

토지이용 및 보행자 특성을 고려한 보행신호시간 모형 개발에 관한 연구

Development of Pedestrian Signal Timing Models Considering the Characteristics of Land Use and Pedestrians

황 덕 수* 오 영 태** 이 상 수** 이 철 기***
(Duksoo Hwang) (Youngtae Oh) (Sangsoo Lee) (Choulki Lee)

요 약

현재 우리나라의 보행 신호시간 산정방법은 토지이용 형태 및 보행자의 특성을 고려하지 않고 동일한 모형 및 변수값을 적용하고 있다. 본 연구에서는 보행자의 이동에 따른 보행 안전성 확보와 보행환경 개선을 위하여 토지이용 및 보행자 특성을 고려한 보행신호시간 산정 모형을 개발하였다. 우선, 모형에 영향을 주는 변수를 보행속도, 인지-반응시간, 여유시간 등으로 세분화하였고, 현장조사를 통하여 이들 변수들에 대한 대표값을 추정하였다. 그리고 추정된 결과를 이용하여 토지이용 및 가로횡단 특성을 고려한 보행신호시간 모형들을 개발하여 제시하였다. 본 연구에서 제시된 자료는 향후 관련연구의 참고자료로 사용될 수 있고, 제시된 모형은 기존의 획일적인 모형과 비교하여 다양한 선택이 가능하다는 장점이 있다. 또한 보행자의 행태를 반영하여 개발되었으므로 제시된 모형을 적용하여 보행자의 보행환경을 개선할 수 있다고 판단된다.

Abstract

Currently, the pedestrian signal timing model has no consideration on the characteristics of different land use patterns and pedestrian behaviors during pedestrian signal timing calculation. This study intended to propose pedestrian signal timing models that could reflect the inherent characteristics of pedestrian and land use patterns. For this study, three major variables affecting the length of signal timing were identified: walking speed, perception-reaction time, and density-delay time. Then, the representative values of each variable were estimated through the field studies. By combining this information, several pedestrian signal timing models were developed. The data in this paper can be used for future references, and the walking environments for pedestrians could be improved by applying the models suggested in this paper.

Key words : Pedestrian, walking speed, land use, signal timing

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 05-기반구축 D02)에 의해 수행되었음.

* 주저자 : 호원대학교 겸임교수

** 공저자 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수

*** 공저자 : 아주대학교 ITS대학원 교수

† 논문접수일 : 2008년 3월 26일

1. 서 론

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.¹⁾²⁾ 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 횡단보도에서의 신호시간 산정에 관한 연구 분야이다. 현재 국내에서 적용되고 있는 보행신호시간은 보행자의 폭넓은 특성을 반영하지 못하였고, 그 결과로 보행신호등의 표출시간이 실제 보행신호시간보다 짧은 것을 비롯한 많은 문제점³⁾을 나타내고 있으며, 이를 보완하려는 많은 노력이 요구된다.

본 연구에서는 보행자의 이동에 따른 안전성 확보와 보행환경 개선을 위해 보행신호시간 산정에 영향을 주는 토지이용, 가로횡단 특성, 보행행태에 대한 영향요인을 특성별로 구분하고, 이와 같은 특성을 반영한 보행신호시간 모형을 개발하여 제안

하고자 한다. 그리고 이와 같은 특성자료에 대하여 현장조사를 통하여 수집하여 제시함으로써 향후 보행자 관련 연구의 기초자료로 활용하도록 하고자 한다.

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(인자-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

장덕명 등은 현장조사를 통하여 보행자의 밀도

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(2005) 「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 짧은 것으로 나타났으며, 평균 왕복 4차로의 경우 4.03sec, 왕복 7차로 5.41sec, 왕복 10차로 6.05sec로 부족한 것으로 나타남.

