

■ 論 文 ■

## 신호교차로 횡단보도 보행량 추정에 관한 연구

Estimation of Crosswalk Pedestrian Volume at Signalized Intersection

**하 태 준**

(전남대학교  
토목공학과 부교수)

**김 정 현**

(한양대학교  
토목환경공학과 연구교수)

**박 제 진**

(전남대학교  
토목공학과 공학박사)

### 목 차

- |  |   |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 연구배경 및 목적</li> <li>2. 연구내용 및 방법</li> <li>3. 연구의 범위</li> </ol> <p>II. 기존 연구문헌 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 보행자도로 보행수요 추정에 관한 연구</li> <li>2. 횡단보도 보행량 예측에 관한 연구</li> </ol> <p>III. 자료수집</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 보행영역권 및 구역설정</li> <li>2. 횡단보도 보행량 조사</li> <li>3. 토지이용특성 조사</li> </ol> <p>IV. 신호교차로 횡단보도 보행유출입량 추정 모형 구축</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 종속변수와 독립변수의 설정</li> <li>2. 종속변수의 분포확인</li> <li>3. 회귀모형의 추정</li> <li>4. 대각횡단 보행비율의 산정</li> <li>5. 통행시간 산정 및 마찰계수 계산</li> <li>6. 중력모형 적용의 적합도 검정</li> <li>7. 횡단보도 보행유출입량 추정모형의 적합도 검정</li> </ol> <p>V. 목표년도 횡단보도 보행량 추정과정</p> <p>VI. 결론 및 향후 연구과제</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 결론</li> <li>2. 향후 연구과제</li> </ol> <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 신호교차로, 횡단보도, 토지이용특성, 횡단보도 보행유출입량 추정모형, 중력모형

### 요 약

횡단보도의 안전성과 교통 소통을 동시에 고려하면서 횡단보도 보행자사고를 감소시키기 위한 방안으로 보행자사고 예측모형이 꾸준히 연구되어 왔으나, 기존의 예측모형에서는 횡단보도 보행자사고의 당사자에 해당하는 보행량이라는 변수를 제대로 반영하지 못하고 있는 실정이다. 실제로 보행량과 관련한 자료가 구축되어 있지 않고, 보행량 추정방법 역시 없는 실정이기 때문이다. 이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 기준년도 신호교차로 주변의 토지이용특성과 횡단보도 보행량을 조사하여 횡단보도 보행유출입량 추정모형을 구축하였다. 다음으로, 추정된 횡단보도 보행유출입량을 중력모형의 마찰계수와 구역간 조정계수, 그리고 대각횡단 보행비율을 적용하여 횡단보도 보행경로별로 보행량을 분포시킴으로서 목표년도(보행자사고 발생 시점 또는 장애)의 횡단보도 보행량 추정방법을 제시하였다.

## 1. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

횡단보도는 신호·비신호교차로 또는 mid-block에 설치하여 접근하는 차량이 정지하여 있는 동안 보행자가 안전하게 도로를 횡단할 수 있도록 하기 위한 교통안전시설물이다. 그러나 횡단보도에서 차량 대 보행자 사고는 빈번히 발생하고 타 교통사고 유형보다 사망자의 비율이 높은 실정이다. 이에 따라 차량 대 보행자에 대한 교차로 안전성평가의 일환으로 신호교차로 횡단보도 보행자 사고 예측모형이 꾸준히 연구되어져 왔으나, 기존의 예측모형에서는 보행자 사고의 발생시점이 과거라는 이유만으로 횡단보도 보행량이라는 변수를 제대로 반영하지 못하였다. 다시 말해서, 신호교차로에서 발생한 과거 보행자사고와 관련한 기하구조, 차량교통량, 신호운영에 대한 자료는 교차로 설계도면과 매년 실시하여 구축된 교통량 DB를 통해 취득이 가능하나, 횡단보도 보행량 자료는 구축된 DB나 추정방법이 없는 실정임을 의미한다.

또한, 신호 횡단보도에서의 주요 효과측도는 보행자 평균지체 또는 횡단보도 점유공간이다. 이 기준은 기존의 신호 횡단보도의 서비스수준 분석과 장래에 계획될 횡단보도의 서비스수준을 분석하는데 사용되고, 적정규모의 시설을 공급하는데 척도로 이용된다. 이와 같은 도로 횡단시설의 서비스수준을 분석하여 적정규모의 횡단시설을 공급하는데는 횡단 보행자수가 필수적인 변수이다. 그러나 상기 언급한 바와 같이 장래의 횡단보도 보행량 추정방법이 없는 실정이다.

보행수요와 일치하는 적정 규모의 보행시설(보행자 도로)을 공급하기 위한 보행자 통행발생 수요예측모형 관련연구에서는 보행자도로 주변의 토지이용특성을 고려하여 접근하고 있다. 주거지역과 상업지역, 그리고 업무지역의 보행특성이 전혀 다르고 버스정류장·지하철역의 유무 등 주변상황에 따라 보행자도로 보행량의 차이가 상이함을 고려하여 각 토지이용특성별 보행자 통행발생 수요예측모형을 제시하고 있다.

따라서, 본 연구는 기준년도 신호교차로 주변의 토지이용특성과 횡단보도 보행량을 조사하여 횡단보도를 경유해서 각각의 구역으로 유출입되는 횡단보도 보행 유출입량 추정모형을 구축하고, 추정된 횡단보도 보

행유출입량을 각 횡단보도별로 분포시킬 수 있는 방법을 개발하여 목표년도(보행자사고 발생시점 또는 장래시점)의 횡단보도 보행량을 추정하고자 한다.

### 2. 연구내용 및 방법

본 연구는 신호교차로 횡단보도의 안전성 및 소통을 평가하기 위한 첫 단계인 횡단보도 보행량 추정방법을 제시하는데 목적이 있다. 이러한 목적을 이루기 위해 교통 수요 추정기법인 4단계추정법을 보행교통에 접목시켜 통행발생은 회귀분석법으로, 통행분포는 중력모형을 적용하여 연구를 수행하였다.

본 연구의 접근방법은 다음과 같다.

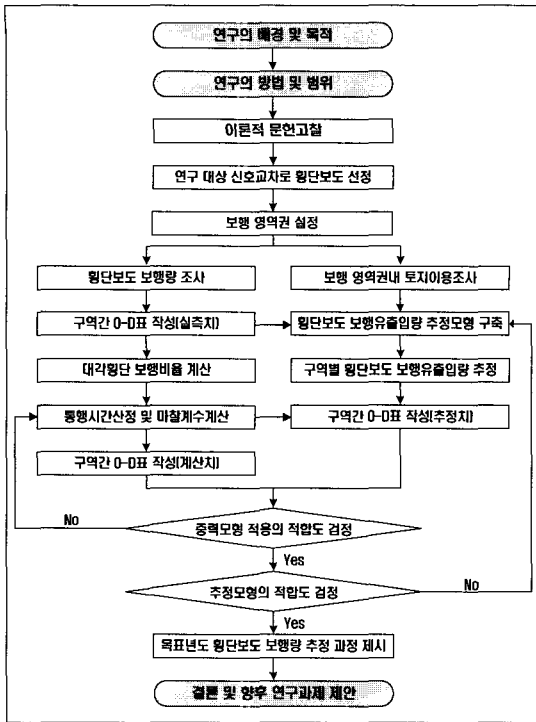
첫째, 연구대상 지점 횡단보도 보행량과 보행영역권내 토지이용특성을 조사한 후, 횡단보도를 경유하여 구역으로 유입되는 횡단보도 보행유입량과 구역에서 횡단보도를 통하여 유출되는 횡단보도 보행유출량을 각각 토지이용특성과 관련한 종속변수로 설정하고, 다중회귀분석을 실시하여 횡단보도 보행유출입량 추정모형을 구축한다.

둘째, 추정된 보행유출입량을 횡단보도별로 분포시키기 위해 4단계추정법의 통행분포 기법인 중력모형을 이용한다. 이를 위해 각 지점별로 조사된 횡단보도 보행량으로 각 구역간 OD표(실측치)를 작성한 후, 횡단보도를 건너는데 소요되는 통행시간을 산정하여 마찰계수( $F_{ij}$ )와 구역간 조정계수( $K_{ij}$ )를 계산한다. 또한, 대각횡단 보행량을 분포시키기 위해 대각횡단 보행비율을 계산한다.

셋째, 중력모형 적용 타당성을 검증하기 위하여 ① 실측에 의한 OD표와 계산에 의한 OD표간 ② 실측 OD표와 추정 OD표간 보행량을 대응시켜 통계적 검정을 실시한다.

넷째, 모형구축에 포함되지 않은 신호교차로 횡단보도 자료를 조사하여 횡단보도 보행유출입량 추정모형 적합도를 검증한다.

다섯째, 횡단보도의 안전성을 평가하고자 하는 목표년도의 토지이용특성을 조사하고, 추정모형을 이용하여 횡단보도 보행유출입량을 추정한 후, 마찰계수( $F_{ij}$ )와 구역간 조정계수( $K_{ij}$ )를 이용하여 횡단보도별 보행량을 추정하는 과정을 제시한다. 본 연구의 수렴 절차를 <그림 1>과 같이 제시하였다.



