

■ 論 文 ■

환승 보행시설의 서비스수준 평가방법에 관한 연구

A Study on the Evaluation Method of Level of Service in Transfer Walking Facilities

윤 태 관

(한국건설기술연구원 연구원)

이 영 인

(서울대학교 환경대학원 교수)

목 차

- |                   |                       |
|-------------------|-----------------------|
| I. 서론             | V. 시설물의 서비스수준 분석 및 결과 |
| II. 관련이론 및 선행연구고찰 | VI. 결론 및 향후과제         |
| III. 자료구축 및 연구방법론 | 참고문헌                  |
| IV. 현장조사 및 자료구축   |                       |

Key Words : 환승시설, 보행자, 서비스수준, 대기행렬이론, 보행교통류  
 Transfer Walking Facilities, Pedestrian, Level of Service, Queueing Theory, Pedestrian Traffic Flow

요 약

환경오염을 유발하지 않고 사고가 적다는 점에서 보행에 관한 연구가 증가하고 있으며 현재 대중교통의 중요성이 환경적인 측면에서 부각되며 대중교통 수단간의 환승이 중요시되고 있다. 환승을 위해 보행하는 환승시설물을 중심으로 본 연구에서는 사당역의 환승통로와 신도림역의 내부계단을 현장조사를 통하여 각각의 용량을 조사하여 연구에 이용하였다. 기존의 서비스수준 산정방식으로는 침두시간대의 보행자 통행패턴을 나타낼 수 없다는 문제점을 인식하고 본 연구에서는 대기행렬이론과 시설물의 가용률이라는 개념을 이용하여 실제 시설물에서 나타나는 서비스수준을 그대로 반영할 수 있는 방법론에 대해 연구를 진행하였다. 그 결과 현재 서비스수준 산정방식을 이용하여 시설물을 평가 또는 설계했을 경우 실제 상황보다 과대평가되는 위험함이 있었고, 본 연구의 방법론과 실제 현장상황을 비교분석한 결과 유사한 형태를 띠는 것으로 나타나 본 연구의 방법론이 실제상황에 근접한 서비스수준을 산출한다고 할 수 있다.

The walking is very important because of its environment friendly and low accident rate, and transferring is also important as increasing public transportation uses. Facilities for transferring such as transfer path in Sadang station and internal stairways in Sindorim station are the object of this paper. Using preexistence methodology for Level of Service is not appropriate to transferring facilities because they are occurred only when the train arrive that station. To solve this problem, this paper uses queueing theory and utilization factor. In result, we can get Level of Service which can simulate real situation of the facilities by using new methodology which introduce by this paper. Also it reveals that preexistence methodology cannot simulate real phenomenon in transferring center.

# 1. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

보행은 통행을 위한 가장 기본적인 수단으로 여러 교통수단의 증가와 발달에도 각 수단의 접근 및 연결을 위해 사용되고 있는 통행수단이며 지속가능한 개발의 중요성이 부각됨에 따라 환경오염을 유발하지 않는다는 점과 사고를 유발하지 않는다는 점에서 보행에 관한 연구의 필요성이 점차 높아져가고 있다. 하지만 아직까지 차량 교통에 관한 연구가 보행교통에 대한 연구보다 많이 진행되고 있고 분석방법을 비롯한 평가 측면에서도 보행교통에 대한 연구는 소홀한 실정이다. 또한 보행시설의 서비스수준 평가 방법론에 대해서는 명확한 기준이 설정되어 있지 않다.

또한 설계 시 잘못된 용량산정은 운영에 있어 큰 문제를 발생시킬 수 있으며, 보행자의 안전에까지 심각한 영향을 끼치게 된다. 하지만 현재 도로용량편람에서 제시하고 있는 보행자 시설의 서비스수준 평가방법은 단지 4가지로 나누어 볼 수 있다. 보행자도로, 계단, 대기공간, 횡단보도의 4가지 시설물에서 서비스수준을 분석하는 방법을 제시하고 있으나 환승을 위한 보행시설 모두를 4가지의 기준으로 분석하여 해석하기에는 무리가 따르고 있다.