<표 1> 국내 보행신호시간 산정방법 비교표[4-6]
 <Table 1> Summary of pedestrian signal timing methods adopted in Korea

출 처	최소녹색시간 산 정 식	보행자 녹색시간		비 고	
		녹 색	점 멸		
국 내 문 헌	경찰청 개정전(92)	$T = \frac{L}{V}$	L / V		V=0.9m/sec : 학교, 고령자 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, 고령자 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
			7	V=1.0m/sec	V=0.8m/sec : 보행자 많은 지역
	교통안전시설 실무편람 (경찰청 : 96)	$T = t + \frac{L}{V}$	t	L / V	V=0.9m/sec : 학교, 고령자 L=L3 or L1
			7	V=1.0m/sec	
	도로용량편람 (건교부 : 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)	$T = 3.2 + \frac{L}{S_p} + 0.81 \times \frac{N}{W_E}$	$3.2 + 0.81 \times \frac{N}{W_E} : 4m$ 이상	L / Sp	L=L3 or L1 유효보도폭 : 4m 이상	
			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)	$T = \frac{L}{V_1}$	$L \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right)$	$\frac{L}{V_2}$	V1 : 고령자 보행속도 V2 : 일반 보행속도 L = L3 or L1	
		-	-		
김태호 외 (국토학회지 : 2002)	$PT = T + \frac{L}{V}$	T (혼잡지체+인지 반응)	L / V	V : 토지이용형태별, 업무/ 혼잡/대학 : 1.3, 주거/상업:0.9	
		$7.65 + 16.09 \times \left(\frac{N}{W \times L} \right)$	V=0.9~1.3m/sec		

와 속도의 관계를 정립하고, 이를 적용하여 보행신호시간을 산정하는 과정을 제시하였다[1]. 박용진 등은 일반보행자와 노약자에 대한 보행신호시간을 구별하여 적용한 새로운 보행자 신호시간 설정 방법을 제시하였고, 이를 적용하여 교차로의 운영효율이 높아질 수 있음을 보였다[2]. 김태호 등은 보행자의 가로횡단특성을 기준으로 자료를 수집하여 보행자의 횡단에 필요한 신호시간을 차별화하여 제공해야 한다는 결과를 제시하였다[3].

그리고 도로교통안전관리공단은 기존에 사용되던 보행신호시간 산정 방법을 검토하고, 이를 개선하기 위한 운영방안을 제시하였다[9]. 황덕수 등은 교통약자를 대상으로 실험을 실시하여 이들의 보행특성이 일반인과 차이가 있음을 파악하고, 이와 같은 특성이 반영된 보행시간 산정모형을 개발하여

제시하였다[10]. 그리고 보행신호시간 산정과 관련된 국내 모형들을 정리한 결과가 <표 1>에 제시되어 있다. 현재의 연구사례를 살펴보면 토지이용, 가로횡단특성 등에 따른 보행자의 행태 변화를 고려하지 않고 고정된 보행속도를 적용하고 있다. 또한, 보행자의 밀도 변화에 따른 혼잡으로 발생하는 지체에 대한 충분한 고려가 이루어지지 않는 방식으로 적용되고 있음을 확인할 수 있다.

2. 국외 보행신호시간 관련 연구 고찰

Virkler와 Guell은 횡단보도를 이용하는 보행자의 수와 횡단보도의 길이와 폭에 따라 보행신호시간값이 변화되어야 한다는 결론을 도출하고 이를 반영한 모형을 개발하여 제시하였다[11]. TRRL은 보행

<표 2> 국외 보행신호시간 산정방법 종합비교표[7, 8]

<Table 2> Summary of pedestrian signal timing methods adopted in the U.S. and Japan

