

■ 論 文 ■

횡단보도 보행신호시간 산정에 관한 연구

A Study on the Estimation of Pedestrian Signal Timing

안 계 형

(도로교통안전관리공단 연구위원)

김 은 정

(도로교통안전관리공단 연구위원)

이 용 일

(도로교통안전관리공단 연구위원)

정 준 하

(도로교통안전관리공단 책임연구원)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 기존연구 및 문헌고찰
- III. 보행자특성 분석
 - 1. 현장조사 및 분석방법
 - 2. 분석결과
- IV. 보행신호시간 산정
 - 1. 문제점 분석
 - 2. 접근방법
 - 3. 현장조사 및 분석
 - 4. 보행신호시간 산정
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 보행신호시간, 녹색신호시간, 녹색점멸신호시간, 횡단보행속도, 인지반응시간
 Pedestrian Signal Timing, Pedestrian Interval, Pedestrian Clearance Interval, Pedestrian Crossing Speed, Reaction Time

요 약

본 연구에서는 보행신호시간에 대한 국내·외 사례 분석, 광범위한 보행자특성조사, 보행신호시간 운영방법에 대한 설문조사 등을 통해 보행자수요, 보행자특성 및 주변지역 특성 등을 고려한 보행신호시간 산정식을 제안하였으며, 실제 현장 자료를 이용하여 현재의 보행신호시간과 본 연구의 제안식에 의해 산출된 보행신호시간을 비교, 분석하였다.

보행자특성조사는 횡단보행속도와 인지반응시간에 대해 실시하였다. 서울시 총 16개 지역을 선정하여 토지이용, 도로폭, 연령, 개인/그룹, 성별에 따라 자료를 수집하였다.

분석결과 서울시 보행자의 평균 횡단보행속도는 1.30m/s, 15th percentile속도는 1.11m/s로 나타났다. 인지반응시간은 평균 2.24초로 조사되었다. 횡단보행속도는 토지이용, 도로폭, 연령, 개인/그룹, 성별에 따라 차이가 있었고, 인지반응시간은 도로폭, 연령, 개인/그룹에 따라 차이가 있었다. 또한 각 분석결과에 대한 통계 점정을 실시하여 본 연구에서 조사된 자료의 신뢰성을 확보하였다. 따라서 이 자료들은 추후 관련 연구에 기본 자료로 활용이 가능할 것이다.

보행자특성 현장조사 및 보행자 설문조사 분석결과를 종합해 보면 현재의 보행신호시간과 그 운영방법은 개선이 시급한 것으로 분석됨에 따라 본 연구에서는 보행자의 수요, 보행자특성 및 횡단보도 기하구조 등을 고려한 합리적인 보행신호시간을 산출할 수 있는 산정식을 개발하였다.

This paper presents new pedestrian signal timings considering pedestrian demand, pedestrian characteristics, and land use which were obtained by pedestrian characteristics field survey and pedestrian signal operation survey. Pedestrian signal timings suggested were compared to the existing pedestrian signal timings by using real field data.

Pedestrian characteristics field survey was conducted to collect pedestrian crossing speed data and reaction time data. Sixteen areas in Seoul were selected for the data collection.

The average pedestrian crossing speed was 1.30 m/sec and the 15th percentile speed was 1.11 m/sec. The average reaction time was 2.24 seconds. Pedestrian crossing speed differs by land use, road width, pedestrian age, sex, and number of pedestrians. Reaction time also differs by road width, pedestrian age, and number of pedestrians. Statistical testing was performed to secure reliability of the collected data.

I. 서론

보행신호시간은 보행자군이 횡단보행속도로 횡단보도 횡단을 완료하기 위해 필요한 시간이다. 보행신호시간을 신호운영 측면에서 볼 때, 보행자들이 안전하게 도로를 횡단하기 위한 충분한 시간 확보가 필요한 반면, 차량 소통측면에서는 최소한으로 산정해야 하는 양면성을 가지고 있다.

현재 보행신호시간은 녹색신호시간과 녹색점멸신호시간으로 운영되며, 보행신호시간에 결정적인 영향을 미치는 요소는 횡단보도의 보행자수요, 횡단보행속도, 횡단보도 길이가 있다(원재무, 2000). 녹색신호시간에 가장 영향을 미치는 것은 보행자수요이며, 녹색점멸신호시간에 가장 영향을 미치는 것은 보행자의 횡단보행속도이다. 여기서 횡단보행속도는 보행자의 성별, 연령층, 횡단형태, 횡단시간대 등에 의해 영향을 받는다고 한다.

현재 대부분의 보행신호시간은 위와 같은 영향요소를 고려하지 않고 횡단거리에 동일하게 횡단보행속도 1.0m/s를 적용한 녹색점멸신호시간과 도로를 횡단하는 보행자수요보다는 도로의 기하구조에 따라 왕복 2차로 이하에 4초, 왕복 3차로 이상에 7초의 녹색신호시간을 일률적으로 적용하여 운영하고 있다.

1999년 실시된 보행신호시간 설문조사결과, 조사대상자 2,081명 중 32.7%만 관련법규를 준수하는 것으로 나타났고, 그 외 사람들은 녹색점멸신호시간 동안에 횡단을 시도하거나 주변 상황을 보고 개인의 판단 하에 횡단을 시도하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 응답자의 60.4%가 점멸신호시간에 횡단하는 것에 대해 불안

감을 갖고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 보행자 보행환경 개선과 효율적인 차량 교통류관리를 위해 보행자특성 및 횡단보도 주변여건을 고려한 보행신호시간을 제시하고자 한다.

