

■ 論 文 ■

대기행렬이론을 이용한 중앙버스정류소 접근구간 보행환경 평가에 관한 연구

A study on the development of evaluation methodology for pedestrian service quality
at the access section of bus stop on median bus lane

천 승 훈

(서울대학교 환경대학원 박사과정)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

<p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구의 배경 및 목적 2. 연구의 범위 및 방법 <p>II. 이론적 고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 외국 연구사례 2. 국내 연구사례 <p>III. 현행 방법에 의한 중앙정류소구간 보행서비스수준 분석 및 문제점</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 보행서비스수준 분석방법 2. 15분 보행교통량에 의한 중앙정류소 	<p>접근구간 보행서비스수준 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 분석결과 문제점 <p>IV. 대기행렬이론을 이용한 중앙정류소구간 보행환경 분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 대기행렬이론 2. 대기행렬이론을 이용한 중앙정류소 접근구간 보행환경 분석 3. 보행환경 분석 결과 <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Key Words : 중앙버스전용차로, 대기행렬이론, 보행환경, 보행서비스수준, 보행교통류율
 Median exclusive bus lane, Queuing theory, Pedestrian environment, Pedestrian level of service, Pedestrian flow rate

요 약

중앙버스전용차로 정류소의 경우, 위치의 특성상 도로의 중앙에 위치하고 있기 때문에 횡단보도 녹색시간에 의해 보행군이 형성될 뿐만 아니라, 이로 인해 중앙정류소의 접근구간을 통과할 때 보행자의 지체 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상을 표현하기 위해 본 연구에서는 대기행렬이론을 적용한 보행환경 분석방법을 제시하였다.

분석 결과, 기존의 15분 보행교통량에 의한 보행환경 분석결과(서비스수준 A)에 비해 보행환경이 나빠지는 것을 볼 수 있었으며(서비스수준 D), 이러한 결과가 현실을 제대로 반영하는 것인지를 살펴보기 위해, 실제 중앙정류소에 도착하는 보행자의 도착률을 토대로 보행 서비스수준을 재산정하였다. 그 결과, 본 연구에서 제시된 결과와 비슷한 서비스수준을 반영하고 있음을 알 수 있었다.

Located in the middle of lanes, the station of a median exclusive bus lane generates pedestrian groups on the green light of a crosswalk and causes pedestrians delays passing the access section. For the purpose of showing these facts, the pedestrian analysis, on which the queuing theory is applied, is presented in this study.

The Result is that the pedestrian environment was deteriorated (LOS D) compared to an exciting pedestrian analysis based on 15 minutes of pedestrian volume (LOS A). A pedestrian level of service has been reevaluated based on an arrival rate on the median bus station in order to examine whether the result reflects reality or not. In result, it was similar outcomes to this study.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 급속한 경제성장과 국민소득 증대에 따라 자동차가 급속히 증가하여 어느 지역을 막론하고 교통문제가 주요한 시민불편사항으로 제기되어 왔다. 교통문제는 소통난, 주차난, 대중교통서비스문제, 교통사고 등이 주를 이루었다. 따라서 교통문제 해결은 도로공급 확충, 주차공간 확대, 지하철 건설 등이 주된 과제라는 인식이 지배적이었다. 우리사회가 자동차 수요증가 예측과 그에 수반되는 시설공급에 급급하는 동안, 우리자신도 모르는 사이에 도로는 자동차가 통행하기 위한 공간이라는 생각이 보편적 의식으로 자리 잡아 버렸다. 그 결과 자동차 통행 또는 주차공간 이외의 대중교통이용자, 보행자, 자전거가 안전하고 쾌적하게 다닐 수 있는 길은 찾아보기 어렵게 되었다.

이에 서울시에서는 2002년부터 자동차 중심이 아닌, 대중교통 및 보행자 중심의 교통체계개편을 추진하여 왔고, 그 일환으로 2004년도부터 서울시 주요 간선도로에 중앙버스전용차로를 확대 설치하고 있으며, 횡단보도와 보도를 정비하는 등 각종 사업을 추진 중에 있다.

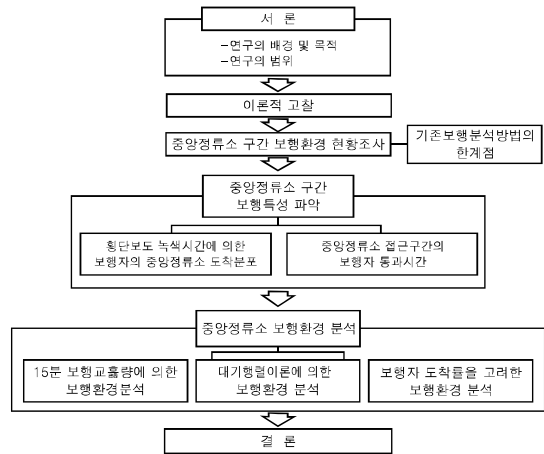
그러나, 앞서 언급한 바와 같이, 최근까지는 차량교통 위주의 연구만이 활발히 이루어졌을 뿐, 보행교통에 관한 연구는 모든 면에서 소홀히 되어왔으며, 특히 중앙버스전용차로 시행 이후 보행환경 변화에 따른 버스이용자의 보행패턴 변화에도 불구하고, 기존의 가로변 보행환경 분석방법 및 평가기준에 의한 중앙버스전용차로 보행환경 분석으로 인한 평가결과의 부적절함이 발생되고 있기에, 본 연구에서는 중앙버스전용차로 도입 이후 중앙정류소 구간의 보행특성이 어떻게 변화되었는지를 살펴 보고, 중앙정류소 구간의 새로운 보행특성을 반영할 수 있는 보행환경 분석방법을 검토하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 중앙버스전용차로가 설치되어 있는 중앙버스정류소를 대상으로 보행환경 변화에 따른 보행환경 특성을 파악, 이에 대한 공학적으로 합리적인 분석방법을 제공하고자 한다.

