

■ 論 文 ■

# 도시부 보행자 교통신호기 설치기준 연구

A Study on Pedestrian Signal Warrants at Urbanized Area

**장 덕 명**

(도로교통안전협회  
교통과학연구원 연구위원)

**이 병 철**

(도로교통안전협회  
교통과학연구원 선임연구원)

**김 윤 지**

(도로교통안전협회  
교통과학연구원 연구위원)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 현행 국내외 기준 검토
    - 1. 국내 기준 및 현행 문제점 검토
    - 2. 외국 기준
  - III. 이론고찰 및 연구 방법론
    - 1. 보행자 대기시간 및 보행신호 녹색시간
    - 2. 적정 횡단간격의 빈도
    - 3. 보행자 간섭에 의한 차량통행 방해
  - IV. 현장 조사 및 분석
    - 1. 보행자 횡단행태 분석
    - 2. 조사지점 횡단 보행속도 및 대기시간
    - 3. 보행자 횡단간격과 최대 차량교통류율
    - 4. 보행자 간섭에 의한 차량 교통량 산정
  - V. 평가 및 기준안 제시
  - VI. 결론
- 참고문헌

## 요 약

교통신호기는 다양한 교통 통행에 우선권을 부여하는 교통안전시설물로서, 교통소통에 지대한 영향을 끼치는 매우 중요한 통제시설이다. 그러나 현행 부적절한 신호기 설치 및 미설치로 차량 교통의 흐름을 방해하거나 교통사고를 증가시키는 경우가 있다. 본 연구는 교통안전시설실무편람에 제시된 9가지 신호기 설치기준중 보행자 신호기 설치 기준에 대하여 국내 도로상황 및 보행자 특성 등에 맞는 새로운 설치기준을 제시하는데 목적이 있다.

보행자가 보도상에서 기다릴 수 있는 최대한도 대기시간은 단일로상의 무신호 횡단보도에 교통신호기가 설치되었을 경우를 가정하여 설정하였으며, 보행자 신호기 설치를 위한 차량 교통량과 보행자 교통량을 도로폭 관련 차로수별로 도출하였다. 왕복 2차로 도로인 경우 차량 교통량은 시간당 990대, 4차로인 경우 420대, 6차로인 경우 120대를 보행자 신호기 설치를 위한 최소 차량 교통량 기준값으로 하고, 차로수에 무관하게 보행자 교통량은 시간당 150명을 최소 기준값으로 제시하였다. 또한 차량 교통량과 보행자 교통량 상관관계에 의한 신호기 설치, 설치고려, 미설치 영역을 그래프로 작성하여 실무자의 편의를 도모하고자 하였다.

## I. 서론

자동차는 개인에게 이동성, 안락성 등을 제공하여 편의성을 증진시키기도 하지만, 교통사고 등으로 개인의 생명과 재산에 손실을 주기도 한다. 또한 한정된 도로시설에 반하여 급증하는 자동차는 도로혼잡 및 정체를 유발하고, 심각한 도시교통문제를 야기시킴에 따라 차량 중심의 정책과 대안을 모색할 수 밖에 없었다. 따라서 도로상의 교통약자인 보행자에 대한 관심소홀 등으로 인하여 보도의 보행자 서비스 수준은 한층 더 악화되고 있으며 1995년도의 경우 보행자의 교통사고 사망자수도 전체 교통사고 사망자수의 41.6%에 달하는 4,295명 이었으며, 1996년에는 전체 12,652명 교통사고 사망자의 37.8%에 달하는 4,788명 이었다. 전체 교통사고 사망자중 보행자 사망자의 비율은 감소 추세에 있으나, 보행자 사망자수는 여전히 증가 추세에 있음을 보여주고 있다.

횡단보도의 신호등 설치여부는 교통안전시설실무편람에서 정한 '보행자 교통량'과 '차량 교통량' 기준에 준하여 결정하고 있으나, 국내의 교통상황을 제대로 반영하지 못하고 외국의 설치기준(Signal Warrants)을 그대로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 교통신호기를 설치한 후에도 교통사고가 증가한다든지, 차량 교통류에 대한 지체를 유발하여 도시교통의 소통을 방해하기도 한다. 본 연구는 교통안전시설실무편람에 제시된 9가지 신호기 설치기준 중 '보행자 신호기' 기준에 대하여 국내 도로상황 및 보행자 특성 등에 맞는 새로운 설치기준을 제시함으로써 실무자의 편의 도모와 이를 통한 교통신호기 설치 운영시의 효율성을 기하고자 한다.

일반적으로 도시내 도로와 지방부 도로는 차량 교통량, 보행자 교통량, 속도 등의 교통여건이 다르므로 보행자 신호기 설치기준은 구분되어야 할 것으로 사료된다. 본 논문은 차량 및 보행자 교통량이 비교적 많은 도시를 대상으로 하였으므로 본 논문의 연구결과는 도시부로 국한시키고자 한다.

## II. 현행 국내의 기준 검토

### 1. 국내 기준 및 현행 문제점 검토

도로교통법 제 10조에는 "지방경찰청장은 도로를 횡단하는 보행자의 안전을 위하여 내무부령이 정하는 기준에 의하여 횡단보도를 설치할 수 있다"고 규정되어 있으며, 제 24조에는 "모든 차의 운전자는 보행자가 횡단보도를 통행하고 있는 때에는 그 횡단보도 앞에서 일시 정지하여 보행자의 횡단을 방해하거나 위험을 주어서는 아니된다"고 규정되어 있다. 도로교통법 시행규칙 제 9조에는 횡단보도의 설치기준이 규정되어 있다. 교통안전시설실무편람에는 "횡단보도는 접근하는 차량이 정지하여 있는 동안 보행자로 하여금 안전하게 도로를 횡단할 수 있도록 하기 위한 교통안전 시설이다"라고 정의하고 있다.

현재 우리나라 무신호 횡단보도는 설치기준이 마련되어 있지 않아 설치 요청이 있는 지점에 대해서는 각 지방경찰청내의 관련전문가들로 구성된 교통규제심의를 통해 설치여부를 판단하고 있는 실정이며, 무신호 횡단보도에 대한 설치현황 또한 파악이 되지 않고 있다. 그리고 무신호에서 신호로 설치되는 과정은 "교통안전시설실무편람"의 신호기 설치기준에 준하여 교통규제심의를 거쳐 결정하고 있다.

우리나라 단일로 무신호 횡단보도의 경우 횡단보도 노면표시와 함께 대부분 경보등으로 운영되고 있다. 경보등으로 운영되는 횡단보도에서는 보행자들은 주의하면서 횡단할 수 있고 차량은 다른 교통에 주의하면서 진행할 수 있도록 되어있다. 그러나 운전자의 심리, 운전행태, 운전습관 등에 의해 대부분의 운전자들은 무신호 횡단보도에서 주의를 기울이지 않고 진행하는 경우가 많아 보행자들은 차량간의 간격을 이용하여 횡단한다. 또한 적절한 횡단간격이 계속해서 발생하지 않을 때는 보행자들은 무리하게 횡단하는 경우도 많아 교통사고가 발생할 가능성이 크다.

신호기 설치기준은 일반적으로 차량 교통량, 보행자 교통량, 교통사고기록, 통학로, 연속교통류의 흐름 및 지체도 등을 고려하여 설치여부를 판단하고 있으며, 이러한 판단기준도 나라마다 조금씩 차이를 보이고 있다. 국내기준의 모체인 미국의 11개 설치기준

(MUTCD: Manual on Uniform Traffic Control Devices, 1988)은 일본이나 호주의 설치기준에 비하여 신호기 설치기준을 명확히 제시하고 있다. 그러나 미국의 기준도 다소의 문제점이 있는데, 최소 차량 교통량과 연속 교통류의 방해 등은 1920~1930년대 제정된 기준으로 과학적이며 공학적인 근거보다는 경험적인 근거에 준하여 전문가(Committee)들의 의견 수렴에 의하여 설정된 것이다.