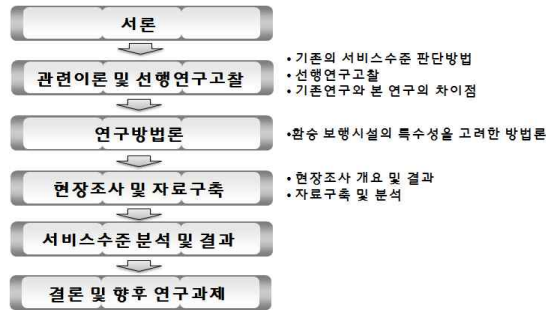
또한 4가지 방법으로 인한 서비스수준 산정 시 실제 상황을 반영하지 못한다는 한계를 가질 수 있고 이로 인해 환승시설의 용량 산정 및 평가를 하는 데 있어서 실제 치에 가까운 값을 얻을 수 없을 것이다.

따라서 본 연구에서는 환승을 위한 보행자 시설을 구분하고 각 분류별 서비스수준 평가방법을 보다 합리적으로 접근하기 위해 대표적인 환승 보행자시설을 대상으로 동적접근을 통해 새로운 서비스수준 평가방안을 마련하고, 기존의 제시된 방법론의 서비스수준과 비교를 통하여 문제점을 분석하고 환승 보행시설의 용량설정이나 운영분석에 대한 해결책을 제시하고자 한다.

## 2. 연구의 방법 및 구성

본 연구에서는 보행자가 밀집하여 시설물을 이용하고 있는 환승보행시설을 대상으로 환승시설 설계지침상의 서비스 수준과 실제 조사를 통한 서비스 수준을 비교하여 현실 상황에 가장 적합한 서비스 수준 산정방식을 도출하고, 이에 맞게 설계 원칙을 정립하는 방법을 찾고자 한다. 또한, 기존 서비스수준을 기준으로 이용자의 수가

가장 많은 침두시간대를 기준으로 하여 승강장 및 내·외부 계단의 서비스수준 D, 환승통로에서의 서비스수준 E를 설계서비스 수준으로 한다는 원칙에 대해서 적합한지를 평가하여 새로 설계되고 건설될 예정인 환승시설에 대한 평가 방법론을 정립하고 현재 운영되고 있는 환승 보행시설에 대해서 운영 분석에 대한 연구를 할 것이다. 연구의 흐름은 다음과 같다.



<그림 1> 연구흐름도

## II. 관련이론 및 선행연구 고찰

### 1. 보행이론

본 연구에서는 서비스수준을 평가함에 있어 도로의 개념이 아닌 보행자가 직접 보행하는 공간을 대상으로 연구를 진행한다. 보행자가 보행하는 공간을 모두 보행 시설이라 정의할 수 있으나, 환승에 대한 중요성이 부각되고 있는 실정에 발맞추어 교통수단간의 환승이 이루어지는 환승 보행시설을 연구 대상으로 한다. 환승 보행시설이란 환승을 위하여 보행을 하는 시설, 즉 계단, 환승 통로를 의미하며 이는 환승센터 또는 일반 지하철역의 시설물 분류의 일부에 해당한다.

### 2. 기존의 서비스수준 판단 방법

보행시설에서의 보행교통량-속도-밀도의 관계는 차량 교통류에서의 관계와 동일한 식을 기본으로 한다.

$$V = S \times D$$

여기서 V: 보행교통류율 (인/m/분)

S: 보행속도 (m/분)

D: 보행밀도 (인/m<sup>2</sup>)

보행밀도가 증가하면 보행속도는 감소하게 되고 보행 교통류율이 0 이 되는 시점은 보행속도와 보행밀도가 0 이 되는 경우와 보행속도와 보행밀도가 너무 커서 이동할 수 없을 때이다. 1인당 보행점유공간이란 보행밀도에 대한 역수의 개념으로 보행자 1인이 차지하는 공간의 크기를 의미하며, 다음과 같은 식이 보행교통량-보행속도-보행점유공간 사이에 성립된다.

