

■ 論 文 ■

# 중앙분리대 대기공간이 있는 비신호 횡단보도에서의 보행자 횡단용량 모형식 개발

A Study on Model Development of Pedestrian Crossing Capacity at Unsignalized Crosswalks with Pedestrian Refuge Area

김 상 구

(여수대학교 교통물류시스템공학부 교수)

## 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구배경 및 목적
    - 2. 연구범위 및 방법
  - II. 보행특성 및 차두시간 분포
    - 1. 보행특성
    - 2. 차두시간 분포
  - III. 보행자 횡단가능용량 모형식 개발
    - 1. 기본개념 및 가정
    - 2. 기본 용량모형식 구축
  - IV. 보행자 횡단가능용량 결정
  - V. 결론 및 향후 연구방향
- 참고문헌

Key Words : 비신호횡단보도, 간격수락이론, 보행자 횡단용량, 차두시간 분포, Erlang 분포

## 요 약

본 연구는 보행자가 반대방향 도로횡단을 위한 간격을 찾기 위해 대피해 있을 수 있는 중앙분리대 대기공간이 설치되어 있는 비신호 횡단보도에서 확률적 모형을 토대로 보행자 횡단용량모형식을 개발하는 것을 목적으로 한다. 횡단보도에 접근하는 교통류의 차두시간 분포를 Erlang분포로 가정하고 간격수락이론을 이용하여 보행자 최대 통과교통량을 산출할 수 있는 방법론을 개발하였다. 분석 대상도로의 차로수는 왕복 2, 4, 6차로를 기준으로 Erlang 계수가 1, 2, 3인 분포를 사용하여 각 Erlang 계수별 모형식을 개발하였다. 모형식에 의한 보행자 용량은 접근교통량이 증가할수록 횡단가능 보행자수는 감소하고, 차로수가 커질수록 보행자용량은 감소하는 결과를 보였다. Erlang 계수는 교통량 수준과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 보행자용량은 Erlang 계수값이 커질수록 감소하는 패턴을 나타냈다. 본 연구의 결과는 횡단보도의 보행자신호등 설치기준 및 보행자 대기공간을 제공해주는 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단되고, 특히 로타리교차로같이 차량중심의 연속성 진행흐름의 도로시설에서 보행자 안전시설의 설치기준으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 1. 서론

### 1. 연구배경 및 목적

간선도로나 시내도로에서 교통량이 많고 도로를 횡단하고자 하는 보행자가 많을 경우 보행자의 안전과 도로의 기능을 보호하기 위하여 횡단보도를 설치하게 된다. 횡단보도에서의 신호기는 보행자수와 통과교통량에 의해 설치여부가 고려되는데 통과교통량이 적은 경우 비신호 횡단보도로 운영하는 것이 더 효율적이다. 그러나, 비신호 횡단보도에서 통과교통량이 많아지면서 보행자들이 횡단간격을 찾을 수 없게 되는 경우 무단횡단으로 이어지고 사고의 위험성이 매우 높아지게 된다. 단일로 구간이나 로타리교차로에 설치되어 있는 횡단보도의 경우 교통량 수준이 높고 접근하는 교통량 속도도 높아서 중앙분리대에 대기공간이 제공되기도 한다.

이러한 광폭의 중앙분리대가 설치되어 있는 단일로와 로타리교차로에서는 보행자 횡단의 편리성과 안전성을 제고하기 위하여 도로 가운데에 안전섬을 제공하여 대기공간으로 사용되고 있다.

그러나, 이러한 형태의 도로들은 차량중심의 도로설계로 인하여 보행자에 대한 고려가 미약한 실정이고 이에 대한 분석방법론도 제대로 정립되지 않은 아주 취약한 부분이다.

보행자 횡단보도 시설과 관련된 기존 연구들을 살펴보면 다음과 같이 정리될 수 있다.

Lam 등(2002)은 홍콩의 신호횡단보도에서 보행자 특성을 연구하였는데, 그 결과로 실측치를 바탕으로 속도-보행교통류율 함수에 대한 검증과 임계보행속도와 보행교통류율간의 관계를 결정하여 제시하였다.

도로용량편람(2001)에서는 보행자도로의 최대보행교통류율을 106 인/분/m로 제시하고 있으며 대기공간에서의 각 서비스수준별 점유공간( $m^2$ /인)과 밀도(인/ $m^2$ )를 제시하고 있다. 반면에 HCM(2000)에서는 보행자 시설에서의 보행자 용량을 75인/분/m나 4,500인/시/m로 제시하고 있으며 용량상태에서의 속도는 0.8m/초로 제시하고 있다.

Oh와 Sisiopiku는(2000)는 로타리교차로에서의 보행자 용량과 지체를 대상으로 연구를 수행하였고, 보행자용량 산정을 위해 음수분포를 이용하여 시뮬레이션 모형을 개발하였으나, 이 분포는 차량도착이 무

작위도착 패턴을 나타내는 것으로써 다양한 교통량 조건에서 사용되기에는 한계를 가지고 있다.

교통안전시설실무편람(2000)에서는 횡단보도에서 보행자신호기 설치기준으로서 횡단보행자가 시간당 최소 150명 이상일 때를 제시하고 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 대부분의 연구들이 보도와 신호횡단보도에서 보행자 교통류율과 보행속도와의 관계에 초점을 맞추어 연구되었으며 비신호 횡단보도에서의 보행자용량에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 비신호 횡단보도에서 도착하는 교통량 패턴을 Erlang 분포라고 가정하여 각 Erlang 계수( $K=1, 2, 3$ )에 대한 다양한 교통조건과 양방향 2차로, 4차로, 6차로의 도로조건을 가지고 보행자 용량을 결정하는 모형을 개발하고자 한다.