〈그림 1〉 연구 수행 과정

· 백화점 :  $R^2 = 0.9016$   
 $P_0 = 130,956 + 0.78864 V_1 - 0.1396 V_4 - 199.43 V_5$  (1)

· 사무실 :  $R^2 = 0.8575$   
 $P_0 = -1,525 + 1.3739 V_6 + 0.0644 V_1$  (2)

· 판매시설 :  $R^2 = 0.8876$   
 $P_0 = 836 + 1.52 V_1 + 19.2513 V_3 + 0.04 V_4$  (3)

· 호텔 :  
 $P_0 = 4,379 + 0.044 V_1$  (4)

- $P_0$  : 이용인수(인)
- $V_1$  : 연상면적( $m^2$ )
- $V_2$  : 단위면적당 매출액(원/평)
- $V_3$  : 점포수(개소)
- $V_4$  : 평당 매출액(원/평)
- $V_5$  : 대중교통시설까지의 시간거리(초)
- $V_6$  : 상근자수(인)

### 3. 연구의 범위

도로교통안전관리공단에서 교통사고 잦은 지점으로 선정한 광주광역시내 주요 신호교차로 71개 지점에서 1996년부터 1998년까지 3년 동안 횡단보도 보행자 사고가 발생한 신호교차로는 66개 지점으로 나타났다. 본 연구에서는 66개 신호교차로에서 20개 지점을 무작위로 추출하였고, 선정된 신호교차로 횡단보도 보행량과 신호교차로 주변 토지이용특성의 현장조사는 2002년 10월에 실시하였다. 그러므로 본 연구에서 언급되는 기준년도는 2002년을 뜻하는 것으로 정한다.

## II. 기존 연구문헌 고찰

### 1. 보행자도로 보행수요 추정에 관한 연구

이영인(1986)은 서울시 상업지역인 명동을 대상으로 보행발생량 예측모형을 제시하였는데 이는 각 시설에서의 면적이나 점포수에 따라 다중회귀모형을 이용하여 보행발생량을 예측하였고, 보행통행량 배분을 위해 중력모형을 이용하였다.

이재춘(1994)은 서울시 주거지역인 강남, 송파 아파트단지의 보행량 추정모형을 다중회귀분석을 통해 정립하였다.

$$Y = -13.692415 + 0.002787X_1 + 44.95214X_2 + 12.169267X_3 + 45.186592X_4 + 33.734831X_5, R^2 = 0.598$$
 (5)

- $Y$  : 침두시 10분간 보행량
- $X_1$  : 단지내 인구
- $X_2$  : 학교진입구의 유무
- $X_3$  : 단지출입구의 개소
- $X_4$  : 버스정류장의 유무
- $X_5$  : 지하철역 출입구의 유무

김보라(2002)는 다중회귀분석을 실시하여 도시의 토지이용에 따른 보행자 통행발생 수요예측 모형을 정립하였다.

$$Y_{\text{주거(아파트)}} = 896.22 + 0.003355X_{\text{총연상면적}} + 0.08388X_{\text{버스}} + 0.452X_{\text{지하철}}, R^2 = 0.873$$
 (6)

$$Y_{\text{업무}} = 2000.566 + 0.319X_{\text{버스}} + 0.008633X_{\text{총연상면적}} - 0.031X_{\text{지원수}}, R^2 = 0.941 \quad (7)$$

$$Y_{\text{상업}} = 3383.058 + 0.287X_{\text{버스}} + 0.02687X_{\text{총연상면적}} + 0.006268X_{\text{점포수}} - 0.219X_{\text{주차면수}}, R^2 = 0.955 \quad (8)$$

- $Y_{\text{주거(아파트)}}$  : 주거지역 시간당 최대보행량(인/h)
- $Y_{\text{업무}}$  : 업무지역 시간당 최대보행량(인/h)
- $X_{\text{주차면수}}$  : 주차면수
- $X_{\text{지하철}}$  : 지하철역수
- $Y_{\text{상업}}$  : 상업지역 시간당 최대보행량(인/h)
- $X_{\text{총연상면적}}$  : 총연상면적( $m^2$ )
- $X_{\text{지원수}}$  : 직원수
- $X_{\text{버스}}$  : 버스정류장수
- $X_{\text{점포수}}$  : 점포수

Jahanbalhsh Behnam and Bharat G. Patel (1977)은 Milwaukee의 Central Business District (CBD)에서 평일 6:00 a.m부터 6:00 p.m까지 보도보행량과 토지이용특성을 조사하여 보도보행량 예측모형을 개발하여 제시하였다.

- 침두시 보도보행량(12:00~13:00)

$$\ln Y = 5.128 + 4.03 \times 10^{-6} X_1 + 1.99 \times 10^{-6} X_2 + 0.0538 \ln X_3 + 0.056 \ln X_7 + 0.0389 \ln X_8 \quad (R^2 = 0.546) \quad (9)$$

- 평균 시간당 보도보행량

$$\ln Y = 5.159 + 3.57 \times 10^{-6} X_1 + 1.9 \times 10^{-6} X_2 + 0.0322 \ln X_3 + 0.0342 \ln X_5 + 0.0382 \ln X_7 + 0.0359 \ln X_8 \quad (R^2 = 0.583) \quad (10)$$

- $Y$  : 보도보행량(명/시)
- $X_1$  : 상업시설 면적 ( $ft^2$ )
- $X_2$  : 업무시설 면적 ( $ft^2$ )
- $X_3$  : 문화 및 오락시설 면적 ( $ft^2$ )
- $X_5$  : 주거지역 면적 ( $ft^2$ )
- $X_7$  : 공휴지 면적 ( $ft^2$ )
- $X_8$  : 저장 및 유지시설 면적 ( $ft^2$ )

## 2. 횡단보도 보행량 예측에 관한 연구

Scott E, Davis et al(1988)은 1986년 7월에

Washington D.C의 신호 또는 무신호의 교차로 8곳과 단일로(mid-block) 6곳에서 07:00~19:00까지 5분 간격으로 횡단보도 보행량을 조사하였다. 조사된 자료를 5, 10, 15, 30분 단위로 정리한 후 통계적처리를 하여 1, 2, 3, 4시간당 횡단보도 보행량을 예측하는 모형을 <표 1>에 제시하였다. 그러나 <표 1>의 횡단보도 보행량 예측모형은 현재 단시간동안 측정하여 시간단위의 보행량을 예측하는 것으로서 과거나 장래년도에는 적용이 불가능하다. 이오로는 횡단보도 보행량을 인력 또는 기계를 이용하여 카운트하는 방법에 불과하여 횡단보도 보행량 예측과 관련한 연구는 극히 미비하다.

<표 1> 횡단보도 보행량 예측모형

| 예측 보행량 | 횡단보도 보행량 측정시간(분)            |                                |
|--------|-----------------------------|--------------------------------|
|        | 5                           | 10                             |
| $V_1$  | $19.91 \times I_5^{0.7862}$ | $9.82 \times I_{10}^{0.8465}$  |
| $V_2$  | $43.04 \times I_5^{0.7686}$ | $20.89 \times I_{10}^{0.8226}$ |
| $V_3$  | $60.19 \times I_5^{0.7851}$ | $32.15 \times I_{10}^{0.8184}$ |
| $V_4$  | $62.43 \times I_5^{0.8113}$ | $44.89 \times I_{10}^{0.7618}$ |

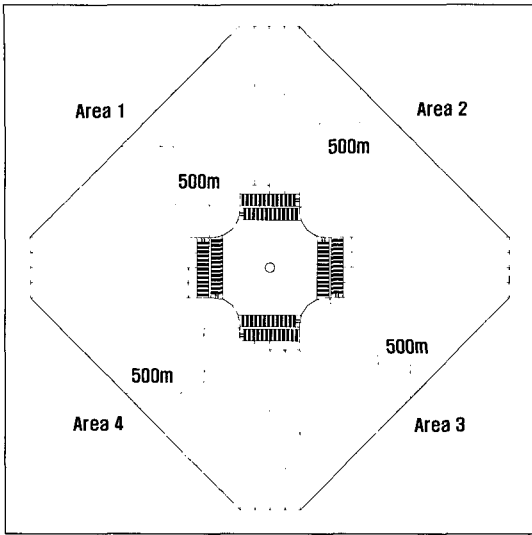
| 예측 보행량 | 횡단보도 보행량 측정시간(분)               |                                |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|
|        | 15                             | 30                             |
| $V_1$  | $5.75 \times I_{15}^{0.8996}$  | $2.37 \times I_{30}^{0.9625}$  |
| $V_2$  | $14.65 \times I_{15}^{0.8241}$ | $6.14 \times I_{30}^{0.8918}$  |
| $V_3$  | $17.38 \times I_{15}^{0.8842}$ | $9.44 \times I_{30}^{0.8901}$  |
| $V_4$  | $27.13 \times I_{15}^{0.8087}$ | $15.57 \times I_{30}^{0.8134}$ |

- $V_1, V_2, V_3, V_4$  : 1, 2, 3, 4 시간 동안 횡단보도 통과 예측 보행량
- $I_5, I_{10}, I_{15}, I_{30}$  : 5, 10, 15, 30분 동안 횡단보도 통과 실측 보행량

## III. 자료수집

### 1. 보행영역권 및 구역설정

보행자는 목적(여가선용·업무·시장보기·버سی용 등)을 달성하기 위해 신호교차로 횡단보도를 이용하여 도로를 횡단하는데 보행자의 출발지점이 횡단보도로부터 멀리 떨어져 있다면 도보보다는 타 교통수단을 이용하여 목적지에 도달할 것이다. 이는 적정의 횡단보도의 유효거리가 있음을 의미한다. 따라서, 횡단보도의 이용권이 보행거리로 어느 정도까지 유효한가에 대한 검토가 필요하고, 이를 보행영역권이라 할



〈그림 2〉 보행영역권 및 구역설정

수 있다. 또한 보행영역권은 본 논문 진행을 위한 신호교차로 주변 토지이용특성 조사범위의 한계를 설정하는데 이용되었다.