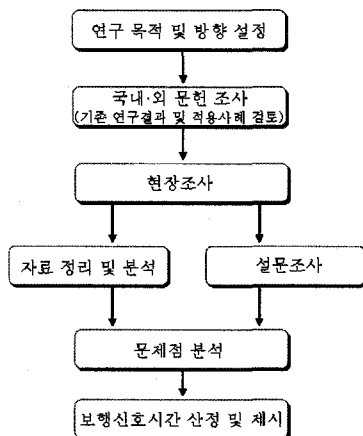
연구수행 절차는 <그림 1>과 같다.

II. 문헌 및 기존연구 고찰

국내·외의 횡단보행속도와 인지반응시간 등의 보행자특성에 관한 연구결과를 살펴보면, Knoblauch(1996)의 65세 이하 보행자 평균속도는 1.46m/s, 15th percentile속도는 1.21m/s이고, 65세 이상 보행자의 평균속도는 1.20m/s, 15th percentile속도는 0.94m/s로 나타났다. 민예기(1983)의 도시별 횡단보행속도 조사·분석결과, 전체 평균속도는 1.36m/s로 나타났다. 박용진(2001)의 횡단보행속도 조사결과 평균속도는 1.38m/s, 15th percentile속도는 1.14m/s로 나타났다. 김형진(2003)의 토지이용별 횡단보행속도 분석결과, 업무지역이 다른 지역에 비해 보행속도가 빠르게 나타났으며, 횡단보도 길이에 따른 횡단보행속도 분석결과 횡단거리가 길어질수록 보행속도가 일정거리까지 증가하는 것으로 나타났다.

인지반응시간은 보행신호등이 켜진 후, 첫 번째 열 보행그룹의 보행자들이 보행신호를 인식하고, 보도에서 횡단보도로 첫 발을 내딛는 순간까지의 시간이다. Knoblauch(1996)이 조사한 65세 이하 보행자의 인지반응시간 평균은 1.93sec, 85th percentile값은 3.06sec이며, 65세 이상 보행자의 인지반응시간 평균은 2.48sec, 85th percentile값은 3.76sec로 나타났다. 김태호(2002)가 조사한 인지반응시간의 평균은 3.19sec이고, 85th percentile값은 3.24sec로 나타났다.

보행신호시간 산정식에 대해 살펴보면, 미국 MUTCD(2000)에서는 녹색신호시간을 4~7초로 규정하며, 녹색점멸신호시간은 횡단거리에 대해 횡단보행속도를 적용하여 산정하고 있다. HCM(2000)에서는 보행자군과 횡단보도의 폭을 고려한 보행신호시간을 산정하였다. HCM(2000)에서 제시된 산정식의 특징은 보행속도에 지역적인 특성을 반영하여 보행속도를 적용하였으며, 보행자군이 횡단함에 따라 보행자군의 크기가 변화하는 것을 고려했다. ITE School Crossing Guideline(1962)에서는 보행자(학생)가 횡단보도를 열을 지어서 통행하고, 2초의 headway로 나란히 5명이 진행한다는 가정하에 보행



<그림 1> 연구수행 절차

신호시간 산정식을 제안하였다. Virkler and Guell (1984)은 보행자군의 형태를 고려하여, 보행자군이 일정한 Headway로 횡단보도에 진입한다는 가정하에 보행신호시간 산정식을 제안했다.

일본의 경우 횡단보행속도는 보행자의 성별, 연령별, 횡단형태, 횡단시간대 등에 의해 차이가 나며, 횡단보행속도는 일반적으로 1.0m/s를 적용하며 필요에 따라 실측값을 사용한다(交通信號の手引, 1994).

국내 도로용량편람(2004)의 보행신호시간은 미국 HCM(2000)에서 제시하는 방식과 동일하며, 국내의 횡단보도 형태를 고려해서 4m이상의 횡단보도에 적용하는 보행신호시간 산정식을 적용했다. 교통안전시설실 무편람(1996)에서 제안된 보행신호시간 산정식은, 미국의 MUTCD(2000)에서 제안된 방식과 유사하며, 녹색신호시간은 일반적으로 7초를 사용하고, 횡단보행속도는 일반적으로 1.0m/s를 적용하며, 노약자와 어린이를 위한 지역에서의 횡단보행속도는 0.9m/s를 적용한다. 국내 보행신호시간 관련 연구를 살펴보면, 장덕명(1992)은 토지이용, 주기당 보행자수, 횡단보도의 길이와 폭을 고려한 보행신호시간을 제시하였다. 김태호(2002)는 토지이용 및 횡단이용자 특성을 고려한 보행신호시간 산정식을 제안하였다.

III. 보행자특성 분석

보행자특성조사의 목적은 횡단보도에서의 보행자특성을 파악하는데 있으며, 조사내용은 보행속도와 인지반응시간으로 구분된다. 보행자특성조사 결과는 보행신호시간의 산정을 위해서 활용된다.

1. 현장조사 및 분석방법

조사지점은 토지이용에 따라 초등학교지역, 상업지역, 업무지역, 주거지역으로, 도로폭에 따라 소로(2~3차로), 중로(6~7차로), 대로(9~10차로)로 구분하였다. 토지이용 및 도로폭 구분에 의한 서울시 조사지점 및 기하구조 현황은 <표 1>과 같다.

현장조사 자료는 주로 캠코더 촬영에 의해 수집되었으며, 조사시간은 오전, 오후의 첨두 8:00~10:00, 17:30~19:30 각 2시간과 오후 비첨두 14:00~16:00 2시간으로 하루 총 6시간이다.

