

□ 論 文 □

신호횡단보도 보행등 녹색신호시간에 관한 연구

EVALUATION OF PEDESTRIAN SIGNAL TIMING AT SIGNALIZED INTERSECTION

張 德 鳴

(道路交通安全協會 研究委員)

朴 鐘 圭

(道路交通安全協會 研究員)

目 次

I. 서론

II. 문헌고찰

III. 연구방법

IV. 자료분석

V. 자료평가

VI. 결론

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the pedestrian signal time involving green and flashing green times. The minimum pedestrian green indication should give time for pedestrian to start crossing safely, and the flashing green indication should give time to complete the crossing.

An average pedestrian crossing speed of 1.1(m/s) was estimated by analyzing the field data which was slower than the 1.2(m/s) currently used. Furthermore, the study proposed that design speed for the flashing green time should be slow speed for considerations of pedestrian safety, not the average speed. The 0.78-1.01(m/s) of pedestrian speed was estimated at the elementary school areas that indicated 0.2(m/s) slower than the other areas.

The pedestrian starting time (perception/reaction time) and time headway from front to back of herd was estimated to determine minimum pedestrian green time. The pedestrian starting time was ranged 2.52-4.29 seconds. The time interval between the pedestrian rows was found to be 1.25-1.86 seconds, which declines as the pedestrian rows increases. The equation to calculate the pedestrian signal time is proposed using the pedestrian starting time, the time interval between the pedestrian rows, and pedestrian crossing speed given area types (commercial, business, mixed, and elementary school areas), number of both-directional pedestrians for a cycle, crosswalk length and width.

I. 서론

현재 우리나라는 교통사고를 줄이기 위한 정책의 일환으로 전체 교통사고의 50% 이상을 차지하는 보행자 사고의 해결방안이 절실히 요구되어진다. 교차로에서의 신호등시간을 차량소통 위주로만 운영하여 횡단보도의 보행등 신호시간이 부적합하다고 문제시되어 왔다. 지난 1991년 1년동안 우리나라의 총 교통사고발생 265,964건 중 횡단보도 횡단중 보행자 사고는 13,046건 (4.9%)으로 635명이 사망하고 13,528명이 부상하였다 (1). 횡단보도 횡단중 보행자 사고가 높게 발생되므로서 횡단보도도 더이상 보행자에게 안전한 장소가 되지 않고 있다. 현재 서울을 제외한 우리나라 보행자 보행등의 시간결정은 보행자 횡단보도 보행속도를 우리나라 보행자의 특성이 고려되지 않은, 미국에서 통상 사용하는 평균 보행자 속도인 1.2미터/초(m/s)를 기준값으로 하여 적용하고 있다 (4).

또한 보행자 속도뿐만 아니라, 운전자와 보행자도 신호등 (적색, 녹색, 녹색점멸)의 의미를 정확하게 인식하지 못하고 있다. 본 논문은 도시부 횡단보도를 중심으로 횡단보도에서의 보행자 특성을 분석하여 현행 보행자 보행등의 신호시간의 문제점 및 해결 방안을 도출함에 목적이 있다. 본 연구는 횡단보도 보행자 녹색 신호시간과 녹색점멸 신호시간을 포함하여, 적합한 보행등 신호시간의 산출을 제안한다. 보행자 횡단 소요시간에 의하여 최소 보행자 녹색 신호시간과 최소 주기의 길이를 결정할 수 있다. 보행자 횡단 소요시간이 불충분하게 제공된다면 횡단보도를 통행하는 보행자들의 횡단 위험도는 높아질 것이고, 반대로 불필요하게 긴 횡단 소요시간은 차량소통에 지체를 초래하게 될 것이다.

II. 문헌고찰

현행 횡단보도 보행자 보행속도의 국내 기준은 신호기의 종류 및 운영에 관한 지침서인 교통안

전시설 실무편람 (2)에 의하면, 보행자 횡단소요시간은 보행자의 횡단 보행속도, 보행자가 횡단하는 길이, 보행자수 및 횡단보도의 폭을 적용하여 다음과 같은 식을 제안하고 있다.

$$PT = L/1.2 + 1.7(N/W - 1)$$

여기서, PT = 보행자가 도로를 횡단하는데 소요되는 시간 (초)

L = 보행자가 횡단하는 길이 (미터)

N = 1회에 한 방향으로 횡단하는 보행자의 수 (명)

W = 횡단보도의 폭 (미터)

그러나 보행자의 횡단 보행속도 1.2(m/s)는 현재 보행등 신호시간 계산에 일률적으로 적용하여 운영해온 결과 보행 신호시간이 전체적으로 짧아져서 보행자 안전에 많은 문제점을 드러내고 있다. 보행자 횡단 소요시간 산출식도 횡단하는 사람수는 고려되었지만 추정된 매개변수 1.7을 사용하고 보행자가 보도에서 대기중 줄을 맞추어 엄격한 질서를 지킨다고 가정된 식이므로 실제 적용에는 문제가 있다. 더우기 현재 서울을 제외한 국내에서 실제 보행등 신호시간의 산출을 위하여 아래식을 사용하고 있는데 이것은 보행자가 횡단할때 영향을 받는 인자 (보행자수, 대기행열, 행간의 시간간격)들이나 횡단보도의 특성의 하나인 횡단보도폭이 전혀 고려되지 않는 아주 간단한 방법으로(3), 미국의 Pignataro (4)가 제안한 다음의 식을 준용하고 있다.

$$PT = L/V + T$$

여기서, PT = 보행자가 도로를 횡단하는데 소요되는 시간 (초)

L = 횡단보도 길이 (미터)

V = 횡단 보행속도, 1.2(m/s)

T = 5초 이내의 여유시간 (초)

외국의 경우 적정수준의 보행자 횡단 소요시간을 산정하기 위해 다양한 방법들이 사용되어져

왔다. 다음의 Traffic Engineering (5)에 의해 제안된 절차에서는 앞에서 설명된 국내의 교통안전시설 실무편람의 식과 같이 횡단하는 사람의 수는 고려되었지만, 근본적인 결점은 추정된 매개변수들을 사용한 점과 엄격한 질서 즉, 다섯사람이 하나의 행을 구성하여 횡단한다고 가정했다는 점에 있다.

$$TGap = 3 + 2(N-1) + (L/3.5) \quad (5)$$

여기서, 3 = 추정된 인지, 반응 시간 (초)

2 = 전진하는 행과 행사이의 추정된 시간간격 (초)

N = 길을 횡단하는 다섯사람 행의 숫자

L = 횡단보도의 길이 (피트)

미국의 Mark Virkler (6)는 보행 신호등이 있는 교차로에서의 보행자 횡단 행태에 관한 여러 가지 기법들을 비교 분석하였다. 그는 보행자 횡단 평균 속도와 평균 밀도를 안다면 보행자 녹색 신호시간은 산출할 수 있다고 서술하였다.

현행 우리나라 보행자의 횡단보행속도 기준은 미국 (MUTCD에서 권고)에서 통상적으로 사용하는 기준인 평균 보행속도 1.2(m/s)를 따르고 있다. 그러나 이 기준은 미국의 정상적인 일반 보행자의 보행속도로서 미국에서 조사된 바로는 횡단 보행속도값으로는 적용하는 데 문제가 있는 것으로 다음 내용과 같이 밝혀졌다. 조사된 보행자의 40%는 1.2(m/s) 이상의 속도로 보행하고 보행자의 15% (설계 권장값)는 1.07(m/s) 이하의 속도로 보행하며 (9), 보행자의 평균 보행속도는 1.13(m/s)이며 보행자의 35%는 1.2(m/s) 이하로 보행을 한다 (10). 국내에서 보행자 속도를 조사한 결과에 의하면 다음과 같다. 횡단 보행속도가 남자 1.2(m/s), 여자 1.05(m/s)로 보행을 기준하여, 빠른 경우가 조사인원의 43.0% (4,855명)이고 느린 경우가 56.0% (6,180명)로서 느린 사람의 비중이 높고 (11), 횡단 보

행속도가 1.2(m/s) 미만인 경우 56.3% (171명), 1.2(m/s) 이상인 경우 43.7% (133명)로 보고되었다 (12).

기타 국가의 횡단 보행속도를 살펴보면, 일본은 보행 녹색시간 (Green Time)에 1.0(m/s)를, 녹색 점멸시간 (Flashing Green Time)에 1.5(m/s)를 분리 사용하고, 스웨덴은 0.9-1.1(m/s) 범위에서 여건을 고려하여 적용토록 하고 있다. 현행 횡단보도 보행속도 기준 1.2(m/s)는 국내 보행여건을 고려하지 않은 외국 기준에 비해 9.5-33.3% 높고 빠른 값이다. 더우기 문제는 보행시간 계산시 각각의 횡단 보도별 보행여건을 고려치 않고 횡단보도 보행속도 기준을 일률적으로 적용하고 있어 보행자에게 횡단 보행 시간을 충분히 제공하지 못하여 횡단보도 횡단시 항상 사고의 위험을 안고 있다는 것이다. 따라서 보행자의 횡단보도 보행속도는 보행자의 횡단보행 여건을 고려하여 일반 보행속도와는 개념이 분리된 새로운 방법이 개발되어야 한다.

