가추세는 경제협력개발기구(OECD) 회원국 간의 교통사고를 비교해 보더라도 상당히 높다는 것을 알 수 있다.<sup>1)2)</sup> 따라서 보행자

안전을 증진시키고 이동권(Right of Way) 확보와 보행환경(Pedestrian Environmental) 개선에 관한 다양한 연구가 필요하다.

보행안전 개선을 위하여 필요한 연구 중 하나는 보행자와 차량간의 상충(Conflict)이 가장 많이 발생하는 횡단보도신호시간 산정에 관한 연구 분야이다. 우리나라 보행신호시간 산정모형은 보행신호등의 주기가 실제 보행신호시간 주기보다 짧은 것을 비롯해 많은 문제점<sup>3)</sup>을 나타나고 있으며, 보완해야 할 많은 문제점들이 나타나고 있는 실정이다.

본 연구에서는 보행자의 이동에 따른 안전성

1) 우리나라를 중심으로 인구 10만 명당 보행자 사망자수를 비교하면 한국(15.2명), 스웨덴(0.7명), 독일(1.1명), 캐나다(1.2명), 미국(1.7명), 일본(2.2명)으로 우리나라가 선진국들에 비해 상당히 높은 것으로 나타남.  
2) 도로교통안전관리공단(2006) 「교통사고 증감원인 분석 및 대책연구」

의 연구에 따르면 2005년 한해 총 6천376명이 교통사고로 사망했으며, 이 중 38.5%인 2천457명이 보행자 교통사고로 사망한 것으로 나타남.

3) 서울 시내에 설치된 신호등 5천백여개 가운데 25%에 해당하는 천 2백개 정도가 보행신호 주기가 실제 보행시간에 비해 짧고 것으로 나타났으며, 평균 왕복 4차로의 경우 4.03sec, 왕복 7차로 5.41sec, 왕복 10차로 6.06sec로 부족한 것으로 나타남.

확보와 보행환경 개선을 위해 보행신호시간 산정에 영향을 주는 토지이용, 가로횡단특성, 보행행태에 대한 영향요인을 특성별로 구분하고, 이와 같은 특성을 반영한 보행신호시간 모형을 개발하여 제안하고자 한다. 본 연구에서 조사된 자료는 보행자 관련 연구의 기초자료로 활용할 수 있으며, 더 나아가 보행자의 이동권 확보 및 안전성 증진에 기여할 것이다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 현재 우리나라에서 적용되고 있는 보행신호시간 산정방법의 문제점에 착안하여 다음과 같은 연구의 내용을 설정하였다.

- 국내외의 보행신호시간 산정방법에 고찰을 통하여 보행신호시간 산정방법의 한계점을 토대로 연구의 착안점을 제시하였다. 연구의 착안점은 크게 4가지로 분류하여 접근하였으며, 보행속도측면, 보행행태측면(인지-반응시간), 보행자 여유시간(혼잡, 상충)측면, 분석방법의 한계로 구분하여 제시하였다.
- 선행연구 고찰을 통해 보행자 신호시간 산정에 관련된 4가지 측면의 영향요인들의 특성을 규명하기 위하여 군집분석(Cluster Analysis), 의사결정나무법(CART: Categorical Analysis Regression Tree)등을 이용하여 특성을 규명하였다. 그리고, 다변량 통계분석을 적용시 정규분포(Normal Distribution)를 따른다는 가정에 대한 검증을 K-S test를 적용하여 평가하였다.
- 기존 보행자 신호시간의 경우 여유시간(T)이란 개념이 현장에 적용시 분석가의 주관에 상당부분 개입하고 있으므로 보행자 수(N), 횡단보도 길이(L) 및 폭원(W)들을 종합적으로 고려한 보행 밀도개념(Pedestrian Density)을 도입하여 여유시간을 표준화하는 방안을 제시하였다.
- 규명된 특성분석 결과를 토대로 표준화된 보행신호시간 산정모형을 개발하여 제시하였다.