이영인(1986)은 서울시 도심에서 이용교통수단별, 목적통행별 평균보행시간과 평균보행거리를 조사하여 1차 건물을 들린 후 다음 목적지까지의 보행시간은 7.7~9.4분에 집중되며 이를 보행거리로 환산하면 약 450~600 m임을 제시하였다. 따라서 보행영역권은 신호교차로를 중심으로 보행거리 500 m로 설정하고, 구역은 〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 시계방향으로 구역 1, 2, 3, 4로 하였다.

### 2. 횡단보도 보행량 조사

본 연구의 횡단보도 보행량은 보행도로 보행자의 통행분포와 횡단보도 사고발생시간, 그리고 사고발생 요인을 고려하여 2002년 10월 평일에 17:00부터 18:00까지 1시간 동안 조사하였고, 조사된 횡단보도 보행량을 정리하여 구역간 기준년도(2002년) OD 표를 작성하였다. 조사대상 지점은 〈표 2〉와 같다.

### 3. 토지이용특성 조사

보행자도로의 보행수요를 예측하기 위한 방법은 보행자도로 주변의 토지이용특성을 조사하여 회귀분석

〈표 2〉 조사대상 지점

| 지점 번호 | 지점명           | 교차로 형태    | 횡단보도 수 |
|-------|---------------|-----------|--------|
| 1     | 송정동 영광동 사거리   | 4-Leg Sig | 4      |
| 2     | 우산동 우산 사거리    | 4-Leg Sig | 4      |
| 3     | 월곡동 월곡 사거리    | 4-Leg Sig | 4      |
| 4     | 백운동 부일공업사     | 4-Leg Sig | 3      |
| 5     | 월산동 월산사거리     | 4-Leg Sig | 4      |
| 6     | 계림동 산장입구 사거리  | 4-Leg Sig | 3      |
| 7     | 각하동 동부주유소 앞   | 4-Leg Sig | 3      |
| 8     | 두암동 동성주유소 앞   | 4-Leg Sig | 4      |
| 9     | 두암동 무등도서관 사거리 | 4-Leg Sig | 4      |
| 10    | 신안동 송원 백화점    | 4-Leg Sig | 4      |
| 11    | 신안동 용봉 사거리    | 4-Leg Sig | 4      |
| 12    | 신안동 전대사거리     | 4-Leg Sig | 4      |
| 13    | 용봉동 북구청 앞     | 4-Leg Sig | 4      |
| 14    | 운암동 씨티호텔 앞    | 4-Leg Sig | 3      |
| 15    | 풍향동 서방사거리     | 4-Leg Sig | 4      |
| 16    | 광천동 광천사거리     | 4-Leg Sig | 3      |
| 17    | 농성동 건강관리협회 앞  | 4-Leg Sig | 4      |
| 18    | 농성동 서부서 앞     | 4-Leg Sig | 4      |
| 19    | 화정동 삼익사거리     | 4-Leg Sig | 4      |
| 20    | 화정동 화정사거리     | 4-Leg Sig | 4      |
| 21    | 우산동 용일장 앞     | 4-Leg Sig | 4      |
| 22    | 우산동 현대 APT 앞  | 4-Leg Sig | 4      |
| 23    | 유동 사거리        | 4-Leg Sig | 4      |
| 24    | 중흥동 시청 사거리    | 4-Leg Sig | 4      |

또는 건물별 원단위를 이용한다. 본 연구에서는 횡단보도 보행유출입량과 토지이용특성간 회귀모형을 도출하기 위하여 교통개발연구원(1994)에서 제시한 원단위의 용도를 참고하여 보행영역권인 신호교차로 주변 500 m 이내 토지이용특성을 조사하였다. 조사항목은 〈표 3〉과 같다.

## IV. 신호교차로 횡단보도 보행유출입량 추정 모형 구축

### 1. 종속변수와 독립변수의 설정

종속변수는 보행의 기점이 되는 구역에서 횡단보도를 경유하여 다른 구역으로 나가는 보행량( $Y_p$ , Pedestrian/Hour)과 다른 구역으로부터 횡단보도를 경유하여 보행

〈표 3〉 조사항목

| 용도 |          | 조사내용                 |
|----|----------|----------------------|
| 1  | 주거       | 연립주택, 다세대주택          |
|    |          | 아파트                  |
|    |          | 주거+판매                |
|    |          | 주거+사무                |
|    |          | 기타                   |
| 2  | 의료       | 종합병원<br>의원, 병원       |
| 3  | 교육       | 대학교                  |
|    |          | 중·고등학교               |
|    |          | 초등학교                 |
|    |          | 연구소                  |
|    |          | 도서관                  |
|    |          | 교육원, 직업훈련소           |
|    |          | 학원(자동차학원제외)<br>자동차학원 |
| 4  | 종교       | 교회, 성당<br>사찰         |
| 5  | 운동       | 체육관                  |
|    |          | 수영장                  |
|    |          | 볼링장                  |
|    |          | 골프연습장                |
|    |          | 스포츠센터                |
| 6  | 일반<br>업무 | 사무실                  |
|    |          | 은행                   |
|    |          | 언론사(방송국, 신문사, 잡지사)   |
|    |          | 사무실+은행               |
|    |          | 사무실+판매시설<br>기타       |
| 7  | 공공<br>업무 | 청사(시청, 구청), 교육위원회    |
|    |          | 세무서                  |
|    |          | 등기소                  |
|    |          | 경찰서                  |
|    |          | 우체국, 전신전화국           |
|    |          | 정부투자기관               |
|    |          | 소방서                  |
| 8  | 숙박       | 여관, 일반호텔<br>관광호텔     |
| 9  | 판매       | 백화점, 쇼핑센터, 종합상가      |
|    |          | 소매시장, 슈퍼마켓           |
|    |          | 일반음식점, 유흥음식점         |
|    |          | 주유소                  |
| 10 | 관람<br>집회 | 예식장                  |
|    |          | 영화관, 공연장             |
|    |          | 관람장                  |
| 11 | 공장       | 공장                   |
| 12 | 운수       | 기차역                  |
|    |          | 도시철도역                |
|    |          | 공항                   |
|    |          | 버스터미널                |
|    |          | 기차역+도시철도역            |
| 13 | 유통       | 주차장                  |
|    |          | 버스정류장( 시내버스 )        |
|    |          | 정류장수                 |
| 14 | 관광<br>휴게 | 도매시장, 유통센터           |
|    |          | 배송센터, 창고             |
|    |          | 트럭터미널                |
|    |          | 복합화물터미널              |
| 15 | 전시       | 유원지                  |
|    |          | 공원, 동식물원             |
|    |          | 골프장                  |
| 16 | 기타       | 박물관, 미술관             |
|    |          | 이상의 이외의 시설           |

〈표 4〉 독립변수의 설정

| 용도 |                       | 독립변수          |          |
|----|-----------------------|---------------|----------|
|    | 주거                    | 가구수           | $X_1$    |
|    | 의료                    | 병상수           | $X_2$    |
|    | 교육                    | 학생수           | $X_3$    |
|    | 종교·관람                 | 좌석수           | $X_4$    |
|    | 운동                    | 연상면적( $m^2$ ) | $X_5$    |
|    | 일반업무                  | 연상면적( $m^2$ ) | $X_6$    |
|    | 공공업무                  | 연상면적( $m^2$ ) | $X_7$    |
|    | 숙박                    | 객실수           | $X_8$    |
| 판매 | 백화점·쇼핑센터<br>종합상가·도매시장 | 연상면적( $m^2$ ) | $X_9$    |
|    | 소매시장, 슈퍼마켓            | 점포수           | $X_{10}$ |
|    | 주유소                   | 주유기수          | $X_{11}$ |
|    | 공장                    | 연상면적( $m^2$ ) | $X_{12}$ |
| 운수 | 기차역                   | 평균1일수송량(명/일)  | $X_{13}$ |
|    | 버스터미널                 | 평균1일수송량(명/일)  | $X_{14}$ |
|    | 버스정류장                 | 정류장수          | $X_{15}$ |
|    | 주차장                   | 주차면수          | $X_{16}$ |
|    | 관광휴게                  | 연상면적( $m^2$ ) | $X_{17}$ |
| 전시 | 박물관·미술관               | 연상면적( $m^2$ ) | $X_{18}$ |

의 중점이 되는 구역으로 들어오는 보행량(  $Y_A$ , Pedestrian/Hour)으로 설정하였다.