III. 연구방법

1. 연구범위

본 연구를 수행키 위해 연구범위를 공간적, 내용적, 시간적으로 대별하였다. 공간적 범위는 보행자의 특성이 보행 목적별, 지역 인구밀도, 주변 시설 현황, 성별, 나이별등에 따라 다양하게 나타나므로 많은 조사 대상지점을 필요로 하나 여기에서는 연구 기간의 제한으로 보행자 신호등과 횡단보도가 있는 서울지역 보행자 사고다발 교차로를 대상으로 20개소에 한정하여 연구대상 지점으로 설정하고 다음과 같이 분류하였다. 상가 밀집지역 (4개소), 일반 업무지역 (4개소), 혼합지역 (10개소), 국민학교 앞 (2개소). 이 연구에서 혼합지역이란 특정지역으로 한정키 어려운 지역으로서 아파트 밀집지역, 일반 주거지역 및 지

하철역 근처 교차로로 규정되었다.

보행자 연구를 위해 일반적으로 조사되어야 할 사항들은 다음과 같은 것들이 있다. 교차로 현황 (차선수, 교통량), 차량 및 보행등 신호시간, 횡단보도 현황 (위치, 폭, 횡단거리), 보행자 횡단보도 보행속도 (개인별, 횡단그룹별, 성별, 연령 그룹별), 횡단 인원수 (성별, 연령별), 횡단위반 인원 (성별, 연령별), 보행 장애자 인원, 기타 (가로등, 보도폭, 버스 및 택시 정류장거리, 보행 장애요인 등). 그러나 본 연구에서는 보행 장애자 및 기타 사항들은 연구내용에서 제외하였다.

시간적 범위는 주야간 시간대별로 첨두시간 (Peak-Hour), 비 첨두시간 (Off Peak-Hour)으로 나누어 조사하였으며 각 교차로 및 횡단보도 방향별 일일 총 150주기가 조사되어졌다. 시간적 제한으로서는 다음과 같다. 악천후 및 우천시는 제외, 주말은 주중보다 교통여건의 변동이 크지 않으므로 주말은 제외, 조사기간이 여름철이므로 계절별은 제외하였다.

2. 분석 방법론

횡단보도 보행등 녹색 및 녹색 점멸시간을 <식 1>을 근거로 다음과 같은 기본공식 <식 2>를 산출해내는 것이 이 연구의 궁극적인 목적이다.

$$PT = (A + B + C) \dots\dots\dots <식 1>$$

여기서, PT = 최소 보행등 녹색 및 녹색 점멸 시간 즉, 최소 보행자 횡단소요 시간

A = 횡단 출발 인지반응 시간

B = 보행자 대기 행렬수에 따른 지체 시간

C = 보행자 횡단실행 소요시간

$$PT = t + H*(R-1) + (L/Vp) \dots <식 2>$$

여기서, PT = 보행자 횡단시작을 허용하는 시점에서부터 마지막 보행자가 횡단을 마치는 시점까지의 횡단 소요시간, 최소 보행자 횡단 소요시간

t = 보행자 횡단 출발 인지반응 시간

H = 보행자 대기 행렬수에 따른 지체시간 간격

R = 보행군의 행의 수

L = 횡단보도의 길이

Vp = 보행자 횡단보도 보행속도

여기서 보행 신호등 (적색, 녹색 및 녹색 점멸)의 의미가 올바르게 규정되어야 한다. 본 연구의 보행 신호등 정의는 다음과 같다.

- o 적색 (서있는 사람 모습) ... 진입 및 횡단 금지
- o 녹색 (걷는 사람 모습) ... 진입 및 횡단 가능
- o 녹색 점멸 (걷는 사람 모습) ... 진입 금지, 횡단 완료

적색 및 녹색 보행 신호등은 정의가 이해하기 쉬울 뿐더러 운전자 및 보행자들이 이미 보편적으로 신호규칙을 잘 지키고 있다. 하지만 보행자 녹색점멸신호는 운전자 및 보행자뿐만 아니라 신호 관계자 역시도 정확한 정의를 잘 모르고 있는 실정이다. 최소 보행자 녹색 신호는 횡단하기 위해 대기하고 있는 모든 보행자가 무사히 횡단을 시작할 수 있도록 충분한 시간이 주어져야 한다. 또한 위에서 정의된 녹색 점멸 신호등을 다시 부연 설명한다면, 녹색 신호등이 끝난 후 횡단보도에 도착한 보행자는 절대 진입을 하여선 안되며 녹색 점멸전 (녹색 신호시)에 이미 횡단을 시작한 보행자는 반대편 횡단보도 (또는 중앙 안전섬)까지 횡단을 계속하여 무사히 마칠 수 있도록 시간이 설정되어야 한다. 따라서, 앞에서 정의된 <식 2>를 세분화하여 정의하면 다음과 같다.

o 최소 보행자 녹색점멸 신호시간 = (L/Vp)

o 최소 보행자 녹색 신호시간 = t + H*(R-1)

앞에서 정의된 <식 2>에서 최소 녹색점멸 신

호시간은 횡단길이 (L)와 교차로의 특성에 따라 산출된 보행속도 (Vp)에 의해 구하여지는 보행자의 횡단 소요시간의 값과 같아야 한다. 횡단보도 보행속도는 횡단 길이와 횡단 시간에 의하여 구해 지는데, 횡단 소요시간은 양방향의 보행자수와 횡단보도의 폭에 의하여 영향을 받게 된다. 따라서 횡단보도 보행속도는 보행자 밀도에 의해 변화한다.

또한 횡단 보행속도는 지역종류, 하루중의 시간대, 날씨, 그리고 나이, 성별등에 따른 보행자 및 횡단보도의 유형에 의해 변화한다. 따라서 매우 다양하고 복잡한 상황들에 걸맞는 지침을 세우는데 있어 사용될 지수로서 횡단보도의 서비스 수준 (Level-Of-Service)의 개념을 도입하였다. 지역 유형에 따른 횡단보도 보행속도 대 밀도 분포관계를 추정하고 밀도와 지역 유형에 따른 서비스 수준을 설정하여 최종적으로 설정된 서비스 수준과 지역 유형에 따라서 최소 보행자 녹색점멸 신호시간의 산출을 위한 설계 보행속도를 산정하기 위하여 다음과 같은 절차를 사용하였다.

1. 횡단보도 보행속도는 보행자에게 안전이 고려된 충분한 보행시간을 주기위하여 표본(Sample) 속도는 첫번째 대열의 대기보행자중 첫번째 사람의 발이 보도 연석에서 횡단보도에 착지되는 시간부터 반대편 연석에 마지막 도착한 사람이 발을 밟는데 걸리는 시간으로 하며, 다음의 공식으로 정의한다.

$$SSP = (L/TF1 + L/TF2) / 2 \dots\dots <식 3>$$

여기서, SSP = 양방향 횡단 표본속도 (m/s)

L = 횡단보도의 길이 (m)

TO = 대기보행자중 첫번째 사람의 발이 보도연석에서 횡단보도에 착지되는 시간

TF1 = 한쪽 방향의 횡단보도에서 TO를 기점으로 첫번째 대열의 대기 보행자중 반대편연석에 마

지막 도착한 사람이 발을 밟는데 걸리는 시간

TF2 = 다른쪽 방향의 횡단보도에서 TO를 기점으로 첫번째 대열의 대기 보행자중 반대편연석에 마지막 사람이 발을 밟는데 걸리는 시간

2. 위에서 계산 산출된 양방향 횡단 보행 속도 (SSP)의 평균값이 아닌 안전이 고려된 15th Percentile을 그 횡단 보도의 보행속도로 정한다.
3. 횡단보도의 보행자수도 안전을 고려하여 평균 보행자수가 아닌 85th Percentile값을 그 횡단 보도를 대표하는 보행자수로 정한다.
4. 보행자 밀도는 횡단보도 단위면적당 보행자수로 나타내며, 본 연구에서 다음의 공식으로 정의한다.

$$DENSITY = Bn / (W * L)$$

여기서, DENSITY = 보행자 밀도 (ped/m²)

Bn = 양방향 보행자수

W = 횡단보도의 폭 (미터)

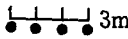
L = 횡단보도의 길이 (미터)

5. 지역 유형에 따른 보행속도 (SSP)의 15th Percentile 대 밀도분포 관계를 추정 하고 밀도와 지역 유형에 따른 서비스 수준을 설정한다. 최종적으로 설정된 서비스 수준과 지역 유형에 따라서 최소보행자 녹색점멸 신호시간의 산출을 위한 설계 보행속도를 산정한다.