횡단보행속도는 보행자가 횡단시 방해받지 아니

<표 1> 서울시 조사대상 지점 및 기하구조 현황

토지이용별	도로구분	조사지점	횡단보도 폭(m)	횡단보도 길이(m)
업무지역	소로	정부중앙청사앞	6.0	9.2
	중로	백방사거리	8.0	21.6
	대로	삼성SDS앞	8.0	33.0
상업지역	소로	마천시장앞	8.0	8.8
	중로	대림상가앞	8.4	20.0
	대로	강남역(씨티극장앞)	14.0	38.0
주거지역	소로	목동3단지 사잇길	8.0	9.0
	중로	등촌2동사무소앞	8.0	22.0
	대로	송이공원앞	9.5	36.1
초등학교지역	소로	성자초교앞	8.0	11.8
	중로	원광초교앞	8.0	20.0
	대로	승례초교앞	8.5	29.0

하고 정상적인 보행으로 횡단을 완료한 보행자를 대상으로 조사했으며, 인지반응시간은 보행신호 시작부터 신호대기중인 보행그룹 첫 번째 열의 보행자가 보행신호를 인식하고, 보도에서 횡단보도로 첫 발을 내딛는 순간까지의 시간을 측정하였다.

보행자의 주변 환경 및 보행자특성에 따른 지역별, 횡단거리별, 연령대별 차이 유·무를 검증하기 위해 유의수준 0.05에서 t-검정을 실시하였다.

2. 분석결과

횡단보행속도는 초등학교지역을 제외한 각 지역별로 200개의 표본을 추출하여 분석한 결과 평균속도는 1.30m/s, 15th percentile속도는 1.11m/s로 <표 2>와 같이 나타났다.

<표 2> 횡단보행속도 분석

구분	평균 (m/s)	15% (m/s)	최소값 (m/s)	최대값 (m/s)	표준편차 (m/s)	자료수 (명)
전체	1.30	1.11	0.66	1.81	0.17	1,800

토지이용별 횡단보행속도 분석결과는 <표 3>과 같으며, 업무지역의 평균속도는 1.33m/s, 15th percentile속도는 1.15m/s로 가장 빠르게 나타났으며, 주거지역은 평균속도 1.29m/s, 15th percentile속도 1.13m/s로 가장 낮게 나타났다. 토지이용별 횡단보행속도 차이 유무에 대한 t-검정 결과 유의수준 0.05에서 주거지역과 상업지역의 횡단보행속도 차이가 없으며, 업무지역과 주거·상업지역은 차이가 있는 것으로 분석되었다.

〈표 3〉 토지이용별 횡단보행속도 분석

구분	업무지역	상업지역	주거지역
평균(m/s)	1.33	1.30	1.29
15%(m/s)	1.15	1.11	1.13
자료수(명)	1,695	1,868	1,083

도로폭에 따른 횡단보행속도 분석결과는 〈표 4〉와 같으며, 소로는 평균속도 1.26m/s, 15th percentile속도 1.07m/s로 가장 느리게 나타났으며, 대로는 평균속도 1.33m/s, 15th percentile속도 1.15m/s로 가장 빠르게 나타났다. 도로폭에 따른 횡단보행속도는 도로폭이 넓을수록 횡단보행자의 속도가 빠르게 나타났다. 중로와 대로의 15th percentile속도는 1.14m/s, 1.15m/s로 유사하지만, t-검정 결과 유의수준 0.05에서 횡단보행속도 차이가 있는 것으로 나타났다.

〈표 4〉 도로폭에 따른 횡단보행속도 분석

구분	소로	중로	대로
평균(m/s)	1.26	1.30	1.33
15%(m/s)	1.07	1.14	1.15
자료수(명)	1,021	1,332	2,293

초등학교지역 횡단보행속도 분석결과는 〈표 5〉와 같으며, 평균속도는 1.19m/s, 15th percentile속도는 1.04m/s로 나타났다. 도로폭이 넓을수록 횡단보행속도가 증가하지만, t-검정 결과 유의수준 0.05에서 도로폭에 따른 횡단보행속도 차이는 없는 것으로 나타났다.

〈표 5〉 초등학교지역 횡단보행속도 분석

구분	소로	중로	대로	전체
평균(m/s)	1.17	1.20	1.20	1.19
15%(m/s)	1.01	1.07	1.06	1.04
자료수(명)	148	154	117	419

인지반응시간은 횡단보행속도와 동일한 12개 지점에서 조사·분석되었다. 인지반응시간은 초등학교지역을 제외한 각 지역별로 190개의 표본을 추출하여 분석한 결과 평균 2.24초, 85th percentile값 3.10초로 〈표 6〉과 같이 나타났다.

〈표 6〉 인지반응시간 분석

구분	평균(초)	85%(초)	최소값(초)	최대값(초)	표준오차(초)	자료수(명)
전체	2.24	3.10	0.80	6.97	0.91	1,710

토지이용별 인지반응시간은 〈표 7〉과 같으며, 상업지역이 평균 2.37초, 85th percentile값 3.41초로 가

장 느리게 나타났으며, 주거지역이 평균 2.11초, 85th percentile값 2.98초로 가장 빠르게 나타났다.