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

여기서 V : 보행교통류율 (인/m/분)  
 S : 보행속도 (m/분)  
 M : 보행점유공간 (m<sup>2</sup>/인)

1) 보행통로에서의 분석방법

보행통로를 분석하기 위해서는 다음의 자료를 수집해야 한다.

- ① 보행통로의 보도폭
- ② 보행통로의 유효보도폭
- ③ 보행교통량

위 자료를 이용하여 보행통로의 서비스수준을 분석하는데 다음과 같은 3단계의 방법을 이용한다.

- ① 제 1단계 : 분석대상의 기하구조를 측정하고 유효보도폭을 산정한다.

$$W_E = W_T - W_O$$

여기서  $W_E$  : 유효보도폭  
 $W_T$  : 실제보도폭  
 $W_O$  : 시설에 의해 방해를 받는 보도폭

- ② 제 2단계 : 조사된 침두 15분 보행교통량을 보행교통류율로 환산한다.

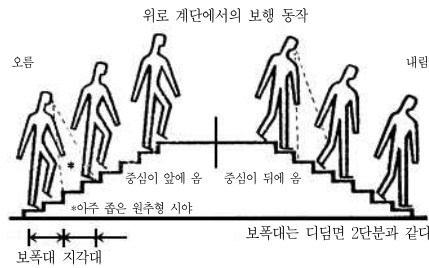
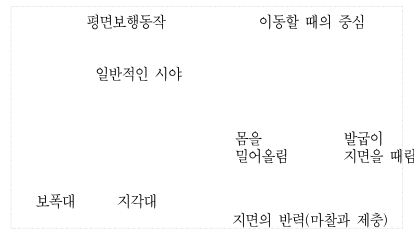
$$V_P = \frac{V_{15}}{15W_E}$$

여기서  $V_P$  : 보행교통류율(인/m/분)  
 $V_{15}$  : 15분간의 보행교통량

- ③ 환산된 보행교통류율을 지표에 따라 서비스 수준을 결정한다.

2) 계단에서의 분석방법

평면의 보행과 계단의 보행은 보폭대와 지각대 및 시야의 차이가 있다. 계단에서는 위험이 있으므로 주의해야 되며 동작은 디딤동작과 차오르는 동작으로 구분되고 보다 부자유스러운 움직임이 될 수 밖에 없다. 사람이 계단을 오를 때 에너지의 소비는 동등의 수평거리를 걷는데 필요한 에너지의 약 10-15배이며 내릴 때도 수평보다 1/3이나 더 소요된다.



<그림 2> 평면과 계단의 보폭대와 지각대

계단의 서비스수준은 보행군을 형성하는지 여부에 따라 각각 다른 서비스수준을 적용한다.1) 계단의 서비스수준 산정을 위해서는 다음과 같은 자료를 수집하여야 한다.

- ① 계단의 유효보도폭
- ② 계단의 수평 길이
- ③ 보행교통량
- ④ 보행속도
- ⑤ 보행군의 형성여부

수집된 자료를 이용하여 다음 5단계로 나누어 분석을 한다.

- ① 분석대상 지역의 기하구조를 측정한다.  
유효보도폭을 측정하기 어려운 경우 계단의 전체 폭 또는 보행가능폭을 사용한다.
- ② 침두시간대의 침두 15분 보행교통량을 관측한다.
- ③ 분석대상 계단에서 보행군의 형성여부를 판단한다.  
분석대상 계단이 터미널이나 환승역일 경우, 침두 15분 관측보행량이 450인/15분/m 이상일 때 보

1) 도로용량편람, 2004

행군 형성으로 간주한다. 즉, 인/분/m가 30 이상인 경우로 한정한다. 보행군은 주로 출퇴근 시간의 지하철 환승역과 같은 대규모 교통유발 시설과 같이 보행자의 통행수요가 많은 계단에서 관측되기 때문에 먼저 계단의 특성을 고려하여 현장 관측을 통해 보행군 형성여부를 결정한다.

- ④ 관측된 보행교통량을 분당 계단의 유효보도폭 또는 보행가능 폭으로 나누어 보행교통류율로 환산한다(인/분/m).
- ⑤ 보행군 형성 여부에 따라 지표율 이용 서비스 수준을 결정한다.