국내의 교통신호기 설치기준은 교통안전시설실무편람에 제시하고 있으며, 현행 도로교통법 시행규칙 [별표 4]와 교통안전시설실무편람의 보행자 신호기 설치기준은 제 2기준인 보행자 교통량 기준과 제 8기준인 보행자 신호기 기준에 준한다. 제 2기준은 차량 신호기 설치기준의 일부로서, "평일의 양방향 차량 교통량이 시간당 600대 이상이며, 횡단보행자(자전거 포함) 교통량이 시간당 150명 이상인 경우가 8시간 이상일 때 차량 신호기를 설치한다"라고 규정되어 있는데, 이는 도로특성 및 기능, 도로폭, 교통특성 등을 고려하지 않은 단순한 기준으로써, 실제 현장 적용에는 많은 문제점을 내포하고 있다. 일례로, 도로폭이 다르면 보행자 횡단 소요시간도 달라지므로 보행자 신호기 설치를 위한 보행자 교통량, 차량 교통량 준거도 변화하게 된다. 또한 제 8기준인 보행자 신호기 기준은 도로특성 및 기능, 도로폭, 교통특성 등을 고려하였으나, 임의 규정으로써 현장 특성을 고려한 현장 실무자가 적용하기에는 매우 애매모호한 기준이라 할 수 있다. 본 연구는 교통안전시설실무편람에서 제시한 8개 기준중 「보행자 교통량」 기준을 새로이 제시하고자 한다.

## 2. 외국 기준

외국의 경우는 보행자 교통량에 의한 교통신호기 설치기준이 좀 더 구체적이고 세부적으로 되어 있다 (<표 1> 참조). 국내의 보행자 교통량 기준은 차량 및 보행자의 교통량을 1일 8시간으로 정하고 있으나 미국의 경우는 도로 기하구조에 따라 교차로나 단일로 상에서 주도로를 횡단하는 일일평균 보행자 교통량이 시간당 100명 이상인 경우가 4시간 이상일 때와 특정 시간대에 190명 이상으로 제시하고 있다. 국내의 신

호기 설치기준도 침두시간대를 구분하여 제정하는 것이 바람직하다고 사료된다.

또한, 미국의 신호기 설치기준은 보행자가 횡단할 수 있는 차두 간격의 수가 1분에 평균 1회의 횡단간격이 발생하지 않으면 신호기를 설치하도록 하고 있다. 이것은 인간공학적(Human Factor) 측면에서 보행자가 횡단하기 위해 인내심을 가지고 최대를 기다릴 수 있는 시간을 60초로 보아 보행자 대기시간이 60초 이상이 되면 신호기를 설치하여 보행자가 횡단할 수 있도록 하는데 근거한다. 또한 주도로를 따라 300피트(91m) 내에 신호기가 없는 경우에 한하여 신호기를 설치하도록 규정되어 있으며, 이는 국내의 횡단보도 설치 금지 장소로 "육교, 지하도 및 다른 횡단보도로 부터 200m 이내(어린이 보호구역에는 제외)"에는 설치 못하도록 하는 규정과 유사한 이론이다. 국내기준은 미국기준에 비하여 좀 더 신중함을 보이고 있으나, 횡단보도간 이격거리에 따른 관련근거의 기초연구가 요구되는 실정이다. 또한 미국의 경우, 신호기가 차량군 흐름을 지나치게 방해하지 않는 경우에 한하여 신호기를 설치하도록 규정되어 있으며, 이는 차량의 연동을 고려한 기준으로써 매우 세심한 배려라 하겠다.

일본은 주요 간선도로와 도시부가도로로 구분하여 차량 교통량(12시간 동안 주요간선도로 6,000대 이상, 도시부가로 8,000대 이상)을 만족하면서 보행자 교통량이 시간당 주요간선도로는 200명 이상, 도시부가로는 250명 이상일 때 신호기를 설치하도록 하고 있다. 주요 간선도로와 도시부 가도로 구분하여 신호기 설치기준을 제정한 것은 매우 타당하다고 사료되며, 국내의 기준에도 도로기능에 의한 기준설정의 구분이 필요하다. 일본의 주요 간선도로가 도시부가도로에 비해 신호기 설치기준으로 차량 교통량 및 보행자 교통량이 적은 것은 주요 간선도로는 연속교통류(Uninterrupted) 이론이 적용되는 도로로서, 도로기능상 간선도로는 이동성(Movement)이 접근성(Accessibility)보다 중요하기 때문에 속도가 빠르며, 높은 서비스 수준(Level-of-Service)이 요구되기 때문이다. 일반적으로 도시부가도로에 비하여 도로폭이 더 넓은 주요간선도로의 경우, 보행자 횡단소요시간이 길어져 신호기 설치를 위한 기준으로 차량 교통량 및

보행자 교통량을 적게 채택하는 것이 타당하다고 사료되며, 주요 간선도로는 보행자가 도시부도로에 비하여 적은 반면, 교통사고시 보행자의 피해정도가 크기 때문에 좀 더 안전을 고려하여 적은 교통량 기준을 채택한 것으로 분석되어 진다.

호주의 경우 신호기 설치기준에 있어서, 차량과 보행자 교통량은 우리나라와 제시한 값이 같으며, 그 외에 중앙분리대의 유무와 차량 속도에 따라 구분하여 기준값을 제시하였다. 캐나다의 경우는 보행자 총 대기시간에 따른 최소 보행자 교통량을 기준으로 하였으며, 아일랜드의 경우는 최소 보행자 교통량만을 고려한 단순기준을 사용하고 있다.

<표 1> 보행자 교통량 관련 각국별 신호기 설치기준 비교

구분	기준
미 국	<ul style="list-style-type: none"> <li>교차로나 단일로상에서 주도로를 횡단하는 일일 평균 보행자 교통량이 시간당 100명 이상인 경우가 4시간 이상일 때와 특정 시간대에 190명 이상인 경우</li> <li>보행자 교통량이 위의 조건을 만족할 때 동일한 시간동안 보행자가 차량간의 차두간격을 이용하여 횡단할 수 있는 차두간격수가 시간당 60회 이하일 때</li> <li>주도로를 따라 300피트 내에 신호기가 없는 경우</li> <li>신호기가 차량군 흐름을 지나치게 방해하지 않는 경우</li> </ul>
일 본	<ul style="list-style-type: none"> <li>주요간선도로(차량교통량이 12시간동안 6000대 이상, 피크 1시간 동안 650대 이상)의 경우 시간당 200명 이상</li> <li>도시부가로(차량교통량이 12시간동안 8000대 이상, 피크 1시간 동안 750대 이상)의 경우 시간당 250명 이상</li> </ul>
호 주	<ul style="list-style-type: none"> <li>주도로 차량교통량이 시간당 600대 이상일 때 일일 평균 특정한 4시간 동안의 보행자교통량이 시간당 150명 이상</li> <li>중앙분리대가 12m 이상의 폭으로 보행자가 두 번에 나누어 횡단할 때 주도로의 특정한 4시간 교통량이 1,000대/시 이상일 때</li> <li>주도로의 85th percentile 차량속도가 75km/시 초과 시 주도로의 교통량은 450대/시 이상, 중앙분리대가 있는 경우 750대/시 이상</li> </ul>
캐 나 다	<ul style="list-style-type: none"> <li>보행자 총 대기시간이 1시간이면서 최소 보행자 교통량이 60인/시 이상</li> </ul>
아일랜드	<ul style="list-style-type: none"> <li>최소 보행자 교통량이 90인/시 이상</li> </ul>

### III. 이론고찰 및 연구 방법론

보행자 신호기 설치기준의 근거는 보행자가 안전하게 횡단보도를 횡단하는데 영향을 주는 적절한 횡단간격에 대한 교통류 상태를 결정하는데 있다. 여기

에는 보행자 지체에 관한 의미도 포함된다. 만약, 보행자 지체가 커지게 되면 보행자가 횡단할 수 있도록 인위적으로 적절한 횡단간격을 만들기 위해서 교통제어시설의 설치가 필요하다. 우리나라 단일로 무신호 횡단보도에서 운전자들 대부분은 정지선에서 정지 또는 서행없이 그대로 횡단보도를 통과하며, 보행자들은 차량 간격을 이용하여 횡단보도를 횡단하는 실정이다. 반면에, 보행자 교통량이 많아 횡단 기회가 주어지면 오랫동안 차량에게 횡단보도 통과 기회를 양보하지 않아 장시간 차량 지체가 발생하게 된다. 즉, 보행자가 무작위로 도착하며 운전자는 횡단보도에 보행자가 있는한 계속해서 양보하여야 한다는 가정에서 차량이 보행자간의 간격을 이용하여 횡단보도를 통과한다는 것이다. 본 연구는 다음과 같은 이론적 절차에 의하여 신호기 설치를 위한 기준을 개발하였다.