〈표 7〉 토지이용별 인지반응시간 분석

구분	업무지역	상업지역	주거지역
평균(초)	2.21	2.37	2.11
85%(초)	2.97	3.41	2.98
최소값(초)	0.90	0.80	0.80
최대값(초)	5.41	6.67	6.97
표준편차(초)	0.71	0.98	0.92
자료수(명)	1,165	1,207	839

도로폭에 따른 인지반응시간은 〈표 8〉과 같으며, 대로가 평균 2.39초, 85th percentile값 3.36초로 가장 느리고, 소로가 평균 2.04초, 85th percentile값 2.80초로 가장 빠르게 나타나 도로폭이 넓을수록 인지반응시간이 느리게 나타났다.

〈표 8〉 도로폭에 따른 인지반응시간 분석

구분	소로	중로	대로
평균(초)	2.04	2.28	2.39
85%(초)	2.80	3.11	3.36
자료수(명)	960	1,241	1,010

초등학생을 대상으로 한 인지반응시간은 〈표 9〉와 같으며, 평균은 2.29초, 85th percentile값은 3.27초로 나타났다. 초등학생을 제외한 자료의 인지반응시간과 초등학생 인지반응시간을 t-검정한 결과, 유의수준 0.05에서 두 그룹간의 인지반응시간은 차이가 없는 것으로 나타났다.

〈표 9〉 초등학교지역 인지반응시간 분석

구분	소로	중로	대로	전체
평균(초)	2.29	2.36	2.15	2.29
85%(초)	3.37	3.46	3.02	3.27
자료수(명)	166	115	69	350

M. 보행신호시간 산정

1. 문제점 분석

현재 보행신호시간은 보행자수요, 보행자특성 등을 고려하지 않고 대부분 일률적으로 2차로 이하 도로에 4초, 3차로 이상에 7초의 녹색신호시간을 제공하고, 횡단거리

에 대해 동일하게 1.0m/s의 횡단보행속도를 적용하여 녹색점멸신호시간을 제공하고 있다. 이러한 보행신호시간을 운영한 결과, 우리나라의 횡단보도에서는 <그림 2>와 같은 현상을 흔히 볼 수 있다. <그림 2>의 왼쪽은 녹색신호에서 녹색점멸신호로 바뀐 순간의 현장사진으로 보행녹색신호시간이 보행자수요를 충분히 반영하지 못하는 것을 알 수 있다. 오른쪽사진은 녹색점멸신호에서 적색신호로 바뀔 때의 현장사진으로 보행신호시간이 종료되었음에도 불구하고 횡단보도에는 횡단을 완료하지 못한 보행자군이 잔류하여 위험에 노출되고 있는 것을 볼 수 있다.



<그림 2> 횡단보도 보행환경(건대입구)

미국의 HCM(2000)에서는 보행자군의 크기와 횡단보도의 폭을 고려한 보행신호시간을 제시하였다. 이 산정식의 특징은 지역적인 특성을 반영하여 보행속도를 적용하였으며, 보행자수요와 보행자군이 횡단함에 따라 보행자군의 크기가 변화하는 것을 고려했다는 점이다.

국내의 보행신호시간은 녹색신호시간과 녹색점멸신호시간으로 운영이 되며, 법규에 녹색점멸신호시간에 횡단을 시작하지 못하도록 규정하고 있다. 그런데 횡단보도를 이용하는 보행자 1,200명을 대상으로 보행신호시간에 대한 법규상의 의미와 현재의 보행신호 운영방법에 대해 설문조사를 한 결과, 녹색점멸신호의 의미에 대해 정확히 이해하고 있는 응답자는 전체 응답자의 37.4%에 불과하고 62.6%는 의미를 제대로 알지 못하거나 모르는 것으로 나타났다. 녹색점멸신호시간에 횡단하는 보행자의 심리상태는 응답자의 72.1%가 불안하다고 응답했으며, 현재의 녹색점멸신호시간이 횡단하는 보행자에게 불안감을 주고 있는 것으로 나타났다. 이는 보행자수요를 고려하지 않은 보행신호시간이 제공된 결과로 분석된다.

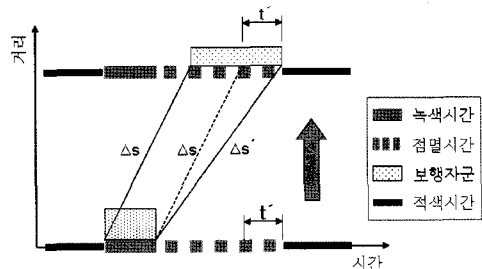
2. 접근방법

보행신호시간은 녹색신호시간과 녹색점멸신호시간으

로 구성되는데 녹색신호시간은 보행자가 횡단보도에 진입을 완료하는 시간을 의미하며, 녹색점멸신호시간은 녹색신호시간 이후, 보행자가 횡단을 완료하기 위해 필요한 시간을 의미한다.

보행신호시간을 산정할 때 보행자가 안전하게 횡단을 완료할 수 있도록 합리적인 녹색신호시간과 녹색점멸신호시간을 제공해야 한다. 보행자수요가 일정수준 이상일 때 보행자는 군을 형성하여 횡단한다. 횡단시 보행자군의 크기는 진행을 함에 따라 <그림 3>과 같이 커지게 된다. 또한 보행자수가 증가하면 보행자군의 크기는 비례하여 증가하게 된다.

따라서 합리적인 보행신호시간을 산정하기 위해서는 보행자수요와 횡단시 보행자군의 크기가 변화하는 것을 고려하여야 한다.



<그림 3> 보행자군 횡단 시공도

3. 현장조사 및 분석

산정식 개발을 위한 횡단보도 조사지점은 횡단보도를 이용하는 주방향 보행자수요가 주기당 40명 이상이고, 횡단보도폭은 8m인 지점을 대상으로 하였다. 횡단보도길이는 소로, 중로, 대로로 구분하였고 조사지점 현황은 <표 10>과 같다.