### 2. 연구범위 및 방법

본 연구는 중앙분리대 대기공간이 있는 도로의 비신호 횡단보도를 대상으로 하며, 도로의 차로수가 양방향 2, 4, 6차로 도로구간을 연구대상으로 한다. 내용적 범위로는 접근교통류의 차두시간 분포를 Erlang 분포로 가정하여 Erlang 계수( $K$ )를 1, 2, 3까지 분포함수로 결정하여 보행자용량을 산출하는 모형식 개발을 내용으로 한다. 본 연구에서 개발된 식은 통과하는 교통량 분포가 각 Erlang 계수에 의해 결정되고 이 분포에서 결정되는 시간간격을 이용하여 보행자가 횡단할 수 있는 확률을 구하여 통과가능 보행자를 구하게 되는 일련의 절차를 모형으로 구축하게 된다.

## II. 보행특성 및 차두시간 분포

### 1. 보행특성

일반적으로 비신호 횡단보도에서 보행자가 양방향 도로를 횡단시 다음과 같은 3가지의 행동판단에 따른 횡단 행태가 있을 수 있다(도로교통안전협회, 1997).

- 보행자는 도로의 좌우 양방향의 차량교통류에 대하여 충분한 횡단수락간격(acceptable gap)이 있다고 판단될 때 횡단한다.
- 횡단하고자 하는 보행자는 횡단보도의 우측방향 차량의 흐름에 대하여 연속적으로 횡단간격이 생

기리라 예상하면서, 보행자와 근접해 있는 좌측방향 차량교통류의 횡단간격이 충분하다고 판단될 때 횡단한다.

- 중앙분리대 대기공간이 있는 도로의 경우, 보행자는 좌측교통류에 대하여 횡단간격이 주어진다고 판단될 때 횡단을 시작하며, 우측 교통류에 대해서는 중앙분리대에서 횡단간격이 발생할 때까지 기다리다가 횡단간격이 발생하면 다시 횡단을 시작한다.

이 3가지 보행행태 중에서 본 연구는 마지막 행태인 중앙분리대가 있는 도로의 경우만을 우선적으로 선정하여 보행자 모형식을 개발하며 이 개발모형식에 따른 각 접근교통량 수준별 보행자 용량에 대하여 서술하기로 한다.

## 2. 차두시간 분포

차두시간 분포는 보행자와 차량이 도로를 횡단하거나 도로에 합류하고자 할 때 결정하여야 할 매우 중요한 요소이다.

차두시간 분포 결정은 교통류의 수준과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 교통류율의 크기에 따라 상당히 분포형태가 변화하는 것으로 알려져 있다. 이는 차량간의 상호작용에 관한 것으로서, 교통류율이 매우 낮으면 차량간의 상호작용은 거의 없으며 차두시간은 무작위한 도착패턴을 나타낸다. 그러나, 교통류율이 증가하면서 차량간의 상호작용은 증가하여 용량상태에 이르면 모든 차량간의 관계는 차량추종 과정을 겪게 된다.

일반적으로 교통량의 수준에 따라 차두시간 분포를 크게 3가지로 구분할 수 있는데 각각의 차두시간 패턴과 대표 확률분포 모형은 다음과 같다.

- 무작위(랜덤) 차두시간 패턴(음지수 분포)
- 일정 차두시간 패턴(정규분포)
- 중간 차두시간 패턴(Erlang 분포)

이 중에서 중간 차두시간 패턴은 앞에서 말한 무작위 및 일정 차두시간 도착패턴의 두 경계선상에 놓여 있고, 현실적으로 가장 많이 접하게 되는 교통류 상황이라고 할 수 있다.

이러한 중간 차두시간 분포를 설명하기 위하여 가장 많이 이용되는 모형이 Pearson III형 분포로서 다양한 분포 형태를 모사할 수 있다는 장점이 있다.(May, 1990)

Pearson III형 분포모형

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(K)} [\lambda(t-a)]^{K-1} e^{-\lambda(t-a)} \quad (1)$$

여기서,

$f(t)$  : 확률밀도함수

$\lambda$  : 평균차두시간과 두변수( $K, a$ )에 의한 변수

$K$  : 분포형태결정 매개변수

$a$  : 변위 매개변수

$t$  : 차두시간

$e$  : 지수 [=2.71828]

$\Gamma(K)$  : 감마함수, [= (K-1)!]

이러한 확률밀도함수를 이용하여 어떠한 사건이 일어날 수 있는 확률을 구할 수 있는데 예를 들어, 차두시간(h)이  $t$ 와  $t+\Delta t$  사이에 있는 확률은 다음과 같이 표시된다.

$$P(t \leq h < t + \Delta t) = \int_t^{\infty} f(t) dt - \int_{t+\Delta t}^{\infty} f(t) dt \quad (2)$$

여기서의 확률값은 차두시간 각 그룹이 발생할 수 있는 빈도수(frequency)에 해당된다.