조사자료가 방대하기 때문에 본 연구에 필요한 자료의 평가분석을 위해서 통계 프로그램중의 하나인 SAS를 사용하여 일반적으로 이용되는 통계치 들을 구하였다. 본 연구에서 통계분석된 항목들은 조사된 자료들을 이용하여 구한 보행자 횡단보도 보행속도, 보행자 수에 따른 밀도외에도 인지반응 시간, 보행자 대기 행렬수에 따른 지체 시간등이다. 또한 SAS프로그램을 이용하여 조사 자료의 각 횡단보도 방향별 보행자 속도 대 밀도

빈도 분포도를 도식화하여 Outliers를 삭제하고 컴퓨터 입력 오류를 교정한 후, 다음과 같은 통계 분포도를 구하였다.

- 1. 지역별 보행자 속도에 따른 빈도 (%) 분포도
- 2. 지역별, 시간대별 보행자수 분포도
- 3. 지역별 밀도에 따른 빈도 (%) 분포도
- 4. 지역별 보행자 속도 대 밀도 빈도 분포도

필요한 최소 보행자 녹색 신호시간을 결정하기 위해서는 횡단 출발 인지반응 시간 및 보행자 대기 행렬수에 따른 지체시간을 산출하여야 한다. 보행자 인지반응 시간 및 보행群的 대기 행렬수에 따른 지체시간의 결정을 위해 먼저 보행群的 행수를 산출하여야 한다. 보행群的 행수는 일방향 보행자수를 횡단보도의 폭당 수용할 수 있는 보행자수로 나눈 값과 같다. 본 연구에서는 보행群的 행의 수는 보행자간 측간격을 1미터로 하여 횡단폭 선상에 각 1인이 점유 (즉,  3m 인 경우 4인) 하는 것으로 하여 다음의 식에 의하여 구하여진다.

$$R = N/(W/LC+1)$$

여기서, R = 보행群的 행의 수

N = 보행자수

W = 횡단보도의 폭 (미터)

LC = 보행자간 측간격 (1 미터)

통상 국내의 교차로 신호주기가 120초를 초과 하는 현실에서 신호대기중에 있는 보행자들의 심리는 매우 빠른 인지반응 시간을 보여주고 있었다. 또한 현장조사 결과 보행群的 행의 수가 증가함에 따라, 인지반응 시간 및 행렬수에 따른 지체 간격시간의 값이 점점 감소한다는 사실이 횡단보도 보행자 특성의 하나로 나타났다. 외국의 참고 문헌에서 보행자 횡단 출발 인지반응 시간을 3-7초로 제안하고 있다. 본 연구에서는 보행자의 행의 수에 근거하여 인지반응 시간으로 조사한 자료들 중 85th Percentile 값을 사용하였다.

보행群的 대기 행렬수에 따른 지체시간은 연구

된 조사 문헌들에 의하면 1.5-2.5초로 제안하고 있다. 본 연구에서는 행 사이의 시간간격을 수집된 자료들 사이의 관련성에 기초하여 추정하였으며 수집된 자료중 보행群的 행의 수가 1보다 큰 경우의 데이터만을 사용하였다. 본 연구에서는 보행자의 행의 수에 근거하여 조사한 자료들 중 85th Percentile 값을 사용하였다. 따라서 보행群的 대기 행렬수에 따른 지체시간 (H)은 다음의 과정에 의하여 산출하였다.

- 1. 보행群的 행의 수 (R)가 1보다 큰 경우의 Data만 사용한다.
- 2. 선정된 Data를 다음의 공식에 대입하여 보행자 행 사이의 시간간격 H를 구했다.

$$H = (TS - TO)/(R - 1)$$

여기서, H = 보행자 대기 행렬수에 따른 지체 시간

TO = 대기 보행자중 첫번째 사람의 발이 보도연석에서 횡단보도에 착지되는 시간

TS = TO를 기점으로 대기 보행자중 마지막 사람의 발이 보도연석에서 횡단보도에 착지 되는데 걸리는 시간

R = 보행群的 행의 수

- 3. 자료들로부터 위 공식에 의해 구하여진 H를 행의 수 R의 구간에 의해 묶고, 각 R의 구간에 대한 각각의 H에 대한 85th Percentile 값을 구한다.

IV. 자료분석

본 연구는 현장 자료수집의 정확성에 유의하여 서울시내 소재 총 20개 교차로를 연구 대상지점으로 선정하여 주중 맑은 날, 연인원 375명을 투입하여 약 2개월동안 현장조사를 실시하였다. 조사 대상 자료는 총 5,189회를 측정하여 총 연

인원 215,391명을 통하여 수집하였다. 지역별로는 상가지역은 1,488회를 측정하여 연인원 77,412명, 업무지역은 1,297회를 측정하여 51,178명, 혼합지역은 2,229회를 측정하여 81,218명, 국민학교 지역은 175회를 측정하여 5,583명을 조사하였다. 그리고 현장 자료수집은 미리 설정한 조사 항목에 따라 시간대별로 기록하고 잘못 조사된 자료는 재조사를 시행하였다. 또한 자료 분석단계에서는 조사된 자료를 컴퓨터 프로그램 QPro를 이용하여 자료를 정리분석하였고 통계처리용 컴퓨터 프로그램 SAS를 사용하여 평가분석하였다.

조사 대상 전체 횡단보도의 공통적인 사항은 보행자수, 횡단보도 길이 및 폭에 비하여 보행등 신호시간이 짧았으며 특히 녹색점멸시간이 많이 부족하였고 또한 횡단보도폭이 합리적이지 못한 것으로 나타났다. 그리고 주기당 평균 보행자수는 상가지역 > 업무지역 > 혼합지역 > 국민학교 지역순으로 상가지역이 가장 높게 나타났고 위반자수는 혼합지역 > 상가지역 > 업무지역 > 국민학교 지역순으로 혼합지역에서 횡단보도 횡단 위반자가 가장 많이 발생하였다.

1. 지역별 횡단 보행속도 비교

지역별 횡단 보행자 속도는 각 교차로별로 작성한 자료들을 지역별로 분류하였다. 자료들중에서 안전을 고려한 늦은 보행자를 기준으로 보행속도 (SSP, <식 3> 참조)를 산출하여 통계자료를 구하고 빈도표를 작성하였으며, 이 빈도표를 이용하여 보행자 속도에 대한 빈도 분포도를 구성하였다. <표 1>은 지역별 보행속도의 통계분석 자료로서 그 내용을 살펴보면 업무지역의 보행속도가 다른 지역의 보행속도보다 빠른것으로 나타났으며 학교지역의 보행속도는 다른 지역에 비해 느린 양상을 보였다. 따라서 다른 지역에 비해 국민학교 지역은 보행신호시간을 길게 하여 주보행자인 국민학교 어린이가 안전하게 횡단보도를 통행할 수 있도록 하여야 한다. 혼합지역의 보행속도의 표준 편차가 큰 이유는 보행자의 유형이 다른 지역보다 다양하게 나타나기 때문이다. 본 연구에서 조사된 총지역에 대한 횡단 보행자 평균 속도는 1.1(m/s)로서 현행 신호시간 산정을 위해 사용되는 보행속도 1.2(m/s)보다 느리게 나타났다.

<표 1> 지역별 횡단보도 보행속도 통계 분석값

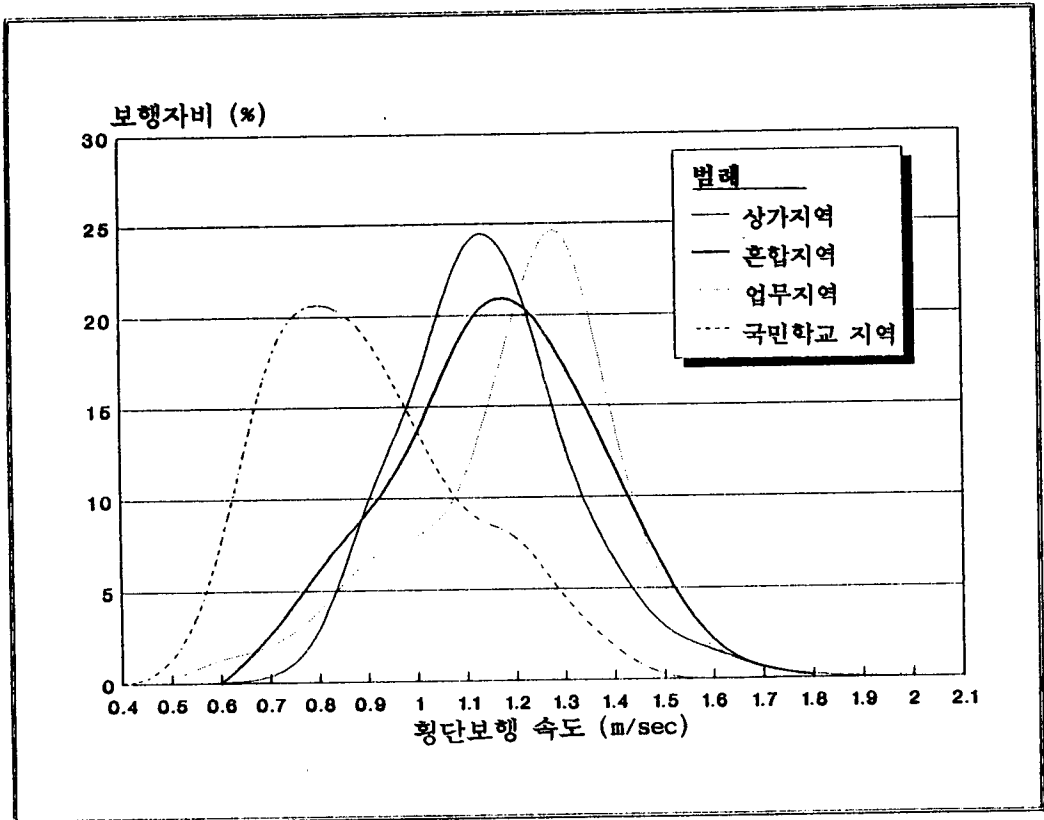
(단위 : 미터/초)