- 첫 째, 차량의 간섭에 의한 보행자 횡단간격과 차량 교통량과의 상관관계 도출
- 둘 째, 보행자 간섭에 의한 차량 교통량과 보행자 교통량과의 상관관계 도출
- 셋 째, 위의 두 관계를 동시에 고려하여 차량 교통량과 보행자 교통량과의 상관관계 분석
- 넷 째, 도출된 그래프와 현장조사치와 비교·분석
- 다섯째, 신호기 설치를 위한 최소 보행자 교통량과 차량 교통량 기준제시

#### 1. 보행자 대기시간 및 보행신호 녹색시간

보행자는 무신호 횡단보도에서 안전하게 횡단하기 위하여 그 지점의 교통여건에 따라 일정시간 대기하게 된다. 즉, 차량 교통량이 많고 도로폭이 넓으면 보행자가 대기하여야 하는 시간도 길어진다. 시간당 차량 교통량과 도로를 횡단하는 보행자의 횡단시간을 현장조사를 통하여 알고 있을 때, J. C. Tanner는 횡단보행자 지수분포에 의한 대기확률을 다음 식(1)로 정립하였으며, 보행자 평균 대기시간에 관한 관계식을 식(1)로부터 다음 식(2)와 같이 도출하였다<sup>4)</sup>. 본 연구에서는 보행자가 횡단을 위해 기다릴 수 있는 최대 시간을 최대한도 대기시간으로 보고 식(1)을 이용하여 보행자 교통사고의 심각성을 고려하여 95th

percentile 대기확률을 보행자 최대한도 대기시간으로 가정하였다.

$$P(T) = \sum_{S=0}^{r+1} [(-1)^S e^{-SN/N^S(T-SI+I)^S} / S! + \sum_{S=1}^{r+1} [(-1)^S e^{-SN/N^S-1}(T-SI+I)^{S-1} / (S-1)!] \quad (1)$$

$$E(D) = (e^{NI} - NI - 1) / N \quad (2)$$

- 여기서, P(T) : 보행자 대기확률(대기시간>T)
- E(D) : 보행자 평균 대기시간(초)
- I : 도로횡단 소요시간 또는 횡단간격(초) [도로폭/횡단보행속도]
- N : 단위시간당 차량 교통량(대/초) [차량 교통량/3600]
- r : 최대정수 ≤ (T/I)
- S : 0, 1, 2, . . . , r+1

Tanner가 제안한 식에 의하면 차량이 많고 도로폭이 넓어지면 보행자는 무한히 기다릴 수 있다는 결과값들이 나온다. 일례로 왕복 4차로에서 보행속도가 1.2m/초이고 차량 교통량이 700대/시일 때 보행자 평균 대기시간은 약 46초가 되며, 식(1)에서 보행자 최대한도(95th percentile) 대기시간은 약 120초가 도출된다. 왕복 4차로의 시간당 차량 교통량 700대는 한산한 도로로 보행자가 2분씩이나 기다린다는 것은 실제와는 차이가 있다. 따라서, 본 연구에서 보행자의 최대한도 대기시간 산정시 Tanner 등이 제안한 이론식을 적용하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다. 또한 현장에서 관찰되어지는 값은 현장 교통상황에 따른 보행자의 대기시간으로써 엄밀한 의미에서는 보행자의 최대한도 대기시간이라고 말할 수 없다. 횡단보도에서 보행자의 최대한도 대기시간은 보행자 습성, 인성심리 등에 따라 다르므로, 현장조사를 통한 측정은 불가능하다고 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 무신호 횡단보도상에 교통신호가 설치되어 운영된다고 가정하여, 차량 진행시간 동안 보행자 신호등은 적색으로 등화되어 보행자는 신호기에 의하여 강제적으로 대기할 수 밖에 없으므로 이 시간을 보행자 최대한도 대기시간으로 설정하였다.

도로교통안전협회에서는 업무지역별 보행자의 보행속도를 측정하면서 보행자의 최소 녹색시간을 산정하는 프로그램을 개발하여, 최소 보행자 녹색시간은 횡단 출발 인지반응 시간에 보행자 대기행렬수에 따른 지체시간을 더한 값을 제안하였으며, 최소 보행자 녹색 점멸신호시간은 도로폭을 보행자의 횡단시간으로 나눈 값을 사용하여 다음 식(3)과 같이 제안하였다<sup>3)</sup>. 또한, 경찰청이 발간한 교통안전시설실무편람에서 제시한 보행 신호시간은 식(4)와 같다<sup>1)</sup>. 보행자 녹색점멸시간에는 횡단을 실시하고 있는 보행자는 횡단을 신속히 완료하여야 하며 횡단을 하지 않는 보행자는 도로상에 진입을 금지하고 있다. 즉, 적색시간동안 대기하고 있던 보행자군은 보행자 녹색신호시간대에 횡단보도에 진입하여 횡단보도를 정상적인 걸음으로 통과할 수 있으나 녹색 점멸이 시작되면 보행자는 정상적인 걸음으로 횡단을 완료하기가 어려워 사고의 위험이 내재하므로 횡단 시작을 금지시키는 것이다(식(4) 참조). 따라서 본 연구에서는 식(3, 4)에서 제시한 보행자 녹색시간 (r+H \* (R-1), t=7초)을 보행자가 횡단할 수 있는 시간으로 보고 주기에서 보행자 녹색시간을 제외한 나머지 시간(적색시간+녹색점멸시간)을 보행자 최대한도 대기시간으로 적용하였다.

$$T = r + H * (R-1) + W/S \quad (3)$$

$$T = t + W/S \quad (4)$$

- 여기서, T : 보행자 신호시간(초)
- r : 횡단 출발 인지반응 시간(초)
- t : 여유시간(초)으로 보행자 녹색시간임(보통 7초 적용)
- H : 보행자 대기행렬수에 따른 지체시간(초)
- R : 보행자 대기행렬수
- W : 횡단보도길이(m)
- S : 보행자 밀도와 지역구분에 따른 횡단보행속도(m/초, 1.0m/초 적용)

## 2. 적정 횡단간격의 빈도

본 연구에서는 적정 횡단간격의 빈도를 찾기 위해 포아송분포를 이용하였다. 일반적으로 포아송분포는

교통류의 연속적이며 무작위적인 도착확률을 추정할 때 가장 많이 사용하며, 이항분포는 교차로 등에서 차량이 특정한 회전특성을 알거나 고속도로 등에서 속도제한을 위반하는 차량 수(확률) 등을 알고자 할 때 주로 이용한다. 본 연구는 연속적이면서 무작위적으로 도착하는 차량 및 보행자에 대해 신호등 설치를 위한 최소 차량 교통량 및 최소 보행자 교통량의 임계치를 찾는데 목적이 있으므로 포아송분포를 활용한다.