보행자 행태를 고려하여 신호교차로 횡단보도에 대한 보행영역권을 500 m 이내로 한정한 후 토지이용 특성(〈표 3〉 조사항목)을 조사하였으나, 횡단보도로의 유효거리가 어디까지인지에 대한 검증은 실시해야 한다. 이를 위해 횡단보도로부터 0~100, 0~200, 0~300, 0~400, 0~500 m로 나누어 독립변수들에 대한 자료를 〈표 4〉에 정리하였다. 또한, 보행목적(출근·귀가·여가선용·업무·시장보기·버스이용 등)에 따라 보행거리가 달라지면 보행영역권이 상이하다는 점을 고려하여 주거구역과 상업구역 그리고 주거와 상업이 혼합되어 있는 혼합구역으로 분류한 후, 이에 대해서도 0~100, 0~200, 0~300, 0~400, 0~500 m로 나누어 독립변수들에 대한 자료를 정리하였다. 따라서, 횡단보도 보행유출입량 추정모형은 단순히 보행영역권내 모든 토지이용특성을 고려한 통합모형과 주거, 상업, 혼합구역을 고려한 개별모형으로 구분하여 구축하였다.

2. 종속변수의 분포확인

다중회귀분석을 실시하기 전 종속변수인  $Y_P$ (보행

유출량)와  $Y_A$ (보행유입량)의 분포를 확인하기 위한 방법으로  $\chi^2$  good-of-fit test를 실시하였다.

$$\chi^2 = \frac{(f_1 - np_1)^2}{np_1} + \frac{(f_2 - np_2)^2}{np_2} + \dots + \frac{(f_k - np_k)^2}{np_k} \quad (11)$$

만약,  $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha, k-1-2}$  이면 이 Data는 정규분포라 추론할 수 있다.

여기서,

- $k$  : 계급
- $n$  : 표본수,
- $f_k$  : 관찰도수
- $n \cdot p_k$  : 기대도수이다.

보행유출량에 대해서  $\chi^2 = 14.974 \leq \chi^2_{\alpha, k-1-2} = \chi^2_{0.05, 12-1-2} = \chi^2_{0.05, 9} = 16.919$ 이고, 보행유입량에 대해서  $\chi^2 = 11.378 \leq \chi^2_{\alpha, k-1-2} = \chi^2_{0.05, 12-1-2} = \chi^2_{0.05, 9} = 16.919$  이므로 횡단보도 보행유출량과 유입량은 정규분포라 추론할 수 있다.

### 3. 회귀모형의 추정

횡단보도 보행유출입량 추정모형 구축을 위한 통계 기법으로 다중회귀분석법을, 통계프로그램은 SPSS를 이용하였다. 다중회귀분석은 Stepwise 방법으로 독립변수를 선택하고 다중공선성을 분석한 후, 모형전체의 적정성분석(F-test)과 개별독립변수들에 대한 적정성분석(T-test) 그리고 다중회귀분석 가정에 대한 검증을 실시하여 보행영역권별 통합모형과 주거, 상업, 혼합구역을 고려한 개별모형을 구축하였다.

보행영역권(100, 200, 300, 400, 500 m 이내)별  $R^2$ 와 선택된 독립변수를 고려해 볼 때, 500 m 이내에서 추정된 회귀모형이 종속변수를 설명할 수 있는 타당한 독립변수로 구성되어 있고, 선택된 독립변수를 가지고 종속변수를 지지하는 설명력( $R^2$ )이 42.2%와 40.1%로 가장 높게 나타났다. 따라서, 모든 토지이용특성을 고려한 통합모형의 보행영역권은 500 m로 결정되고 이에 대한 횡단보도 보행유출입량 추정모형은 식(12), 식(13)과 같이 제시할 수 있다.

(표 5)통합모형의 적정성분석 결과

| 구분        | $Y_A$    |        | $Y_P$    |        |
|-----------|----------|--------|----------|--------|
| $R^2$     | 0.422    |        | 0.422    |        |
| F         | 0.862    |        | 0.862    |        |
| Signif. F | 0.000    |        | 0.000    |        |
| t         | $X_{10}$ | 2.611  | $X_3$    | 4.101  |
|           | $X_3$    | 3.360  | $X_{15}$ | 3.533  |
|           | $X_{15}$ | 2.794  | $X_6$    | -2.459 |
|           | $X_6$    | -1.859 | $X_{16}$ | 2.699  |
|           | $X_{16}$ | 2.223  | $X_1$    | 1.746  |
|           | $X_1$    | 1.822  | $X_1$    |        |

$$Y_A = 35.729 + 0.218X_{10} + 8.921 \times 10^{-3}X_3 + 34.194X_{15} - 2.3 \times 10^{-3}X_6 + 9.393 \times X_{16} + 4.159 \times 10^{-2}X_1 \quad (12)$$

$$Y_P = 61.709 + 1.044 \times 10^{-2}X_3 + 39.287X_{15} - 3.33 \times 10^{-3}X_6 + 0.109X_{16} + 3.796 \times 10^{-2}X_1 \quad (13)$$

토지용도에 따른 보행영역권별  $R^2$ 와 선택된 독립변수를 고려해 볼 때, 주거구역인 경우 500 m 이내에서, 상업구역인 경우 300 m 이내에서, 혼합구역인 경우 400 m 이내에서 추정된 회귀모형이 종속변수를 설명할 수 있는 타당한 독립변수로 구성되어 있고, 선택된 독립변수를 가지고 종속변수를 지지하는 설명력( $R^2$ )이 높음을 알 수 있다. 다음 식(14)~식(19)는 주거, 상업, 혼합구역에 따른 횡단보도 보행유출입량 추정 회귀모형식이다.

- 주거구역 : 보행영역권 500 m 이내
 
$$Y_A = -87.335 + 67.373X_{15} - 0.479X_{16} + 0.444X_{10} + 1.201 \times 10^{-2}X_3 + 6.492 \times 10^{-2}X_1 + 2.998 \times 10^{-2}X_4 \quad (14)$$

$$Y_P = -37.841 + 58.443X_{15} + 1.426 \times 10^{-2}X_3 + 5.943 \times 10^{-2}X_1 + 0.209X_{10} \quad (15)$$

- 상업구역 : 보행영역권 300 m 이내
 
$$Y_A = 14.547 + 6.985 \times 10^{-3}X_9 + 55.728X_{15} + 0.154X_1 \quad (16)$$

$$Y_P = -11.969 + 7.707 \times 10^{-3}X_9 + 62.435X_{15} + 0.178X_1 + 1.534 \times 10^{-2}X_5 \quad (17)$$

〈표 6〉 개별모형의 적정성분석 결과

| 구분       | 주거구역     |        | 상업구역     |       |          |       |          |       |
|----------|----------|--------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|          | $Y_A$    | $Y_P$  | $Y_A$    | $Y_P$ |          |       |          |       |
| $R^2$    | 0.656    | 0.598  | 0.489    | 0.627 |          |       |          |       |
| $F$      | 10.177   | 12.660 | 5.102    | 6.310 |          |       |          |       |
| Sig. $F$ | 0.000    | 0.000  | 0.011    | 0.003 |          |       |          |       |
| $t$      | $X_{15}$ | 3.090  | $X_{15}$ | 3.149 | $X_9$    | 3.573 | $X_9$    | 4.243 |
|          | $X_{16}$ | -2.561 | $X_3$    | 4.666 | $X_{15}$ | 2.371 | $X_{15}$ | 2.852 |
|          | $X_{10}$ | 3.531  | $X_1$    | 2.077 | $X_1$    | 1.858 | $X_1$    | 2.320 |
|          | $X_3$    | 3.675  | $X_{10}$ | 1.755 |          |       | $X_5$    | 1.857 |
|          | $X_1$    | 2.139  |          |       |          |       |          |       |
|          | $X_4$    | 1.812  |          |       |          |       |          |       |

| 구분       | 혼합구역     |        |          |        |
|----------|----------|--------|----------|--------|
|          | $Y_A$    | $Y_P$  |          |        |
| $R^2$    | 0.580    | 0.543  |          |        |
| $F$      | 6.911    | 4.161  |          |        |
| Sig. $F$ | 0.004    | 0.020  |          |        |
| $t$      | $X_{10}$ | 3.790  | $X_{10}$ | 2.240  |
|          | $X_9$    | 2.737  | $X_6$    | -2.568 |
|          | $X_7$    | -1.984 | $X_7$    | -2.068 |
|          |          |        | $X_5$    | 1.797  |

● 혼합구역 : 보행영역권 400 m 이내

$$Y_A = 123.886 + 0.477X_{10} + 4.48 \times 10^{-3}X_9 - 1.1 \times 10^{-2}X_7 \quad (18)$$