구 분	자 료 수	평 균 값	표준편차	15th %	85th %
상가지역	1646	1.10	0.17	0.92	1.37
혼합지역	2229	1.11	0.20	0.83	1.43
업무지역	1147	1.17	0.17	0.91	1.49
학교지역	121	0.86	0.19	0.65	1.19
합 계	5143	1.11	0.18	0.84	1.37

<그림 1>은 빈도에 의한 지역별 속도분포를 보여주고 있으며 지역별 분포 특성은 국민학교 지역을 제외하고는 모두 정규 분포 (Normal Distribution)를 보이고 있다. 국민학교 지역의 분포도를 보면 오른쪽 부분에서 작지만 특징있게

볼록한 부분이 있는데 이는 학교지역이 빈도율은 높은 반면 보행속도가 느린 어린이 집단과 빈도율은 낮은 반면 보행속도가 빠른 성인 집단, 이 두 집단이 함께 공존하고 있기 때문이다.

<그림 1> 지역별 속도분포



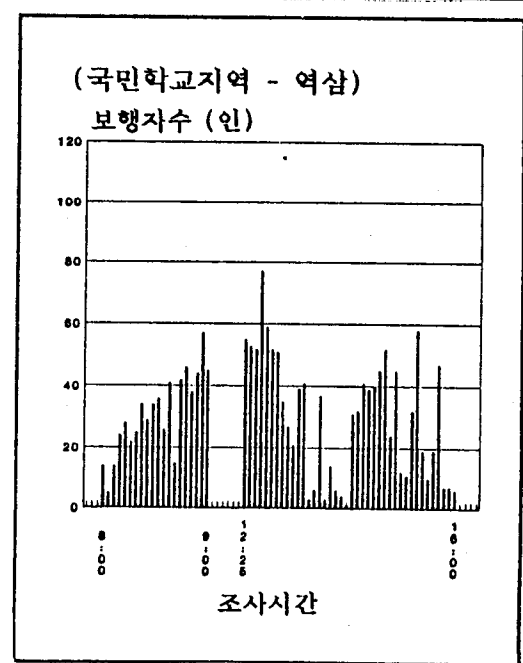
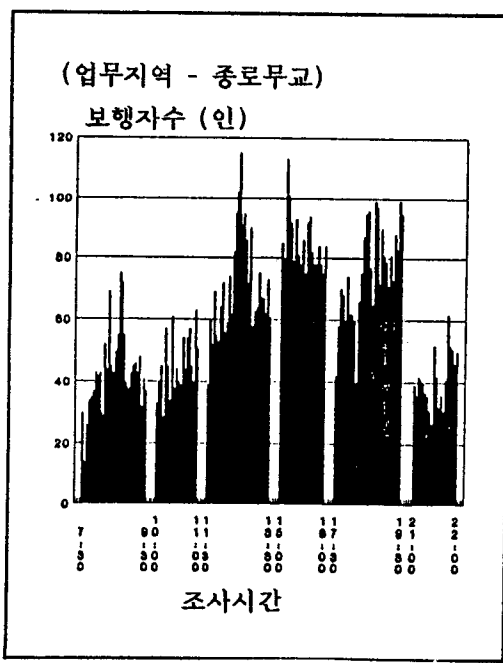
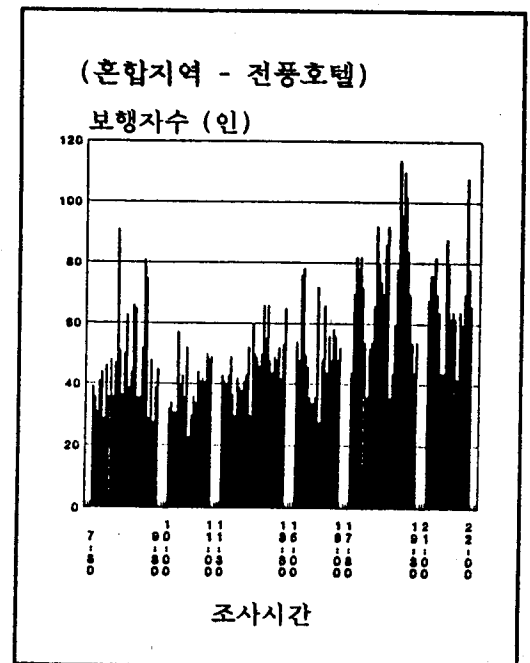
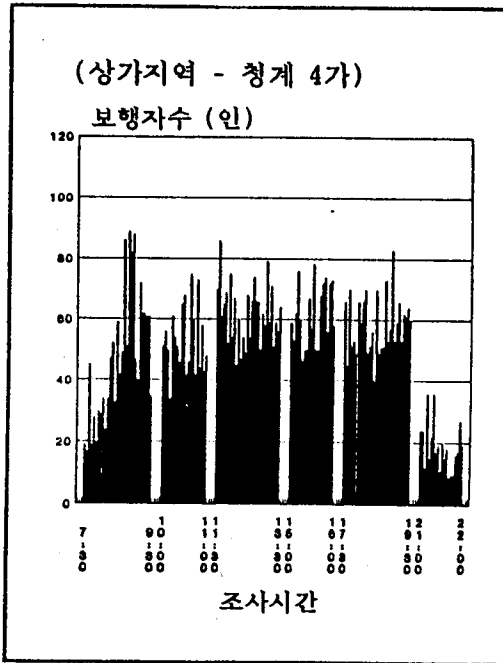
2. 시간대별 횡단 보행자 분포

시간대별 횡단 보행자수 분포 산출은 각 교차로의 주기가 서로 다르고, 조사한 시간 역시 약간씩 차이가 나며, 보행자수 역시 각 교차로별로 차이를 보이기 때문에 개별 지역의 특성이 잘 나타나 있고 주기와 조사 자료수, 횡단 보행자 수 등이 비교적 비슷한 각 지역을 대표하는 한 교차로씩을 선정하였다. 각 지역에서 대표로 선정된 교차로는 업무지역은 종로-무교 교차로, 혼합지역은 전풍호텔앞 교차로, 상업지역은 청계 4가 교차로, 그리고 국민학교 지역으로는 역삼국민학교이다. 단, 국민학교 지역은 학년별 등교시간 (08:00-09:00), 하교시간 (12:25-16:00)만

을 조사하였다.

<그림 2>는 시간대별 횡단 보행자수 분포를 보여주고 있으며 상가지역은 야간 비침투 시간대를 제외하고 고른 분포를 나타내고 있다. 업무지역은 침투, 비침투와 관계없이 오전과 야간에는 낮은 횡단 보행자수 분포를 지니고 오후에 횡단 보행자가 많은 것으로 나타났다. 국민학교 지역은 학년별 등학교 시간이 정해져 있어 일정한 분포를 이룬다. 아침시간에는 수업시간에 맞추어 등교하기 때문에 수업시간에 가까울수록 횡단 보행자수가 점점 많아지고 오후시간에는 학년별로 하교시간이 다르기 때문에 두개의 群으로 분류되어 나타난다.

<그림 2> 지역에서 대표로 선정된 교차로별, 시간대별 횡단 보행자수 분포



3. 지역별 밀도 분포

지역별 주기당 밀도분포의 산출은 각 교차로별로 작성한 자료들을 지역별로 묶어서, 그 자료들 중에서 변화정도를 쉽게 알아내기 위해서 당초 밀도 (주기당 양방향 횡단 보행자수/횡단보도 넓

이)에 100을 곱한 밀도를 사용하였다. 밀도 분포도는 지역별로 비교가 용이하도록 그 분포를 백분율로서 나타내었다. 아래 <표 2>는 지역별 보행자 횡단 밀도 산출결과이다.