이를 위해, 정류소 대기공간과 보행교통에 대한 기존

조사방법과 분석방법을 참조, 비교하여 중앙버스정류소의 보행특성에 맞는 보행서비스 분석방법을 제시하고자 한다.



〈그림 1〉 연구의 방법

II. 이론적 고찰

1. 외국의 연구사례

Fruin(1971)은 “Pedestrian Planning and Design”에서 보행자 시설에 대한 분석결과 보행점유공간($m^2/인$)과 보행교통류율($인/분/m$) 등의 척도를 이용하여 서비스수준을 구분하였다. 보행점유공간은 보행자 1인에게 제공되는 공간의 크기를 의미하며, 보행교통량을 1분동안 1m를 통과한 보행자의 수로 환산한 보행교통량을 보행교통류율($인/분/m$)이라 한다. Fruin은 용량상태인 서비스수준 E인 상태에서 모든 보행자가 자유속도 선택이 불가능하며 이 때의 보행점유공간은 $0.5(m^2/인)$ 이고, 보행교통류율은 $80(인/m/분)$ 이며 이러한 서비스수준 결정 기준은 1985년판 미국 도로용량편람에서 서비스수준 결정 과정에 반영되었다.

Pushkarev와 Zupan(1995)은 보행자도로(Walkway)에 대해 많은 현장조사를 실시하고 보행교통량/보행속도/보행밀도/보행점유공간에 대해 차량에 대한 연속류의 특성(교통류-속도-밀도 관계)과 유사한 관계들을 도출하였으며, 보행교통 상황을 일반적 상황과 군집적 상황(Platoon), 제한을 받지 않는 상황(Unimpeded)과 제한이 있는 상황(Impeded) 등에 대한 분석 결과를 제시하였

다. 한편 이 연구 결과는 1985년판 미국 도로용량편람에 보행 교통류의 특성으로 제시되고 있다.

현재 미국 도로용량편람은 개정된 2000년판 도로용량편람이 사용되고 있는데, 보행자 관련 분석과정이 개정되어 실려 있다. 기존에 1인당 평균 제공되는 보행자 공간의 넓이 개념에 해당되는 보행점유공간에 의해서만 서비스수준을 결정하는 방식에 비해 적용되는 보행시설의 종류에 따라 다양한 서비스수준 결정기준으로 제시하고 있다. 즉, 보행자도로, 보도, 계단에서 주요 효과적도는 보행교통류율과 보행점유공간이고, 대기공간, 보행류의 교차지점 등에 대해서는 보행점유공간을 기본 효과적도로 채택하고 있는 점은 동일하지만 시설의 종류별로 별도의 서비스수준들이 제시되고 있다. 또, 단속보행류에 대해서는 주요 효과적도로서 지체를 적용하고 있으며, 연속되는 보도들(Pedestrian Sidewalk)에 대해서는 보행속도를 이용한 서비스수준 결정 기준을 제시하고 있다.

2. 국내의 연구사례

국내의 도로용량편람(1992년 당시 건설부)에는 보행 시설에 대한 용량 및 서비스수준 분석은 제시되지 않아서 국내에는 통일된 보행자도로 분석과정은 없다고 할 수 있다. 그러나 보행의 중요성에 대한 인식이 점점 확산되어져 감에 따라 개별 연구차원에서는 보행과 관련된 연구 결과들이 많이 제시되고 있으며, 그 결과 개편된 도로용량편람(2001)에는 보행환경분석에 대한 분석방법 및 기준이 제시되었다. 김정현(2002)은 보행자시설중 계단과 대기공간에 대한 서비스결정기준을 정하고 용량 값을 산출하여 우리나라 현실에 적절한 설계기준을 산출하였으며, 임정실, 오영태(2002)는 지하철내 환승로 및 역주변 보도에서 출근시간대 통근·통학을 목적으로 하는 보행자를 대상으로 보행속도와 보행밀도 자료를 수집하여 회귀분석을 통해 도출된 일차 직선식으로 보행교통량과 보행속도에 관한 추정식을 구해 각 조사지점의 용량을 산정하였다. 김경환(1999)은 보행자 서비스수준의 결정기준을 단순히 제공되는 보행공간의 크기만으로 비교하는 것이 아니고 안전성, 편리성, 쾌적성, 환경, 보호성, 연결성 등의 다양한 지표를 이용하여 분석하여야 한다는 점을 지적하고 있고, 양경희(1995)는 수원역의 환승로에 대한 용량산정 연구를 실시 수원역 내의 환승로의 용량상태 한계 값일 때의 보행밀도와 보행교통량을

제시하고 있다. 이외에도 보행속도, 밀도, 횡단보도 운영과 관련된 분석, 도시 내 보행공간의 복잡성 분석 등 많은 연구 결과들을 소개하고 있다.