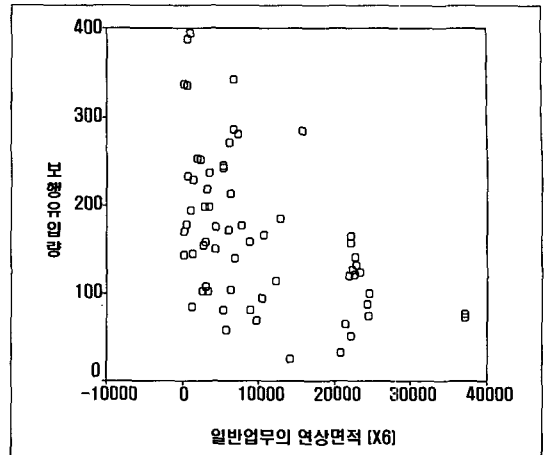
$$Y_P = 230.654 + 0.275X_{10} - 8.6 \times 10^{-3}X_6 - 1.2 \times 10^{-2}X_7 + 4.8 \times 10^{-2}X_5 \quad (19)$$

횡단보도 보행유입량( $Y_A$ )과 보행유출량( $Y_P$ )에 음의 영향력으로 작용하는 독립변수는 다중회귀식에 따라 식(12)-  $X_6$ , 식(13)-  $X_6$ , 식(14)-  $X_{16}$ , 식(18)-  $X_7$ , 식(19)-  $X_6$ ,  $X_7$  이다.

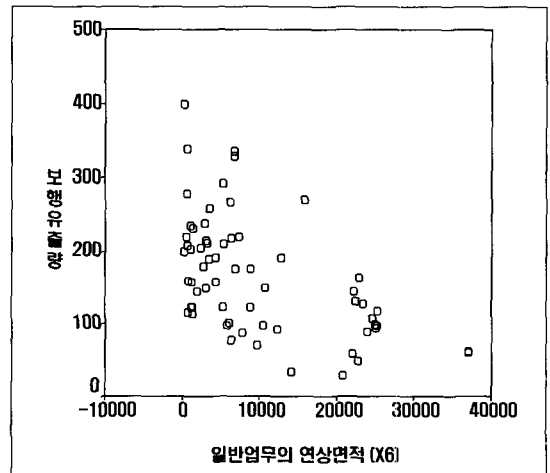
위의 독립변수들이 음의 영향력으로 작용하는 이유를 알아보기 위해 유입량과 유출량에 따른 개별 독립변수들의 산점도를 작성하였다(〈그림 3~그림 8〉).

위의 7개 산점도에서 모든 {보행유입량, 보행유출량}과 {일반업무의 연상면적, 공공업무의 연상면적, 주차장의 주차면수}간에는 반비례 관계의 경향을 보이고 있다. 따라서 다중회귀분석을 실시한 결과 음의 계수가 도출되었다.

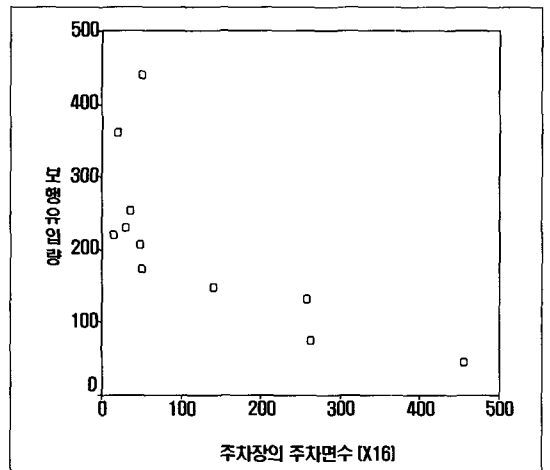
본 연구의 자료를 재차 분류해본 결과 일반업무시



〈그림 3〉 보행유입량-일반업무 연상면적 산점도(식(12))

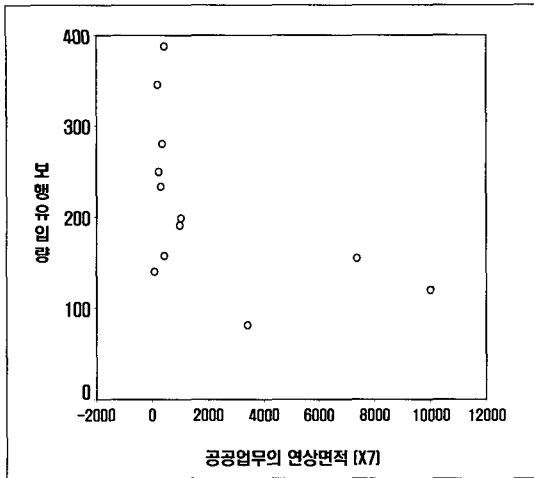


〈그림 4〉 보행유출량-일반업무 연상면적 산점도(식(13))

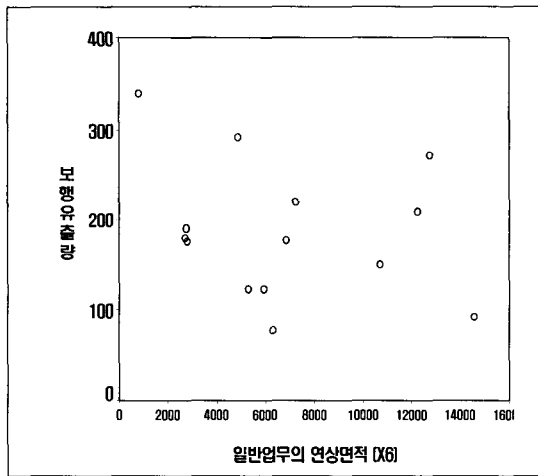


〈그림 5〉 보행유입량-주차장 주차면수 산점도(식(14))

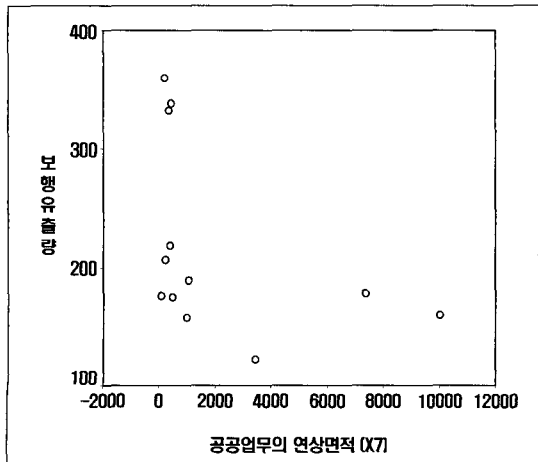




〈그림 6〉 보행유입량-공공업무 연상면적 산점도(식(18))



〈그림 7〉 보행유출량-일반업무 연상면적 산점도(식(19))



〈그림 8〉 보행유출량-공공업무 연상면적 산점도(식(19))

〈표 7〉 교통수단별 분담률<sup>2)</sup>

| 구분   | 승용차  | 승합차 | 화물차 | 택시   | 버스   | 지하철  | 셔틀버스 | 이륜차 | 도보   | 계   |
|------|------|-----|-----|------|------|------|------|-----|------|-----|
| 일반업무 | 35.4 | 2.3 | 1.7 | 7.5  | 28.7 | 10.1 | 0.4  | 2.5 | 11.4 | 100 |
| 공공업무 | 32.4 | 2.9 | 2.2 | 15.3 | 26.5 | 0.5  | 0.0  | 4.1 | 16.0 | 100 |

설과 공공업무시설은 보행영역권의 300 m 밖에 대부분 분포하고 있고, 교통개발연구원(1994)의 일반업무시설과 공공업무시설의 교통수단별 분담률(표 7)을 살펴보면 도보에 의한 분담률이 낮음을 알 수 있다. 물론, 타 교통수단의 승하차 위치가 도보에 영향을 끼치기는 하겠으나 신호교차로 횡단보도를 경유하는 보행보다는 보행이외의 교통수단을 이용하여 바로 목적지에 도착하는 통행이 이루어지는 것으로 판단된다.

이와 같이 생각해 볼 때, 횡단보도 보행유출입량이 일정하다면 보행영역권 300 m 이상에서는 상대적으로 일반업무와 공공업무의 연상면적이 커지므로 음의 영향력을 끼치리라 판단된다.

#### 4. 대각횡단 보행비율의 산정

임의의 한 구역에서 횡단보도를 두 번 경유하여 목적 구역까지 도착하는 보행을 대각횡단 보행이라고 한다(손규홍, 1995). 이 때 대각횡단 보행의 경로는 두가지 경우이다. 즉, 출발지가 구역 1이고 목적지가 구역 3일 때, 구역 2를 경유하는 경우(1→2→3)와 구역 4를 경유하는 경우(1→4→3)이다.

본 연구에서 추정된 횡단보도 보행유출량( $Y_p$ )과 보행유입량( $Y_A$ )은 중력모형을 이용하여 분포시키게 되고, 이 때 대각횡단 보행량은  $T_{13}$ ,  $T_{24}$ ,  $T_{31}$ ,  $T_{42}$ (OD 표)에서 나타난다.