<표 2> 지역별 밀도 통계치

(단위 : (Ped/m²) × 100)

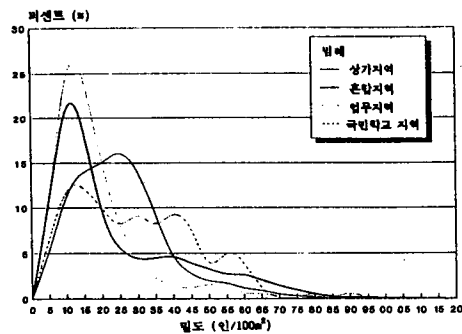
구 분	자 료 수	평 균 값	표준편차	15th %	85th %
상가지역	1646	23.17	13.29	9.14	34.17
혼합지역	2229	22.46	19.17	6.00	44.13
업무지역	1147	15.03	10.10	5.94	24.17
학교지역	121	27.31	17.59	8.17	44.93
합 계	5143	21.14	15.23	7.31	36.85

<표 2>의 내용을 살펴보면 학교지역이 가장 밀도가 큰 것으로 나타났다. 이것은 학교지역의 큰 특성인 등교 침두, 하교 침두시의 횡단 보행자 밀집현상과 더불어 횡단보도 면적이 작기 때문인 것으로 분석된다. 반대로 업무지역은 많은 횡단 보행자가 있음에도 불구하고 횡단 보도가 대로에 위치하고 있기 때문에 밀도가 작은 것으로 나타났다. 또한 업무지역은 분산 정도도 작게 나타난 것으로 보아 균일한 밀도의 횡단 보행자 통행량을 가짐을 알 수 있다.

보여주고 있으며 분포가 정상분포의 형태보다는 Log Normal 분포를 이루는 것을 알 수 있다. 혼합지역이 분산정도가 큰 것으로 미루어 이 지역은 매우 다양한 밀도의 분포를 지님을 알 수 있고 업무지역이 가장 작은 밀도 분포를 가지고 있으며 상가지역이 가장 평균적인 밀도 분포를 나타내고 있다. 또한 국민학교 지역의 밀도 분포는 등교 침두시에는 어느 정도 균일한 밀도 분포를 지니지만, 하교 침두시에는 각 학년 별로 하교시간이 다르기 때문에 특징있게 나타났다.

<그림 3>은 지역별 횡단 보행자 밀도 분포를

<그림 3> 지역별 횡단 보행자 밀도 분포



V. 자료평가

1. 보행자 속도와 밀도의 연관성

통상 밀도가 증가함에 따라 속도는 감소한다. 미국의 HCM (Highway Capacity Manual) 에서는 거의 직선으로 감소하는 형태로 나타나는데 이를 참고자료로 하여 통계분석하였다. 본 연구에서 독립변수는 보행자의 밀도이고 종속변수는 지역별 보행속도이다. <그림 4-1, 4-2>는 조사자료를 이용하여 각 지역별 횡단 보행자 속도와 밀도의 상관관계를 산점도 (Scatter Diagram)로 나타낸 것이다. T-Test를 이용한 귀무가설 (H0) 및 대립가설 (H1)과 채택영역을 다음과 같이 설정하고 이것을 가설검증하였다.

H0 = 횡단보도 보행속도는 보행자의 밀도와 아무 연관 관계가 없다.

H1 = 횡단보도 보행속도는 보행자의 밀도와 연

관 관계가 있다.

채택영역 : 유의수준 5%와 자유도 (조사 자료수 - 1)에 의해서 계산된 값 T가 임계치보다 클때 H0를 거부한다.

보행자 속도와 밀도의 연관성을 분석하기 위해 각 지역별로 속도와 밀도에 대한 자료를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 속도와 밀도에 대한 선형 회귀식을 구하였고 다음의 개념식, 보행자 속도 = a + (bx 보행자 밀도)을 기본식으로 하였다. 선형 회귀식의 자료 통계분석 과정은 조사 대상을 상가, 업무, 혼합, 학교 지역으로 구분하였으나, 자료수가 너무 방대하기 때문에 본 보고서에서는 업무지역만을 통계 분석의 대표지역으로 선정하고 통계분석 결과를 제시한다 (<그림 4-1, 4-2> 참조). <표 3>은 업무지역의 분석 모형에 따른 통계분석 결과를 요약하여 보여주고 있다.

<표 3> 업무지역의 분석모형에 따른 통계분석 결과

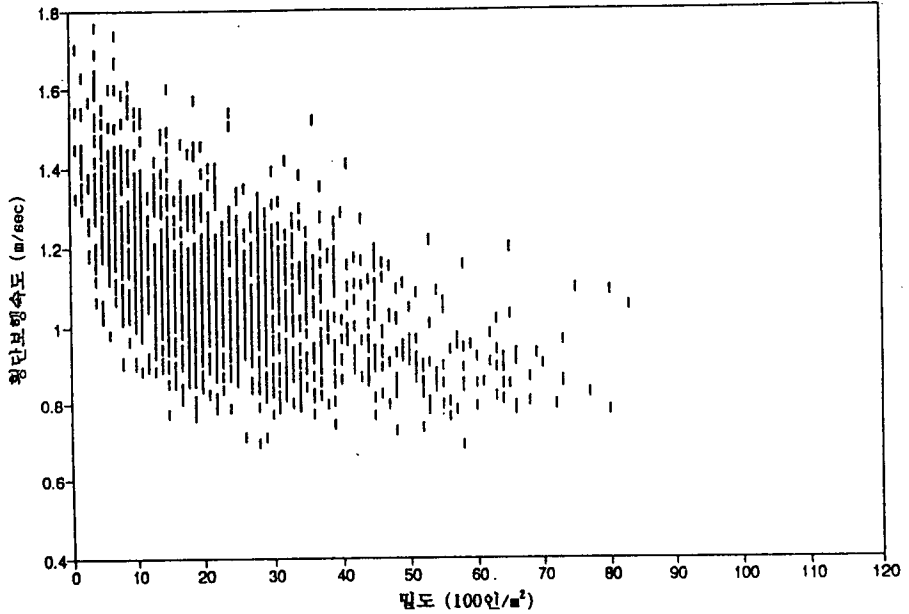
	MODEL 1	MODEL 2	MODEL 3	MODEL 4
Parameter	ba1=1.2893	a2=1.5045	a3=1.0904	a4=1.1607
Estimate	b1=0.0082	b2=0.1337	b3=0.7814	b4=1.5112
F-Test	363.43	331.34	178.17	49.006
Prob>F	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
T-Test	a1=0.0000	a2=0.0000	a3=0.0000	a4=0.0000
Prob>T	b1=0.00001	b2=0.00001	b3=0.00001	b4=0.00001
R-square	24.09%	22.44%	13.47%	4.10%

- 註) ○ MODEL1 : $SSP = a1 + b1 * DEN100$
 ○ MODEL2 : $SSP = a2 + b2 * LOGDEN$
 ○ MODEL3 : $SSP = a3 + b3 * REVDEN$
 ○ MODEL4 : $SSP = a4 + b4 * NEXPDEN$
 여기서, SSP... Slow Speed Pedstrian (m/s)
 DEN100...Density*100(Ped/m2)
 LOGDEN...LOG(DEN100)(Ped/m2)
 REVDEN...1/(DEN100)(Ped/m2)
 NEXPDEN...EXP(-DEN100)(Ped/m2)

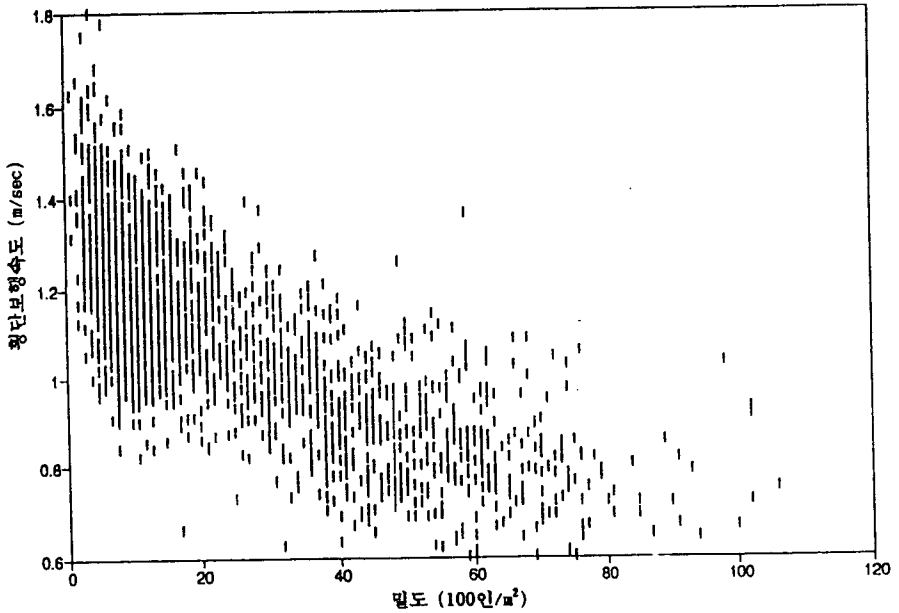
<표 3>의 SAS 프로그램 분석 결과를 살펴 보면 4개의 모형 모두 F-Test가 유효하였고 T-Test 역시 좋은 값이 나왔으므로 위의 네 모형의 변수들은 모두 SSP를 잘 설명하고 있다고 볼 수 있다. 유의수준 5%와 자유도 (조사 자료수 - 1)에 의해서 계산된 값 T가 임계치보다 크므로 H0를 거부한다. 즉, 횡단보도 보행속도는 보행자의 밀도와 연관 관계가 있다고 결론 내릴 수 있다.