Pearson III형 분포는 매개변수의 값에 따라 Gamma 분포와 Erlang 분포로 다시 구분될 수 있다. Gamma 분포는 변위 매개변수인  $a$ 가 "0"일 때의 경우이고, Erlang 분포는  $a$ 가 "0"이고  $K$ 가 양의 정수일 때를 나타내는 분포이다.

Gamma 분포

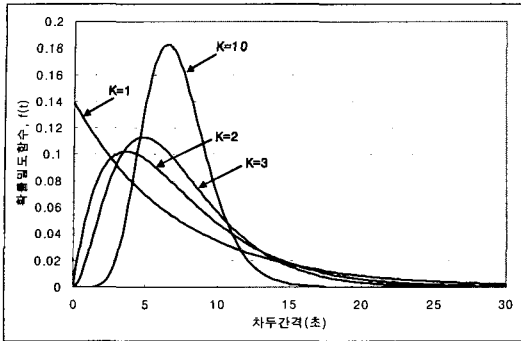
$$f(t) = \frac{\lambda}{(K-1)!} (\lambda t)^{K-1} e^{-\lambda t} \quad (3)$$

여기서,  $K$ 는 양의 실수

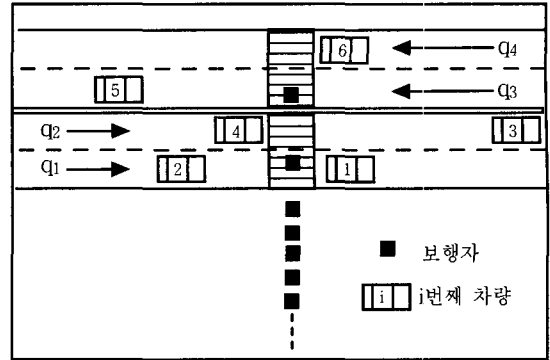
Erlang 분포

$$f(t) = \frac{\lambda}{(K-1)!} (\lambda t)^{K-1} e^{-\lambda t} \quad (4)$$

여기서,  $K$ 는 양의 정수(= 1, 2, 3, ... ∞)



〈그림 1〉 Erlang 계수(K)에 따른 변화



〈그림 2〉 보행자 횡단 과정도

$K=1$ 이면, Erlang 분포는 〈그림 1〉에서처럼 교통류의 무작위특성을 가지는 음지수 분포가 되고,  $K$  값이 커지면서 교통류도 무작위성이 없어져서 정규분포 형태로 가까워지면서 무한대 ( $K \rightarrow \infty$ )이면 정규분포가 된다.

또한, 차두시간 분포에서는  $\lambda$ 가 평균차두시간( $\bar{t}$ )와 Erlang 계수( $K$ )에 의해 식(5)와 같이 정의되며 본 연구에서는 교통류율( $q$ )로 대치하여 모형식을 구축한다.

$$\lambda = \frac{K}{\bar{t}} = Kq \quad (5)$$

이러한 Erlang 분포는 앞에서 설명한 중간 차두시간 패턴을 설명하는 대표적인 분포로서, 본 연구에서는 Erlang 계수( $K$ )의 변화에 따라 전체 교통류 상태를 나타낼 수 있는 특징을 가지고 있기 때문에 횡단보도에 접근하는 교통류의 차두시간 분포로서 Erlang 분포를 사용하였다. 또한 Gamma 분포의 경우 매개변수( $K$ )가 정수가 아니므로 확률분포의 해를 수학적으로 도출할 수 없기 때문에 사용하지 않았다.

### III. 보행자 횡단가능용량 모형식 개발

#### 1. 기본개념 및 가정

##### 1) 기본개념

도로에서 보행자가 횡단하는 과정을 〈그림 2〉를 가지고 설명하면 다음과 같다. 우선, 보행자는 좌측방향에서 오는 차량패턴에 대해서만 고려하기로 한다. 횡단보도 앞에서 보행자는 대기하고 있다가 도착하는 차량들간의 간격을 이용하여 횡단할 수 있는 기회를

찾을 것이다. 즉, 차량 1과 2, 차량 3과 4의 차량간격을 이용하여 우선 좌측방향에서 오는 교통류를 횡단한다.

중앙분리대 대기공간이 있는 도로구간에서는 보행자가 첫 번째 좌측방향의 도로만 횡단하면 중앙분리대의 대기공간에서 대기하고 있다가 반대편 차량들의 간격분포를 이용하여 필요로 하는 시간간격을 찾은 후 다시 두 번째 우측편 도로를 횡단하는 과정을 겪게 될 것이다. 이러한 경우, 보행자는 두 방향의 교통류가 제공하는 차두시간을 독립적으로 이용하여 횡단하여야 한다.

#### 2) 기본가정

비신호 횡단보도에서 보행자 횡단 가능용량 모형식과 용량값을 결정하기 위하여 다음과 같이 몇 가지 조건들을 가정하여야 한다.

- (1) 단일로상에 있는 비신호 횡단보도로 가정
- (2) 1개 차로폭은 4.0m이고 교통류속도는 16.7m/초로 접근하는 것으로 가정
- (3) 보행자 속도는 1.0m/초, 인지-반응시간은 2.5초로 가정
- (4) 단일 임계간격( $T$ )은 보행자 인지-반응시간과 한 방향 전체차로폭을 횡단하는 시간만큼 필요하다고 가정함.(예 : 양방향 2차로의 경우 6.5초)
- (5) 연속적인 보행자간 간격은 0.5초로 가정하고 다중 임계간격( $H$ )는 인지-반응시간을 포함한 3초로 가정함.
- (6) 도로상의 차량도착 차두시간분포는 Erlang 분포라고 가정함
- (7) 횡단보도에서 대기하는 보행자수는 충분하고, 횡단보도폭은 최소기준인 4m로 가정함.