## II. 선행연구 고찰

### 1. 국내 보행신호시간 관련 연구 고찰

본 연구에서 사용되는 보행자 신호에 산정 모형에 관한 국내의 연구사례를 정리한 결과가 다음 <표 1>에 제시되어 있다. 현재의 연구사례를 살펴보면 토지이용, 가로횡단특성 등에 따른 보행자의 행태 변화를 고려하지 않고 고정된 보행속도를 적용하고 있다. 또한, 보행자의 인지-반응 및 혼잡 및 지체를 포함하는 여유시간에 대한 고려가 아직은 미흡하여 실제 현장에서 이러한 여유시간으로 인하여 발생하는 지체에 대한 고려가 반영되고 있지 못한 상태이다.

### 2. 국외 보행신호시간 관련 연구 고찰

국외의 연구사례를 정리한 결과는 <표 2>에 제시되어 있다. 국외의 경우에도 국내의 연구결과와 유사한 모형을 채택하여 운영하고 있고, 현재까지 여유시간이 적용된 표준화된 모형이 개발되어 사용되고 있지 않음을 파악하였다. 따라서 본 연구에서는 국내외의 보행신호시간 산정방법들에서 고려하지 못하고 있는 토지이용, 가로횡단특성을 반영하여 보행속도 및 인지-반응시간을 보완하여 적용하고, 또한 현장 적용시 표준화된 여유시간 모형의 부재를 해결하기 위하여 보행자밀도 개념을 도입한 여유시간산정모형을 개발하여 현장 적용시 실무자들이 자의적인 판단을 하는 것을 방지한다.

## III. 현장조사 및 분석

### 1. 현장조사 지점 선정 및 근거

본 연구에서 현장조사의 신뢰성을 확보하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 선행 연구에서 조사된 지점들을 1차 지점으로 선정하였고, 조사의 용이성, 연구목적의 부합 정도를 고려하여 최종적으로 현장조사 지점을 선정하였다. 현장조사지점 선정을 위해 고려할 사항은 다음과 같다.

<표 1> 국내 보행신호시간 산정방법 종합비교표

출 처	최소녹색시간 산정식	보행자 녹색시간		비 고	
		녹 색	점 별		
국 내 문 헌	경찰청 개정전(92)	$T = \frac{L}{V}$	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 (전교부 : 92)	$T = t + \frac{L}{V} - Y$	t	$\frac{L}{V} - Y$	L=L3 or L1 Y=yellow + all red	
		7	V=1.0m/sec		
도로용량편람 (전교부 : 04)	$T = 3.2 + \frac{L}{S} + 0.81 \times \frac{N}{W_s}$	$3.2 + 0.81 \times \frac{N}{W_s}$ 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)	$T = \frac{L}{V_1}$	$L(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2})$	$\frac{L}{V_2}$	V1 : 교령자 보행속도 V2 : 일반 보행속도 L = L3 or L1	
		-	-		
김태호 외 (국토학회지 : 2002)	$PT = T + \frac{L}{V}$	T (혼잡지체+인지반 응)	L / V	V : 토지이용형태별, 업무/ 혼잡/대학 :1.3, 주거/상업:0.9	
		$7.65 + 16.09 \times (\frac{N}{W \times L})$	V=0.9~1.3m/ sec		

<표 2> 국외 보행신호시간 산정방법 종합비교표

출 처	최소녹색시간 산정식	보행자 녹색시간		비 고	
		녹 색	점 별		
국 외 문 헌	Virkler and Guell (미국 : 84)	$T = D + \frac{L}{S} + X \times (\frac{N}{W})$	-	-	X : 평균보행자 Headway
	MUTCD (미국 : 88)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	L=L4 or L2
			4~7	V=1.07~1.22 m/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)	$T = 3.2 + \frac{L}{S} + CP \times \frac{N}{W_s}$	$3.2 + 0.81 \times \frac{N}{W_s}$ : 3m이상	L / Sp	L=L4 or L2 유효보도폭 : 3m기준 구분	
		$3.2 + 0.27 \times \frac{N}{W_s}$ : 3m이하	V=1.2m/sec		
ITE Crossing Guideline (미국 : 00)	$T = D + \frac{L}{S} + 2(\frac{N}{5} - 1)$	-	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)		