### 3. 대기행렬이론(Queuing Theory)

대기행렬이론이란 교통에서 뿐만 아니라 우리 일상생활의 한 부분이다. 영화관, 은행, 가게, 우체국, 식당 등에서 서비스를 받기 위해 대기행렬에서 기다리게 되고 이는 곧 개인적인 시간적 불편함과 국가적 차원에서 보면 여러 국민이 낭비하는 시간의 양은 국민 생활의 질과 국가 경제의 효율성을 나타내는데 있어서 중요한 요인이 된다. 대기행렬이론은 이러한 여러 가지 형태의 기다림에 대한 연구를 하며, 현실에서 일어나는 여러 가지 형태의 대기행렬시스템을 표현하기 위해 대기행렬모형을 사용한다.

대기행렬시스템에서는 일반적으로 단일 서비스기관과 다중 서비스기관으로 구분할 수 있는데, 단일 서비스 기관은 대기장소가 하나이며, 한 개의 서버에 의해 서비스를 제공할 때 대기 시스템을 말하며, 다중 서비스 기관은 대기장소는 하나이면서 여러 개의 서버가 병행해서 동일한 서비스를 할때의 대기시스템을 말한다.

### 4. 선행연구고찰

#### 1) 보행자 서비스수준

국외에서는 John J Fruin(1971)은 "Pedestrian Planning and Design"에서 보행자 시설의 서비스수준 평가를 일인당 보행점유공간( $m^2$ /인)과 보행교통류율(인/m/분)을 사용하여 판단하였다. Fruin은 서비스수준 A에서는 보행속도를 자유롭게 선택할 수 있으나, E에서는 일상적인 보행속도로는 걸을 수가 없고 보행용량에 이르러 간헐적으로 보행흐름이 정지하게 될 수 있고, F의 상황에서는 보행교통흐름이 마비되고 보행 시 전적으로 앞 사람의 보행에 의존하게 된다고 정의하였다.

Pushkarev와 Zupan(1975)은 보행로에 대한 현장 조사를 통해 보행교통량, 보행속도, 보행밀도, 1인당 점유공간에 대한 차량 연속류의 특성 즉 교통류-속도-밀도와 유사한 관계를 도출하였다.

Highway Capacity Manual 2000에서 Chapter 18. 보행자 부분에서 보행자 관련 서비스수준에 대해 다루고 있다. 여기서 침두시 보행자의 통행을 기준으로 보행자 1인당 점유공간, 보행교통류율, 속도와 v/c ratio의 지표로 보행공간에 대한 서비스수준을 평가하고 있으며, 계단에서 역시 점유공간, 보행교통류율 및 보행자의 속도를 이용하여 서비스 수준 평가 지표를 제시하고 있으며, 대기공간의 경우에는 보행자 1인의 점유공간에 대하여 서비스 수준을 제시하고 있다.

Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCQSM)에서는 서비스수준 외에 서비스의 질(Quality of Service)에 대해 언급하고 있는데, 서비스의 질은 환승센터 내 보행자의 환경, 환승을 하기까지의 거리, 안전성, 쾌적성, 장애인에 대한 배려를 고려하여 평가하도록 제시하고 있다.

Bruce W.(2001)는 일반도로에서의 보행자 서비스 수준에 대한 평가 산정식을 제시하였는데, 보행자도로의 길이, 유효보도폭, 안전공간의 폭, 어깨길과 자전거 도로의 폭등을 고려하여 식을 산정하였고, 식에서 나온 결과로 서비스수준을 판단할 수 있는 방법론을 제시하였다.

Weidmann과 Hoogendoorn(2003)은 연구에서 보행자 행태를 보행자 특성, 통행목적, 기반시설의 속성, 환경적 요소 등으로 구분하여 파악하였다.