보행자가 대각횡단 보행을 할 경우 어떠한 행태를 보이는지 알아보기 위해 횡단보도 보행자의 통행시간과 관련하여 ① 두 경로 중 통행시간이 더 짧은 경로에 더 많은 보행량이 분포할 것이라는 접근방법과 ② 보행자가 임의의 시점에 횡단보도에 도착했을 때 최초로 켜지는 횡단보도 녹색등의 시점과 시간을 고려한 접근방법으로 대각횡단 보행량에 대한 분포를 분석하였으나 유의한 결과를 얻지 못하였다. 이로 인하여 대각횡단 보행량은 각 지점별로 조사된 대각횡단 보행비율을 계산하여 적용하였다.

$$\frac{\text{대각횡단 보행비용}}{\text{개별경로 대각횡단 보행량}(T_{123} \text{ 또는 } T_{143})} = \frac{\text{대각횡단 보행량}(T_{123} + T_{143})}{\text{대각횡단 보행량}(T_{123} + T_{143})}$$

5. 통행시간 산정 및 마찰계수 계산

본 연구에서는 목표년도에 해당하는 구역간 횡단보도 보행량 통행분포를 위해 중력모형을 이용하였다. 이를 위해 기준년도 자료를 기반으로 중력모형의 마찰계수 ( $F_{ij}$ )와 구역간 조정계수 ( $K_{ij}$ )를 구하였고, 이를 목표년도 통행분포에 적용하였다.

1) 통행시간 산정

보행자의 횡단보도 통행시간은 횡단보도까지 도달한 후 횡단보도를 건너기 위해 대기하는 시간 (Average Waiting Time,  $t_{(i \rightarrow j)w}$ )과 횡단보도를 횡단하는데 소요되는 보행자 횡단시간(Crossing Time,  $t_{(i \rightarrow j)c}$ )을 합하여 계산하였다.

평균대기시간 ( $t_{(i \rightarrow j)w}$ )은 보행자의 도착분포 ( $Q$ (인/초))가 균일하고, 보행시간이 커지는 현시에서 도착했거나 도착하는 모든 보행자가 해당 현시의 마지막 시간까지 횡단거리에 관계없이 통과한다는 가정하에 횡단보도를 한 번 건너는 경우와 두 번 건너는 경우로 나누어 연구대상 20개 지점 신호현시에 맞추어 계산하였다. 보행자 횡단시간은 횡단보도길이, 횡단보행 속도, 여유시간에 대해 식(20)(경찰청(1996))을 이용하여 계산하였다.

$$t_{(i \rightarrow j)c} = \frac{L}{V} + T \tag{20}$$

여기서,

- $t_{(i \rightarrow j)c}$  : 보행자 횡단소요시간(초)
- $V$  : 횡단보행속도(1.0 m/sec)
- $L$  : 횡단보도 길이(m)
- $T$  : 최소 7초의 여유시간

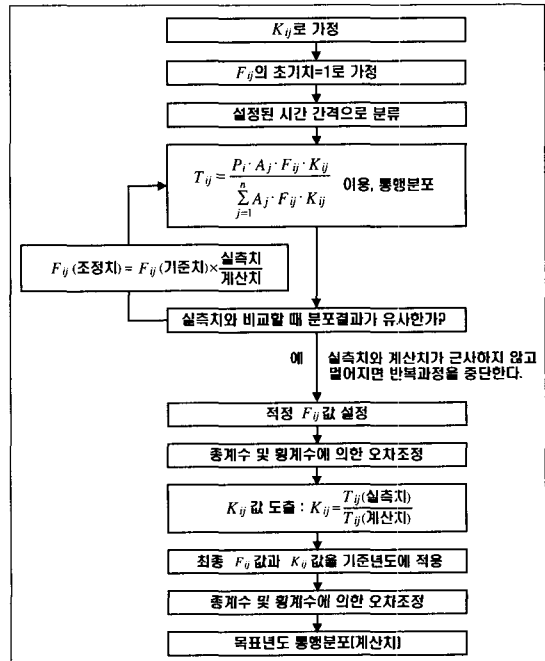
따라서, 연구대상 20개 지점에 대한 구역간 보행자 횡단보도 통행시간( $t_{ij} = t_{(i \rightarrow j)w} + t_{(i \rightarrow j)c}$ )은 <표 8>과 같이 계산되어진다. ( $t_{11} = t_{22} = t_{33} = t_{44} = 0$ )

<표 8> 구역간 통행시간표

|                  |          |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| $O \backslash D$ | 1        | 2        | 3        | 4        |
| 1                | $t_{11}$ | $t_{12}$ | $t_{13}$ | $t_{14}$ |
| 2                | $t_{21}$ | $t_{22}$ | $t_{23}$ | $t_{24}$ |
| 3                | $t_{31}$ | $t_{32}$ | $t_{33}$ | $t_{34}$ |
| 4                | $t_{41}$ | $t_{42}$ | $t_{43}$ | $t_{44}$ |

2) 마찰계수 계산

연구대상 신호교차로 20개 지점에 대한 보행자의 횡단보도 통행시간표와 횡단보도 보행량 자료를 이용하여 <그림 9>의 과정에 따라  $F_{ij}$ 와  $K_{ij}$ 를 계산하였다.



<그림 9> 중력모형에 의한 통행분포 추정과정

6. 중력모형 적용의 적합도 검증

추정된 횡단보도 보행자출입량을 횡단보도별로 분포시키기 위한 통행분포기법인 중력모형을 이용하기 위해 각 지점별로 조사된 횡단보도 보행량으로 각 구역간 OD 표(실측치)를 작성한 후, 횡단보도를 건너는데 소요되는 통행시간을 산정하고, 마찰계수 ( $F_{ij}$ )와 구역간 조정계수 ( $K_{ij}$ )를 계산하였다. 그러나 보행과 관련하여 중력모형 적용에 대한 적합도 검증이 실시되지 않았다. 이를 위해 각 연구 대상 지점별로 ①

실측에 의한 OD 표와 계산에 의한 OD 표간 그리고 ② 실측 OD 표와 추정 OD 표간 보행량을 대응시켜 통계적 검정(Paired t-test)을 실시하였다.

1) 구역간 실측치 OD 표와 계산치 OD 표간 중력모형 적용의 검정

귀무가설  $H_0 : \mu_{실측치} = \mu_{계산치}$  와 대립가설  $H_1 :$

$\mu_{실측치} \neq \mu_{계산치}$  로 설정하여 Paired t-test 양측검정을 수행한 결과 <표 9>와 같이 나타났다.

$|T| = 0.000$  이고  $t_{(a/2, n-1)} = t_{(0.025, 11)} = 2.201$  로 20개 지점 모두  $|T| \leq t_{(a/2, n-1)}$  이므로 귀무가설이 기각불가가 된다. 따라서, 실측치와 계산치는 통계적으로 차이가 없다고 추론할 수 있으며 중력모형을 적용하는데 있어 타당함을 보여주고 있다.

<표 9> 실측치와 계산치의 Paired t-test 결과

| 지점 번호 | T      | 자유도 | 유의확률 (양 쪽) | $t_{(a/2, n-1)}$<br>$t_{(0.025, 11)}$ |
|-------|--------|-----|------------|---------------------------------------|
| 1     | 0.000  | 11  | 1.000      | 2.201                                 |
| 2     | 0.000  | 11  | 1.000      |                                       |
| 3     | -0.039 | 11  | 0.969      |                                       |
| 4     | -0.010 | 11  | 0.992      |                                       |
| 5     | -0.019 | 11  | 0.985      |                                       |
| 6     | -0.008 | 11  | 0.993      |                                       |
| 7     | -0.045 | 11  | 0.965      |                                       |
| 8     | -0.019 | 11  | 0.985      |                                       |
| 9     | -0.012 | 11  | 0.990      |                                       |
| 10    | -0.080 | 11  | 0.938      |                                       |
| 11    | 0.013  | 11  | 0.990      |                                       |
| 12    | -0.012 | 11  | 0.991      |                                       |
| 13    | -0.008 | 11  | 0.993      |                                       |
| 14    | -0.044 | 11  | 0.965      |                                       |
| 15    | -0.005 | 11  | 0.996      |                                       |
| 16    | -0.045 | 11  | 0.965      |                                       |
| 17    | 0.000  | 11  | 1.000      |                                       |
| 18    | -0.026 | 11  | 0.980      |                                       |
| 19    | -0.025 | 11  | 0.980      |                                       |
| 20    | -0.019 | 11  | 0.985      |                                       |

2) 구역간 실측치 OD 표와 추정치 OD 표간 중력모형 적용의 검정

횡단보도 보행유출입량 추정모형(통합모형과 개별

모형)에 의해서 추정된 보행유출입량을 각 연구대상 지점별로 계산된  $F_{ij}$ 와  $K_{ij}$ 를 이용하여 분포시킨 후 통계적 검정을 실시한 결과는 <표 10>, <표 11>과 같다.