<그림 4-1> 조사자료를 이용 각 지역별 횡단 보행자 속도와 밀도의 산점도

횡단보행속도 대 밀도
(상가지역)

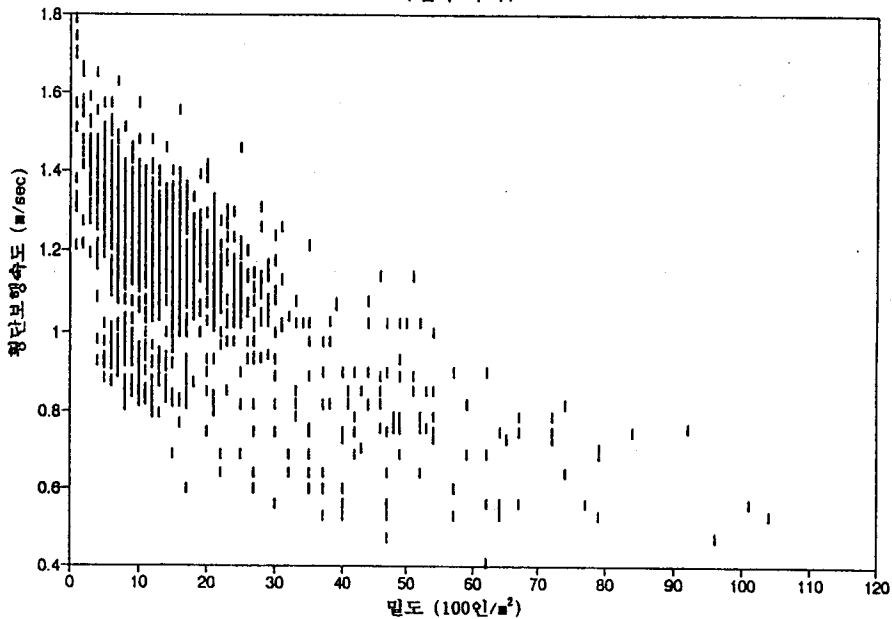


횡단보행속도 대 밀도
(혼합지역)

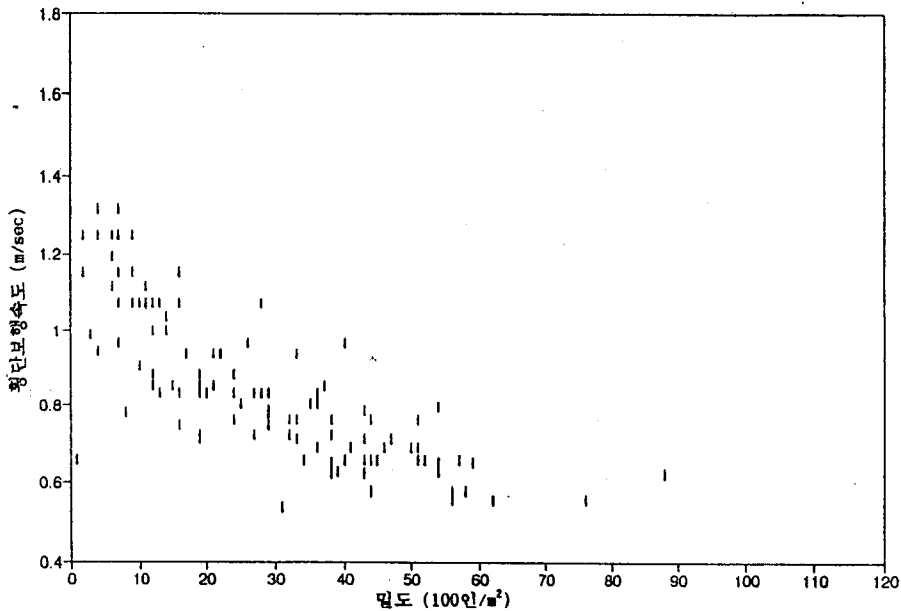


<그림 4-2> 조사자료를 이용 각 지역별 횡단 보행자 속도와 밀도의 산점도

횡단보행속도 대 밀도
(업무지역)



횡단보행속도 대 밀도
(국민학교지역)



또한, 네 모형중 밀도의 역수를 사용한 MODEL3 ($1/(DEN100)$)과 음지수를 사용한 MODEL4 ($EXP(-DEN100)$)는 실제적인 경우에 맞게 각각의 기울기를 나타내는 b3, b4가 양수값을 보여주고 있다. 따라서 네 모형중에서 R-square를 비교하여 보면, 선형 모형 MODEL1이 가장 좋게 나왔으므로 MODEL1의 선형 모형이 가장 바람직한 모형이라 할 수 있다.

업무 지역을 제외한 나머지 지역 역시 위와 같은 통계 분석을 해본 결과 상업 지역만이 MODEL2의 모형인 Log모형이 좋다고 분석되었을 뿐 나머지 지역은 모두 업무 지역과 마찬가지로 선형모형인 MODEL1의 모형이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 결론적으로 조사 자료에 대한 보행자 속도와 밀도와의 상관관계는 선형관계로 설명 될 수 있으며, 속도가 증가함에 따라 밀도가 거의 일정하게 감소하는 관계를 가진다고 평가할 수 있다.

2. 보행자 밀도에 따른 서비스수준 선정

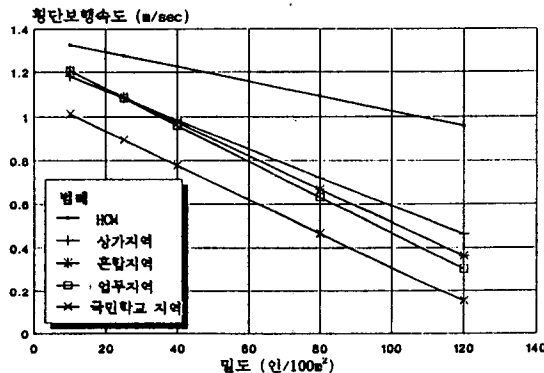
앞의 절에서 서술한 바와 같이, 보행자 속도와 밀도와의 선형관계를 갖고 있으며 밀도가 증가함에 따라 속도가 감소한다는 사실이 입증되었다. 다음 단계로 지역 유형에 따른 횡단보도 보행속도 대 밀도 분포관계를 추정하고 밀도와 지역 유

형에 따른 서비스 수준을 설정하였다. 지역별 보행자 밀도에 따른 서비스수준을 다음과 같은 방법으로 선정하였다.

1. 통계분석에서 지역별로 구한 선형 회귀식을 산출하였다.
 상가 : $Speed = 1.2477 - 0.0066 \times Density$
 혼합 : $Speed = 1.2826 - 0.0077 \times Density$
 업무 : $Speed = 1.2893 - 0.0082 \times Density$
 학교 : $Speed = 1.0915 - 0.0078 \times Density$
2. 선형 회귀식을 이용하여 각 지역에 대한 보행자 속도와 밀도의 상관관계를 그림으로 도식화하였다 (<그림 5> 참조).
3. 지역별 서비스 수준을 분석하였다.
4. 속도와 밀도에 따른 서비스 수준을 선정하였다 (<표 4> 참조).

<그림 5>는 각 지역별 횡단 보행자 속도와 밀도의 상관관계를 나타낸 것이다. <그림 5>를 보면 알 수 있듯이 우선 학교지역의 밀도에 따른 횡단 보행속도가 다른 지역에 비해 약 0.2초가 떨어지는 것을 알 수 있다. 이것은 어린이의 보행속도가 어른들의 보행 속도보다는 현저하게 느리다는 것을 보여준다. 나머지 지역들은 모두 비슷한 분포를 지니는데 그 중 업무지역의 보행속도는 밀도가 증가함에 따라 다소 급격히 감소하는 특성을 보였고, 반대로 상업지역은 완만하게 감소하는 특성을 보였다.

<그림 5> 지역별 횡단 보행자 속도와 밀도의 상관관계



<표 4> 속도와 밀도에 따른 서비스 수준

서비스 수준 (Level of Service)	보행자밀도 ¹⁾ (Density) (Ped/m ²) × 100	미국 HCM 평균 속도 (m/sec)	지역별 보행자 속도(m.sec) ²⁾			
			상 가	혼 합	업 무	학 교
A	<10	1.326	1.182	1.206	1.207	1.013
B	<25	1.276	1.084	1.091	1.084	0.896
C	<40	1.226	0.985	0.976	0.961	0.778
D	<80	1.093	0.723*	0.670*	0.632*	0.465*
E	<120	0.960	0.461*	0.363*	0.303*	0.152*
F	>120	<0.960	<0.363*	<0.363*	<0.303*	<0.152*

註)1) HCM Special Report 209에 근거 분류하였다 (8).