국내에서는 도로용량편람에서 보행자도로, 계단, 대기공간 및 신호횡단보도에서의 서비스수준을 분류하여 제시하고 있으며 인체태원의 표준체형은 미국의 인체 태원 면적( $0.3m^2$ )과는 달리 한국표준과학연구원서 제시된 면적( $0.2m^2$ )를 사용하고 있다. 그리고 서비스수준을 평가하는 방법론에 대하여도 제시하고 있다.

또한 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침(2002, 건설교통부)에서는 환승센터 내 시설물들의 설계기준에 대하여 정량적인 수치와 정성적인 권고사항을 분류별로 제시하였고, 서비스수준에 대하여 대기공간, 계단, 보행공간 3가지 영역에 대하여 점유공간, 밀도, 보행교통류율의 구분으로 제시하고 있다.

임진경(2004)은 합리적인 보행자도로 설계 및 보행 서비스수준 평가를 위하여, 보행자도로를 보행자도로의 기능, 주변 토지이용, 보행행태, 보행집중시간대 등에 따라 유형을 구분하고, 보행교통류의 특성을 파악하여, 각각의 유형에 맞는 보행서비스 수준을 제시하는 연구를 했다.

2) 대기행렬이론

대기행렬이론은 교통을 비롯한 여러 분야에서 널리 사용되고 있으며, 교통분야에서는 차량 대기행렬이론 연구가 진행되고 있는 반면 보행에 대한 연구는 적은 실정이다.

Klodzinski(2001)는 기존의 서비스수준을 밀도와 V/C 비율을 이용하여 평가했던 것에 비해 지체를 산정하여 85percentile을 기준으로 서비스수준을 나누어 새로운 지표를 만드는 연구를 하였다. 또한 고속도로 틀게이트에서 병목현상이 발생하는 접근부의 지체에 대한 연구도 진행하여 새 지표에 대한 연구를 하였다.

van Dijk(1999)는 대기행렬이론이 고속도로 틀게이트의 대기행렬 문제를 해결하고 적정 틀게이트의 개수를 산정할 수 있는 가장 좋은 방법이라 생각하여 이를 이용하여 기다리는 시간과 대기행렬의 길이 등을 산출하는 방법을 연구하였다.

박창수(1998)는 틀게이트의 서비스수준 평가를 운전자에게 대기행렬에 존재하는 차량의 수에 따라 느끼는 쾌적성에 대한 설문조사의 결과를 이용하여 대기행렬의 차량수에 따른 서비스수준 지표를 산정하고 대만의 그것과 비교하였다.

천승훈(2008)은 대기행렬이론을 이용하여 중앙버스 정류소 접근구간의 보행환경에 대한 평가를 연구했다.

5. 기존 연구와 본 연구의 차이점

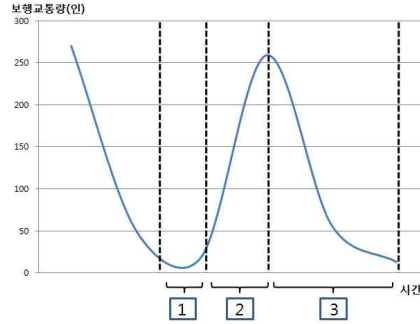
기존 연구로는 실제 상황을 반영하기 어렵다는 한계가 있다. 환승을 위한 보행시설이 아닌 일반 보행로에 대한 서비스수준에 관한 연구에서는 보행자의 통행이 일정한 지역에 대해서 적용하기 가능하지만 열차가 도착, 출발시에 승하차인원과 환승인원이 몰리는 환승 보행시설에 대해서는 동적인 개념을 도입해서 분석을 해야하므로 기존 방법론을 적용을 하면 실제 상황을 모사할 수 없다는 한계가 있다.

그래서 본 연구에서는 환승을 위한 보행시설, 즉 보행자수가 동적으로 변화하는 시설에서 서비스수준 평가를 위한 방법론을 마련하여 실제상황을 반영할 수 있도록 연구를 할 것이다.