III. 현행 방법에 의한 중앙정류소구간 보행서비스수준 분석 및 문제점

1. 보행서비스수준 분석방법

보행과 관련된 교통류는 보행자 시설의 분석과정의 정립 과정에서 기본적인 관계식으로 이용된다. 보행자 시설의 각 유형별로 보행교통량-속도-밀도-보행자점유공간의 보행교통류 관계를 통해 효과적도가 정해지면 이 결과를 이용하여 서비스수준을 판정하기 위한 방법이 결정된다. 보행자시설의 보행교통량-보행속도-보행밀도 관계는 다음의 식을 기본으로 하고 있다.

$$V = S \times D$$

여기서, V : 보행교통류율(인/분/m)
 S : 보행속도(m/분)
 D : 보행밀도(인/m²)

한편, 보행자 점유공간은 보행자 밀도에 대한 역수에 해당하는 개념으로서 보행자 1인당 이용 가능한 공간의 크기를 의미하며 보행교통량-속도-점유공간 사이에는 다음의 관계식을 기본으로 한다.

$$V = \frac{S}{M}$$

여기서, V : 보행교통류율(인/분/m)
 S : 보행속도(m/분)
 M : 보행점유공간(m²/인)

2. 15분 보행교통량에 의한 중앙정류소 접근구간 보행서비스수준 분석

1) 15분 보행교통량 조사에 의한 보행환경 분석방법

각 중앙버스정류소의 침두시 보행자교통량(15분단위 ×4회)을 조사하여 보행교통류율을 산정한다.

$$V_p = \frac{V_{15}}{15 \times W_E}$$

V_p : 보행교통류율(인/분/m)

V_{15} : 15분침두교통류율(인/15분)

W_E : 유효보도폭(m)

2) 보행자 서비스수준(KHCM)

〈표 1〉 보행자 서비스수준

서비스수준	보행교통류율(인/분/m)
A	≤ 20
B	≤ 32
C	≤ 46
D	≤ 70
E	≤ 106
F	-

3) 분석결과

〈표 2〉 15분 교통량조사에 의한 보행환경 분석 결과

구분	침두시 승차인원 (인/시)		15분침두 교통류율 (인/15분)		유효보도폭 (m)		보행 교통류율 (인/분/m)		서비스 수준 (LOS)	
	도심	외곽	도심	외곽	도심	외곽	도심	외곽	도심	외곽
우성 아파트	852	637	248	226	1.5	1.5	11.02	10.04	A	A
양재역	604	1.080	181	319	2.5	2.5	4.83	8.51	A	A
모래내 시장	568	174	160	55	1.5	1.5	7.11	2.44	A	A
교육 개발원	375	352	133	103	1.5	1.5	5.91	4.58	A	A

3 분석결과 문제점

중앙버스전용차로 정류소의 보행서비스수준 분석결과, 현행 도로용량편람(KHCM)에서 제시되고 있는 분석방법론 및 서비스수준을 적용하였을 경우, 중앙버스전용차로가 시행중인 모든 정류소의 보행서비스는 "A" 수준으로 나타나고 있다.

그러나, 실제 중앙버스전용차로가 시행되고 있는 정류소를 보면, 출퇴근시간대 정류소의 극심한 혼잡이 발생되고 있다는 것을 알 수 있다.

이는 현행 보행서비스수준 분석방법이 실제 보행환경과 보행자의 불편을 제대로 반영하지 못할 뿐만 아니라,



〈그림 2〉 중앙정류소 접근구간 사진

중앙버스전용차로 구간의 보행특성이 일반 보행구간의 보행특성과 상이하다는 것으로 판단할 수 있다.

즉, 중앙버스전용차로의 정류소 구간은 일반 가로보행 구간과는 달리, 보행횡단신호에 의해 접근할 수 있는 단속류의 형태이고, 이로 인하여 군집(Platoon) 상황이 발생된다는 것이다. 또한, 이러한 보행군의 형성으로 인해 짧은 시간에 접근부를 통과하는 보행교통량이 많아져서 이로 인해 정류소 접근구간에서 혼잡이 발생하는 것이다. 따라서, 중앙정류소의 보행서비스를 분석하기 위해서는 이러한 상황을 고려한 새로운 분석방법이 필요하다.

IV. 대기행렬이론을 이용한 중앙정류소구간 보행환경 분석

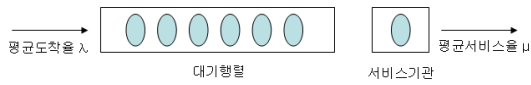
1. 대기행렬이론

대기행렬은 어떤 서비스를 받으려고 하는 고객들의 불규칙한 도착으로 인하여 발생하는 현상이다. 고객의 불규칙한 서비스시간의 불균형으로 인하여 기다리는 상태가 초래되는데 이러한 대기상태를 개선하기 위한 연구가 대기행렬이론이다. 대기모형을 구성하는 목적은 여러 가지 조건 하에서 고객의 도착, 정체상황을 이론적으로 해석하여 창구, 즉 서비스 기관을 효과적으로 설계하거나 운영하는 데 목적이 있다. 즉 대기행렬의 길이와 서비스 제공자의 수를 적정수준으로 유지하는 것이 주요 목적이다.

대기행렬시스템에는 일반적으로 단일 서비스기관과 다중 서비스기관으로 구분할 수 있다.

단일 서비스기관은 대기장소가 하나이며, 한 개의 서

비스기관에 의하여 서비스를 제공할 때의 대기시스템을 말한다.



〈그림 3〉 단일 서비스기관의 대기시스템

단일 서비스기관일 경우 교통강도 $\rho(=\frac{\lambda}{\mu}) > 1$ 이면 대기행렬의 길이가 무한정 길어지므로 $\frac{\lambda}{\mu} < 1$ 의 경우만을 고려한다. 다음은 단일 서비스기관에서의 대기행렬을 계산하는 과정이다.