출 처	최소녹색시간 산 정 식	보행자 녹색시간		비 고	
		녹 색	접 멀		
국 외 문 헌	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)	$T = 3.2 + \frac{L}{S_p} + CP \times \frac{N}{W_x}$	$3.2 + 0.81 \times \frac{N}{W_x}$: 3m이상	L / Sp	L=L4 or L2 유효보도폭 : 3m기준 구분	
		$3.2 + 0.27 \times \frac{N}{W_x}$: 3m이하	V=1.2m/sec		
ITE Crossing Guideline (미국 : 00)	$T = D + \frac{L}{S_p} + 2 \left(\frac{N}{5} - 1 \right)$	-	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)		

자의 연령에 따른 보행특성을 연구하여 제시하였고, 실제 보행속도는 연령별로 큰 차이가 있음을 확인하였다[12]. Knoblauch 등은 보행자를 연령별로 구분하고, 현장조사를 통하여 보행속도와 반응시간을 각각 조사하여 연령별로 나타나는 보행특성이 다르다는 것을 결과를 제시하였다[13]. 그리고 보행신호시간 산정과 관련된 국외 모형들을 정리한 결과가 <표 2>에 제시되어 있다. 국외의 경우에도 국내와 유사한 모형을 채택하여 운영하고 있고, 현재 까지 여유시간이 적용된 표준화된 모형이 개발되어 사용되고 있지 않음을 파악하였다.

따라서 본 연구에서는 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 고려 할 사항은 다음과 같다.

- 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.4)
- 후보지역에 사전답사를 실시하여 캠퍼코더를 설치할 위치와 도로의 기하구조 및 횡단보행자수가 본 연구의 목적과 부합하는 지점을 최종적으로 선정하였다. 부득이한 경우 조사원을 통한 직접조사도 수행하였다. 자료 조사 시간은 보행자가 많은 첨두시간대와 비첨두시간대로 구분하여 수행되었다.
- 조사대상지점 선정시 2단 및 대각횡단보도가 있거나 주변지역에 마찰이 많은 경우는 제외하였다.

<표 3> 실제횡단보도 조사대상 지점의 횡단보도(서울시)
<Table 3> Summary of the field study sites

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	뱅뱅사거리	2006. 9. 23
	대로	삼성SDS앞	2006. 9. 23
혼합지역	중로	전포호텔앞	2006. 9. 23
	소로	숙명대학앞	2006. 9. 24
대학교지역	중로	한양대앞	2006. 9. 24
	대로	서울대앞	2006. 9. 24
	소로	성자초교앞	2006. 9. 25
초등학교지역	중로	원광초교앞	2006. 9. 25
	대로	송례초교앞	2006. 9. 25

- 횡단보행속도는 보행자가 횡단시 방해받지 아니하고 정상적인 보행으로 횡단을 완료한 보행자를 대상으로 조사하였다.

서울지역 16개 지점의 현장조사지점을 지역별로 표현한 결과는 <그림 1>과 같고, 각각에 대한 요약 정보는 <표 3>에 제시되어 있다.

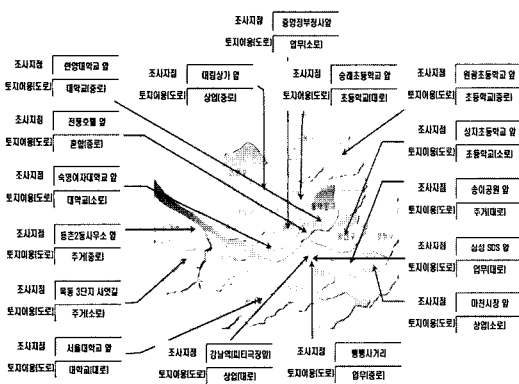
2. 표본수 산정 및 분포검증결과

1) 표본수 산정결과

보행자 신호시간산정모형의 신뢰도를 높이기 위한 최소 표본수를 산정하기 위하여 추정오차(d) 0.05, 신뢰구간(95%)를 적용하였으며, 64개의 표본 이상일 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 가로횡단 특성을 계층별로 구분하여 계층표본추출방법 적용하였다.