III. 연구방법론

1. 기존 방법론의 한계점

기존 15분 방법론을 이용하여 보행자 통행의 동적인 변화가 발생하는 환승 보행시설의 서비스수준을 산정한다면



<그림 3> 보행교통량의 동적 변화

실제 상황보다 서비스수준이 좋게 과대평가 될 수 있는 위험이 있다. 그 원인은 환승 보행시설이 활성화되는 시점과 그렇지 않은 시점 모두를 고려한 방법론으로 열차 도착과 무관한 시점에 보행자의 통행이 없는 시간(비활성화)을 모두 포함하여 평균값을 이용하여 서비스수준을 산정하므로 과대평가 될 수 있다. 이는 설계와 운영분석에 있어서 잘못된 판단을 할 수 있고 보행자의 안전과도 연관된 문제이다.

침투 15분을 1분 단위로 세분화하여 분석을 하면 열차 도착과 함께 보행군의 접근으로 인하여 병목구간에서 대기행렬이 생성되고 지체가 발생하는 부분에 대해 분석이 가능하다. 본 연구에서 주목해야 할 부분이 바로 열차 도착시 발생하는 대기행렬의 보행자수인 것이다. 지속적인 보행이 발생하는 것이 아닌 열차 도착에 따른 대기행렬 생성에 초점을 맞추어 연구를 해야 한다.

1번 단계는 이전 열차의 보행군이 환승 보행시설을 모두 통과한 상태로 소수의 보행자들의 통행만이 일어나는 시점이며 평균보행교통량을 사용하면 안되는 이유가 되는 지점이라고 할 수 있다. 2번 단계는 열차가 도착함으로 보행자들이 환승시설로 접근하는 단계를 말한다. 선행 보행군은 대기하지 않고 환승 보행시설을 통과할 수 있지만 후행 보행군은 시설의 병목현상으로 인하여 대기행렬에서 시설이용을 위해 기다리며 느린 속도로 진행하게 된다. 3번 단계에서는 시설물에 보행군이 접근하여 대기행렬에서 소멸되는 단계를 말한다. 2번 단계와 3번 단계를 합쳐 환승 보행시설의 활성화 단계라 정의할 수 있으며, 1번 단계는 비활성화 단계이다. 3번 단계가 지나면 1번 단계와 동일한 상황이 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 1분 단위로 세분화하여 서비스수준을 산정하는 것이 환승 보행시설의 동적인 보행자 통행패턴을 반영할 수 있는 방법이지만 실제로 현장조사기법이나 통계량을 이용하여 서비스수준을 판단할 경우, 1분 단위로 조사를 한다는 것은 보다 자세한 자료와 인력과

자본이 필요하며 기존 통계량으로 분석을 하기에는 무리가 있는 등 한계가 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 기존 자료와 동일한 15분 보행교통량을 이용하여 첨두 15분동안 열차 도착 시 동적으로 변화하는 첨두 보행교통량을 반영할 수 있는 방법론을 제시하고 그에 따른 분석을 할 것이다.

2. 환승 보행시설의 특수성을 고려한 연구방법론

위와 같은 기존 15분 보행교통량의 평균값을 이용하여 서비스수준을 산정하는 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 대기행렬이론을 이용하고자 한다. 환승 보행시설에서 대기행렬의 발생은 곧 시설의 활성화를 의미한다. 여기서 시설의 활성화란 보행자의 동적인 통행량 변화에 있어 통행이 직접적으로 발생하고 있는 시점을 말하며 그 외의 시점의 보행자 통행은 약 10%로 조사되었다.

대기행렬이론에서 보행자도착율과 서버의 서비스율을 이용하여 산정할 수 있다. 보행자도착율은 기존 방법론에 이용된 자료인 첨두 15분 또는 한 시간 동안의 보행교통량을 단위시간 당 보행자수로 산정하여 사용하며, 서버의 서비스율은 환승 보행시설의 용량을 산정하여 사용가능하다. 환승 보행시설의 용량산정은 현장에서 수집된 보행속도와 보행밀도의 자료를 이용하여 회귀분석을 통해 산정한다.