- 평균도착률 $\lambda \rightarrow$ 도착간의 평균시간간격 $\frac{1}{\lambda}$
- 평균서비스율 $\mu \rightarrow$ 평균서비스시간 $\frac{1}{\mu}$

㉠ 시스템내의 차량대수

시스템내의 차량대수는 대기행렬에 있는 차량대수(대기행렬의 길이)와 서비스를 받고 있는 차량대수를 합한 것이다.

- 시스템내에 차량이 한대도 없을 확률
: $P(0) = 1 - \rho$
- 차량이 n대가 있을 확률
: $P(n) = \rho^n \cdot P(0) = \rho^n(1 - \rho)$

㉡ 평균대기행렬 길이 : L_q

서비스를 기다리는 평균차량대수를 말하며 시스템내의 평균차량대수에서 서비스를 받고 있는 차량의 평균대수(ρ)를 뺀 값과 같다.

$$L_q = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} = L - \rho$$

㉢ 시스템내의 평균차량대수 : L

대기행렬에 있는 평균차량대수 L_q 와 서비스를 받고 있는 평균차량대수 ρ 를 합한 것으로 다음과 같다.

$$L = L_q + \rho = \frac{\rho^2}{1-\rho} + \rho = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu-\lambda}$$

㉣ 평균대기시간 : W_q

서비스를 받기 시작하기 전까지 대기행렬에서 기다리

는 평균대기시간을 말하며, 시스템내의 평균체류시간에서 평균서비스시간을 뺀 값과 같다.

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} = W - \frac{1}{\mu}$$

㉤ 시스템내의 평균체류시간 : W

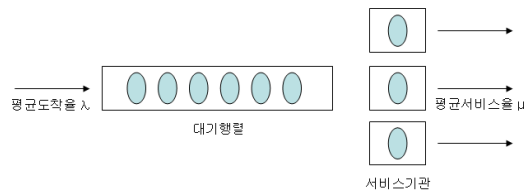
평균대기시간 W_q 에다 평균 서비스시간 $1/\mu$ 를 합한 값과 같다.

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu-\lambda}$$

㉥ 시스템내의 차량대수의 분산 : $Var(n)$

$$Var(n) = \frac{\rho}{(1-\rho)^2} = \frac{\lambda\mu}{(\mu-\lambda)^2}$$

다중 서비스기관은 대기장소는 하나이면서 여러 개의 서비스기관이 병행해서 동일한 서비스를 할 때의 대기시스템을 말한다.

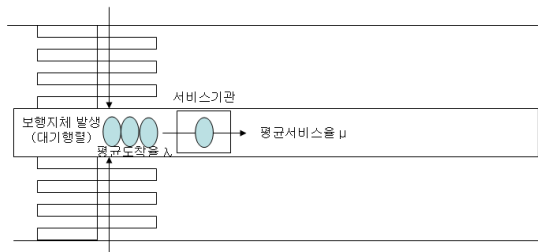


〈그림 4〉 다중 서비스기관의 대기시스템

2. 대기행렬이론을 이용한 중앙정류소 접근구간 보행환경 분석

1) 중앙버스정류소 접근구간에서의 대기행렬이론의 적용

횡단녹색시간동안 중앙버스정류소의 접근구간에서는 정류소로 진입하는 보행자의 대기행렬이 발생한다. 이는 횡단보도 보행신호에 의한 보행군이 형성되어 짧은 시간에 중앙정류소의 접근구간을 통과해야할 뿐만 아니라, 횡단보도의 폭에 비해 중앙정류소의 보도폭이 좁아짐에 따라 접근구간을 통과할 때 대기행렬이 발생하는 것이며, 횡단보도상의 보행자의 속도와 중앙정류소 접근구간을 통과할 때의 보행자의 속도를 비교해 보면, 〈표 3〉과



〈그림 5〉 중앙정류소 접근구간에서의 대기행렬

〈표 3〉 중앙정류소 접근 보행속도

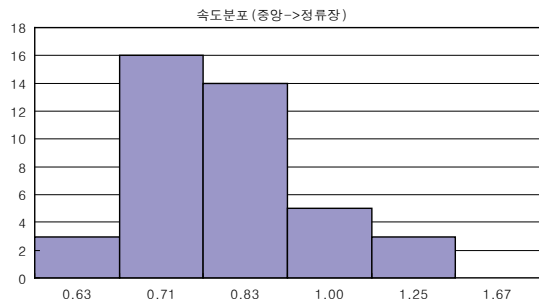
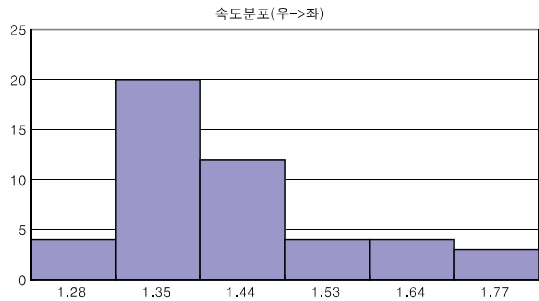
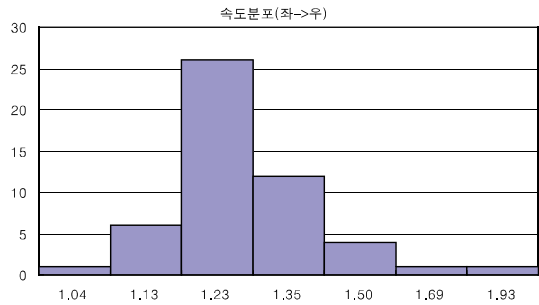
가로변 → 중앙				중앙 → 중앙정류장	
좌 → 우 방향		우 → 좌 방향		보행 속도 (m/s)	사람수
보행 속도 (m/s)	사람수	보행 속도 (m/s)	사람수		
1.23	2	1.28	4	0.63	3
1.35	26	1.35	20	0.71	16
1.50	20	1.44	12	0.83	14
1.69	4	1.53	4	1.00	5
2.25	1	1.64	4	1.25	3
2.70	2	1.77	3	1.67	0
1.28	51	1.43	47	0.82	41