적정간격(Adequate Gap)의 빈도 산정은 차량의 무작위적인 도착을 가정으로 한다. 이 가정은 확률적 개념으로 임의간격( $g$ )이 적정 횡단간격( $G$ )과 같거나 클 경우 보행자 횡단이 가능하다는 의미이다. 즉, 보행자 횡단 간격이 발생할 확률은 다음 식(5)와 같다. 식(6)은 보행자가 열을 형성하지 않고 횡단할 시 교통량( $v$ ) 변화에 따른  $t$ 시간 동안 적정 횡단간격( $G$ )의 발생횟수를 구하는 공식이며 식(7)은 연속해서 뒤따르는 보행자의 시간간격(보행자의 열간의 시간간격)이  $\alpha$ 일 때 적정 횡단간격의 발생횟수를 구하는 식으로 이는 주도도와 부도도가 만나는 교차로에서 부도로의 차량이 주도로의 차량들의 간격을 이용하여 횡단하고자 할 때의 적정 횡단간격의 발생횟수를 구하는 공식에서 기초한다. 그러나 차량은 한 대씩 줄을 지어 횡단간격이 발생하면 한 대씩 횡단을 하나 보행자는 차량과는 달리 대기시간 동안 열을 이루더라도 횡단간격이 발생하면 동시에 그 열이 모두 횡단을 하여 차량에서와 같은 열의 개념이 성립되지 않아 무신호 횡단보도에서는  $\alpha$ 값을 구할 수가 없다. 또한 열의 개념이 없는 식(6)은 횡단간격이 20초가 넘게 되면 포아송분포 자체의 제한으로 차량 교통량과 횡단간격과의 관계를 설명할 수 없는 한계가 있다. 따라서 차량과는 다른 보행자의 횡단특성과 식(6)의 제한으로 본 연구에서는 TTI(Texas Transportation Institute)의 논문에서 사용된 식(8)을 적용하였는데<sup>15)</sup> 여기서  $G$ 값은 열 수를 고려한 값이며 또한 횡단간격이 20초 이상인 경우도 차량교통량과 횡단간격과의 관계를 설명할 수 있다.

$$P(g)G = \exp(-v * G) \tag{5}$$

$$PG = v * t * \exp(-v * G) \tag{6}$$

$$PG = [v * t * \exp(-v * G)] / [1 - \exp(-v * \alpha)] \tag{7}$$

$$PG = [v * t * \exp(-v * G)] / [1 - \exp(-v * G)] \tag{8}$$

여기서, PG :  $t$ 시간 동안의 적정 횡단간격의 빈도(회)

G : 적정 횡단간격(초)

v : 15분 또는 그 이상 시간의 평균 차량 교통류율(대/초)

$\alpha$  : 보행자 열간의 시간간격

t : 최소 수락간격간의 시간간격 (초, 일반적으로 60초)

차량 교통량은 최대 횡단보도를 통과할 수 있고 보행자는 최대 인내시간을 넘지 않는 시간동안 적어도 한 번은 횡단보도를 횡단할 수 있다면 무신호 횡단보도를 효율적으로 운영한다고 할 수 있다. 이러한 개념에서 보행자 최대 대기시간( $t$ ) 동안 한 번의 최소 수락횡단간격( $G$ )이 발생할 때 차량은 횡단보도를 최대로 통과할 수 있다. 이를 기준으로 본 연구에서는 보행자 최대 대기시간 동안 한 번의 횡단간격이 발생하지 않으면 보행자의 대기인내 한계를 넘게 되므로 신호기를 설치하여 보행자가 횡단할 수 있도록 하여야 한다는 가정을 하였다. 보행자 최대 대기시간(식(8)의  $t$ 값)은 신호기가 설치되었을 경우(신호주기 60초, 80초, 100초)를 가정하여 산출하였다.

### 3. 보행자 간섭에 의한 차량통행 방해

보행자수가 많고 보행자에 대해서 통행권이 주어졌을 때에는 상당한 시간동안 보행자는 양보를 하지 않는다. 즉, 보행자가 차량들간의 간격을 이용하여 횡단하는 것과 반대의 개념으로 운전자는 횡단보도에 보행자가 있는 한 계속해서 보행자에게 우선권을 주고 차량은 보행자들의 간격을 이용하여 횡단보도를 통과한다. 보행자는 열과 무리를 이루어 차량간의 간격이 발생하면 여러 명이 한 번에 간격을 이용하여 횡단할 수 있으나, 차량은 차로에 줄을 지어 통행함으로써 보행자간의 간격이 발생하면 한 번에 한 대의 차량만이 통과하게 되어 차량 통과 수락간격의 최대 횟수(VG)는 최대 차량 교통량과 일치하게 된다.

보행자가 무작위로 도착하며 운전자는 횡단보도에

보행자가 있는한 계속해서 양보하여야 한다는 가정에서 다음 식(9)에 의하여 최대 차량 교통량이 산출된다. 한편, 도로의 서비스수준은 차량의 증가가 도로 용량에 달하게 되면 지체가 급격히 증가하여 평균 지체개념이 무의미해 지므로, 평균지체의 개념을 만족시키기 위해서는 도로의 서비스수준(Level-of-Service)은 최소 "C" 이상은 되어야 한다. 서비스 "C" 수준의 여유용량을 식(9)에서 도출된 최대 차량 교통량에서 감하여 시간당 최대 전체교통량을 산출한다(식(10) 참조)<sup>15)</sup>.

$$VG = NL * [q * T * \exp(-q * a)] / [1 - \exp(-q * b)] \quad (9)$$

$$NG = VG - (NL * C) \quad (10)$$

여기서, VG : 적정차량간격의 최대횟수(gap/T)  
 NG : 도로를 이용하는 시간당 전체 교통량 (대/시; 양방향)  
 q : 15분 또는 그 이상동안 평균 보행자 교통량(명/초)  
 T : 보행자 횡단활동 지속시간 (초, 일반적으로 3600초)  
 a : r + (W/S) : 차량 1대가 통과하는데 대한 최소 간격(초)  
 여기서, r : 운전자의 인지, 반응 시간(초),  
 b : 최소 차두간격(초)  
 NL : 차로수  
 C : 시간당 여유용량(대/시)

#### IV. 현장 조사 및 분석

차량의 연속적이며 무작위적인 도착을 위하여 교차로에서 250m 이상 이격된 지점을 조사대상으로 하는 등 차량군 형성을 최대한 배격하였으나 도시내 도로에서는 인접 신호 교차로에 의한 영향을 완전히 제거할 수 없는 상황으로 본 논문에서는 차량의 연속적이며 무작위적인 도착을 가정으로 한다.

현장조사는 굴곡과 경사가 없으며, 횡단보도 노면 표시가 있는 무신호 횡단보도를 대상으로 서울 송파구의 왕복 2차로, 4차로, 6차로 10개 지점과 청주의 왕복 4차로 1개 지점을 선정하였으며, 다음과 같은 기준으로 선정되었다.

- 왕복 6차로 이하의 단일로상에 횡단보도 노면표시가 있는 무신호 횡단보도
- 횡단보도 주변에 주차차량이 없을 것
- 버스정류장으로 인한 교통흐름에 영향이 없을 것
- 교통신호기로부터 최소한 250m 떨어져 있을 것

현장조사 항목은 차량 교통량 및 보행자 교통량, 보행자 횡단보도 횡단소요시간, 보행자 횡단보도 대기시간, 보행자 횡단행태, 도로폭 및 주변환경 등이었다. 조사시간은 오전, 오후 첨두 및 보행자 교통량이 많은 점심시간 전후 총 6시간(07:30~09:30, 11:30~13:30, 17:30~19:30)을 시간대별로 조사하였다. 현장조사 11개 지점의 구체적인 지점명과 조사자료는 <표 2>와 같다.

<표 2> 조사지점 및 현장조사 자료

번호	지점명	차로수	도로폭 (m)	차량 (대/시)	보행자 (명/시)	평균 횡단시간 (초)	85th percentile 횡단시간 (초)	85th percentile 속도 (m/s)
1	상업은행	2	8.9	1,130	574	6.9	8.6	1.05
2	마르니패션	2	9.0	1,049	217	6.7	8.3	1.08
3	하나마트	2	9.0	1,385	555	5.3	6.5	1.38
4	그린피아	4	15.0	1,625	128	12.5	16.1	0.93
8	한일은행	4	14.0	3,011	243	11.1	13.8	1.09
5	샤모니제과	4	15.0	1,588	298	12.1	14.6	1.03
6	송전약국	4	15.0	1,432	194	11.8	14.2	1.06
7	뉴스타호텔	4	15.0	1,573	186	11.9	15.0	1.00
9	강동구의회	4	17.8	1,601	90	13.1	16.5	1.08
10	로손편의점	6	25.0	3,641	211	21.8	29.0	0.86
11	청주버스터미널	4	16.7	1,389	314	12.4	15.3	1.09

### 1. 보행자 횡단행태 분석

차량과는 달리 보행자들의 움직임은 하나의 직선으로 제한되어 있지 않다. 보행자들은 반쯤 횡단하고서 방향을 전환할 수도 있고, 또한 어떤 지점에서든 다시 되돌아 갈 수도 있다. 보행자들은 그룹으로 이동하며 때로는 매우 밀착하여 횡단할 때도 있다. 일반적으로 보행자가 양방향 도로를 횡단시 다음과 같은 서로 다른 3가지의 행동 판단에 따른 횡단 행태가 있을 수 있다.