<그림 1> 현장조사지점
<Fig. 1> Field study sites

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

(2) 자료에 대한 분포검증

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

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

- H_0 : 조사자료는 정규분포를 따른다.
- H_1 : 조사자료는 정규분포를 따르지 않는다.

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

<표 4> Kolmogorov-Smirnov Test 보행속도 분포검증 결과
<Table 4> Kolmogorov-Smirnov test results on walking speed

구 분	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	.093	.056	0.69

<표 5> Kolmogorov-Smirnov Test 인지반응시간 분포검증 결과

<Table 5> Kolmogorov-Smirnov test results on perception-reaction time

구 분	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
<Table 6> Kolmogorov-Smirnov test results on density-delay time

구 분	소로여유시간	중로여유시간	대로여유시간
N	190	228	190
Kolmogorov-Smirnov Z	1.306	.958	.898
Asymp. Sig.(2-tailed)	.066	.318	.395

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.

2) 보행속도 조사결과

보행속도에 대한 결과를 토지이용별로 살펴보면, 상업, 업무, 대학교 지역의 보행속도가 높은 것으로 나타났으며, 상대적으로 초등학교 지역이 낮은 것

<표 7> 조사대상 횡단보도의 기하구조 및 신호운영현황
<Table 7> Geometric and operational conditions of the study sites

지 점	구 분	기하구조(m)		신호운영현황(sec)		
		횡단보도 폭	횡단보도 길이	보행자 신호 시간	녹색 신호 시간	점멸 신호 시간
주거 지역	목동3단지 사잇길	8.0	9.0	20	7	13
	등촌2동사무소 앞	8.0	22.0	29	7	22
	송이공원앞	9.5	36.1	36	8	28
상업 지역	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
업무 지역	정부중앙청사앞	6.0	9.2	16	7	9
	뱅뱅사거리	8.0	21.6	34	7	27
	삼성SDS앞	8.0	33	40	7	33
혼합 지역	전풍호텔앞	8.0	18.4	34	7	27
대학교 지역	숙명여대앞	6.0	9.3	21	7	14
	한양대앞	8.0	20.0	32	7	25
	서울대앞	12	20.0	40	7	33
초등학교 지역	성자초교앞	8.0	11.8	21	7	14
	원광초교앞	8.0	20.0	32	6	26
지역	송례초교앞	8.5	29.0	40	7	33

<표 8> 토지이용 및 가로횡단특성별 보행속도
<Table 8> Summary of walking speeds (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	소로	중로	대로
평균	1.18	1.25	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		
15%	0.95	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	0.85	0.92	0.87	0.80	0.84	0.88	0.85	1.00	0.80	0.56	0.68	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		

<표 9> 토지이용 및 특성별 인지반응시간 (단위 : sec)
 <Table 9> Summary of perception-reaction times

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	6.67	6.97	6.67	6.49	4.87	4.40	4.73	5.41	5.41	5.45	5.46	5.14	5.00	4.03	5.62

<표 10> 가로횡단특성별 여유시간 (단위 : sec)
 <Table 10> Summary of density-delay times

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

으로 나타났다. 가로횡단 특성별로 살펴보면, 전반적으로 소로에 비해 대로가 높은 보행속도를 나타내는 것을 알 수 있다.

3) 인지-반응시간 조사결과

토지이용별로 살펴보면, 상업지역이 가장 느리며, 주거지역이 가장 빠른 인지반응시간을 나타냈다. 가로횡단특성별로 살펴보면, 전반적으로 소로에 비해 대로가 높은 인지반응시간을 나타내는 것을 알 수 있다.

4) 여유시간 조사결과

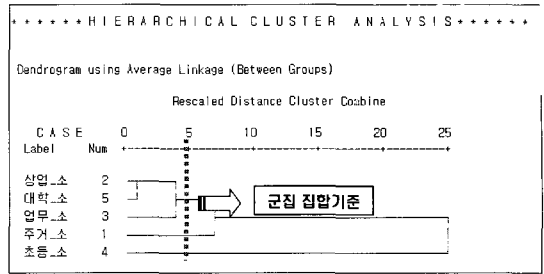
여유시간을 가로횡단 특성별로 살펴보면 다음 <표 10>과 같다.