- 현장조사 대상도시는 서울시를 중심으로 국한하여 진행하였다.
- 토지이용특성은 주거지역, 상업지역, 업무지역, 혼합지역, 대학교지역, 초등학교 지역으로 분류하였으며, 자세한 내용은 다음과 같다.
  - 주거지역 : 아파트 또는 주거지역에 인접한 횡단보도를 선정함.
  - 상업지역 : 시장 또는 상업시설에 인접한 횡단보도를 선정함.
  - 업무지역 : 사무실 및 업무시설에 인접한 횡단보도를 선정함.
  - 혼합지역 : 시장, 업무, 학교 등 복합적인 토지이용에 인접한 횡단보도를 선정함.
  - 대학교지역 : 대학교지역에 인접한 횡단보도를 선정함.
  - 초등학교지역 : 초등학교 및 어린이보호구역에 인접한 횡단보도를 선정함.
- 가로횡단특성은 각 토지이용별로 소로(2~4차로), 중로(5~7차로), 대로(8차로 이상)로 구분하여 서울시 16개 지점을 선정하였다.<sup>4)</sup>
- 후보지역에 사전답사를 실시하여 캠코더를 설치할 위치와 도로의 기하구조 및 횡단보행자 수가 본 연구의 목적과 부합하는 지점을 최종적으로 선정하였다. 부득이한 경우 조사원을 통한 직접조사도 수행하였다.
- 조사대상지점 선정시 2단 및 대각횡단보도가 있거나 주변지역에 마찰이 많은 경우는 제외하였다.
- 횡단보행속도는 보행자가 횡단시 방해받지 아니하고 정상적인 보행으로 횡단을 완료한 보행자를 대상으로 조사하였다.

서울지역 16개 지점의 현장조사지점에 대한 요약정보는 <표 3>에 제시되어 있다.

<표 3> 실제횡단보도 조사대상 지점의 횡단보도(서울시)

토지이용별	가로횡단특성	조사지점	조사일자
주거지역	소로	목동3단지 사잇길	2006. 9. 21
	중로	등촌2동사무소 앞	2006. 9. 21
	대로	송이공원앞	2006. 9. 21
상업지역	소로	마천시장앞	2006. 9. 22
	중로	대림상가앞	2006. 9. 22
	대로	강남역(씨티극장앞)	2006. 9. 22
업무지역	소로	정부중앙청사앞	2006. 9. 23
	중로	은행사거리	2006. 9. 23
	대로	삼성SDS앞	2006. 9. 23
혼합지역	중로	전통호텔앞	2006. 9. 23
대학교지역	소로	숙명대학앞	2006. 9. 24
	중로	한양대앞	2006. 9. 24
	대로	서울대앞	2006. 9. 24
초등학교지역	소로	성자초교앞	2006. 9. 25
	중로	원광초교앞	2006. 9. 25
	대로	승배초교앞	2006. 9. 25

## 2. 표본수 산정 및 분포검증결과

### 1) 표본수 산정결과

보행자 신호시간산정모형의 신뢰도를 높이기 위한 최소 표본수를 산정하기 위하여 추정오차(d) 0.05, 신뢰구간(95%)를 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 표본수로 산정된 64개 보다 많은 120개의 자료를 토지이용특성과 가로횡단특성을 계층별로 구분하여 계층표본추출방법 적용하였다.

### 2) 자료에 대한 분포검증

본 연구의 방법론 중 회귀분석과 의사결정나무분석을 시행하기 위해서는 모집단의 분포가 정규분포를 따른다는 가정을 만족하여야 한다. 따라서 평가지표를 정립하기 이전에 정규분포 가정을 만족하는지를 현장 조사된 보행신호시간 관련 자료를 통하여 검증하였다.

전체 차량집단의 K-S 검증의 정규분포 검증을 위한 가설설정은 다음과 같다.

$$H_0 : \text{조사자료는 정규분포를 따른다.}$$

4) 건설교통부(2000) 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침」의 도시지역 도로의 기준 분류를 토대로 재작성함.

H<sub>1</sub> : 조사자료는 정규분포를 따르지 않는다.

본 연구에서 조사된 보행속도, 인지반응시간, 여유시간에 대한 검증을 실시하였으며, 분석결과 모두 정규분포를 따르는 것으로 나타났고 (<표 4> ~<표 6>), 이 결과를 바탕으로 다변량 분석을 실시하였다.