- 보행자는 도로의 좌우 양방향의 차량교통류에 대하여 충분한 횡단수락간격이 있다고 판단될 때 횡단한다.
- 횡단하고자 하는 보행자는 횡단보도의 원측방향 차량의 흐름에 대하여 연속적으로 횡단간격이 발생하리라 예상하면서, 보행자와 근접해 있는 근측방향 차량교통류의 횡단간격이 충분하다고 판단될 때 횡단한다.
- 중앙분리대가 있는 도로의 경우 보행자는 근측 교통류에 대하여 횡단간격이 주어진다고 판단될 때 횡단을 시작하며, 원측 교통류에 대해서는 중앙분리대에서 횡단간격이 발생할 때까지 대기하다가 횡단간격이 발생하면 다시 횡단을 시작한다.

다음 <표 3>은 보행자의 횡단 행태를 정리 분석한 결과이다. 서울의 현장조사 10개 지점 중 편도 2차로의 송과구 잠실 샬로네제과앞과 청주의 시외버스터미널앞 도로를 대상으로 횡단보도를 횡단하는 보행자에 대하여 횡단 출발지점과 횡단 도착지점을 조사하였다. 샬로네제과는 조사시간 총 6시간 동안 총 보행자 수 1,787명의 약 51.0%인 908명이 조사되었다. 보행자

출발전 대기 위치는 횡단보도의 좌측에 전체의 49.1%가 위치하였으며, 중앙에서 대기해 있는 경우는 14.0%로 나타났다. 횡단행태를 보면 대각선 횡단이 43.6%, 직진이 29.5%로 조사되었다. 청주의 시외버스터미널 앞은 47.9%가 횡단보도 중앙에 위치하여 횡단대기를 하였으며, 샬로네제과와는 대기위치의 양상이 다소 다르게 나타났다. 그러나 보행자 횡단행태는 대각선 횡단이 가장 많은 40.8%, 직진이 30.1% 등으로 나타나 샬로네제과와 비슷한 행태를 보임을 알 수 있다.

행태분석 결과 대각선 횡단이 많다는 것은 보행자 횡단 소요시간이 길어진다고 할 수 있다. 그러나 실제로는 대각선 횡단을 하더라도 횡단시 뛰어서 건너면 그만큼 횡단시간은 단축되며, 직진횡단을 하여도 도로의 중앙선에서 멈추고 대기하게 되면 횡단시간은 또한 길어진다. 현장조사를 통하여, 무신호 횡단보도에서 많은 보행자들과 운전자들이 다음과 같은 비정상적인 행태를 보임을 알게 되었다.

- 보행자들은 보도를 걸으면서 횡단보도 앞에 이르기 전부터 차량흐름을 인지하면서 보행하다가 횡단할 수 있는 간격(Gap)이 발생하면 뛰어서 횡단보도에 도착하여 대기시간 없이 바로 횡단하거나, 대각선 횡단 또는 횡단보도 옆으로 무단횡단을 한다.
- 보행자들은 보도 연석에서 0.5~1.0m 정도 횡단보도내에 내려서서 대기하며 횡단간격이 충분할 때에는 횡단후 가고자 하는 방향을 향해 횡단보도를 벗어나 대각선으로 횡단한다.
- 보행자 대기섬 및 중앙분리대가 없는 도로에서도 한쪽 방향의 횡단 간격만 발생하면 중앙선까지 횡단하고 황색 중앙선에서 다시 우측 방향의 차량 횡단 간격을 찾으면서 대기한다.

<표 3> 보행자의 횡단보도 횡단행태 분석

구 분		횡단대기위치						횡단행태			
		좌측밖	좌측	중앙	우측	우측밖	계	대각 횡단	직진	반대각 횡단	계
서울	보행자(명)	29	446	127	260	46	908	396	268	244	908
	구성비(%)	32	49.1	14.0	28.6	5.1	100	43.6	29.5	26.9	100
청주	보행자(명)	42	55	189	72	37	395	396	268	244	908
	구성비(%)	106	139	479	182	94	100	40.8	30.1	29.1	100



- 교통량 증가로 차량이 서행하거나, 대기 한계시간이 넘으면 횡단간격이 충분치 않아도 차량을 제지하면서 위협하게 횡단한다.
- 운전자들은 노면표시가 있는 횡단보도에서 뿐만 아니라 황색점멸등이 설치된 횡단보도에서도 보행자에게 주의하지 않고 횡단보도를 통과하며, 보행자가 횡단할 수 있도록 통행 우선권을 주지 않는다.

## 2. 조사지점 횡단 보행속도 및 대기시간

보행자의 횡단속도에 관한 각국의 예를 살펴보면, 미국은 보행자 신호등의 녹색신호 산정시 보행속도를 3.5ft/초(1.07m/초)를 적용하고, 속도가 느린 보행자를 감안하여 보행신호시간을 더 주고 있으며, 영국은 4.0ft/초(1.2m/초)를 적용한다. 일본에서는 녹색시간은 1.0m/초, 녹색점멸시간은 1.5m/초를 분리 사용하고, 스웨덴은 0.9~1.1m/초 범위에서 여건을 고려하여 적용하고 있다. 조사지점 전체의 평균 횡단 보행속도는 일반적인 보행속도 1.0m/초보다 대부분 높으며 2.0m/초인 보행속도도 조사되어, 보행자에게 안전이 완전하게 보장되지 않는 무신호 횡단보도에서 보행자들은 빨리 횡단하거나 뛰기도 한다는 것을 확인할 수 있었다.

85th percentile 속도를 지점별로 살펴보면, 그린피아와 로손편의점 앞의 횡단속도가 1.0m/초 이하이며, 다른 지점에 비해 차량과 보행자 교통량이 많은 하나마트는 1.38m/초로 조사지점 중에서 보행속도가 가장 높게 조사되었다. 차로별로는 차로수가 많아질수록 보행속도가 낮게 조사되었으며, 교통량이 3,000대/시가 넘으면 속도가 크게 떨어지는 것으로 조사되었다. 즉, 횡단소요시간 측정시 횡단중 대기시간도 포함되었기 때문이며, 많은 보행자들이 도로폭이 넓어지면 우측방향 차량 교통량에 의하여 횡단간격이 발생하지 않아도 횡단을 시작하여 중앙선에서 대기하기 때문인 것으로 조사·분석되었다. 현장조사 결과 무신호 횡단보도에서는 신호횡단보도와 비교해 볼 때 보행속도가 높다는 것을 알 수 있으며, 본 연구에서는 차로수별로 85th percentile 속도를 무신호 횡단보도에서의 횡단속도로 간주하였다 (<표 4> 참조).

<표 4> 현장조사에 의한 차로수별 횡단 보행속도

차로수	평균속도	85th percentile 속도
2차로	1.34m/s	1.12m/s
4차로	1.24m/s	1.00m/s
6차로	1.15m/s	0.86m/s

서울 송파구의 10개 조사지점 중 4개 지점과 청주시의 1개 지점에서 횡단보도에서의 보행자 대기시간을 조사하였다. 조사결과 차로수가 많을수록 평균대기시간이 길어지며, 95th percentile 대기시간 또한 길어짐을 알 수 있다. 차로가 많아지면 교통량이 증가하게 되어 차량간의 횡단간격을 찾기가 어려워 대기시간이 길어진다. 최대 대기시간은 80.4초로 조사되었으나 60초 이상 대기하는 보행자는 전체 조사 보행자 4,275명 중 단 1명으로 나타나 대부분의 보행자들은 횡단간격이 발생하지 않아도 횡단한다는 것을 알 수 있었다 (<표 5> 참조).