Paired t-test를 수행한 결과 통합모형에서는 실측치와 추정치간 귀무가설( $H_0 : \mu_{실측치} = \mu_{추정치}$ )이 차이가 있음을 의미하는 기각이 발생하였으나, 개별모형에서는 귀무가설이 모두 기각불가가 되어 실측치와 추정치간 통계적으로 차이가 없음이 도출되었다. 따라서, 횡단보도 보행유출입량 추정모형은 주거, 상업, 혼합구역으로 구분하여 도출된 개별모형을 최종 결정하였다.

7. 횡단보도 보행유출입량 추정모형의 적합도 검정

횡단보도 보행유출입량 추정모형에 대한 적합도 검정 대상 신호교차로 횡단보도는 <표 2>의 하단부에 제시한 지점번호 21, 22, 23, 24이고 지점별 토지이용특성은 <표 12>과 같다.

<표 10> 실측치와 통합모형 추정치의 Paired t-test 결과

| 지점 번호 | T      | 유의확률 (양 쪽) | 귀무가설 기각여부 | $t_{(a/2, n-1)}$<br>$t_{(0.01, 11)}$ |
|-------|--------|------------|-----------|--------------------------------------|
| 1     | 0.541  | 0.599      | 기각불가      | 2.718                                |
| 2     | -3.348 | 0.007      | 기각        |                                      |
| 3     | 0.094  | 0.927      | 기각불가      |                                      |
| 4     | -0.275 | 0.788      | 기각불가      |                                      |
| 5     | -2.273 | 0.044      | 기각불가      |                                      |
| 6     | -0.557 | 0.588      | 기각불가      |                                      |
| 7     | -3.757 | 0.003      | 기각        |                                      |
| 8     | 0.690  | 0.504      | 기각불가      |                                      |
| 9     | -1.414 | 0.185      | 기각불가      |                                      |
| 10    | 1.731  | 0.111      | 기각불가      |                                      |
| 11    | -0.455 | 0.658      | 기각불가      |                                      |
| 12    | 0.810  | 0.435      | 기각불가      |                                      |
| 13    | 1.758  | 0.106      | 기각불가      |                                      |
| 14    | -2.875 | 0.015      | 기각        |                                      |
| 15    | 1.350  | 0.204      | 기각불가      |                                      |
| 16    | -0.723 | 0.485      | 기각불가      |                                      |
| 17    | 0.369  | 0.719      | 기각불가      |                                      |
| 18    | 2.398  | 0.035      | 기각불가      |                                      |
| 19    | -2.592 | 0.025      | 기각불가      |                                      |
| 20    | -0.974 | 0.351      | 기각불가      |                                      |

〈표 11〉 실측치와 개별모형 추정치의 Paired t-test 결과

| 지점 번호 | T      | 유의확률 (양 쪽) | 귀무가설 기각여부 | $t_{(a/2, n-1)}$<br>$t_{(0.01, 11)}$ |
|-------|--------|------------|-----------|--------------------------------------|
| 1     | 0.116  | 0.288      | 기각불가      | 2.718                                |
| 2     | -2.528 | 0.028      | 기각불가      |                                      |
| 3     | -0.598 | 0.562      | 기각불가      |                                      |
| 4     | -0.046 | 0.964      | 기각불가      |                                      |
| 5     | -1.469 | 0.170      | 기각불가      |                                      |
| 6     | 0.224  | 0.827      | 기각불가      |                                      |
| 7     | -1.000 | 0.339      | 기각불가      |                                      |
| 8     | -0.204 | 0.842      | 기각불가      |                                      |
| 9     | -0.329 | 0.748      | 기각불가      |                                      |
| 10    | 1.188  | 0.260      | 기각불가      |                                      |
| 11    | -0.876 | 0.400      | 기각불가      |                                      |
| 12    | -0.420 | 0.682      | 기각불가      |                                      |
| 13    | 1.758  | 0.106      | 기각불가      |                                      |
| 14    | -1.750 | 0.108      | 기각불가      |                                      |
| 15    | 2.081  | 0.062      | 기각불가      |                                      |
| 16    | -0.723 | 0.485      | 기각불가      |                                      |
| 17    | 1.363  | 0.200      | 기각불가      |                                      |
| 18    | 2.630  | 0.023      | 기각불가      |                                      |
| 19    | -2.025 | 0.068      | 기각불가      |                                      |
| 20    | -2.247 | 0.046      | 기각불가      |                                      |

〈표 12〉 적합도 검정 지점의 특성

| 지점 번호 | 교차로 형태    | 횡단보도 수 | 구역 |    |    |    |
|-------|-----------|--------|----|----|----|----|
|       |           |        | 1  | 2  | 3  | 4  |
| 21    | 4-Leg Sig | 4      | 혼합 | 주거 | 주거 | 혼합 |
| 22    | 4-Leg Sig | 4      | 주거 | 주거 | 주거 | 주거 |
| 23    | 4-Leg Sig | 4      | 상업 | 상업 | 상업 | 상업 |
| 24    | 4-Leg Sig | 4      | 주거 | 주거 | 주거 | 혼합 |

검정 지점에 대한 횡단보도 보행유출입량과 토지이용특성 자료는 현장조사를 실시하여 획득하였으며, 이를 이용하여 각 지점별 OD 표(실측치)를 작성하고 대각횡단보행비율, 마찰계수 그리고 조정계수를 계산하였다. 다음으로, 토지이용특성 자료를 주거, 상업, 혼합구역을 고려한 개별모형에 각각의 독립변수로 대입하여 횡단보도 보행유출입량을 추정하였고, 추정된 횡단보도 보행유출입량을 각 지점별  $F_{ij}$ 와,  $K_{ij}$ 를 이용하여 통행분포를 시킨 후, 종계수와 횡계수 조정에 의해 최종 통행분포 OD 표(추정치)를 작성하였다. 마

지막으로, 추정된 OD 표에서 대각횡단이 나타나는  $T_{13}$ ,  $T_{24}$ ,  $T_{31}$ ,  $T_{42}$ 에 상기 계산된 각 지점별 대각횡단 보행비율을 적용하여 각 보행경로별 횡단보도 보행량을 〈표 13〉와 같이 계산하였다.

〈표 13〉 보행경로별 횡단보도 보행량(실측치와 추정치)

| 경로 \ 지점 | 21 |     | 22  |    | 23 |     | 24 |     |
|---------|----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|
|         | 실  | 추   | 실   | 추  | 실  | 추   | 실  | 추   |
| 1→2     | 29 | 29  | 14  | 12 | 59 | 70  | 27 | 59  |
| 1→4     | 73 | 101 | 109 | 89 | 37 | 27  | 45 | 52  |
| 1→2→3   | 6  | 9   | 14  | 2  | 5  | 19  | 1  | 1   |
| 1→4→3   | 5  | 8   | 1   | 0  | 2  | 8   | 7  | 9   |
| 2→1     | 40 | 61  | 33  | 25 | 74 | 78  | 58 | 88  |
| 2→3     | 86 | 121 | 73  | 10 | 11 | 24  | 56 | 63  |
| 2→1→4   | 4  | 5   | 3   | 3  | 7  | 3   | 4  | 4   |
| 2→3→4   | 5  | 6   | 75  | 77 | 5  | 2   | 13 | 14  |
| 3→2     | 74 | 60  | 90  | 29 | 32 | 50  | 33 | 44  |
| 3→4     | 16 | 18  | 79  | 25 | 68 | 66  | 41 | 29  |
| 3→2→1   | 7  | 9   | 0   | 0  | 4  | 10  | 12 | 13  |
| 3→4→1   | 0  | 0   | 7   | 2  | 1  | 2   | 15 | 16  |
| 4→1     | 49 | 49  | 88  | 84 | 25 | 15  | 33 | 49  |
| 4→3     | 16 | 154 | 75  | 25 | 47 | 108 | 33 | 110 |
| 4→1→2   | 4  | 2   | 60  | 80 | 6  | 2   | 5  | 10  |
| 4→3→2   | 4  | 2   | 8   | 11 | 6  | 2   | 8  | 15  |

주) 실 : 실측치, 추 : 추정치

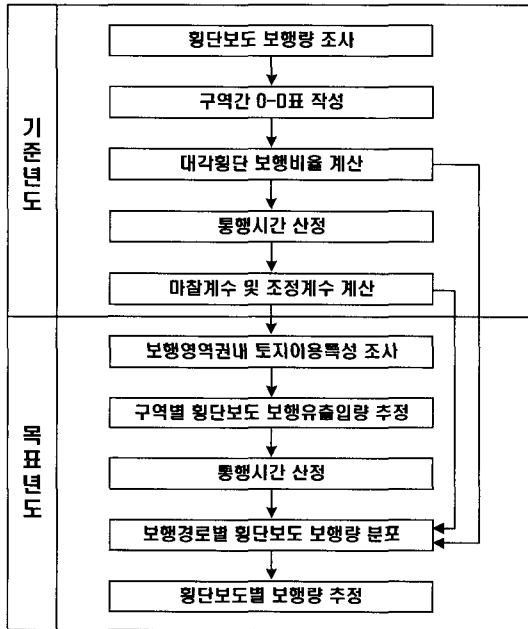
〈표 14〉 추정모형의 적합도 검정 결과

| 지점 번호 | T      | 유의확률 (양쪽) | 귀무가설 기각여부 | $t_{(a/2, n-1)}$<br>$t_{(0.01, 15)}$ |
|-------|--------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| 21    | -1.525 | 0.148     | 기각불가      | 2.602                                |
| 22    | 2.456  | 0.027     | 기각불가      |                                      |
| 23    | -1.433 | 0.172     | 기각불가      |                                      |
| 24    | -2.237 | 0.041     | 기각불가      |                                      |

이에 대한 통계적 검정결과는 〈표 14〉에서 보는 바와 같이, 귀무가설이 모두 기각불가가 됨으로써 ( $H_0$  : Accept) 횡단보도 보행유출입량 추정모형과 중력모형 적용, 그리고 대각횡단 보행비율의 적용이 타당함을 보여주고 있다.