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 가로횡단특



<그림 2> 소로의 군집특성 분석 결과
 <Fig. 2> Cluster analysis results for small-size roadways

<표 11> 보행속도 군집분류 결과
 <Table 11> Clustering results on walking speed

구분	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	-

<표 12> 인지반응시간 군집분류 결과
 <Table 12> Clustering results on perception-reaction time

구분	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

성을 토대로 군집분석을 실시하였으며, 다음 <그림 2>는 소로의 적용에 관한 결과예시이다.

이와 같이 소로, 중로, 대로의 군집분석 결과를 토지이용별로 종합하면 다음 <표 11>과 같다.

2) 인지반응시간 군집특성 분석

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

3) 여유시간 군집특성분석

여유시간에 대하여 토지이용 및 가로횡단특성을 토대로 군집분석을 실시하였고, 군집분석 결과를 토지이용별로 정리한 내용은 다음 <표 13>과 같다. 아래 표에서 보는 바와 같이 여유시간은 모든 조건

<표 13> 여유시간 군집분류 결과

<Table 13> Clustering results on density-delay time

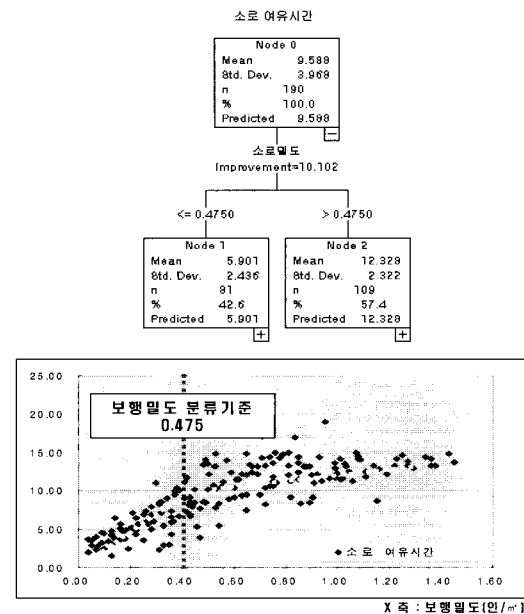
구분	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
소로	주거, 상업, 대학, 업무, 초등	-	-
중로	주거, 상업, 대학, 업무, 초등	-	-
대로	주거, 상업, 대학, 업무, 초등	-	-

에서 한 개의 그룹으로 나타남을 알 수 있다.

4) 여유시간 분류특성분석

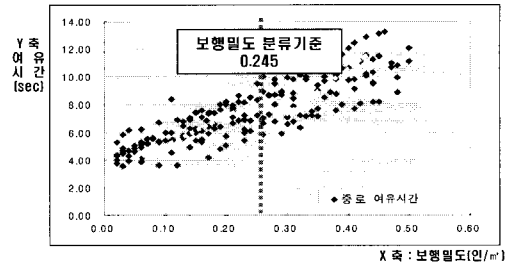
CART분석을 통해 여유시간에 가장 영향을 미치는 요소별로 자료를 동질하게 분류하였다. 소로의 경우 여유시간에 영향을 미치는 변수로 소로의 보행밀도가 0.475인/m²를 기준으로 나누어지는 것을 알 수 있으며, 산점도(Scatter Diagram)를 토대로 살펴보면 다음 <그림 3>과 같이 2개의 기울기를 갖는 것을 알 수 있다.

중로 및 대로의 경우도 소로와 유사하게 2개의 기울기로 구분할 수 있는 형태로 나타났으나, 중로의 경우 <그림 4>와 같이 여유시간에 영향을 미치는 분류가 보행밀도가 0.245인/m²를 기준으로 나누어지는 것을 알 수 있다.