<표 4> Kolmogorov-Smirnov Test 보행속도 분포검증 결과

구분	주거	상업	업무	초등	대학	혼합
N	363	363	363	363	363	121
Kolmogorov-Smirnov Z	1.303	1.368	.659	1.620	1.336	1.29
Asymp. Sig.(2-tailed)	.067	0.47	.777	.083	.056	0.69

<표 5> Kolmogorov-Smirnov Test 인지반응시간 분포검증 결과

구분	주거	상업	업무	초등	대학	혼합
N	363	363	363	363	363	121
Kolmogorov-Smirnov Z	1.811	1.155	.625	1.865	1.510	1.007
Asymp. Sig.(2-tailed)	.003	.139	.830	.082	.132	.263

<표 6> Kolmogorov-Smirnov Test 여유시간 분포검증 결과

구분	소로여유시간	중로여유시간	대로여유시간
N	190	228	190
Kolmogorov-Smirnov Z	1.306	.958	.898
Asymp. Sig.(2-tailed)	.066	.318	.365

#### IV 보행신호시간 산정모형 개발

##### 1. 현장조사 결과 및 분석

###### 1) 기하구조 및 신호운영조사 결과

서울시 조사대상지역 총 16개 지점의 기하구조 및 신호운영 현황은 아래 <표 7>과 같다.

<표 7> 조사대상 횡단보도의 기하구조 및 신호운영현황

지점	구분	기하구조(m)		신호운영현황(sec)		
		횡단보도폭	횡단보도길이	보행자 신호시간	녹색 신호시간	점멸 신호시간
주거지역	목동3단지 사잇길	8.0	9.0	20	7	13
	동촌2동사무소 앞	8.0	22.0	29	7	22
	송이공원앞	9.5	36.1	36	8	28
상업지역	마천시장앞	8.0	8.8	20	7	16
	대림상가앞	8.4	20.0	21	7	14
	강남역(씨티극장앞)	14.0	38.0	42	7	35
업무지역	정부중앙청사앞	6.0	9.2	16	7	9
	뽕뽕사거리	8.0	21.6	34	7	27
	삼성SDS앞	8.0	33	40	7	33
혼합지역	진풍호텔앞	8.0	18.4	34	7	27
	숙명여대앞	6.0	9.3	21	7	14
대학교지역	현암대앞	8.0	20.0	32	7	25
	서울대앞	12	20.0	40	7	33
초등학교지역	성자초교앞	8.0	11.8	21	7	14
	원광초교앞	8.0	20.0	32	6	26
	송계초교앞	8.5	29.0	40	7	33

##### 2) 보행속도 조사결과

토지이용별로 살펴보면, 상업, 업무, 대학교 지역의 보행속도가 높은 것으로 나타났으며, 상대적으로 초등학교 지역이 낮은 것으로 나타났다. 가로횡단 특성별로 살펴보면, 전반적으로 소로에 비해 대로가 높은 보행속도를 나타내는 것을 알 수 있다(<표 8>).

<표 8> 토지이용 및 가로횡단특성별 보행속도 (단위 : m/sec)

구분	주거지역			상업지역			업무지역			대학교			초등학교			혼합
	소로	중로	대로	소로	중로	대로	소로	중로	대로	소로	중로	대로	소로	중로	대로	
평균	1.18	1.26	1.28	1.27	1.28	1.38	1.28	1.31	1.36	1.21	1.28	1.32	0.74	0.83	0.86	1.31
85%	0.96	0.96	1.08	1.04	1.03	1.13	0.93	0.97	1.13	1.03	1.16	0.98	0.67	0.73	0.84	0.97
최소값	0.78	0.70	0.97	0.86	0.92	0.87	0.80	0.84	0.88	0.86	1.00	0.83	0.56	0.69	0.69	0.85
최대값	1.76	1.79	1.81	1.83	1.87	1.89	1.83	1.87	1.78	1.87	1.74	1.75	0.92	1.01	1.01	1.76

##### 3) 인지-반응시간 조사결과

토지이용별로 살펴보면, 상업지역이 가장 느리며, 주거지역이 가장 빠른 인지반응시간을 나타냈다. 가로횡단 특성별로 살펴보면, 전반적으로 소로에 비해 대로가 높은 인지반응시간을 나타내는 것을 알 수 있다(<표 9>).