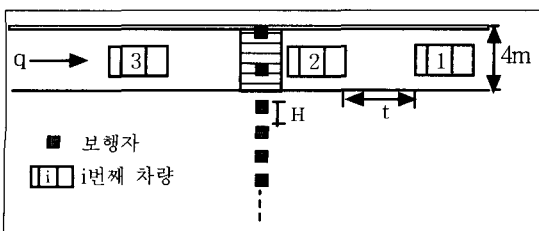
- (8) 횡단보도 대기공간에서 동시에 횡렬로 대기할 수 있는 보행자수는 한국인의 표준체형인 어깨 폭 39.9cm와 여유공간을 감안하여 2인/m으로 가정함.
- (9) 중앙분리대 대기공간은 반대방향 교통류의 횡단 가능간격을 찾기 위해 기다리고 있는 보행자들을 충분히 수용한다고 가정함
- (10) 비신호 횡단보도에서 보행자가 횡단할 수 있는 도로는 양방향 최대 6차로까지로 함

## 2. 기본 용량모형식 구축

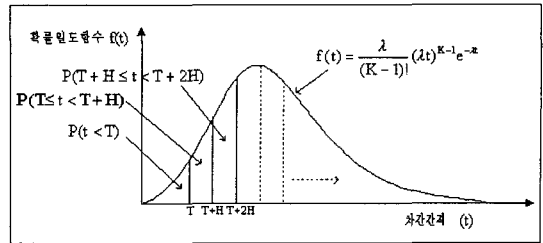
앞에서 서술한 보행자의 횡단특성을 이용하여 보행자 용량을 구할 수 있는 기본모형식을 만들어 보면 다음과 같다.

우선, 좌측방향 교통류의 도착패턴이 Erlang 분포라고 가정하고, 차간간의 간격( $t$ )과 보행자간 간격( $H$ ), 그리고 보행자 1명이 횡단하기 위하여 필요로 하는 임계간격( $T$ )가 주어졌을 때 보행자가 횡단할 수 있는 과정은 다음과 같이 설명될 수 있다. 이러한 횡단과정에서 중요하게 사용되는 변수가 임계간격(Critical Gap)이고 이러한 임계간격은 보행자의 특성에 해당되는 수락간격(acceptable gap)에 의해 결정되고 본 연구에서는 보행자 인지-반응시간과 한 방향 전체차로폭을 횡단하는 시간만큼 소요되는 것으로 가정하여 결정하였다.

- 보행자 0명 : 좌측방향 교통류에서 제공하는 차간간격  $t$ 가 1명의 보행자가 횡단하기 위하여 필요로 하는 임계간격  $T$ 보다 작으면, 보행자는 1명도 횡단할 수 없으며 이는  $t$ 가  $T$ 보다 작을 확률과 같다.  
 $\Rightarrow P(t < T)$
- 보행자 1명 : 차간간격  $t$ 가  $T$ 보다 크고 간격( $T$ )과 보행자간 간격( $H$ )의 합인  $T+H$ 보다 작을 경우,



〈그림 3〉 보행자 횡단 기본도



〈그림 4〉 Erlang 분포에서의 보행자 횡단확률

보행자 1명만이 횡단할 수 있고 확률은 다음과 같다.

$$\Rightarrow P(T \leq t < T+H)$$

- 보행자 2명 : 차간간격  $t$ 가  $T+H$ 보다 크고  $T+2H$ 보다 작으면 보행자 2명이 횡단할 수 있다.  $\Rightarrow$

$$P(T+H \leq t < T+2H)$$

- 보행자 3명, 4명, 5명 등 ...

한 개의 차간간격( $t$ )내에서 여러 명의 보행자가 동시에 횡단할 수 있는 확률은 확률밀도함수( $f(t)$ )에 의해 결정되며 〈그림 4〉와 같다.

보행자 횡단가능 용량은 도착하는 교통류율의 차간간격을 이용하여 동시에 횡단할 수 있는 보행자수에 횡단가능 확률을 곱하고 모든 보행자수 그룹에 대하여 합하는 과정을 통하여 구하게 되고, 이를 수학적 인 식으로 표시하면 다음과 같다.

횡단보행자 = 교통류율  $\times$   $\Sigma$  각 보행자수 그룹 횡단확률

$$C_p = q \sum_{i=0}^{\infty} (i+1) \cdot P[T + iH \leq t < T + (i+1)H] \quad (6)$$

여기서,

$C_p$  : 보행자 횡단가능 용량(인/초)

$q$  : 도착하는 일방향 교통류율(대/초)

$P[T + iH \leq t < T + (i+1)H]$  : 한쪽 방향 교통류의 차간간격( $t$ )가  $T + iH$ 와  $T + (i+1)H$  사이에 있을 때,  $i+1$  보행자가 횡단할 수 있을 확률

$T$  : 보행자가 도로를 횡단할 때 요구되는 단일 임계간격(초)

$H$  : 한 줄로 대기하고 있는 보행자간 시간간격

이 수학적식은 무한급수의 형태이고 합이 수렴하므로 Erlang 분포의 확률밀도함수  $f(t)$ 와 누적분포함수  $P(t \geq T)$ 를 적용하여 다음과 같이 보행자 용량의 기본모형식을 유도할 수 있다.

$$f(t) = \frac{Kq}{(K-1)!} (Kqt)^{K-1} e^{-Kat} \quad (7)$$

$$P(t \geq T) = e^{-KqT} \sum_{n=0}^{K-1} \frac{(KqT)^n}{n!} \quad (8)$$

식(8)을 식(6)에 대입하여 Erlang 계수별 기본 보행자용량 모형을 구축할 수 있다.