### V. 목표년도 횡단보도 보행량 추정과정

임의의 신호교차로 횡단보도에서 보행자사고가 발생한 시점(과거)의 횡단보도 보행량을 추정하거나, 장래 계획년도에 신설될 횡단보도 보행량을 예측하는 과정을 <그림 10>와 같이 정리하였다.



<그림 10> 목표년도 신호교차로 횡단보도 보행량 추정과정

- 과정 1 : 기준년도 신호교차로 횡단보도 주변을 1, 2, 3, 4구역으로 설정하고 보행경로별 횡단보도 보행량을 조사한다.
- 과정 2 : 조사된 횡단보도 보행량을 정리하여 구역간 OD 표를 작성하고, 대각횡단 보행비율을 계산한다.
- 과정 3 : 신호교차로 신호현시와 기하구조를 조사하여 보행자의 통행시간을 산정하고 중력모형의 마찰계수( $F_{ij}$ )와 구역간 조정계수( $K_{ij}$ )를 계산한다.
- 과정 4 : 목표년도 보행영역권내 토지용도를 파악한 후 주거, 상업, 혼합구역에 따른 토지이용특성 자료를 수집한다.
- 과정 5 : 본 연구에서 제시한 식(14)~식(19)를 이용하여 횡단보도 보행유출입량을 추정한다.

- 과정 6 : 목표년도 신호교차로 신호현시와 기하구조 자료를 이용하여 보행자의 통행시간을 산정한다.
- 과정 7 : 기준년도 자료를 통해 계산된 대각횡단 보행비율과 마찰계수 그리고 조정계수를 이용하여 보행경로별로 횡단보도 보행량을 분포시킨다.
- 과정 8 : 각 횡단보도에 해당하는 보행경로의 보행량을 합산하여 횡단보도별 보행량을 추정한다.

### VI. 결론 및 향후 연구과제

#### 1. 결론

본 연구는 신호교차로 횡단보도 안전성 및 소통을 평가하기 위한 첫 단계인 횡단보도 보행량 추정방법을 제시하기 위해 기준년도 신호교차로 주변의 토지이용특성과 횡단보도 보행량을 조사하여 횡단보도 보행유출입량 추정모형을 구축하였고, 추정된 횡단보도 보행량을 각 횡단보도별로 분포시킬 수 있는 방법을 개발하였다. 이에 대한 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 신호교차로 횡단보도 보행유출입량 추정모형 구축 : 식(14)~식(19)
- (2) 횡단보도 보행유출입량 추정모형과 중력모형 적용의 타당성 입증 : 모형구축에 포함되지 않는 신호교차로를 무작위로 추출하여 현장조사를 실시한 후, (1)의 모형으로 횡단보도 보행유출입량을 추정하여 중력모형의 마찰계수와 구역간 조정계수 그리고 대각횡단 보행비율을 적용시켜 횡단보도 보행경로별로 보행량을 분포시켰다. 다음으로, 보행경로별 추정보행량과 실측보행량을 대응시켜 Paired t-test를 실시한 결과 귀무가설이 모두 기각불가가 됨으로써 횡단보도 보행유출입량 추정모형과 중력모형(마찰계수·조정계수), 그리고 대각횡단 보행비율 적용 타당성을 입증하였다.
- (3) 임의의 신호교차로 횡단보도에서 보행자사고가 발생한 시점(과거)의 횡단보도 보행량을 추정하거나, 장래 계획년도에 신설 될 횡단보도 보행량을 예측하는 과정을 제시하였다.

## 2. 향후 연구과제

본 연구에서는 기준년도에 조사된 자료를 바탕으로 지점별 신호교차로 횡단보도 마찰계수와 대각횡단 보행비율을 계산하여 각각의 지점에 적용시킴으로써 횡단보도 보행량을 추정하였다. 그러나 기준년도에 조사가 되지 않은 신호교차로에 대해서는 본 연구의 결과를 적용할 수 없으므로 임의의 지점에 대한 과거 또는 장래의 토지이용특성과 기하구조, 그리고 신호현시 자료가 주어진다면 보행량 추정이 가능토록 통합적인 마찰계수 값과 대각횡단 보행비율 산정방법이 향후 연구되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 경찰청(1996), "교통안전시설실무편람 개정판"
2. 교통개발연구원(1994), "교통량예측을 위한 교통유발원단위 연구".
3. 김보라(2002), "도시의 토지이용에 따른 보행자 통행발생 모형정립", 경원대학교 대학원 석사학위 논문.
4. 손규홍(1995), "대각선 횡단보도의 정량적 설치기준에 관한 연구", 한양대학교 환경과학대학원 석사학위 논문.
5. 원제무, 최재성(2000), "교통공학", 박영사.
6. 이영인(1986), "보행수요 예측모형의 정립 및 적용에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
7. 이재춘(1994), "보행량추정모형에 관한 연구", 경원대학교 대학원 석사학위 논문.
8. Jahanbalhsh Behnam and Bharat G. Patel(1977), "Pedestrian Volumes Estimation by Land-Use Variables", ASCE Journal of Transportation Engineering Volume: 103 Issue: 4, pp.507~520.
9. Scott E. Davis, L. Ellis King, and H. Douglas Robertson(1988), "Predicting Pedestrian Crosswalk Volumes", Transportation Research Record 1168, pp.25~30.

✉ 주 작 성 자 : 하태준

✉ 논문투고일 : 2003. 5. 9

논문심사일 : 2003. 6. 18 (1차)

2003. 6. 23 (2차)

심사판정일 : 2003. 6. 23

✉ 반론접수기한 : 2003. 10. 31

that will occur according to the route chosen.

This study tries to build a framework in which we can observe the learning behavior of the drivers' expectations of the travel time under nonstationary environment. In order to investigate how drivers have their subjective expectations on traffic conditions in response to public information, a numerical experiment is carried out.

We found that rational expectations(RE) formation about the route travel time can be expressed by the adaptive expectation model when the travel time changes in accordance with the nonstationary process which consists of permanent shock and transient shock. Also, we found that the adaptive parameter of the model converges to the fixed value corresponding to the route conditions.

#### **Model Development Determining Probabilistic Ramp Merge Capacity Including Forced Merge Type**

KIM, Sang Gu

Over the decades, a lot of studies have dealt with the traffic characteristics and phenomena at a merging area. However, relatively few analytical techniques have been developed to evaluate the traffic flow at the area and, especially, the ramp merging capacity has rarely been. This study focused on the merging behaviors that were characterized by the relationship between the shoulder lane flow and the on-ramp flow, and modeled these behaviors to determine ramp merge capacity by using gap acceptance theory. In the process of building the model, both an ideal merge and a forced merge were considered when ramp-merging vehicles entered the gap provided by the flow of the shoulder lane. In addition, the model for the critical gap was proposed because the critical gap was the most influential factor to determine merging capacity in the developed models. The developed models showed that the merging capacity value

was on the increase as the critical gap decreased and the shoulder lane volume increased. This study has a meaning of modeling the merging behaviors including the forced merging type to determine ramp merging capacity more precisely. The findings of this study would help analyze traffic phenomena and understand traffic behaviors at a merging area, and might be applicable to decide the primary parameters of on-ramp control by considering the effects of ramp merging flow.

#### **Estimation of Crosswalk Pedestrian Volume at Signalized Intersection**

HA, Tae Jun · KIM, Jeong Hyun · PARK, Je Jin

Forecasting models for crosswalk pedestrian volume, which consider safety of crosswalks and good traffic operation accidents, have been established in order to reduce total number of crosswalk pedestrian accidents. However, the existing models did not include pedestrian volume which seemed to be very significant in the forecasting models because there were no pedestrian volume related data and no methods of estimating pedestrian volume. This paper presents estimating models for the total number of trips, which are produced in zone i and attracted to zone j, and a process of estimating pedestrian volume in the goal year.

First of all, the estimating models included the characteristics of land-use around a signalized intersection and the crosswalk pedestrian volume as factors. Secondly, the estimated crosswalk pedestrian volume was distributed to the crosswalk pedestrian volume each path in the basic year by friction factors of Gravity Model, adjustment factors for area and ratio of pedestrian volume who moved diagonally at the crosswalk. Thirdly, the estimating models of crosswalk pedestrian volume in the goal year were presented by using the distributed crosswalk pedestrian volume.