<표 9> 토지이용 및 특성별 인지반응시간 (단위 : sec)

구분	주거지역			상업지역			업무지역			대학교			초등학교			혼합
	소로	중로	대로	소로	중로	대로	소로	중로	대로	소로	중로	대로	소로	중로	대로	
평균	2.03	2.13	2.22	2.04	2.39	2.64	2.05	2.27	2.26	2.13	2.35	2.36	2.29	2.36	2.15	2.36
85%	2.86	2.97	3.25	2.84	3.40	3.65	2.65	2.87	3.10	2.75	2.97	2.05	3.37	3.46	3.46	3.01
최소값	0.80	0.83	0.80	0.86	0.80	0.82	0.97	1.03	0.90	0.80	0.82	0.82	0.83	0.80	0.80	0.90
최대값	5.44	6.57	6.97	6.57	6.49	4.87	4.40	4.73	5.41	5.41	5.45	5.46	5.14	5.00	4.03	5.62

##### 4) 지점별 여유시간 조사결과

여유시간을 가로횡단 특성별로 살펴보면 다음 <표 10>과 같다.

<표 10> 가로횡단특성별 여유시간 (단위 : sec)

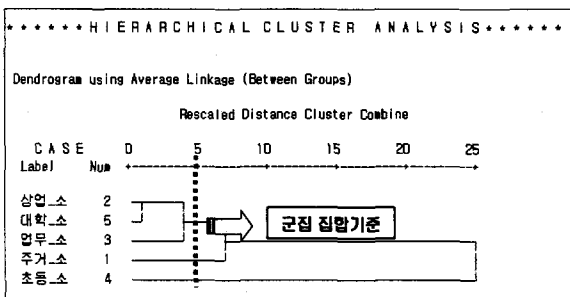
구분	소로(2~4차로)	중로(5~7차로)	대로(8차로 이상)
평균	9.85	7.78	6.91
85%	13.66	10.56	8.63
최소값	1.51	3.57	3.95
최대값	20.00	13.24	12.16

## 2. 보행영향인자 특성분류 및 검증

보행속도, 인지반응시간, 여유시간 조사 결과를 군집분석 및 의사결정나무법(CART)을 적용하여 군집화하거나 분류하였다.

### 1) 보행속도의 군집특성분석

보행속도에 대하여 토지이용의 지역별 유사한 특성을 군집화하기 위하여 토지이용 및 가로횡단특성을 토대로 군집분석을 실시하였으며, 다음은 소로 결과예시이다.



소로, 중로, 대로의 군집분석 결과를 토지이용별로 종합하면 다음 <표 11>과 같은 결과를 얻었다.

<표 11> 보행속도 군집분류 결과

구 분	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
소로	상업, 대학, 업무	주거	초등학교
중로	주거, 상업, 대학	업무, 혼합	초등학교
대로	주거, 상업, 대학, 업무	초등학교	-

### 2) 인지반응시간 군집특성 분석

인지반응시간에 대하여 토지이용 및 가로횡단특성을 토대로 군집분석을 실시하였으며, 소로, 중로, 대로의 군집분석 결과를 토지이용별로 종합하면 다음 <표 12>와 같다.

<표 12> 인지반응시간 군집분류 결과

구 분	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
소로	상업, 대학, 업무	주거	초등학교
중로	주거, 상업, 대학	업무, 혼합	초등학교
대로	상업, 대학, 업무	주거	초등학교

### 3) 여유시간 군집특성분석

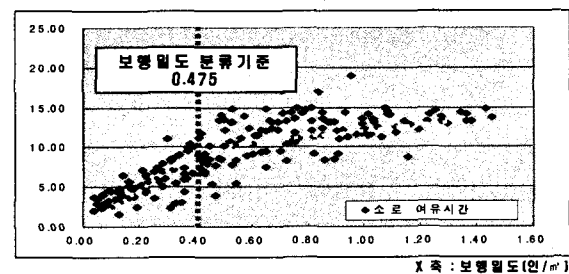
여유시간에 대하여 토지이용 및 가로횡단특성을 토대로 군집분석을 실시하였으며, 소로, 중로, 대로의 군집분석 결과를 토지이용별로 종합하면 다음 <표 13>과 같다.