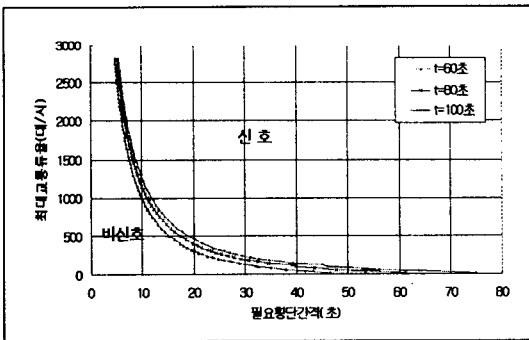
<표 5> 현장조사에 의한 차로수별 보행자 대기시간

구분	평균 대기시간 (초)	95th percentile (초)	최대 대기시간 (초)	대기시간 60초 이상인 보행자수
2차로	55	179	582	0
4차로	64	231	540	0
6차로	103	375	804	1

일반적으로 횡단보도에서 보행자는 횡단 대기시간 30초 부터는 인내심이 없게 되며, 40초 후에는 보도의 연석에서 차로로 내려온다는 외국의 연구결과들이 있으며, 미국의 보행자 대기시간에 관한 보고서에서는 보행자가 기다릴 수 있는 최대한도의 시간을 60초로 가정하였다. J. C. Tanner가 제안한 보행자의 대기확률 식(1)을 이용하여 현장조사 지점의 차량교통량, 횡단소요시간을 적용하여 95th percentile 보행자 대기시간을 도출해 보았으나 폭이 좁은 왕복 2차로의 경우에는 평균 47.8초로 나타났으며 왕복 4차로 이상의 도로에는 대기시간이 300초 이상 도출되어 차량 교통량이 많아지고 횡단소요시간이 길어짐에 따라 보행자는 무한정 기다릴 수도 있는 것으로 나타났다. 그러나 실제로 보행자들은 각자의 인내 대기시간 이상이 되면 차량을 저지하면서도 횡단을 하므로 이론과 현실이 맞지 않음을 현장조사 결과 알 수 있었다.

### 3. 보행자 횡단간격과 최대 차량교통류율

본 연구에서는 일반적으로 적용하는 보행자 최대 한도 대기시간 60초를 가정하지 않고 단일로에서 보행자 신호기가 설치된 경우를 가정하여, 신호주기에서 보행자를 위한 녹색시간을 제외한 나머지 시간을 보행자의 최대한도 대기시간으로 가정하였다. 다음 <그림 1>은 보행자 신호기의 주기를 60초, 80초, 100초로 가정하여 식(4)에서 여유시간(보행자 녹색시간) 7초를 제외한 나머지 시간(적색시간+녹색점멸시간)을 대기시간으로 보고, 식(8)을 이용하여 보행자 최대 대기시간 동안 1번의 횡단간격이 발생하기 위한 그래프를 나타낸 것이다. 즉, 보행자의 최대 대기 인내시간 동안 한번의 횡단간격이 발생할 때 차량 교통량은 그 도로를 최대로 통과할 수 있다. 한번의 횡단간격이 발생하지 않으면, 보행자 대기시간이 인내시간을 넘어서게 되므로 신호기를 설치하여 보행자 횡단시간을 부여하여야 한다는 개념이다.



<그림 1> 주기변화에 따른 차량 교통량과 필요 횡단간격과의 관계

<그림 1>에서와 같이 주기 변화에 따른 필요횡단간격과 교통량과는 큰 차이는 없으나, 주기가 커질수록 필요횡단시간에 따른 차량 교통량은 크게 나타난다. 그래프 선의 좌측 하단은 차량 교통량에 따라 필요 횡단간격이 한 번 이상 발생하므로 신호기를 설치할 필요가 없으며, 선의 우측 상단은 보행자 최대 대기 시간 동안 필요 횡단간격이 한 번이 발생하지 않아 신호기의 설치로 보행자가 횡단할 수 있는 시간을 부여하여야 한다. 본 연구에서는 주기에 따른 필요횡단간격과 최대 교통류율과의 변화가 크지 않으므로 안전

측면을 고려하여 신호 설치의 범위가 더 넓은 주기 60초로 가정하여 차로별 횡단간격에 따른 최대교통류율을 적용하였다.

### 4. 보행자 간섭에 의한 차량 교통량 산정

지금까지는 차량 간섭 즉, 보행자가 차량간의 간격을 이용하여 횡단할 때의 보행자 횡단간격과 차량 교통량과의 관계를 도출하였다. 보행자간섭에 의한 차량 교통량 산정은 반대의 개념으로 접근한다. 따라서 보행자가 도로를 횡단하고 차량은 보행자 간격을 이용하여 도로를 주행할 때 보행자와 차량 교통량과의 관계를 설명할 수 있다. 횡단하고자 하는 보행자수가 많을 때 일단 통행권이 보행자에게 주어지면 보행자는 상당한 시간동안 차량에게 양보를 하지 않는다. 이러한 행동의 결과로서 차량 운전자들은 오랫동안 기다려야 하므로 차량지체를 유발한다고 할 수 있으며, 반대로 차량이 많을 경우에는 보행자가 상당한 시간동안 기다려야 할 것이다. 보행자가 많음에 따른 차량 지체시 운전자는 자신들이 예상했던 대기시간보다 일반적으로 더 기다릴 수 있게 되는데, 이는 차내에 승차하고 있는 운전자들은 보도상에서 대기하고 있는 보행자들보다 날씨 등의 외부환경으로부터 더 보호를 받으며 위험성도 덜 받게 되기 때문이다.

보행자 교통량의 임계값은 최소 차량을 통과시키기 위한 어떤 인위적인 수단, 즉 교통신호기 등에 의해 통제가 이루어질 때 결정되어진다. 이와 같은 임계값을 결정하는데 있어서 기본적인 가정은 보행자는 무작위적으로 도착하고, 차량 운전자들은 보행자 보호의 무에 의하여 횡단보도상에 보행자가 있는 한 양보를 한다는 것을 전제로 한다. 대기하고 있는 차량들이 횡단하는 보행자 사이를 진행할 경우에 대하여 보행자 교통류를 주도로 교통 흐름으로 간주하고 차량 교통류를 부도로 교통으로 간주할 때 보행자 간섭에 의한 차량의 진행을 방해하는 것과 같다고 할 수 있다.

앞에서 언급된 식(9)를 이용하여 차량이 보행자의 간격을 이용하여 1회의 수락간격이 발생할 때 1대의 차량이 통과할 수 있으므로 보행자가 횡단을 하는 활동시간을 1시간 단위로 간주할 때 구해지는 차량 수락간격은 차로당 최대 교통량이라 할 수 있다. 식(9)

에서 보행자의 횡단속도(S)는 현장조사를 실시한 지점의 보행자의 횡단시간에 따른 85th percentile 횡단속도를 적용시켰다. 운전자 인지·반응시간(r)은 정지선에서 대기하던 차량이 출발할 때 발생하는 시간으로 AASHTO 등에서 일반적으로 적용하는 2.0초를 사용하였다. 최소 차두간격(b)은 연속으로 접근하는 차량간의 평균 차두간격으로 신호교차로에서 출발 지체·손실시간을 제외한 평균 차두간격인 2.14초를 본 연구에서 최소 차두간격으로 사용하였다<sup>11)</sup>.

무신호 횡단보도에서는 차로수가 많을수록, 즉 도로폭이 넓을수록 보행자의 횡단소요시간이 더 필요하게 됨으로써 보행자가 횡단간격을 찾기가 힘들어 횡단기회가 적어진다. 보행자의 횡단기회가 적어지면 그만큼 차량에 대한 보행자의 간섭이 적어지므로 통과하는 차량 교통량은 많다고 할 수 있다.