Erlang 계수에 따른 Erlang 분포는 교통량 수준에 따라 다르게 적용되어야 하며, <표 1>에서 보는 바와 같이 일반적으로 Erlang 계수가 커질수록 교통량 수준이 높은 차두시간 분포를 나타낸다고 할 수 있다.

<표 1> Erlang 계수(K)에 따른 교통량 범위

| K      | 1           | 2             | 3               |
|--------|-------------|---------------|-----------------|
| 교통량 범위 | 0 < q ≤ 456 | 456 < q ≤ 967 | 967 < q ≤ 1,304 |

주 : Drew(1968)의 연구결과 적용

또한, 본 연구에서 다루고 있는 비신호 횡단보도의 설치기준을 살펴보면, 통과교통량이 380대/시 이하에서는 횡단보도를 설치하지 않으며 990대/시를 넘는 교통량에서는 횡단보도에 보행자신호기를 설치하는 것으로 제시되어 있다(도로교통안전관리공단, 1998).

따라서 본 연구에서는 Erlang 계수(K)값이 1, 2, 3일 때의 보행자 용량모형을 개발하고자 한다.

1) Erlang 계수 K가 1일 때

Erlang 계수 K이면 확률밀도함수  $f(t)$ 와 누적분포함수  $P(t \leq T)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있고,

$$f(t) = qe^{-qt} \quad (9)$$

$$P(t \leq T) = 1 - e^{-qT} \quad (10)$$

보행자 용량  $C_p$ 는 식(6)에 식(10)을 적용하여 정리할 수 있으며, 이러한 무한급수식의 해를 구하면 하나의 간단한 수식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} C_p &= q[e^{-qT} - e^{-q(T+H)}] + 2q[e^{-q(T+H)} - e^{-q(T+2H)}] + \dots \\ &= qe^{-qT} + qe^{-q(T+H)} + qe^{-q(T+2H)} + \dots \\ &= qe^{-qT}(1 + e^{-qH} + e^{-2qH} + \dots) \\ &= \frac{qe^{-qT}}{1 - e^{-qH}} \end{aligned} \quad (11)$$

2) Erlang 계수 K가 2일 때

Erlang 계수 K=2이면 확률밀도함수  $f(t)$ 와 누적분포함수  $P(t \leq T)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f(t) &= 4q^2 te^{-2qt} \\ P(t \leq T) &= 1 - e^{-2qT}[1 + 2qT] \end{aligned} \quad (12)$$

K=1일 때와 마찬가지로 식(6)에 적용하여 정리하면 보행자용량  $C_p$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_p &= q[e^{-2qT}(1 + 2qT) - e^{-q(T+H)}\{1 + 2q(T+H)\}] \\ &\quad + 2q[e^{-q(T+H)}\{1 + 2q(T+H)\} - e^{-q(T+2H)} \\ &\quad \{1 + 2q(T+2H)\}] + 3q[e^{-q(T+2H)}\{1 + 2q(T+2H)\} \\ &\quad - e^{-q(T+3H)}\{1 + 2q(T+3H)\}] + \dots \\ &= q[e^{-2qT}(1 + 2qT) + e^{-2q(T+H)}\{1 + 2q(T+H)\} \\ &\quad + qe^{-2q(T+2H)}\{1 + 2q(T+H)\} + \dots] \\ &= q[\{e^{-2qT} + e^{-2q(T+H)} + e^{-2q(T+2H)} + \dots\} \\ &\quad + 2qT\{e^{-2qT} + e^{-2q(T+H)} + e^{-2q(T+2H)} + \dots\} \\ &\quad + 2qH\{e^{-2qT} + e^{-2q(T+H)} + e^{-2q(T+2H)} + \dots\}] \\ &= qe^{-2qT}[\{1 + e^{-2qH} + e^{-4qH} + e^{-6qH} + \dots\} \\ &\quad + 2qT\{1 + e^{-2qH} + e^{-4qH} + e^{-6qH} + \dots\} \\ &\quad + 2qHe^{-2qH}\{1 + 2e^{-2qH} + 3e^{-4qH} + 4e^{-6qH} + \dots\}] \\ &= qe^{-2qT}[\frac{1}{1 - e^{-2qH}} + \frac{2qT}{1 - e^{-2qH}} + \frac{2qHe^{-4qH}}{(1 - e^{-2qH})^2}] \\ &= \frac{qe^{-2qT}}{(1 - e^{-2qH})}[(1 + 2qT) + \frac{2qHe^{-4qH}}{(1 - e^{-2qH})}] \end{aligned} \quad (13)$$

3) Erlang 계수 K가 3일 때

Erlang 계수 K=3일 때 확률밀도함수  $f(t)$  및 누적분포함수  $P(t \leq T)$ 와 보행자 용량  $C_p$ 은 다음과 같이 하나의 모형식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{27q^3 t^2 e^{-3qt}}{2} \\ P(t \leq T) &= 1 - e^{-3qT} \left[ 1 + 3qT + \frac{(3qT)^2}{2} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} C_p &= \frac{qe^{-3qT}}{[1 - e^{-3qH}]} [1 + 3qT + 4.5q^2 T^2 \\ &\quad + \frac{3qH(1 + 6qT)e^{-3qH}}{(1 - e^{-3qH})} + \frac{9q^2 H^2(1 + e^{-3qH})e^{-3qH}}{(1 - e^{-3qH})^2}] \end{aligned} \quad (15)$$

이러한 Erlang 계수별 3개의 용량모형식들은 교통량 수준에 따라 다르게 적용되어야 하며, 앞에서 정의한 몇 가지 가정들을 토대로 보행자 횡단가능 용량을 결정하고자 한다.