2) *는 선형 회귀식에 설정된 보행자 밀도를 적용하여 산출된 계산속도이다. 이는 현실에 적합하지 않은 매우 늦은 보행속도로서 보행자 녹색 점멸 신호시간산정에 사용되어서는 안된다. 따라서 서비스수준이 D보다 나쁜 경우에는 설계보행속도로서 서비스 수준 C의 값을 사용하여야 한다.

전체적으로는 HCM에서 보여주는 보행자 속도 보다는 모두 느리게 나타났다. 그 이유로는 미국의 HCM에서 보여주는 보행자 속도는 평균 속도 인데 반하여 본 연구에서 산출 제안된 횡단보도 보행속도는 평균값이 아닌 보행자에게 안전이 고려된 충분한 보행시간을 주기 위한 15th Percentile 속도를 기준하였기 때문이다. 또한 본 보고서 IV장 1절에서 전술한 바와 같이 조사한 총 지역에 대한 보행자 평균속도가 1.11(m/s)으로 HCM에서 보여주는 보행자 평균속도보다 느림을 알 수 있다.

3. 보행자 녹색점멸 및 녹색 신호시간의 산정

녹색점멸 신호등의 정의를 다시 설명한다면, 녹색 신호등이 끝난뒤 횡단보도에 도착한 보행자는 절대 진입을 하여선 안되며 녹색 점멸전 (녹색 신호시)에 이미 횡단을 시작한 보행자는 반대편 횡단보도 (또는 중앙 안전섬)까지 횡단을 계속하여 무사히 마칠 수 있도록 시간이 설정되어야 한다. 횡단보도 보행속도는 앞의 항에서 산출된 지역별 교차로의 서비스 수준에 따라 결정되어진다.

따라서, 최소 보행자 녹색점멸 신호시간은 다음의 식에서 보여주는 바와 같이 횡단길이 (L)를 교차로의 지역별 횡단보도 보행속도 (Vp)로 나눈 값과 같아야 한다.

$$\text{최소 보행자 녹색 점멸 신호시간} = (L/Vp)$$

필요한 최소 보행자 녹색 신호시간을 결정하기 위해서는 횡단 출발 인지반응 시간 (t) 및 보행자 대기 행렬수에 따른 지체시간 (H)을 산출하여야 한다. 통상 국내의 교차로 신호주기가 120 초를 초과하는 현실에서 신호대기중에 있는 보행자들의 심리는 매우 빠른 인지반응 시간을 보여주고 있었다. 또한 현장조사 결과 보행群的 행의 수가 많을 수록 인지반응 시간이 짧아진다는 사실이 횡단보도 보행자 특성의 하나로 나타났다. 또다른 보행자 특성의 하나로서 보행群的 행의 수가 적은 경우에는 보행群的 행들 사이의 전진 시간 값이 일정하게 나타나지만 보행群的 행의 수가 많을 경우 행의 수가 증가함에 따라, 행렬수에 따른 지체 간격시간의 값이 점점 감소하였다.

횡단 출발 인지반응 시간 및 보행자 대기 행렬수에 따른 지체시간의 결정을 위해 먼저 보행群的 행수를 산출하였다. <그림 6>은 조사된 자

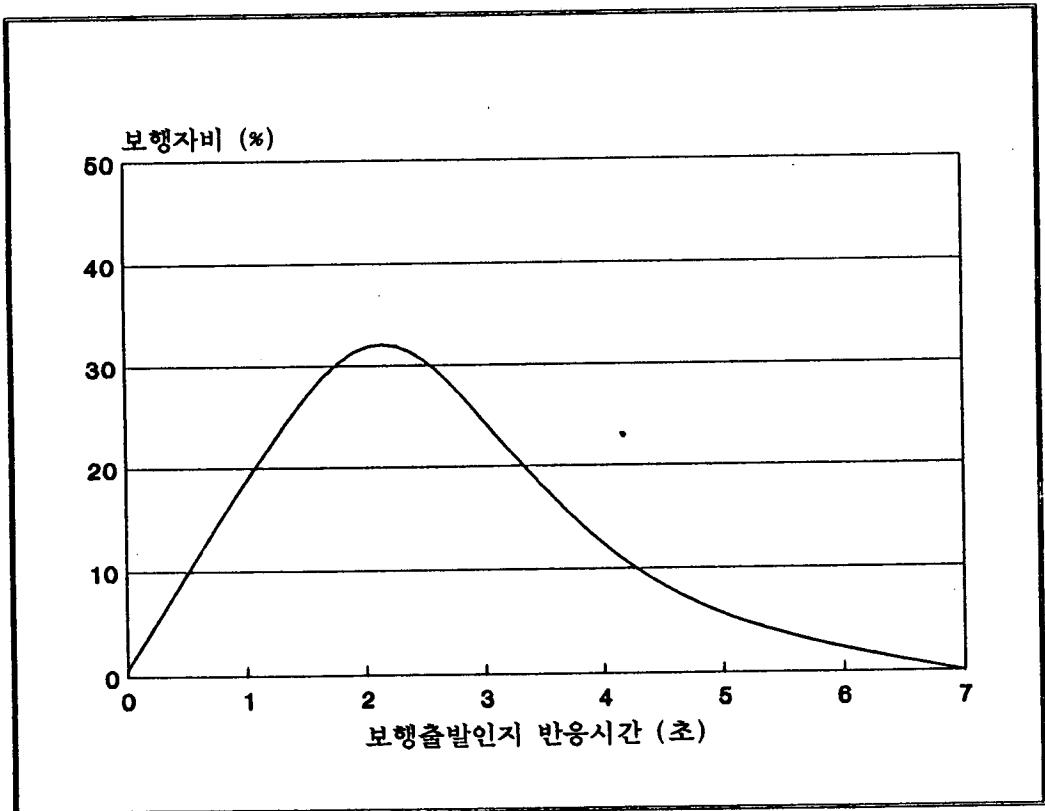
료의 횡단 출발 인지반응 시간 분포를 보여주고 있다. 많은 외국의 참고문헌에서 보행자 인지반응 시간을 3-7초로 제안하고 있으나, 본 연구에서는 보행자의 인지반응 시간으로 조사한 자료들 중 85th Percentile 값을 사용하였다. 보행자의 행의 수가 4줄 이상인 경우에는 변화가 없어 4줄을 기준으로 하였다. 보행群的 대기 행렬수에 따른 지체시간 (H)은 연구된 조사문헌들에 의하면

1.5-2.5초를 제안하고 있다. 현장조사 결과 보행群的 행의 수가 증가함에 따라 행 사이의 시간간격은 감소하였다. 따라서 본 연구에서는 보행자 행의 수에 따른 85th Percentile 값을 사용하였다. 본 연구에서 보행자 행사이의 횡단 출발 인지반응 시간(t) 및 시간간격(H)은 <표 5>와 같이 산출되었다.

<표 5> 보행자 대기 행렬수에 따른 횡단 출발 인지반응 시간 및 지체시간

보행群的 행수, R	1	2	3	4	5	6
출발 인지반응 시간(초), t	4.39	3.77	3.14	2.52	2.52	2.52
대기 따른 지체시간(초), H	0.00	1.86	1.65	1.45	1.25	1.18
최소 보행 녹색시간(초)	4.39	5.63	6.45	6.88	7.52	8.43

<그림 6> 횡단 출발 인지반응 시간 분포



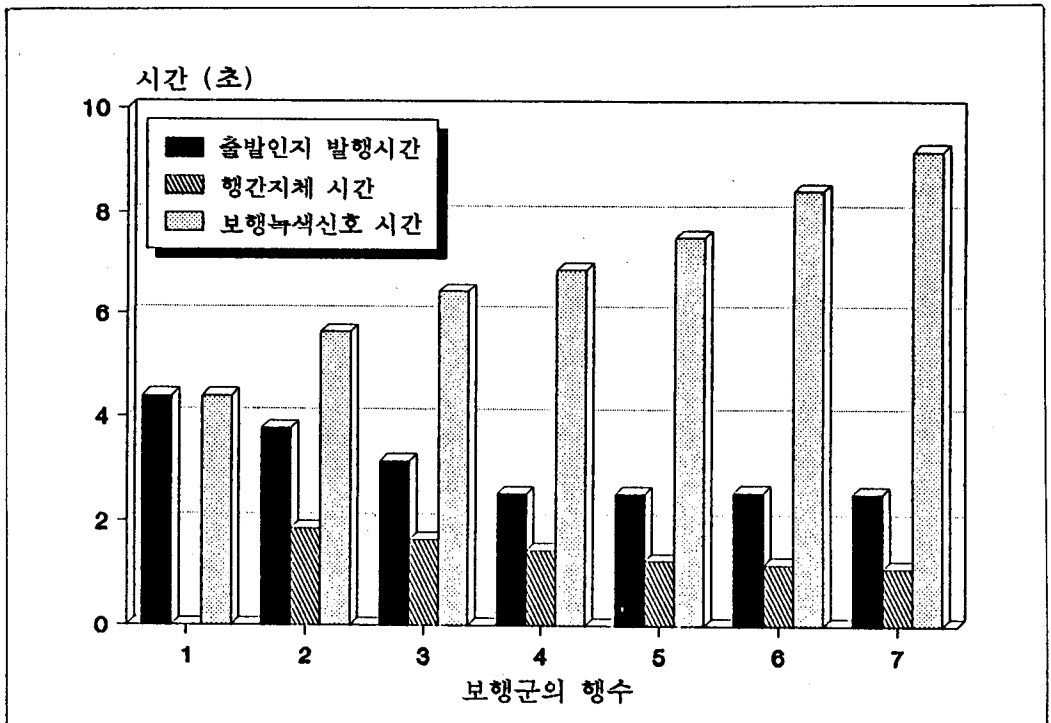
최소 보행자 녹색 신호시간은 보행群的 행의 수가 많을수록 증가하며 위에서 산출된 횡단 출발 인지반응 시간과 보행群的 행렬수에 따른 지체시간의 합으로 나타난다. 따라서, 양방향 보행자수 (N)와 횡단보도의 폭 (W)을 안다면 본 연구에서 제안 산출된 횡단 출발 인지반응시간 (t) 및 보행자 대기 행렬수에 따른 지체시간 (H)의