<표 10> 대상지역의 기하구조 및 신호운영 현황

구분		대로 (삼성SDS)	중로 (건대입구)	소로 (홍대입구)
기하구조 (m)	폭	8.0	8.3	8.3
	길이	33.0	22.1	12.0
신호시간 현황(초)	보행신호시간	40	20	20
	녹색신호시간	7	7	7
	점멸신호시간	33	13	13

현장조사는 캠코더로 촬영을 했으며, 횡단보도와 보행자가 잘 보이는 높은 위치에서 촬영했다. 지역별 특성을 반영하여 보행자가 가장 많은 6시간을 선정하여

연속적으로 촬영을 했으며, 워킹메저를 이용해서 횡단 보도의 길이와 폭을 조사했다.

보행신호시간 산정식 개발을 위해 보행자군의 수요(N_{PD}), 보행자군이 횡단보도 진입을 완료하는 시간(T_{PE}), 보행자군이 횡단을 완료하는 시간(T_{PF} , T_{PL})을 사용하여 통계 분석을 하였다.

현재 HCM(2000)에서 사용되고 있는 식을 제안한 Virkler(1998)의 논문을 참고로 변수들을 다음과 같이 정의하였다.

- N_{PD} : 보행자 교통량이 많은 방향의 보행자군의 보행자 수요(명)
- T_{PE} : 보행자군이 횡단보도 진입을 완료한 시간(초)
- T_{PF} : 보행자군의 선두보행자가 횡단을 완료한 시간(초)
- T_{PL} : 보행자군의 후미보행자가 횡단을 완료한 시간(초)

보행신호시간 산정에 사용되는 변수의 조사결과는 <표 11>과 같다.

<표 11> 보행신호시간 산정을 위한 자료 분석

구분	대로	중로	소로	
관측수(주기)	123	118	117	
N_{PD} (명)	평균	17.7	17.2	19.2
	표준편차	10.3	12.1	9.1
	최소값	3	2	6
	최대값	53	58	53
T_{PE} (초)	평균	4.50	4.43	4.66
	표준편차	1.62	2.35	1.60
T_{PF} (초)	평균	21.54	15.18	8.91
	표준편차	1.59	1.37	1.03
T_{PL} (초)	평균	31.47	25.11	16.77
	표준편차	3.71	4.04	2.71

4. 보행신호시간 산정

1) 각 변수들의 상관관계

보행신호시간에 영향을 미치는 변수를 선정하기 위해 N_{PD} 와 T_{PE} , T_{PF} , T_{PL} 사이의 상관관계를 분석하였다. <표 12>에서와 같이 N_{PD} 와 T_{PE} , T_{PL} 과의 상관관계는 상당히 높게 나타났지만, ' N_{PD} vs T_{PF} '는 낮은 상관관계를 나타내고 있다. ' N_{PD} vs N_{PE} '의 상관계수는 0.83이 상으로, 보행자수요(N_{PD})와 보행자군이 횡단보도 진입을 완료하는 시간(N_{PE})과의 상관관계가 높게 나타났다. ' N_{PD} vs T_{PF} '는 상관계수가 아주 작으므로 보행자수요와

보행자군의 선두보행자가 횡단을 완료하는 시간(T_{PF})은 서로 상관관계가 없다고 할 수 있다. ' N_{PD} vs N_{PE} '은 상관계수가 0.82이상으로 보행자수요와 후미 보행자가 횡단을 종료하는 시간과의 상관관계가 높았다.

<표 12> 보행자수요(N_{PD})와 변수와의 상관계수 분석

구분	N_{PD} vs T_{PE}	N_{PD} vs T_{PF}	N_{PD} vs T_{PE}
대로	0.83	-0.25	0.82
중로	0.85	-0.05	0.87
소로	0.86	0.18	0.85

횡단시의 보행자군 크기 변화를 알기 위해 출발시 보행자군의 크기(T_{PE})와 도착시 보행자군의 크기($T_{PL}-T_{PF}$)를 비교하였다. 출발시 보행자군의 크기는 도로폭에 따라 차이가 거의 없었고, 도착시 보행자군의 크기는 <표 13>과 같이 도로폭에 따라 차이가 있었다. 출발과 도착시의 보행자군 크기를 도로폭에 대해 t-검정한 결과, 유의 수준 0.05에서 출발시 대로, 중로, 소로의 각 보행자군의 크기(T_{PE})는 차이가 없었다. 도착시 대로와 중로의 보행자군 크기와 소로의 보행자군 크기는 차이가 있었고, 대로와 중로의 경우는 차이가 없었다.

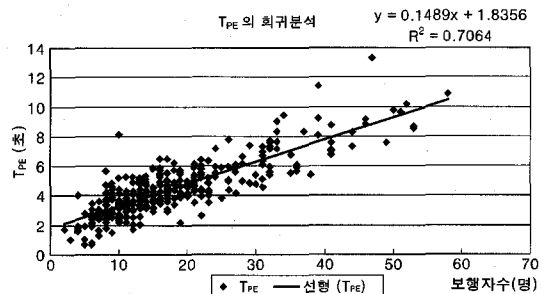
<표 13> 보행자군의 크기변화 비교 분석

구분	대로	중로	소로
$T_{PE} : T_{PL}-T_{PF}$	4.50 : 9.23	4.43 : 9.90	4.66 : 7.84

보행자군이 횡단보도에 진입을 완료하기까지 소요되는 시간(T_{PE})을 종속변수로 보행자수요(N_{PD})를 독립변수로 하여 회귀분석을 하였다. 보행자수요(N_{PD})와 보행자군의 횡단보도 진입시간(T_{PE})은 $R^2 = 0.71$ 로 상관관계가 높게 나타났다.