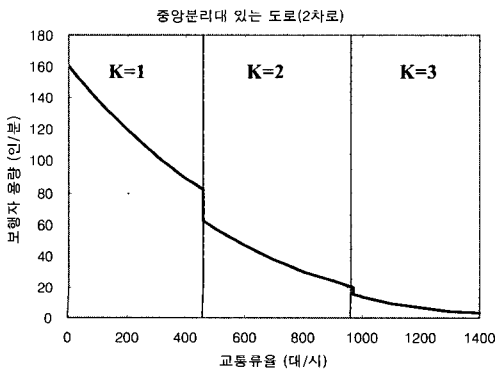
#### IV. 보행자 횡단가능용량 결정

도로상에 중앙분리대 대기공간이 설치되어있는 횡단보도에서의 보행자 용량은 한 방향의 차두시간을 이용하여 횡단한 후 중앙분리대의 대기공간에서 다시 반대방향의 차두시간을 기다릴 수 있기 때문에 일방향 도로의 경우와 기본적으로 동일하다고 할 수 있다.

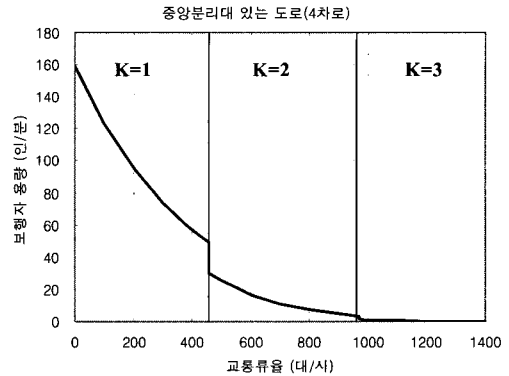
앞에서 구축한 용량모형식을 이용하여 비신호횡단 보도(폭 : 4m)와 양방향 차로수 2, 4, 6차로 도로가 주어졌을 때, 횡단가능보행자 용량을 산정하여 보면 다음과 같다. 2차로 중앙에 대기공간이 있는 경우는 현실적으로 거의 없으나 수학적 확률이론에 의해 모형식이 구축된 관계로 다양한 도로조건(차로수)에 대한 횡단가능용량을 검토하는 차원에서 제시하였다.

앞장에서 구축한 Erlang 계수  $K=1, 2, 3$ 에 대한 기본모형식 (11), (13), (15)를 이용하여 각 도로 및 교통량규모별 보행자용량을 산정하면 <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>과 같다. 여기서 사용된 Erlang 계수별 교통량 범위는 <표 1>에서 제시된 범위를 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 각 Erlang 계수가 변하는 교통량 지점에서 결정점이 발생하는데 이는 이론적 모형식과 Erlang 계수에 따른 교통량 범위에 의한 현실적인 한계로 생각된다.

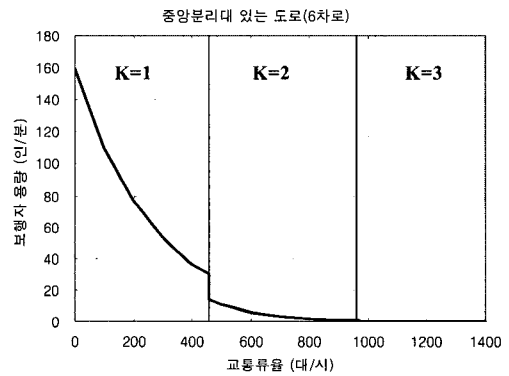
다음 그림에서 보는 바와 같이 전체적으로 접근교



<그림 5> 보행자 횡단가능용량(양방향 2차로)



<그림 6> 보행자 횡단가능용량(양방향 4차로)



<그림 7> 보행자 횡단가능용량(양방향 6차로)

통량이 증가할수록 횡단보행자 용량은 감소하는 패턴을 보이고, 양방향 차로수가 많을수록 횡단할 수 있는 보행자용량은 같은 교통량 수준을 기준으로 감소하게 되는데, 이는 보행자가 도로를 횡단하기 위하여 필요한 임계간격 크기가 차로수가 많아질수록 커지기 때문이고 이로 인해 접근교통량의 차간간격을 이용하여 횡단할 수 있는 확률도 낮아지기 때문이다. 다시 말하면, 차로수가 많아지면 횡단해야하는 폭이 늘어 나게 이에 따라 횡단하고자 하는 보행자들이 요구하는 임계간격(횡단요구간격)도 커지므로 횡단확률은 적어지기 때문이다. 횡단보행자는 한번에 왼쪽방향 교통류의 차두시간을 이용하여 중앙분리대 대기공간까지 가야하므로 한방향 전체차로폭은 임계간격을 결정하는 중요한 변수가 되고 이는 차로수에 의해 크기가 달라진다.