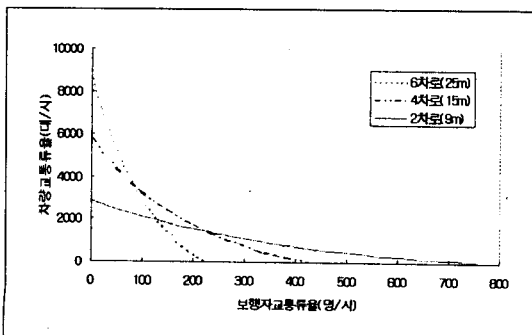
보행자에 의해 차량이 주행에 따른 방해 를 받더라도 차량의 지체가 평균 이상으로 되기 위해서는 도로의 서비스 수준이 "C" 이상이 유지되어야만 교통신호기의 설치시에도 차량 소통이 원활해 질 수 있다. 미국의 도로용량편람에서는 무신호교차로에 대하여 차량의 평균지체(서비스 수준 "C")를 유지하기 위해서는 차로당 여유용량(Reserved Capacity)을 시간당 200~299대로 제시하고 있다<sup>8)</sup>. 따라서 도로의 여유용량을 평균값인 차로당 250대/시를 앞서 제시된 식(10)에 적용하였으며, 이를 통해 보행자 간섭에 의한 최대 차량 교통량을 산출하였다. 다음의 식(11, 12, 13)은 앞에서 제시한 식(9, 10)에 차로별 현장조사 결과값을 적용시켜 정리하였으며, 차로수별 보행자 간섭에 의한 차량 교통량은 아래 <그림 2>와 같다.

- 2차로 :  $NG = 2 * q * e^{-0.00278q} / (1 - e^{-0.00059q}) - 500$  (11)
- 4차로 :  $NG = 4 * q * e^{-0.00472q} / (1 - e^{-0.00059q}) - 1000$  (12)
- 6차로 :  $NG = 6 * q * e^{-0.00661q} / (1 - e^{-0.00059q}) - 1500$  (13)

### V. 평가 및 기준안 제시

본 연구에서는 교통신호기의 설치여부를 보행자의 최대한도 대기시간 동안 최소한 한 번의 횡단이 이루어질 경우에는 신호기를 설치할 필요가 없으며, 한번의 횡단간격이 발생하지 않으면 신호기 설치를 고려하여야 한다는 개념을 기초로 한다. 교통신호기가 설치되지 않은 횡단보도 지점에 대하여 차량간섭이 있을 경우 보행자의 횡단은 대기시간 동안 최소한 한번의 횡단이 행해져야 한다. 보행자가 최소한 한번의 횡단간격을 찾기 위한 최대 교통량은 신호기 설치를 위한 최소 차량 교통량을 의미한다. 현장조사 지점에서 조사된 보행자 85th percentile 횡단소요시간과 보행자의 최대 대기시간인 53초(주기 60초 - 여유시간 7초) 동안 한번의 횡단이 이루어지기 위한 차량 교통량을 식(8)에 의해 구하여 본 결과 왕복 2차로인 경우 시간당 987대, 4차로인 경우 416대, 6차로인 경우 115대로 산출되었다. 이 값은 신호기 설치시 보행자 교통량 기준 제시를 위한 각 차로별 최소 차량 교통량으로서 이 이하의 교통량에서는 신호기를 설치하지 않는다.

한편 최소 보행자 교통량 기준은 외국의 경우와 같이 과학적이며 공학적인 근거보다는 일반적으로 경험적인 근거에 준하여 전문가 위원회(Committee)의 의견 수렴에 의하여 설정되며, 외국의 경우를 살펴보면 미국의 캘리포니아 교통국에서는 시간당 100명을 기준으로 하며, 연방정부에서는 시간당 150명을 제시하고 있다. 일본은 도시부가로의 경우 시간당 200명 이상으로 제시하고 있다. 본 연구에서는 11개 지점의 현장조사 결과, 보행자 교통량은 모든 현장조사 지점에서 최소한 시간당 100명 이상이었으며, 현행 교통안전시설 실무편람에서 제시된 국내 기준인 시간당 150명의 값을 최소 보행자 교통량의 기준값으로 정하였다. 각 차로별로 차량 간섭과 보행자 간섭에 의한 차량 교통량과 보행자 교통량과의 관계를 그래프로



<그림 2> 차로수별 보행자와 차량교통량

나타낸 결과, 다음과 같이 세가지 영역(1, 2, 3)으로 구분하여 제시하였다. 교통신호기 설치고려 영역(영역 3)은 차량 교통량과 보행자 교통량의 최소 기준을 초과하나 도로의 서비스 수준은 "C" 이상이므로 교통안내원 또는 가드펜스와 같은 보행자 보호시설에 의해 보행자와 차량을 통제할 수 있는 영역이라고 간주할 수 있으며, 추후 교통신호기 설치를 고려해야 하는 영역이라고 할 수 있다.

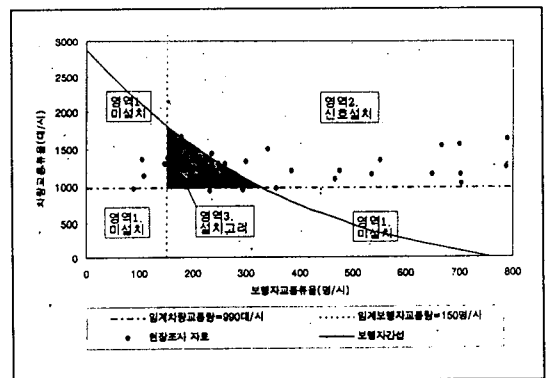
- 영역 1 (미설치) : 다음의 제시값 이하일 때는 신호기를 설치하지 않는다.
  - 최소차량 교통량 : 2차로(9m)의 경우 시간당 990대, 4차로(15m)의 경우 420대, 6차로(25m)의 경우 120대이거나 (or)
  - 최소보행자 교통량 : 차로수에 무관하게 공히 150명/시
- 영역 2 (설치) : 최소 차량 교통량 및 최소 보행자 교통량 이상이면서, 차로수별로 다음 식의 값을 상회할 때 신호기를 설치한다. 식(11, 12, 13)을 실무자의 편의를 도모하기 위해 아래 와 같이 간략히 제시)
  - 2차로 :  $V_2 - 0.0058q^2 + 7.4q \geq 2798$ 이며 (and), 단  $V_2 \geq 990$  (and)  $q \geq 150$
  - 4차로 :  $V_4 - 0.0221q^2 + 21.2q \geq 5129$ 이며 (and), 단  $V_4 \geq 420$  (and)  $q \geq 150$
  - 6차로 :  $V_6 - 0.0753q^2 + 46.1q \geq 6615$ 이며 (and), 단  $V_6 \geq 120$  (and)  $q \geq 150$

여기서,  $V_n$  : n차로 도로의 차량 교통량 (대/시, 양방향)  
 $q$  : 보행자 교통량(명/시)
- 영역 3 (설치고려) : 시간당 차량 및 보행자 교통량이 영역 1에서 제시한 최소 교통량 이상이면서 (and), 영역 2의 식에 차량 교통량과 보행자 교통량의 값을 대입하였을 때, 영역 2에서 제시한 최소값 이하인 경우는 신호기 설치를 고려하여야 한다. 다음 <표 6>은 신호기 설치와 설치고려를 위한 경계값들을 제시하고 있다.

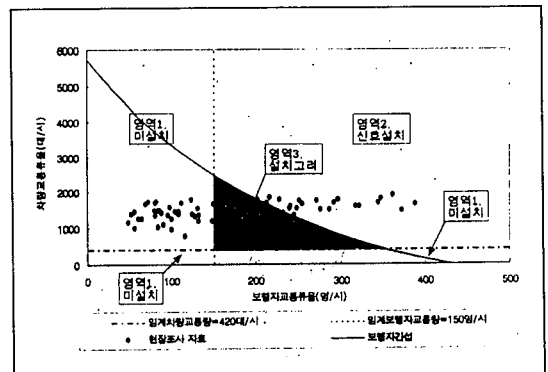
보행자 교통량 분포점을 보여주고 있다. 2차로의 경우 3개 조사지점 대부분의 조사 시간이 보행자 간섭에 의해 도로의 서비스 수준이 "C" 이하로 신호기의 설치를 요하는 분포점이 많았으며, 4차로와 6차로는 그래프 상하로 시간당 차량 및 보행자 교통량들이 널리 분포되어 있으며, 약 50% 정도는 신호기를 필요로 하는 시간당 교통량의 분포임을 알 수 있었다.