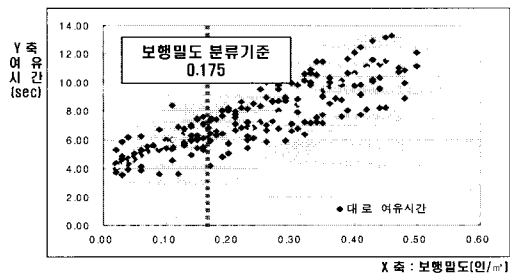
<그림 3> 소로 여유시간 CART 분석 결과

<Fig. 3> CART analysis result for small-size roadways



<그림 4> 중로 여유시간 CART 분석 결과

<Fig. 4> CART analysis result for medium-size roadways



6

<그림 5> 대로 여유시간 CART 분석 결과

<Fig. 5> CART analysis result for large-size roadways

그리고 대로의 경우 <그림 5>와 같이 여유시간에 영향을 미치는 분류가 보행밀도 0.175인/m²를 기준으로 두 그룹으로 구분될 수 있음을 확인하였다.

3. 여유시간 모형개발

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

그리고 동일한 방법으로 중로 및 대로의 여유시간과 전체 밀도를 이용하여 <표 15>, <표 16>과 같

<표 14> 소로의 여유시간 산정결과 종합

<Table 14> Density-delay time models for small-size roadways

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

<표 15> 중로의 여유시간 산정결과 종합
<Table 15> Density-delay time models for medium-size roadways

구분	회귀 모형식	
전체 자료	$t_2 = 4.146 + 14.887 X_1$ (26.27) (26.37)	$R^2 = 0.713$ $D.W = 2.144$
보행밀도	$P_d > 0.245$	$t_2 = 4.237 + 13.279 X_1$ (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
<Table 16> Density-delay time models for large-size roadways

구분	회귀 모형식	
전체 자료	$t_2 = 4.817 + 15.759 X_1$ (12.45) (17.62)	$R^2 = 0.630$ $D.W = 2.134$
보행밀도	$P_d > 0.175$	$t_2 = 4.987 + 15.133 X_1$ (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) $R^2 = 0.640$ $D.W = 1.939$

은 회귀분석 모형을 도출하였다.

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, 모형 개발시 다음 <표 17>과 같은 형태로 구분하여 모형을 개발하는 것이 적절하다고 판단된다.

4. 보행신호시간 산정모형 종합

앞 절에서 제시된 연구결과를 반영하여 기존의

<표 17> 보행밀도에 따른 모형개발 구상안
<Table 17> Classification of density-delay time models by pedestrian density

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

<표 18> 보행신호시간 산정모형 종합결과
<Table 18> Summary of pedestrian signal timing models suggested

구분	토지이용	보행속도 (v:m/sec)	인지-반응시간 (t_1 : sec)	여유시간 모형(t_2) (sec)	
				$P_d > 0.475$	$P_d \leq 0.475$
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	$P_d \leq 0.175$	$t_2 = 4.841 + 15.398 X_1$
모형	$PT_{\text{가로횡단/토지이용}} = \frac{L}{V} + t_1 + t_2$				

토지이용 특성 및 횡단이용자 특성을 고려하여 본 연구에서 제안하는 보행신호시간 산정모형들은 다음 <표 18>과 같다.

V. 결론

본 연구에서는 횡단보도를 토지이용, 가로횡단특성, 보행자행태를 복합적으로 고려하여 조사하였고, 이를 분석한 결과로부터 보행밀도에 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 패턴으로 나타났고, 초등학교지역의 인지-반응시간이

3.46sec로 가장 많이 소요되는 것으로 나타났다.