같이 횡단보도상에서의 보행자 속도가 평균 1.28~1.43m/s인 반면, 중앙정류소 접근구간의 보행자속도가 0.82m/s로 현저히 떨어지는데서 중앙버스정류소 접근구간의 대기행렬(보행지체) 발생여부를 확인할 수 있으며, 본 연구에서는 이러한 중앙정류소 접근구간의 보행 특성을 반영하기 위하여 대기행렬이론을 적용하여 보행 환경을 분석하고자 한다.

2) 중앙버스정류소 이용승객의 도착분포

(1) 이용승객의 도착보행특성

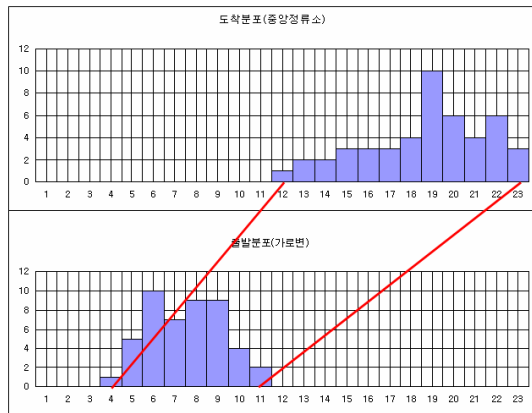
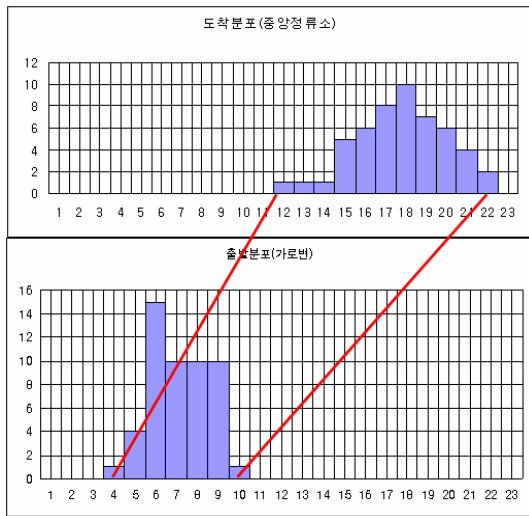
중앙버스정류소 이용승객은 횡단보도의 녹색시간을 통해서 중앙버스정류소로 접근을 하게 되므로, 횡단보도까지의 거리와 보행자의 통행속도에 따라서 보행자의 중앙버스정류소 도착형태가 결정되게 된다. 이때 보행환경을 분석하는데 있어 가장 중요한 것은 횡단보도 녹색신호 시 보행자의 군집을 가장 잘 표현하는 것인데, 이는 횡단보도의 특성상 모든 시간대에 혼잡이 발생하는 것이 아니라, 횡단보도 녹색시간이 켜졌을 때 대기하고 있던 보행자가 일시에 중앙정류소를 통과할 때 혼잡이 가장 크게 발생된다. 따라서 본 연구에서는 횡단보도에서의 군집보행 특성을 분석하기 위해, 실제 횡단보도 녹색신



〈그림 6〉 중앙정류소 접근 보행속도 분포

〈표 4〉 중앙정류소 횡단보도 구간의 Platoon dispersion

좌 → 우 방향				우 → 좌 방향			
출발(가로변)		도착(중앙)		출발(가로변)		도착(중앙)	
초	사람수	초	사람수	초	사람수	초	사람수
4	1	12	1	4	1	12	1
5	4	13	1	5	5	13	2
6	15	14	1	6	10	14	2
7	10	15	5	7	7	15	3
8	10	16	6	8	9	16	3
9	10	17	8	9	9	17	3
10	1	18	10	10	4	18	4
11	0	19	7	11	2	19	10
12	0	20	6	12	0	20	6
13	0	21	4	13	0	21	4
14	0	22	2	14	0	22	6
15	0	23	0	15	0	23	3



〈그림 7〉 중앙정류소 횡단보도 구간의 Platoon dispersion

호가 커지기 전까지 대기공간에서 대기하고 있는 보행자를 대기인원으로 보고, 이에 대한 분석을 시행했으며, 그 결과는 〈표 4〉와 〈그림 7〉과 같다.