<그림 7>의 6차로 도로인 경우, 도착교통량이 증가할수록 보행자용량은 급격하게 줄어들어서 700대/시

〈표 2〉 도로 및 교통조건별 보행자 용량

| 접근 교통량<br>(대/시/방향) | 보행자 횡단 가능용량(인/분) |     |     | 비고  |
|--------------------|------------------|-----|-----|-----|
|                    | 2차로              | 4차로 | 6차로 |     |
| 380                | 92               | 60  | 39  | K=1 |
| 400                | 89               | 57  | 37  |     |
| 500                | 57               | 25  | 11  | K=2 |
| 600                | 46               | 17  | 6   |     |
| 700                | 37               | 11  | 3   |     |
| 800                | 30               | 7   | 2   |     |
| 900                | 24               | 5   | 1   | K=3 |
| 990                | 14               | 1   | 0   |     |

이상이면 도로를 횡단할 수 있는 가능보행자는 3명 이하로 줄어드는 것으로 분석되는데 이는 보행자가 요구하는 임계간격을 도착교통류의 차두시간이 제공할 확률이 매우 낮아지기 때문이다.

〈표 2〉는 도로 및 교통조건별 보행자용량을 계산한 결과를 나타낸 표로서, 비신호 횡단보도 설치 교통량 범위인 380대/시 이상 990대/시 이하를 적용하여 제시한 결과이다.

기존 횡단보도 보행자 신호기 설치기준과 비교해보면, 설치기준에서 제시하고 있는 횡단 보행자 시간당 150명은 최소 기준값으로 직접적으로 본 연구결과와 비교는 되지 않으나 본 연구에서 제시하고 있는 보행자 횡단 용량보다 많은 수의 보행자 수요가 있다면 이는 횡단보도에 신호기를 설치할 수 있는 또 다른 기준이 될 것으로 생각되어 검토하고자 한다.

본 연구결과에 따르면, 횡단보도에서 시간당 150명의 보행자가 횡단하기 위해서는 교통량이 2차로 1,456대/시, 4차로 1,038대/시 6차로 730대/시로 접근하여야 하고 이보다 높은 교통량 수준이 접근하게 되면 횡단하고자 하는 보행자는 150명/시 이하로 줄게 되므로 이 보다 더 많은 보행자 수요가 있다면 횡단보도에 신호기를 설치해야 할 것이다.

중앙분리대가 있는 도로형태에서 좌측방향의 교통량이 우측방향 교통량보다 많을 때는 중앙분리대 안전섬에서 대기하고 있는 보행자가 횡단간격을 찾을 확률이 상대적으로 높기 때문에 안전섬에서 대기하는 보행자의 수는 줄어들지만, 이와 반대로 우측방향의 교통량 크기가 더 많을 경우 횡단확률이 작아져서 많은 수의 보행자가 안전섬에서 대기한 후 우측방향의 도로를 횡단하므로 중앙분리대 안전섬의 대기 보행자

수는 계속적으로 증가할 것이다.

따라서, 양방향 모두를 횡단할 수 있는 전체 보행자용량( $C_p$ )은 좌측방향 보행자용량( $C_{pl}$ )과 우측방향 보행자용량( $C_{pr}$ )의 비교에 따라 다음과 같은 조건식에 의해 결정된다.

- 1)  $C_{pl} > C_{pr}$ 일 경우 전체 보행자용량( $C_p$ )는  $C_{pr}$ 와 같게 된다.
- 2)  $C_{pl} = C_{pr}$ 일 경우 전체 보행자용량( $C_p$ )는  $C_{pl}$  및  $C_{pr}$ 와 같게 된다.
- 3)  $C_{pl} < C_{pr}$ 일 경우 전체 보행자용량( $C_p$ )는  $C_{pl}$ 와 같게 된다.

즉, 일정시간내 양방향 통과가능 보행자용량( $C_p$ )은 두 방향의 교통류 차두시간 분포에 의해 결정되는 각 방향 보행자용량( $C_{pl}$ ,  $C_{pr}$ ) 중 적은 방향의 보행자용량 값과 같게 된다.

## V. 결론 및 향후 연구방향

간선도로 구간이나 로타리교차로와 같은 이동성을 강조하는 도로시설물에서는 차량중심의 연속성을 보장하기위하여 주로 횡단보도를 비신호로 운영하며, 이로 인해 보행자는 차량들의 간격분포를 이용하여 횡단해야하는 특성을 가지고 있다. 이럴 경우, 보행자 통과 가능용량을 기준으로 보행자 안전을 위해 교통섬 및 신호기의 설치 등 적절한 조치를 취해야 할 필요성이 있다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 도로조건(양방향 2, 4, 6차로)과 교통조건( $K=1, 2, 3$ )을 대상으로 차두시간 분포가 결정되었을 때, 보행자가 주어진 도로를 횡단할 수 최대 가능용량을 산정하는 모형식을 개발하였다.

개발된 3개의 모형식을 가지고 몇 가지 가정에 의해 도로상의 보행자용량을 산정하였는데, 교통량의 수준을 의미하는 Erlang 계수  $K$ 값이 클수록 보행자용량은 줄어들고 또한, 차로수가 많을수록 보행자용량은 기하급수적으로 줄어드는 경향을 보였다.