셋째, 여유시간의 경우 군집분석결과 토지이용특성에 의한 영향보다는 가로횡단 특성에 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 국내에서 표준화하여 적용할 수 있는 여유시간 모형을 개발하였고, 나아가 토지이용 및 보행자특성을 반영한 보행신호시간 산정모형들을 개발하여 제시하였다. 본 연구에서 제시한 모형들은 현실적으로 발생하는 인지-반응 및 혼잡지체에 의한 신호시간의 증가분을 반영할 수 있기 때문에 기존의 모형과 비교하여 보다 현실적인 모형이라고 판단된다.

본 연구는 서울지역에 위치한 횡단보도만을 대상으로 조사하였기 때문에 지방중소도시에서 발생할 수 있는 보행자의 특성은 반영되지 못하였다. 그러므로 향후에는 이와 관련된 폭넓은 자료를 수집하여 보다 종합적인 모형을 구성하는 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 장덕명, 박종주, "신호횡단보도 보행등 녹색신호 시간에 관한 연구," *대한교통학회지*, 제12권, 제1호, pp. 55-73, 1994. 2.
- [2] 박용진, 박종규, 손한철, 김종태, "보행자 신호체계에 대한 새로운 제안," *대한교통학회지*, 제19권, 제3호, pp. 7-18, 2001. 6.
- [3] 김태호, 원제무, 이수일, "보행자 가로횡단특성과 횡단시간 분석에 관한 연구," *대한국토도시계획학회지*, 제37권, 제7호, pp.169-180, 2002. 12.
- [4] 경찰청, *교통안전시설 실무편람*, 1996.
- [5] 경찰청, *교통안전시설 실무편람 개정판*, 2000.
- [6] 건설교통부, *도로교통용량편람*, 2004.
- [7] FHWA, *Manual on Uniform Traffic Control Device*, 2000.
- [8] TRB, *Highway Capacity Manual 3rd Edition*, 2000.
- [9] 도로교통안전관리공단, *횡단보도 보행신호시간 산정 및 운영방법에 관한 연구*, 2004.
- [10] 황덕수, 오영태, 이상수, 김태호, "교통약자를 고려한 보행 신호시간 산정모형 개발에 관한 연구," *대한교통학회지*, 제26권, 제1호, pp. 181-190, 2008. 2.
- [11] M. R. Virkler and D. L. Guell, "Pedestrian crossing-time requirements at intersections," *Transportation Research Record 959*, pp. 47-51, 1984.
- [12] D. G. Wilson and G. Grayson, *Age-related Differences in the Road Crossing Behavior of Adult Pedestrians*, Laboratory Research Report 933, Crowthorn, TRRL, 1980.
- [13] R. L. Knoblauch, M. T. Pietrucha, and M. Nitzburg, "Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time," *Transportation Research Record 1538*, pp. 27-38, 1996.

저자소개

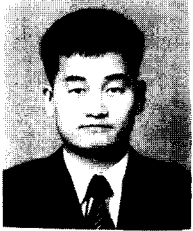
황 덕 수 (Hwang, Duksoo)

2006년 ~ 현재 : 호원대학교 겸임교수
1985년 ~ 2007년 : 교통안전공단 근무 (최종직위 : 이사)
2007년 : 아주대학교 교통공학 박사



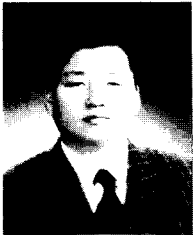
오 영 태 (Oh, Youngtae)

1995년 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 교수
2005년 ~ 현재 : 한국 ITS학회 이사
1989년 : Polytech University 교통공학 박사



이 상 수 (Lee, Sangsoo)

2002년 ~ 현재 : 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수
2005년 ~ 현재 : 한국 ITS학회 이사
2000년 : Texas A&M University 토목과 교통전공 졸업(박사)



이 철 기 (Lee, Choulki)

2006년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 ITS대학원 특임교수
2004년 ~ 2006년 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장
2000년 ~ 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선기획실장
1998년 : 아주대학교 건설교통공학과 교통공학전공 졸업(박사)