값을 다음의 공식에 대입하여 최소 보행자 녹색 신호시간을 산정한다 (<표 5>참조). <그림 7>은 보행자 대기 행렬수에 따른 최소 보행자 녹색 신호시간을 보여주고 있다.

$$\text{최소 보행자 녹색 신호시간} = t + H \cdot (R - 1)$$

여기서, $R = N / (W + 1)$

<그림 7> 보행자 대기 행렬수에 따른 최소 보행자 녹색 신호시간



VI. 결론

본 연구는 어떤 특정한 지역이나 자료수집을 위해 선정된 횡단보도를 조사하려는 것이 아니라 일반 횡단보도에 있어서 보행자 신호를 위한 개선방안을 제공하려는데 목적이 있다. 보행자 속도와 밀도와의 선형관계를 갖고 있으며 밀도가 증가함에 따라 속도가 감소한다는 사실을 입증하였다. 또한 지역 유형에 따른 횡단보도 보행속도 대

밀도 분포관계를 추정하고 밀도와 지역 유형에 따른 서비스 수준을 설정하였다. 조사된 총지역에 대한 횡단 보행자 평균 속도는 1.11(m/s)로서 현행 신호시간 산정을 위해 사용되는 보행속도 1.2(m/s)보다 느림을 알 수 있었다.

횡단보도 보행등 녹색 점멸 신호시간 산출을 위한 설계 보행속도는 지역별 교차로의 서비스 수준에 따라 결정하여야 하며 평균값이 아닌 보행자에게 안전이 고려된 충분한 보행시간을 주기

위한 속도 (0.96-1.21m/s)를 기준으로 하여야 한다는 것을 본 연구에서 제안하였다. 학교지역의 보행속도(0.78-1.01m/s)가 다른 지역에 비해 약 0.2(m/s)가 떨어지는 것이 본 연구를 통하여 나타났다. 이것은 어린이의 보행속도가 어른들의 보행속도보다는 현저하게 느리다는 것을 보여준다. 따라서, 국민학교 지역은 다른 지역에 비해 보행신호 시간을 길게 하여 국민학교 어린이가 안전하게 횡단보도를 통행할 수 있도록 하여야 한다.

필요한 최소 보행자 녹색 신호시간을 결정하기 위하여 횡단 출발 인지반응 시간 및 보행자 대기 행렬수에 따른 지체시간을 산출하였다. 보행자 횡단 출발 인지반응 시간은 2.52-4.39초가 산출되었다. 현장조사에서 나타난 결과를 근거로 85th Percentile 값을 이용하여 보행群的 대기 행렬수에 따른 지체 간격시간은 최대 1.86초가 산출되었다. 연구결과 보행群的 행의 수가 증가함에 따라 인지반응 시간과 행 사이의 시간간격은 감소하였다.

결론적으로 보행등 신호시간을 산정하기 위하여 지역 구분 (상가, 업무, 혼합, 국민학교지역), 주기당 양방향 보행자수 (N, 85th Percentile 보행자수), 횡단보도의 길이 (L)와 폭 (W)등의 입력자료가 있으면 본 연구에서 제안 산출된 보행자 대기 행렬수 (R)에 따른 횡단 출발 인지반응시간 (t), 보행자 대기 행렬수에 따른 지체시간 간격 (H), 횡단보도 보행속도 (Vp)의 값들을 아래의 기본공식에 대입하여 보행등 녹색 및 녹색점멸시간을 산출해 낼 수 있다.

$$PT = t + H*(R-1) + (L/Vp)$$

여기서, $t + H*(R-1) =$ 최소 보행자 녹색

신호시간

$$(L/Vp) = \text{최소 보행자 녹색점멸 신호 시간}$$

$$R = N/(W/LC+1)$$

본 연구는 연구 목적 및 기간의 제약으로 횡단보도의 보행자만을 고려한 순수 보행등 신호시

간을 지역별로 도출하였고, 차량소통을 위한 차량 신호시간과의 연계성은 고려되지 않았다. 따라서 본 연구를 통하여 제안된 보행등 신호시간의 실행시에는 다음과 같은 사항들이 교차로별 특성에 따라 앞으로 연구 보완되어야 한다.

- 차량 소통 위주의 교차로에서는 본 연구에서 제안된 보행자 횡단시간에서 황색시간을 뺀 값을 보행등 녹색 점멸 신호시간으로 사용
- 연동화 구간에서의 적정 보행 신호시간
- 도로기능에 따른 횡단보도간의 최소 유효거리
- 교차로별 보행자수를 고려한 최적 횡단보도 폭
- 본 연구를 통하여 제안된 보행등 신호시간의 변경 전, 후 효과 비교 분석
- 횡단보도 길이에 따른 보행 신호등 높이 및 시인성
- 횡단보도 보행속도 표본조사시 횡단그룹별이 아닌 횡단보행자 개개인별 속도분포

참 고 문 헌

1. 치안본부, 교통사고 통계, 1992년.
2. 치안 본부, 교통안전 시설 실무편람, 1991년.
3. 도로 교통 안전 협회, 전자 교통 신호체계 기술 운영에 관한 연구, 1989년.
4. L.J. Pignataro. Traffic Engineering: Theory and Practice. Prentice Hall, Inc., Englewood Clifts, NJ, 1973
5. A Program for School Crossing Protection ... A Recommended Practice of the Institute of Traffic Engineers. Traffic Engineering, Oct. 1962, pp. 51-52.
6. Mark Virkler. Pedestrian Flows at Signalized Intersections. Transportation Research Record 847. TRB, National Research Council, Washington D.C., 1982, pp. 72-77.
7. Development of an Improved Highway

- Capacity Manual. Interim Materials on Highway Capacity, Transportation Research Circular 212, TRB, Washington D. C., January 1980, pp. 124.
8. Highway Capacity Manual. Special Report 209, TRB, Washington D.C., 1985, pp. 13-8.
 9. Manual of Traffic Signal Design, Second Edition. Institute of Transportation Engineers, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1991, pp. 145.
 10. E. Hauer. The Safety of Older People at Intersections. Special Report 218, Transportation Research Board, Washington D. C., 1988, pp. 194-252.
 11. 도로 교통 안전 협회, 보행속도 조사 보고서, 1982년.
 12. 한국 소비자 보호원, 횡단보도 안전실태 조사 결과, 1991년.
 13. 치안 본부, 도로 교통 관계 법령집, 1990년.
 14. 도로 교통 안전 협회, 어린이 교통 안전 지도서, 1990년.
 15. Federal Highway Administration. Manual on Uniform Traffic Control Devices. U.S. Government Printing Office, Section 4D-5, 1978.
 16. S.J. Older and G.B. Grayson. Perception and Decision in the Pedestrian Task. TRRL Supplementary Report 49UC. Transport and Road Research Lab., Berkshire, 1974.
 17. John J. Fruin, Brian T. Ketcham, and Peter Hecht. Validation of the time-Space Corner and Crosswalk Analysis Method. TRR 1168. TRB, National Research Council, Washington D.C., 1988, pp. 39-44.
 18. James M. Witkowski. Accident Type Designations and Land Use Data in Pedestrian Accident Analysis. TRR 1168. TRB, National Research Council, Washington D.C., 1988, pp. 45-48.
 19. Charles V. Zegeer, and Sharon F. Zegeer. Pedestrian and Traffic - Control Measures. NCHRP 139. TRB, National Research Council, Washington D.C., 1988.
 20. John F. Morrall, L.L. Ratnayake, and P. N. Seneviratne. Comparison of Central Business District Pedestrian Characteristics in Canada and Sri Lanka. Transportation Research Record 1294. TRB, National Research Council, Washington D.C., 1991, pp. 57-61.