(2) 도착분포의 적합도검정

중앙정류소 이용승객의 도착분포를 추정하기 위해 통계적 기법인 χ^2 적합도검정을 실시하였다. χ^2 적합도검정을 위한 귀무가설은 다음과 같이 설정하였다.

$$H_0 : \text{중앙정류소 이용승객의 도착은 포아송분포를 따른다.}$$

실제 횡단보도 녹색신호가 커지기 전까지 가로변 횡단보도 대기공간에서 대기하고 있는 보행자를 대기인원

〈표 5〉 도착분포의 χ^2 적합도검증

계급	관찰도수	기대확률	기대도수	χ^2
1	0	0.0006	0.0588	0.059
2	2	0.0041	0.4018	6.357
3	3	0.0156	1.5288	1.416
4	3	0.0389	3.8122	0.173
5	8	0.0729	7.1442	0.103
6	9	0.1094	10.7212	0.276
7	11	0.1367	13.3966	0.429
8	14	0.1465	14.357	0.009
9	17	0.1373	13.4554	0.934
10	12	0.1144	11.2112	0.055
11	8	0.0858	8.4084	0.020
12	8	0.0585	5.733	0.896
13	3	0.0366	3.5868	0.096
14	0	0.0381	3.7338	3.734
15	0	0.0046	0.4508	0.451
합계	98		98	15.007

으로 보고, 이들 중 중앙버스정류소로 진입하는 보행자를 대상으로 보행자가 녹색신호시간동안 중앙버스정류소에 도착하는 분포에 대한 분석을 시행했으며, 그 결과는 〈표 5〉과 같다.

유의수준 5%에서 χ^2 적합도검정 결과, $\chi^2_{c-1, \alpha} = \chi^2_{14, 0.05} = 23.7$ 이고, χ^2 계산값이 15.007으로 $\chi^2_{14, 0.05}$ 가 되므로, 귀무가설 H_0 를 채택한다. 따라서 중앙정류소 이용승객의 도착분포율은 포아송분포로 나타남을 알 수 있다.

3) 서비스를 산정

(1) 중앙정류소 접근구간의 서비스시간 특성

중앙정류소 접근구간의 경우, 톨게이트나 주차요금소처럼 정지상태의 서비스시간이 발생하는 것이 아니라, 보행자가 일정구간을 이동시 지체가 발생하게 되어 통과시간이 길어지게 되는 것이므로, 서비스시간이 정해져 있는 것이 아니라, 보행자의 도착율과 통과시간에 따라 서비스시간이 변하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 보행자의 도착율과 중앙정류소 접근구간을 통과하는데 걸리는 통행시간을 대기행렬모형상의 시스템 내 평균체류시간으로 보고, 이들 값을 이용하여 서비스를 산정하도록 한다. 다만, 실제 접근구간 통과시간의 경우, 중앙정류소 대기공간의 용량은 버스의 노선수와 배차간격에 의해 영향을 받기 때문에, 이러한 대기공간의 용량변화가 실제 보행환경에 영향을 미칠 수 있으나, 본 연구에서는 중앙버스정류소 설계 시 대기인원을 고려하여 대기공간

을 산정하였기에 대기공간의 용량제약을 고려하지 않는 것으로 가정하여 서비스율을 산정하였다.

(2) 서비스시간 분포의 적합도검정

중앙정류소 이용승객의 서비스시간 분포를 추정하기 위해 통계적 기법인 χ^2 적합도검정을 실시하였다. χ^2 적합도검정을 위한 귀무가설은 다음과 같이 설정하였다.

H_0 : 서비스시간은 지수분포를 따른다.

중앙정류소 이용승객의 접근구간 서비스시간 분포에 대한 분석을 시행한 결과는 <표 6>과 같다

<표 6> 서비스시간 분포의 χ^2 적합도검증

계급	관찰도수	기대치	기대도수	χ^2
1	10	0.1559	6.3916	2.0371
2	8	0.1334	5.4690	1.1713
3	8	0.1141	4.6796	2.3561
4	5	0.0977	4.0041	0.2477
5	3	0.0836	3.4261	0.0530
6	2	0.0715	2.9315	0.2960
7	1	0.0612	2.5084	0.9070
8	1	0.0523	2.1463	0.6122
9	2	0.0448	1.8365	0.0146
10	1	0.0383	1.5714	0.2078
11	0	0.0328	1.3445	1.3445
12	0	0.0281	1.1505	1.1505
13	0	0.0240	0.9844	0.9844
14	0	0.0205	0.8423	0.8423
15	0	0.0176	0.7207	0.7207
16	0	0.0150	0.6167	0.6167
17	0	0.0129	0.5277	0.5277
18	0	0.0110	0.4515	0.4515
합계	41		41.6026	14.5410

유의수준 5%에서 χ^2 적합도검정 결과, $\chi^2_{c-1,\alpha} = \chi^2_{17,0.05} = 27.587$ 이고, χ^2 계산값이 14.541로 $\chi^2_{17,0.05}$ 가 되므로, 귀무가설 H_0 를 채택한다. 따라서 중앙정류소 접근구간의 서비스시간 분포는 지수분포로 나타남을 알 수 있다.

(3) 서비스율 산정방법

중앙정류소 접근구간 통과시간은 결국 대기행렬이론에서 시스템 내 평균체류시간과 같으므로 다음 식을 이용하여 서비스율을 산정할 수 있다.

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} + \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

따라서, $\mu = \lambda + \frac{1}{W}$

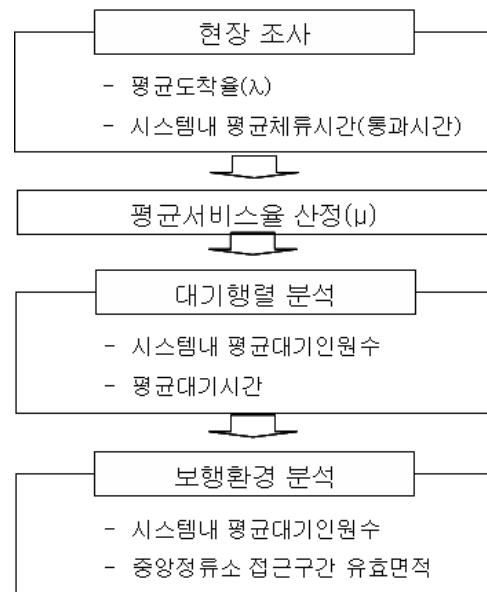
- 여기서, W : 시스템내 평균체류시간
- W_q : 평균대기시간
- μ : 평균서비스율
- λ : 평균도착률

4) 대기행렬 분석을 이용한 중앙정류소구간 보행환경 분석

중앙정류소 접근구간을 통과하는 보행자는 일반 가로구간의 보행자와는 달리, 모든 시간대에 보행인구가 발생하는 것이 아니라, 횡단보도 녹색시간의 일부시간 내에서만 발생하게 된다. 따라서 기존 보행환경 분석에서처럼 모든 시간대를 기준으로 보행환경을 분석하게 될 경우, 보행환경이 실제 상황보다 좋아지는 경향이 발생하게 된다.