대기행렬 이론의 단일 서비스기관의 경우를 이용하여 서비스수준을 평가함에 있어, 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.

$$\text{평균도착율 } \lambda \rightarrow \text{도착간의 평균시간간격 } \frac{1}{\lambda}$$

$$\text{평균서비스율 } \mu \rightarrow \text{평균서비스시간 } \frac{1}{\mu}$$

1) 평균대기시간 :  $W_q$

서비스를 받기 시작하기 전까지 대기행렬에서 기다리는 평균대기시간을 말하며, 시스템내의 평균체류시간에서 평균서비스시간을 뺀 값과 같다.

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

2) 시스템내의 평균체류시간 :  $W$

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

값과 같다.

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

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

3) 평균대기행렬 길이 :  $L_q$

서비스를 기다리는 평균인원수를 말하며 시스템내의 평균대기인원수에서 서비스를 받고 있는 인원수( $\rho$ )를 뺀 값과 같다.

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

4) 시스템내의 평균대기인원수 :  $L$

대기행렬에 있는 평균대기인원수  $L_q$ 과 서비스를 받고 있는 평균인원수  $\rho$ 를 합한 것으로 다음과 같다.

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

5) 환승 보행시설의 활성화비율(대기행렬 생성비율) :  $\rho$

시설물의 이용계수를 나타내는 것으로 시설물의 이용계수를 의미한다. 본 연구에서 사용하게 될 지표로서 대기행렬 생성비율 즉 열차가 도착하여 환승시설이 활성화 되는 비율을 나타낸다. 이로써 15분 보행교통량의 입력으로 동적인 변화를 산정할 수 있고, 다음과 같이 평균도착율을 서비스율로 나눈 값을 의미하며 서버는 단일서버이므로 서버의 개수는 1로 설정한다.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu * 1}$$

본 연구에서 Excel VBA program을 이용하여 사용하기 편리하게 대기행렬 분석 도구를 직접 만들어 분석에 이용하였다.

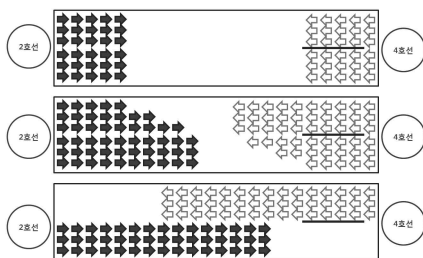
IV. 현장조사 및 자료구축

1. 사전 현장조사

본 조사 비디오 촬영에 앞서 연구 대상지역인 신도림

역과 사당역 중 사당역 (2호선 외선)환승통로를 대상으로 평일 오전 시간대 보행통행량을 조사 하고, 이를 토대로 기존의 서비스수준 판정방법과 본 연구에서 제시한 방법을 이용한 서비스수준을 비교 분석하기로 한다.

현장조사에서 30초 단위로 사당역의 환승통로를 통과하는 보행교통량을 측정하였고, 그 결과 환승통로에 분단위로 통행자수의 변화가 있었으며, 통행량이 많은 경우는 2호선 열차가 도착하여 4호선 환승을 위한 승객이 통과할 경우와 4호선 하차 승객이 2호선 외선으로 환승하기 위해 환승통로를 통행하여 승강장으로 접근할 경우이다. 그 중 4호선 하차 보행자와 2호선 하차 보행자가 환승통로에서 상충하는 경우가 발생하는데 이를 해결하기 위해 사당역에는 펜스가 설치되어 있어, 보행자 군집끼리의 상충을 피할 수 있다. 군집하지 않은 소수의 대항방향 보행자는 상충되지 않는 것으로 가정하여 분석하기로 한다.



<그림 4> 보행자 상충 시 발생하는 현상

다음 사진은 2호선 열차 도착 상황과 그렇지 않은 상황을 비교한 것이다.



비혼잡시 상황 (07시 30분)      혼잡시 상황 (07시 31분)

<그림 5> 사당역 혼잡상황과 비혼잡상황 비교

기존 방법론으로 서비스수준을 평가한 결과는 다음과 같다.