$$T_{PE} = 0.15(\text{초/명})N_{PD} + 1.84(\text{초}) \quad (1)$$

$$R_2 = 0.71$$



<그림 4> 보행자수요와 보행자군이 횡단보도에 진입완료하기까지 소요되는 시간과의 관계도

T_{PE} 에는 인지반응시간이 포함되어 있지 않으므로 T_{PE} 에 인지반응시간을 더하면 녹색신호시간을 구할 수 있다.

$$T_G = 0.15(\text{초/명})N_{PD} + 1.84 + t \quad (2)$$

T_G : 녹색신호시간(초)

N_{PD} : 보행자수(명)

t : 인지반응시간(초)

2) 보행신호시간 산정식

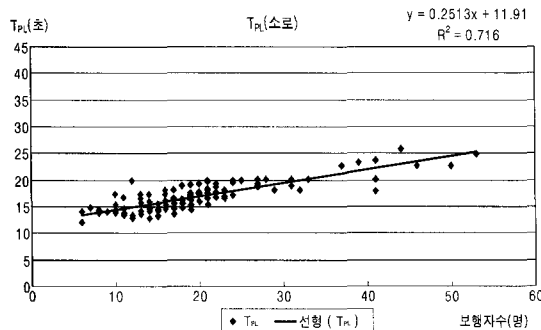
녹색신호시간은 보행자수요를 고려하여 앞서 제시하였다. 현재 녹색점멸신호시간 산정시 보행자군이 일정한 형태로 진행한다고 가정하지만, 실제로는 <표 13>과 같이 보행자군의 크기가 횡단거리에 따라 변하는 것으로 나타났다.

보행신호시간 산정을 위해 도로폭별로 보행자군의 후미보행자가 횡단을 완료한 시간(T_{PL})을 종속변수로 보행자수(N_{PD})를 독립변수로 회귀분석한 결과는 <표 14>와 같다.

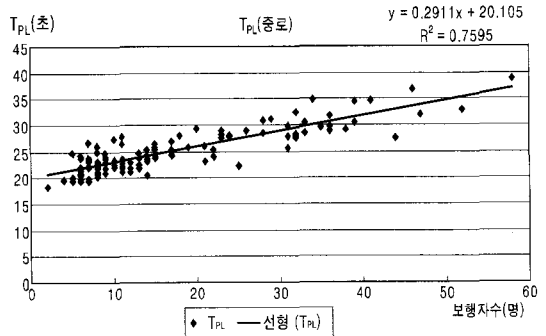
<표 14>에서 N_{PD} 의 계수들은 도착할 때 보행자 한 명당 소요되는 시간이다. 즉 계수값은 도착보행자의 평균도착율(초/명)이 된다. 중로와 대로의 평균도착율은 0.29(초/명)와 0.30(초/명)으로 비슷함을 알 수 있다. 그에 비해 소로의 평균도착율은 중로와 대로에 비해 작은 것을 알 수 있다.

<표 14> T_{PL} 의 회귀분석 결과

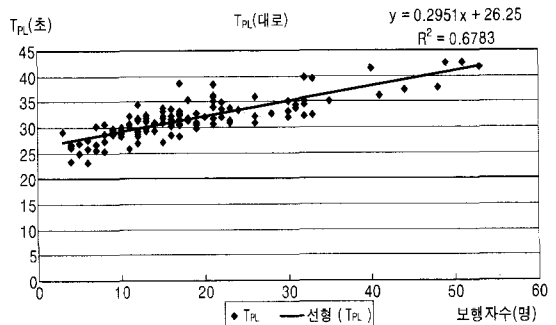
구분	차로별 T_{PL} 의 회귀분석식
소로	$T_{PL} = 0.25N_{PD} + 11.91$ ($R^2 = 0.72$)
중로	$T_{PL} = 0.29N_{PD} + 20.11$ ($R^2 = 0.76$)
대로	$T_{PL} = 0.30N_{PD} + 26.25$ ($R^2 = 0.68$)



<그림 5> 보행자수요와 보행자군의 후미보행자가 횡단을 완료한 시간과의 관계도(소로)



<그림 6> 보행자수요와 보행자군의 후미보행자가 횡단을 완료한 시간과의 관계도(중로)



<그림 7> 보행자수요와 보행자군의 후미보행자가 횡단을 완료한 시간과의 관계도(대로)

횡단거리에 따른 보행자군의 크기를 t-검정을 한 결과, 중로와 대로의 보행자군 크기 차이가 없다고 나타났다. 즉, 보행자군의 크기는 도로폭이 넓어짐에 따라 증가하지만, 중로와 대로에서는 차이가 없게 나타났다. 이를 반영하여 도로폭을 대로·중로와 소로로 구분하여 산정식을 제시하였다.