본 연구는 도로규모별 보행자용량의 크기에 따른 보행자 신호등의 설치기준 제공과 보행자 안전을 고려한 중앙분리대 안전섬의 설치 등 교통안전시설 및 교통운영 분석의 방법론으로 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 2단 횡단보도 시설과 같은 중앙분리



대에 횡단보행자를 위한 대기공간이 기본적으로 제공 되는 도로시설 경우에도 사용될 수 있을 것이다.

향후 연구내용으로는 모형식에서 가정하여 사용하고 있는 일부 파라메타에 의해 보행자용량 값들이 변화하므로 현장 실측조사를 통한 현실적인 파라메타의 정산작업이 필요할 것으로 생각된다.

또한, 중앙분리대가 설치되어있는 도로만을 국한하여 보행자용량 모형식을 개발하여 제시하였으나, 중앙분리대 대기공간이 없는 도로를 대상으로 한 보행자용량 모형식을 추가로 연구, 개발하여 확장할 필요성이 있고, 비신호 횡단보도에서 서비스수준을 결정하는 효과척도(MOE)에 관한 연구와 이에 대한 서비스 수준기준을 제시하는 연구가 필요하다.

**참고문헌**

1. 경찰청(2000), "교통안전시설실무편람".
2. 대한교통학회(2001), "도로용량편람", pp.471~497.
3. 도로교통안전관리공단(1998), "보행자 횡단보도 설

- 치기준에 관한 연구".
4. 도로교통안전협회(1997), "교통신호기 설치기준 연구", p.23.
5. May, A. D.(1990), "Traffic Flow Fundamentals", pp.11~28.
6. Drew, D. R.(1968), "Traffic Flow Theory and Control", p.218.
7. Lam, W. H. K., Lee, J. Y. S., Cheung, C. Y.(2002), "A study of the bi-directional pedestrian flow characteristics at Hong Kong signalized crosswalk facilities" Transportation Vol. 29, pp.169~192.
8. Oh, H; Sisiopiku, VP.(2000), "Probabilistic Models For Pedestrian Capacity And Delay At Roundabouts" Proceedings 4th International Symposium on Highway Capacity, Maui, Hawaii.
9. TRB(2000), "Highway Capacity Manual", pp. 11~14.

✉ 주 작 성 자 : 김상구  
 ✉ 논문투고일 : 2003. 4. 9  
   논문심사일 : 2003. 5. 13 (1차)  
                   2003. 6. 5 (2차)  
                   2003. 6. 30 (3차)  
                   2003. 7. 29 (4차)  
 심사판정일 : 2003. 7. 29  
 ✉ 반론접수기한 : 2003. 12. 31

### On the Introduction of the Internal Metering Policy in COSMOS

LEE, Seung-Hwan · LEE, Sangsoo · LEE, Sung-Ho

Internal metering policy(IMP) is a control strategy to improve the quality of traffic flow within a network by avoiding queue spillback or intersection blockage. It is a more aggressive control strategy than the current control strategy employed in COSMOS. A preliminary study was made to incorporate the IMP logic within the COSMOS system to improve its' functionality at oversaturated conditions. From the study results, a set of guideline for real implementation was recommended: traffic conditions, detector configurations, and control procedures, etc. A simulation study was performed to evaluate the effectiveness of the proposed guidelines. It was shown that the occurrence of queue spillback was minimized, and overall network performance was also improved by applying IMP logic as compared to COSMOS control onl.

### Cognitive Evaluation of Geometrical Structure on Express Highway with Driving Simulator

LEE, Byung Joo · PARK, Min Su ·  
LEE, Soo Beom · NAMGUNG, Moon

This study modeled 4-lane highway in three-dimensional virtual reality in order to overcome difficulties of field experiment, and the research subject was placed in a driving simulator. We survey the driver's cognitive characteristics to the alignment changes in the three-dimensional virtual reality highway. Especially, maximizing the identity of driving movements and virtual scenery on the basis of the data obtained by dynamic analysis module, we minimized simulator sickness for the graphic module of driving simulator. And we carried out cognitive evaluation on the basis of adjective words extracted by dictionary

and the opinion of specialist.

In this study, LISREL model was used to detect the causal relation between geometry and safety in cognitive side, and found that geometric change affects the safety of drivers by static and dynamic road safety model in three-dimensional combined alignments.

As the result, for constructing safety road, we consider drivers' cognitive characteristics as human factors in road design, and we think that they are very important factors to improve road safety.

### A Study on Model Development of Pedestrian Crossing Capacity at Unsignalized Crosswalks with Pedestrian Refuge Area

KIM, Sang Gu

This study proposes methodology determining a basic pedestrian crossing capacity that plays a critical role in the installation of pedestrian signal at the crosswalks. The methodology is based on the pattern of vehicle arrived at the crosswalks. Erlang distribuion is used as headway distribution that can cover the various levels of flow rate. Models using Erlang distribution are represented by Erlang parameter (K) of 1, 2, or 3 at 2-, 4-, or 6-lane roadway in both directions. In addition, this study considered the only type of road with a pedestrian refuge area in the median that is used to wait for the allowable gap provided by the flow of another direction. As a result, the pedestrian capacity decreases as flow rate increases and Erlang parameter increases for the road with the pedestrian refuge. This study develops the models to determine the pedestrian capacity under a variety of flow rates and the outcomes of this study could be used as the criteria for the determination of the installation of pedestrian signal or for the provision of pedestrian refuge in the median of road.