<표 13> 여유시간 군집분류 결과

구 분	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
소로	주거, 상업, 대학, 업무, 초등	-	-
중로	주거, 상업, 대학, 업무, 초등	-	-
대로	주거, 상업, 대학, 업무, 초등	-	-

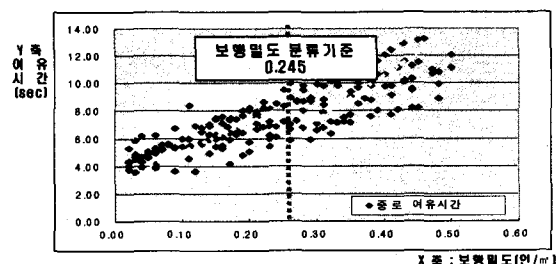
### 4) 여유시간 분류특성분석

CART분석을 통해 여유시간에 가장 영향을 미치는 요소별로 자료를 동질하게 분류하였다. 소로의 경우 여유시간에 영향을 미치는 변수로 소로의 보행밀도가 0.475인/m<sup>2</sup>를 기준으로 나누어지는 것을 알 수 있으며, 산점도(Scatter Diagram)를 토대로 살펴보면 다음 <그림 1>과 같이 2개의 다른 기울기를 가지는 집단임을 알 수 있다.



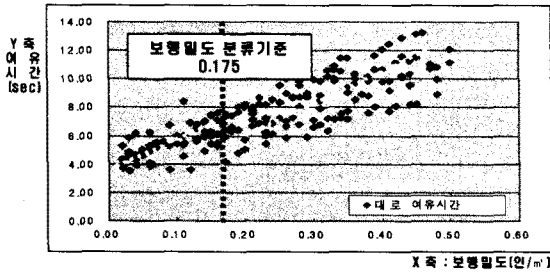
<그림 1> 소로 여유시간 CART 분석 결과

중로 및 대로의 경우도 소로와 유사한 결과로 나타났으나, 중로의 경우 <그림 2>와 같이 여유시간에 영향을 미치는 분류가 보행밀도가 0.245인/m<sup>2</sup>를 기준으로 나누어지는 것을 알 수 있다.



<그림 2> 중로 여유시간 CART 분석 결과

그리고 대로의 경우 <그림 3>과 같이 여유 시간에 영향을 미치는 분류가 보행밀도 0.175 인/m<sup>2</sup>을 기준으로 두가지 부분으로 구분될 수 있음을 확인하였다.



<그림 3> 대로 여유시간 CART 분석 결과

### 3. 여유시간 모형개발

소로의 여유시간과 소로의 전체 밀도를 토대로 다음<표 14>와 같은 회귀분석 모형을 도출하였다.

<표 14> 소로의 여유시간 산정결과 종합

구분	회귀 모형식	
전체 자료	$t_2 = 4.325 + 8.856 X_1$ (12.45) (17.62)	$R^2 = 0.623$ $D.W = 1.577$
보행자 밀도	$P_d > 0.475$	$t_2 = 9.890 + 2.902 X_1$ (13.41) (3.452) $R^2 = 0.710$ $D.W = 2.043$
	$P_d \leq 0.475$	$t_2 = 2.371 + 13.387 X_1$ (5.21) (8.58) $R^2 = 0.748$ $D.W = 1.784$

그리고 동일한 방법으로 중로 및 대로의 여유시간과 전체 밀도를 이용하여 <표 15>, <표 16>과 같은 회귀분석 모형을 도출하였다.