<표 6> 신호기 설치와 설치 고려의 경계값

시간당 2차로 교통량		시간당 4차로 교통량		시간당 6차로 교통량	
보행자	차 량	보행자	차 량	보행자	차 량
150	1816	150	2446	150	1394
200	1150	200	1773	200	407
250	1310	250	1210	220	120
300	1100	300	758		
329	990	349	420		

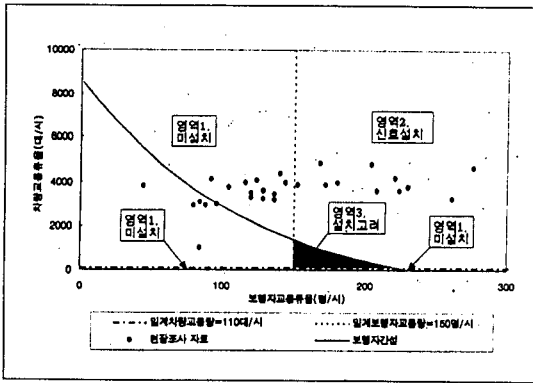


<그림 3> 교통신호기 설치/설치고려/미설치 기준 영역 및 무신호 횡단보도 현장조사 지점의 시간당 차량 및 보행자 교통량 분포 (2차로)



<그림 4> 교통신호기 설치/설치고려/미설치 기준 영역 및 무신호 횡단보도 현장조사 지점의 시간당 차량 및 보행자 교통량 분포 (4차로)

<그림 3, 4, 5>는 차로수별 교통신호기 설치/설치고려/미설치 영역과 현장조사 지점의 시간당 차량 및



〈그림 5〉 교통신호기 설치/설치고려/미설치 기준 영역 및 무신호 횡단보도 현장조사 지점의 시간당 차량 및 보행자 교통량 분포 (6차로)

## VI. 결론

본 연구에서는 무신호 횡단보도의 교통신호기 설치를 위한 보행자 교통량 기준을 제시하기 위한 목적으로 수행되었다. 보행자 교통량 기준을 제시하기 위해 서울시 및 청주시의 무신호 횡단보도를 대상으로 차량 및 보행자 교통량, 횡단소요시간, 횡단대기시간, 횡단행태 등을 조사하였다. 무신호 횡단보도에서 보행자는 횡단간격이 발생하지 않아도 횡단을 시도하거나 보도에서 횡단보도로 내려서서 대기하거나 차량을 저지하면서 횡단을 강행하는 등의 비정상적인 행태를 보였다. 또한, 횡단보도에서 보행자 횡단속도는 일반 보행속도와는 다르게 나타났다. 85th percentile 속도를 기준으로 보았을 때 2차로는 1.12m/s, 4차로는 1.0m/s, 6차로 0.86m/s로 조사되어 차로폭이 커질수록 중간 대기시간이 길어져 속도가 낮아졌다.

무신호 횡단보도에서의 신호기 설치를 위한 보행자 교통량 및 차량 교통량 기준을 3개의 영역으로 구분하여 제시하였다. 영역 1(교통신호기 미설치)은 최소 차량 교통량이 2차로(9m)의 경우 시간당 990대, 4차로(15m)의 경우 420대, 6차로(25m)의 경우 120대 이하이거나, 최소 보행자 교통량이 차로수에 무관하게 150명/시 이하일 경우 신호기를 설치하지 않는다. 영역 2(교통신호기 설치)은 다음의 영역 1에 제시하는 최소 차량 교통량 및 최소 보행자 교통량 이상이

면서, 차로수별로 다음 식의 값을 상회할 때 신호기를 설치한다.

- 2차로 :  $V_2 - 0.0058q^2 + 7.4q \geq 2798$ 이며 (and),  
단  $V_2 \geq 990$  (and)  $q \geq 150$
  - 4차로 :  $V_4 - 0.0221q^2 + 21.2q \geq 5129$ 이며 (and),  
단  $V_4 \geq 420$  (and)  $q \geq 150$
  - 6차로 :  $V_6 - 0.0753q^2 + 46.1q \geq 6615$ 이며 (and),  
단  $V_6 \geq 120$  (and)  $q \geq 150$
- 여기서,  $V_n$  : n차로 도로의 차량 교통량 (대/시, 양방향)  
 $q$  : 보행자 교통량(명/시)

영역 3(교통신호기 설치고려)은 시간당 차량 및 보행자 교통량이 영역 1에서 제시한 최소 교통량 이상 이면서, 영역 2의 식에 차량 교통량과 보행자 교통량의 값을 대입하였을 때, 영역 2에서 제시한 최소값 이하인 경우는 신호기 설치를 고려하여야 한다.

추후연구 과제로서, 교통신호기 설치를 위한 보행자 교통량 최종기준 제시를 위해서는 더욱 정밀한 기초 자료를 필요로 한다. 보행자 교통량 기준값 제시에 있어서 보행자의 최대한도 대기시간을 산출하지 못하여 정확한 보행자 교통량 산정에 어려움이 많아 현행 기준값을 적용하였다. 이를 보완하기 위해 차로별로 도출된 3가지 영역과 현장조사값 등을 토대로 더욱 정확한 기준값을 제시하기 위한 전문가 의견 수렴과정과 인간 공학적인 측면에서의 보행자 최대한도 대기시간 조사가 수행되어야 할 것이다. 특히, 무신호 횡단보도에서 연속해서 뒤따르는 보행자가 있을 때 차량과는 다른 보행자의 횡단 행태를 보완할 수 있는 모델식이 개발되어야 할 것이다. 예산상의 제약 등으로 조사지점의 수가 적고 특히, 6차로의 경우 조사지점의 수가 1개로 신호기 설치를 위한 기준값 제시를 위해서는 미약한 자료라 하겠다. 본 연구에서 보행자 신호기 설치기준으로 제한한 차량 및 보행자의 교통량은 단순한 시간당 교통량으로써, 실제 적용을 위하여는 첨두시간대와 4시간 또는 8시간 동안의 교통량을 구분하여 제정하는 것이 바람직하다고 사료된다. 또한 도시와 지방부 도로의 보행자 신호기 설치기준은 구분되어야 하며, 중앙분리대 및 중앙대기 보행성

유무에 따른 신호기 설치기준도 구분되어야 한다. 그리고, 인간공학적인 측면에서 국내 보행자 관련 연구 개발이 매우 필요하다고 사료된다.

## 참고문헌

1. 경찰청, 교통안전시설 실무편람, 1996.
2. 교통신호, 1966, 일본.
3. 장덕명, 박종규, 횡단보도 보행자의 횡단특성에 관한 연구, 도로교통안전협회, 1992.
4. 장덕명 등, 교통신호기 설치기준연구 - 차량교통량 중심으로-, 도로교통안전협회, 1996.
5. 도로용량편람, 사단법인 대한교통학회, 1992.
6. Guide to Traffic Engineering Practice, AUSTRROADS, 1995.
7. Manual on Uniform Traffic Control Devices, U.S. DOT, FHWA, 1988.
8. Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, 1994.
9. Traffic Engineering Handbook, 4th Ed., ITE, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1992.
10. Paul C. Box and Josep C. Oppenlander, Manual of Traffic Engineering Studies, 1976.
11. William R. Mcshane, Roger P. Roess, Traffic Engineering, Prentice-Hall, 1990.
12. Peak-Hour Traffic Signal Warrant, NCHRP Report 249, TRB, 1982.
13. J.C.Tanner, The Delay to Pedestrians Crossing a Road. Biometrika, Vol. 38, 1951.
14. G. F. King, Pedestrian Delay and Pedestrian Signal Warrants, TRR vol 629, 1977.
15. J.A.Bonnenson and J.D.Blaschke, A Proposed Procedure for Selecting Traffic Signal Control at School Crossing, Texas Transportation Institute, 1989.