보행신호시간 산정식은 도착보행자의 평균도착율을 녹색신호시간 식(2)의 평균출발율에 적용하고, 보행자가 횡단보도를 횡단하는데 소요되는 시간(L/V)을 더하여 식(3)과 (4)와 같이 도출하였다. 따라서 식(3)과 (4)는 보행자수요와 보행자군의 크기변화를 반영한 식이라 할 수 있다.

$$T_S = 0.25N_{PD} + L/V + t + 1.84 \quad (3)$$

$$T_L = 0.30N_{PD} + L/V + t + 1.84 \quad (4)$$

T_S : 소로의 보행신호시간

T_L : 중·대로의 보행신호시간

N_{PD} : 보행자수(명)

L : 횡단보도 길이(m)

V : 횡단보행속도(m/s)

t : 인지반응시간(초)

위에서 제안된 식은 폭이 8m인 횡단보도의 보행신호시간 산정식이다. 다양한 횡단보도폭에 적용할 수 있도록 일반식을 유도하면 식(5)~식(8)과 같으며, 이것은 횡단보도폭 단위 m당 횡단보행자의 평균출발율과 평균도착율을 적용한 것이다.

$$T_s = 2.0N_{PD}/W + L/V + t + 1.84 \quad (5)$$

$$T_L = 2.4N_{PD}/W + L/V + t + 1.84 \quad (6)$$

$$T_G = 1.2N_{PD}/W + t + 1.84 \quad (7)$$

$$T_F = (T_s \text{ 또는 } T_L) - T_G \quad (8)$$

T_F : 녹색점멸신호시간(초)

실제 현장에서 횡단보도폭에 따라 식(5)~식(8)이 적합한지 확인하기 위해 횡단보도폭이 5.5m, 14m인 두 개 지점을 선정하여 T_{PE} 와 T_{PL} 의 식을 비교 분석한 결과 <표 15>, <표 16>과 같이 실제 데이터와 일반식에서의 계수 사이에는 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

<표 15> 실제 데이터와 일반식의 T_{PE} 의 N_{PD} 계수 비교 (단위: 초/명)

구분	5.5m(소로)	8m(중로)	14m(대로)
실제데이터	0.21	0.15	0.08
일반식	0.22	0.15	0.09
	$1.2 \times N_{PD}/W$ W : 도로폭(m), N_{PD} : 보행자수요(명)		

<표 16> 실제 데이터와 일반식의 T_{PL} 의 N_{PD} 계수 비교 (단위: 초/명)

구분	5.5m(소로)	8m(중로)	14m(대로)
실제데이터	0.36	0.30	0.16
일반식	0.36	0.30	0.17
	소로 : $2.0N_{PD}/W$, 중·대로 : $2.4N_{PD}/W$ W : 횡단보도폭(m), N_{PD} : 보행자수요(명)		

3) 제안된 보행신호시간 적용 예

본 연구에서 조사된 횡단보행속도와 인지반응시간의 평균값 1.3m/s, 2.24초를 적용한 보행신호시간 산정식은 <표 17>과 같다.

<표 17> 보행신호시간 산정식

구분		산정식
보행신호 시간(초)	소로(T_s)	$0.25N_{PD} + L/1.30 + 4.08$
	중·대로(T_L)	$0.30N_{PD} + L/1.30 + 4.08$
녹색신호시간(T_G)		$0.15N_{PD} + 4.08$
녹색점멸신호시간(T_F)		$(T_s \text{ 또는 } T_L) - T_G$
L : 횡단보도 길이(m), N_{PD} : 보행자수요(명)		

도로폭을 소로는 10m, 중로와 대로는 20m, 30m로 가정하여 <표 17>의 식을 적용한 결과, 녹색신호시간은 도로의 크기에 영향을 받지 않으므로 각 도로폭에 대해 동일한 값이 산출되었으며, 녹색점멸신호와 보행신호시간은 횡단보도폭에 따라 <표 18>과 같이 산출되었다. 적용예에 따르면 도로폭에 관계없이 보행자수요가 20명이 넘는 경우에 약 7초 이상의 녹색시간이 필요한 것으로 나타났다. 이 적용예를 보면 미국의 MUTCD에서 보행자가 20명 이하일 때 녹색신호시간을 7초를 적용하는 것과 동일함을 알 수 있다.

현재 운영중인 보행신호시간과 본 연구에서 제안된 식에 의해 산출된 보행신호시간을 비교하기 위해 실제 수집된 자료를 사용하였다. 대상지역은 본 연구를 위해 데이터를 수집한 3개 지역과 같으며, 각 지역의 보행자수, 각 지역 보행자수의 최소값, 평균값, 최대값에 대해 산출된 결과는 <표 19>와 같다. 보행자수가 평균값 이상이 되면 3지역 모두 기존의 녹색신호시간이 부족한 것으로 나타났다.

<표 18> 보행신호시간 산정식 적용예 (단위: 초)

보행자 수요 (명)	녹색 신호 시간	소로(10m)		중로(20m)		대로(30m)	
		점멸 신호 시간	보행 신호 시간	점멸 신호 시간	보행 신호 시간	점멸 신호 시간	보행 신호 시간
10	6	8	14	16	22	24	30
20	7	10	17	18	25	26	33
30	9	10	19	19	28	27	36
40	10	12	22	21	31	29	39
50	12	12	24	22	34	30	42
60	13	14	27	24	37	32	45

<표 19> 기존 신호시간과 제안된 보행신호시간 비교

보행자 수요 신호 시간	대상지역	홍대입구		건대입구		삼성SDS앞	
		기존	제안	기존	제안	기존	제안
		최대값	53	58	53		
평균값	19	17	18				
최소값	6	2	3				
녹색신호시간(초)	최대값	7	12	7	13	7	12
	평균값	7	7	7	7	7	7
	최소값	7	5	7	4	7	4
녹색점멸시간(초)	최대값	13	15	13	25	33	33
	평균값	13	11	13	19	33	28
	최소값	13	10	13	18	33	26
보행신호시간(초)	최대값	20	27	20	38	40	45
	평균값	20	18	20	26	40	35
	최소값	20	15	20	22	40	30