<표 15> 중로의 여유시간 산정결과 종합

구분	회귀 모형식	
전체 자료	$t_2 = 4.146 + 14.887 X_1$ (26.27) (26.37)	$R^2 = 0.713$ $D.W = 2.144$
보행자 밀도	$P_d > 0.245$	$t_2 = 4.237 + 13.279 X_1$ (21.11) (9.72) $R^2 = 0.749$ $D.W = 2.090$
	$P_d \leq 0.245$	$t_2 = 4.421 + 13.732 X_1$ (5.51) (6.23) $R^2 = 0.708$ $D.W = 1.740$

<표 16> 대로의 여유시간 산정결과 종합

구분	회귀 모형식	
전체 자료	$t_2 = 4.817 + 15.759 X_1$ (12.45) (17.62)	$R^2 = 0.630$ $D.W = 2.134$
보행자 밀도	$P_d > 0.175$	$t_2 = 4.987 + 15.133 X_1$ (5.14) (3.78) $R^2 = 0.621$ $D.W = 1.942$
	$P_d \leq 0.175$	$t_2 = 4.841 + 15.398 X_1$ (30.05) (9.52) $R^2 = 0.640$ $D.W = 1.939$

분석결과, 여유시간의 경우 소로에서 대로로 변화해 갈수록 밀도가 낮아지는 것으로 나타났으며, 가로횡단특성별로 살펴보면 보행밀도를 토대로 크게 2가지 형태로 분류되는 것을 알 수 있다. 그러므로 보행자의 밀도에 의해 분류가 가능하고, 모형개발시 다음 <표 17>과 같은 형태로 구분하여 모형을 개발하는 것이 적절하다고 판단된다.

<표 17> 보행밀도에 따른 모형개발 구상안

가로횡단특성	보행밀도(인/m <sup>2</sup> )	모형구상 및 접근형태
소로	$P_d > 0.475$	여유시간 = f(보행자 밀도) + 상수 여기서, 여유시간 : 종속변수 보행자 밀도 : 독립변수 <sup>5)</sup>
	$P_d \leq 0.475$	
중로	$P_d > 0.245$	
	$P_d \leq 0.245$	
대로	$P_d > 0.175$	
	$P_d \leq 0.175$	

### 4. 보행신호시간 산정모형 종합

앞 절에서 제시된 연구결과를 반영하여 기존의 토지이용 특성 및 횡단이용자 특성을 고려하여 본 연구에서 제안하는 보행신호시간 산정 모형들은 다음 <표 18>과 같다.

<표 18> 보행신호시간 산정모형 종합결과

구분	토지 이용	보행속도 (v:m/sec)	인지-반응시간 (t <sub>1</sub> :sec)	여유시간 모형(t <sub>2</sub> ) (sec)	
소로	상업/대학/업무	1.00	2.75	$P_d > 0.475$	$t_2 = 2.890 + 2.902 X_1$
	주거	0.95	2.86	$P_d \leq 0.475$	$t_2 = 2.371 + 13.387 X_1$
	초등학교	0.67	3.37		
중로	상업/대학/업무	1.06	3.08	$P_d > 0.245$	$t_2 = 4.421 + 13.732 X_1$
	업무/혼합	0.97	2.94	$P_d \leq 0.245$	$t_2 = 4.237 + 13.279 X_1$
	초등학교	0.73	3.46		
대로	상업/대학/업무/주거	1.08	3.26	$P_d > 0.175$	$t_2 = 4.987 + 15.133 X_1$
	초등학교	0.84	3.46	$P_d \leq 0.175$	$t_2 = 4.841 + 15.398 X_1$
종합	$PT_{\text{가로횡단/토지이용}} = \frac{L}{V} + t_1 + t_2$				

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

## V. 결 론

본 연구에서는 횡단보도를 토지이용, 가로횡단특성, 보행자행태를 복합적으로 고려하여 조사하였고, 이를 분석한 결과로부터 보행자 밀도에 따라 발생하는 여유시간을 반영한 보행신호시간 산정모형을 개발하여 제시하였다. 본 연구로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 보행속도 측면에서 살펴보면 초등학교, 주거지역을 제외하고는 대부분 1.0m/sec 이상의 보행속도를 가지고 있는 것으로 나타났다.

둘째, 인지-반응시간 측면에서 살펴보면 전반적으로 횡단보도 길이가 증가함에 따라 증가하는 패턴을 보이고, 중로의 혼합지역만 상이한 경향을 나타내었다. 초등학교지역의 인지-반응시간이 3.46sec로 가장 많이 소요되는 것으로 나타났다.

셋째, 여유시간의 경우 군집분석결과 토지이용특성에 의한 영향보다는 가로횡단특성에 의한 영향이 더욱 큰 것으로 나타났다.