본 연구에서는 이처럼 보행환경이 과대평가되는 현상을 방지하기 위해, 중앙정류소 접근구간에 도착하는 보행자의 도착률과 접근구간을 통과할 때 실제 소요되는 통과시간을 반영하여 보행환경을 분석하고자 한다.

즉, 보행자의 도착률과 서비스율의 관계를 알면, 대기행렬 분석을 통해 시스템내의 보행자수(중앙정류소 접근구간내 보행자수)를 산정할 수 있으며, 이를 이용해 보행 점유공간을 산출하여 중앙정류소 접근구간의 보행환경을 분석한다.



<그림 8> 대기행렬 분석을 통한 보행환경 분석 방법

3. 보행환경 분석 결과

중앙정류소 접근구간 보행환경 분석을 위해 보행교통량이 가장 많은 강남대로 교보타워 정류소의 오후시간대 1시간 영상자료를 이용하여 분석하였다.

대기행렬이론에 의한 보행환경 분석방법의 적정성을 비교하기 위해, 기존의 15분 보행교통량에 의한 보행환경 분석방법에 의한 결과와 비교하였다.

〈표 7〉 15분 보행교통량에 의한 보행환경 분석 결과

	15분첨두 교통량을 (인/15분)	유효보도폭 (m)	보행교통량을 (인/분/m)	서비스수준 (LOS)
교보타워 사거리	217	2.5	5.79	A

〈표 8〉 대기행렬 분석 결과

구분	값
정류소 평균도착률(λ)	2.73
평균서비스율(μ)	2.89
이용계수(ρ)	0.94
평균대기인원수(인)	16.19
시스템내 평균대기인원수(인)	17.13
평균대기시간(초)	5.92
시스템내 평균체류시간(초)	6.27

〈표 9〉 대기행렬 분석 결과에 의한 보행환경 분석 결과

	시스템내 평균대기 인원수 (인)	중앙정류소 접근구간 유효면적 (m^2)	점유공간 (m^2 /인)	서비스 수준 (LOS)
교보타워 사거리	17.13	2.5 × 5	0.73	D

보행환경 분석 결과, 일반 가로구간에 적용되는 보행환경 분석방법에 의해서는 중앙정류소의 보행특성, 즉 횡단보도 녹색시간에 보행인구가 밀집되는 현상을 제대로 반영하지 못하기 때문에 〈표 7〉과 같이 보행환경 분석결과 서비스수준이 "A"를 나타냄을 알 수 있으며, 이러한 결과는 현실적이지 못하다는 것을 쉽게 판단할 수 있을 것이다.

중앙정류소의 보행특성을 반영하기 위해 본 연구에서 제시하고 있는 보행자의 도착률과 중앙정류소 접근구간 통과시간을 고려한 보행환경 분석결과 서비스수준이 "D"로 떨어졌으며(〈표 9〉참조), 그 결과가 현실적인 상황을

제대로 반영하고 있는 것인지를 판단하기 위해 기존의 15분 교통량에 의한 방법이 아닌 횡단보도 녹색시간동안 중앙정류소 접근구간에 도착하는 보행자의 도착률에 의해 보행 서비스수준을 재산정하였으며, 그 결과 〈표 10〉과 같이 대기행렬 분석결과에 의한 보행환경 분석결과처럼 서비스수준이 "D"로 나타났다.

〈표 10〉 보행자의 도착률을 고려한 보행환경 분석 결과

	보행자 도착률 (인/분)	유효보도폭 (m)	보행 교통량을 (인/분/m)	서비스수준 (LOS)
교보타워사거리	164	2.5	65.6	D

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존의 보행환경 분석방법에 의해서는 중앙정류소의 보행환경을 분석하는데 한계가 있기 때문에 중앙정류소의 보행환경을 분석하기 위한 방법론을 살펴보고자 하였다.

중앙정류소의 경우, 위치의 특성상 도로의 중앙에 위치하고 있기 때문에 횡단보도 녹색시간에 의해 보행군이 형성될 뿐만 아니라, 이로 인해 중앙정류소의 접근구간을 통과할 때 보행자의 지체 현상이 발생하게 된다. 이러한 현상을 표현하기 위해 본 연구에서는 대기행렬이론을 적용한 보행환경 분석방법을 제시하였다.

대기행렬 분석에 의한 보행환경 분석 결과, 기존의 15분 보행교통량에 의한 보행환경 분석결과(서비스수준 A)에 비해 보행환경이 나빠지는 것을 볼 수 있었으며(서비스수준 D), 이러한 결과가 현실을 제대로 반영하는 것인지를 살펴보기 위해, 실제 중앙정류소에 도착하는 보행자의 도착률을 토대로 보행 서비스수준을 재산정하였다. 그 결과 서비스수준 D로 대기행렬 분석에 의한 보행환경 분석 결과와 동일하게 나타남을 알 수 있었다.