그러나 보행신호시간은 신호시간 설계시 차량 최소녹색신호시간 산정에 영향을 미친다. 따라서 대로(특히 광로)와 소로(또는 중로)의 교차로에서 대로의 보행신호시간을 제공하기 위해 교통량이 적은 소로에 과도한 차량녹색신호시간을 제공하여 차량지체가 증가하는 경우가 발생할 수 있다. 이 때 대로의 보행신호시간을 횡단거리에 비례하여 무한정 늘릴 수는 없고, 이러한 비효율적인 신호시간이 설계되는 것을 방지하기 위해 현재 일부에서도 중앙에 보행자 대기공간을 두는 이단횡단보행방식이 운영되고 있다. 이 경우, 신호운영자가 전체 시스템의 효율성을 고려하여 보행신호시간의 현실적인 임계값(또는 최대값)을 설정한 후 이단횡단보행방식의 운영여부를 결정할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 국내 및 외국 사례 분석, 광범위한 보행자특성조사, 보행신호시간 운영방법에 대한 설문조사 등을 통해 보행자수요, 보행자특성 및 주변지역 특성 등을 고려한 보행신호시간 산정식을 제안하였다. 또한 실제 현장자료를 이용하여 현재의 보행신호시간과 본 연구의 제안식에 의해 산출된 보행신호시간을 비교, 분석하였다.

조사된 자료의 분석결과 서울시 보행자의 평균 횡단보행속도는 1.30m/s, 15th percentile속도는 1.11m/s로 나타났다. 인지반응시간은 평균 2.24초로 조사되었다. 횡단보행속도는 토지이용, 도로폭, 연령, 개인/그룹, 성별에 따라 차이가 있었고, 인지반응시간은 도로폭, 연령, 개인/그룹에 따라 차이가 있었다. 또한 각 분석결과에 대한 통계검정을 실시하여 본 연구에서 조사된 자료의 신뢰성을 확보하였다. 따라서 이 자료들은 추후 관련 연구에 기본자료로 활용이 가능할 것이다.

보행자특성 현장조사 및 보행자 설문조사 분석결과를 종합해 보면 현재의 보행신호시간과 그 운영방법은 개선이 시급한 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 보행자의 수요, 보행자특성 및 횡단보도 기하구조 등을 고려한 합리적인 보행신호시간을 산출할 수 있는 산정식을 회귀분석을 통해 개발하였다.

보행신호시간 산정식을 살펴보면, 녹색신호시간은 횡단보도 길이의 영향을 받지 않고 보행자수요와 상관관계가 높은 것으로 나타나 횡단보도 길이에 관계없이 하나의 산정식으로 제안되었다. 또한 횡단시 보행자군의 크기는 소로에서 중로까지는 횡단보도 길이에 따라

증가하였으나 그 이상의 길이에서는 증가하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 보행신호시간 산정식은 소로와 중로 이상에 대해 각각 제안되었다.

기존의 보행신호시간과 본 연구에서 제안된 식에 의해 산출된 값을 비교한 결과 보행자수요가 증가하여 평균 이상이 되면 기존의 녹색신호시간과 보행신호시간이 부족한 것으로 나타났다. 이 결과는 녹색신호시간의 길이가 충분치 못하다는 점에서 앞에서 수행된 설문조사 분석결과와 일치한다.

참고문헌

1. 경찰청(1996), "교통안전시설실무편람", p.46.
2. 대한교통학회(2004), "도로용량편람", pp.482~491.
3. 민예기(1983), "보행자 보행속도조사", 도로교통안전협회, 제2집, pp.426~430.
4. 박용진, 손한철, 박종규, 김종태(2001), "보행자 신호체계에 대한 새로운 제안", 대한교통학회지, 대한교통학회, 제19권 제3호, pp.3~11.
5. 원제무(2000), "알기쉬운 도시교통", 박영사.
6. 장덕명, 박종규(1992), "횡단보도 보행자의 횡단 특성에 관한 연구", 도로교통안전협회, pp.32~52.
7. FHWA(2000), "Manual on Uniform Traffic Control Device", pp.4E1~4E14.
8. Highway Capacity Manual(2000), TRB, National Research Council Washington D.C. pp.11-1~11-14, pp.16~5.
9. Kim, Hyung Jin et al(2003), "Analysis of Pedestrian Traffic Signal Considering Land Use and Pedestrian Characteristics", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, pp.3345~3360.
10. Knoblauch, Richard L et al(1996), "Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time", Transportation Research Record 1538, TRB, pp.29~38.
11. Traffic Engineering(1962), "A Program for School Crossing Protection-A Recommended practice of the Institute of Traffic Engineers", pp.51~52.
12. Virkler, M. R.(1998), "Scramble and Crosswalk Signal Timing", Transportation Research Record

1636, TRB, pp.83~87.

13. Virkler, M. R. and Guell, D. L.(1984),
"Pedestrian Crossing Time Requirements at
Intersections", Transportation Research

Record 959, TRB, pp.47~51.

14. 交通工學研究會(1994), "交通信號の手引", pp.45
~46.

✉ 주 작 성 자 : 안계형

✉ 교 신 저 자 : 안계형

✉ 논문투고일 : 2006. 4. 20

✉ 논문심사일 : 2006. 5. 31 (1차)

2006. 6. 27 (2차)

✉ 심사판정일 : 2006. 6. 27

✉ 반론접수기한 : 2006. 12. 31