넷째, 보행자 밀도측면에서 살펴보면, 소로에서 보행자가 많은 경우 혼잡을 경험하는 것으로 나타났으며, 중로 및 대로로 갈수록 여유시간이 감소하는 것으로 나타났다.

본 연구를 토대로 현재 국내의 보행신호시간의 기준은 국외에 비해 강화된 기준을 적용하고 있는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 제시한 결과값을 검토하여 보더라도 주거지역, 초등학교지역을 제외하고 보행속도는 1.0m/sec보다 높은 속도를 가지는 것으로 나타났다. 그러므로 보행속도와 관련된 신호시간은 감소하여 적용하되 인지-반응 및 혼잡지체에 의한 신호시간은 증가시켜 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

본 연구 내용을 보다 개선하기 위하여는 다음과 같은 사항에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

첫째, 자료수집에 대한 공간적인 한계점을 보완해야 한다. 본 연구의 실제횡단보도 조사는 서울지역에 위치한 횡단보도만을 대상으로 조사하였기 때문에 지방중소도시의 특성은 반영되지 못하였다.

둘째, 본 연구의 중요한 횡단요소 중 하나인 신호기형태(일반신호, 잔영신호기 등)과 횡단보도형태(일반, 대각, 이단 등)의 특성을 반영하여 세분화하여 제공하는 모형개발이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 05-기반구축D02)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. "HIGHWAY CAPACITY MANUAL Third Edition", TRB, 2000
2. "Highway on Capacity Manual 2000", Transportation Research Board, 2000.
3. "Manual on Uniform Traffic Control Device", FHWA, 2000.
4. "A Program for School Crossing Protection - A Recommended Practice of the Institute of Traffic Engineers", Traffic Engineering, 1962.
5. Carol H. Tan, Charles V. Zegeer, "European Practices and Innovations for OECD, Pedestrian, 1970.
6. Wilson D. G. and Grayson G. b. Age-related Differences in the Road Crossing Behavior of Adult Pedestrians, Laboratory Research 933, Crowthore : TRRL, 1980.
7. Institute of Transportation Engineers, Transportation and Traffic Engineering Handbook, 1982
8. Mark R. Virkler, D. L. Guell, "Pedestrian Crossing Time Requirements at Intersections", Transportation Research Record 959, 1984.
9. Rodney Tolley, The Generating of Urban Transport: Planning for Walking and Cycling in Western Cities, 1990.
10. Caremn Hass-Klau, The Pedestrian and City Traffic, 1990
11. James L. Pline, Institute of Transportation Engineers, Traffic Engineering Handbook -fourth edition 1992.
12. 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.



13. The Texas A&M University System, Transportation System Management, 1988 Pedestrian Crossing", ITE Journal, 1995.
14. Richard L. Knoblauch, Martin T. Pietrucha, Marsha Nitzburg, "Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time", Transportation Research Record 1538, 1996.
15. Mark R. Virkler, Scramble and Crosswalk Signal Timing, Transportation Research Record 1636, 1998.
16. FHWA , "Research, Development, and Implementation of Pedestrian Safety Facilities in the United Kingdom", FHWA-RD-99-089, 1999.
17. FHWA , "Dutch Pedestrian Safety Research Review", FHWA-RD-92-093, 1999.
18. 장명덕 외, "횡단보도 보행자의 횡단특성에 관한 연구", 도로교통안전협회, 1992.
19. 도로교통안전협회, 보행속도조사연구보고서, 1992.
20. 한국건설기술연구원, 도로교통 운영개선 실무서, 1993.
21. 장명덕 외, "신호횡단보도 보행 녹색시간에 관한 연구", 대한교통학회지, 1994.
22. 경찰청, 교통안전시설 실무편람, 1996.
23. 경찰청, "교통안전시설 실무편람 개정판", 2000.
24. 김태호, 원재무, 이수일, "토지이용과 보행자 행태를 고려한 보행자 가로횡단시간 분석에 관한 연구", 대한국토도시계획학회지, 2002.
25. 도로교통안전관리공단 "횡단보도 보행신호시간 산정 및 운영방법에 관한 연구", 2004.
26. 대한교통학회, 도로교통용량편람, 2004.