이러한 결과는 앞서 언급한 중앙정류소의 위치적인 특성으로 인해 횡단보도 시간에 의한 보행군이 형성되었으며, 이로 인해 중앙정류소 접근구간에서의 혼잡 및 보행체가 발생되는 현상을 반영한 결과로 볼 수 있다. 이처럼 중앙버스전용차로의 도입과 같이 새로운 보행환경 조성으로 인해 보행자의 보행특성이 변화되었나, 이러한 특성을 기존의 보행 환경 분석방법으로는 명확하게 설명하는데 어려움이 있기 때문에, 본 연구에서는 실제 보행자의 통행패턴 분석을 통해 보행공간을 분석하고자 보행

자의 도착분포와 서비스분포를 이용한 대기행렬이론을 적용하여 보행환경을 분석하고자 한 것이다.

본 연구에서 적용한 대기행렬이론을 이용한 분석방법은 새로운 보행환경과 보행자의 통행특성 변화를 포함한 보행자의 다양한 행태를 완벽하게 반영하기에는 한계가 있으며, 다양한 분석방법에 대한 지속적인 연구가 필요할 뿐 아니라, 보행자의 다양한 행태를 반영할 수 있는 행태분석에 대한 연구도 추가되어야 할 것으로 판단된다. 또한 중앙정류소내 대기공간의 용량은 버스의 노선수와 배차간격에 의해 영향을 받기 때문에, 이러한 대기공간의 용량변화가 실제 보행환경에 미치는 영향에 대한 분석도 병행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김경환(1999), "국내 보행 서비스수준의 평가기준", 대한교통학회지, 제17권 제3호, 대한교통학회, pp.31~46.
2. 김상구(2003), "중앙분리대 대기공간이 있는 비신호 횡단보도에서의 보행자 횡단용량 모형식 개발", 대한교통학회지, 제21권 제4호, 대한교통학회, pp.103~111.
3. 김숙희 · 김관중 · 최기주(2006), "보차혼용도로에서의 LOS 평가기준 마련에 관한 연구", 대한교통학회지, 제24권 제3호, 대한교통학회, pp.63~71.
4. 김정현 · 오영태 · 손영태 · 박우신(2002), "보행자 시설 서비스 수준 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.149~156.
5. 박용진 · 손한철 · 박종규 · 김종태(2001), "보행자 신호체계에 대한 새로운 제안", 대한교통학회지, 제19권 제3호, 대한교통학회, pp.7~18.
6. 신미영(1998), "신호교차로 횡단보도 위치에 따른 보행자의 행태분석", 대한교통학회 제34회 학술발표회 논문집, 대한교통학회, p.311.
7. 안계형 · 김은정 · 이용일 · 정준하 · 김영찬(2006), "횡단보도 보행신호시간 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제24권 제5호, 대한교통학회, pp.57~66.
8. 임정실 · 오영태(2002), "보행자 도로의 용량산정", 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.91~99.
9. 이용재(1995), "차량 및 보행자교통특성 분석-차량 및 인간(운전자, 보행자)의 특성, 대한교통학회 학술대회지, 제2기 교통분석 고급과정, pp53~94.
10. 임종훈 · 김동녕(2000), "횡단보도와 지하보도간의 횡단보행특성 비교", 대한교통학회지, 제18권 제5호, 대한교통학회, pp.17~29.
11. 장명순 · 임삼진 · 김경희(2006), "보행신호 잔여시간 표시장치에 따른 보행속도 분석", 대한교통학회지, 제24권 제4호, 대한교통학회, pp.43~53.
12. 하태준 · 김정현 · 박제진(2003), "신호교차로 횡단보도 보행량 추정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제21권 제3호, 대한교통학회, pp.121~134.
13. 강금식(2005), "경영경제 통계학", 전영사.
14. 대한교통학회(2001), 도로용량편람.
15. 대한교통학회(1992), 도로용량편람.
16. 민진아(2003), "수평 대기행렬을 고려한 동적 통행배정 모형에 관한 연구", 서울시립대 석사논문.
17. 양경희(1995), "보행자특성 및 통근 통학자의 보행용량산정에 관한 연구", 아주대학교 석사논문.
18. 원제무, 최재성(1998), 교통공학, 전영사.
19. 이원우(2004), "알기쉽게 풀어쓴 통계학", 전영사.
20. 신태곤, 최성철(2006), "통계학", 제5판, 법문사.
21. 정재호(2000), "퍼지대기행렬을 이용한 고속도로 폐쇄식 톨게이트 서비스수준 산정에 관한 연구", 한양대학교 석사논문.
22. B. Pushkarev and J.H.Zupan, 1995, Urban Space for Pedestrian, MIT Press.
23. Fruin, 1971 Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of urban Designers and environmental planners, INC.
24. TRB. 2000, Highway Capacity Manual, National Research Council Washington, D.C.
25. TRB. 1985, Highway Capacity Manual, National Research Council Washington, D.C.
26. TRB 1405, 1993, Determination of Service Level for Pedestrian with European Examples.

✉ 주 작 성 자 : 천승훈

✉ 교 신 저 자 : 천승훈

✉ 논문투고일 : 2007. 5. 7

✉ 논문심사일 : 2007. 8. 7 (1차)

2007. 10. 10 (2차)

2007. 12. 21 (3차)

2008. 1. 14 (4차)

✉ 심사판정일 : 2008. 1. 14

✉ 반론접수기한 : 2008. 6. 30