오전 7시에서 8시까지 서비스수준은 A에서 C사이로 나타났으며 1시간 평균 보행자서비스수준은 B로 나타났다. 가장 최악의 상황이 C로 나타났으나 보행공간의 서비스수준 C란 추월의 자유는 없으나 보행자 마음대로 보행속도를 조절할 수 있다는 뜻이지만 현장 상황은 서비스수준 C에 해당하는 보행환경을 제공하지 못하였다. 오전 8시에서 9시 사이의 서비스수준은 8시 초반시간에 가장 나쁜 서비스수준 D로 나타났으며, 그 외의 시간은 A에서 C로 나타났고 전체적인 평균 서비스수준은 C로 나타났다. 이 서비스수준 역시 현실상황을 잘 모사한다고 할 수 없었다. 현장상황을 동적으로 분석하면 A에서 F까지 다양하게 나타났지만, 각 서비스수준을 통과하게 되는 보행자수는 평균서비스수준 이하의 서비스수준에 많이 분포함을 나타내고 있다. 30초 간격으로 측정된 보행자수가 각각 어떤 서비스수준의 환승통로를 통과하는지 조사해보았다. 07시에서 08시의 기존 방법 서비스수준 결과는 B였으나 실제로 B보다 좋은 서비스수준을 통과한 보행자는 21%에 불과하였고, D서비스수준 이하의 환승통로를 보행한 보행자가 약 65% 비율을 차지했다.

08시에서 09시의 경우 역시 기존의 방법으로 산정한 서비스수준의 결과는 C였으나 서비스수준 D보다 나쁜 보행환경의 보행자수는 70% 가깝게 나타났다. 이 결과는 환승통로는 열차가 도착하였을 경우에 주로 사용되는 시설물임을 나타냈고 그렇기 때문에 기존의 방법으로 산정한 서비스수준은 침두시 대부분의 보행자 통행을 반영하기에 어렵고, 대부분의 침두시 통행자는 기존방법의 서비스수준보다 더 나쁜 보행환경에서 환승통로를 통과하고 있다는 것을 나타낸다.

<표 1> 기존 방법론으로 분석한 결과 07-08시

시간	보행교통량(인)	보행교통류율 (인/m/분)	서비스수준
7:00 - 7:15	1231	15.6	A
7:16 - 7:30	2204	27.9	B
7:31 - 7:45	3600	45.7	C
7:46 - 8:00	3027	38.4	C
7:00 - 8:00	10062	31.9	B

<표 2> 기존 방법론으로 분석한 결과 08-09시

시간	보행교통량(인)	보행교통류율 (인/m/분)	서비스수준
8:00 - 8:15	3666	46.6	D
8:16 - 8:30	2831	35.9	C
8:31 - 8:45	2795	34.9	C
8:46 - 9:00	1479	22.6	A
8:00 - 9:00	10771	35	C



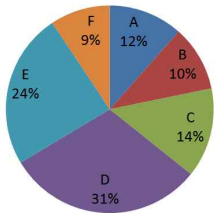
<표 3> 서비스수준 별 통과 보행교통량 07-08시

07시-08시			
평균 서비스수준	B		
30초 분할시 각 서비스수준의 통과 보행교통량	A	1163명	11.5%
	B	1027명	10.2%
	C	1406명	14.0%
	D	3086명	30.7%
	E	2441명	24.3%
	F	939명	9.3%

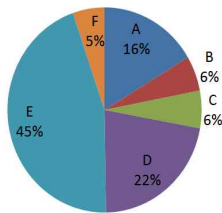
<표 4> 서비스수준 별 통과 보행교통량 08-09시

08시-09시			
평균 서비스수준	C		
30초 분할시 각 서비스수준의 통과 보행교통량	A	1770명	16.5%
	B	595명	5.5%
	C	637명	5.9%
	D	2358명	21.9%
	E	4841명	44.9%
	F	570명	5.3%

07-08시 서비스수준 별 보행교통량비율



08-09시 서비스수준 별 보행교통량비율



<그림 6> 서비스수준 별 보행교통량 비율

2. 현장조사

본 조사에서는 사당역 환승통로와 신도림역 본선-지선 연결계단에서 캠코더를 이용하여 촬영조사를 하였으며 촬영한 자료를 토대로 분석되었고, 현장에서 교통량 조사와 시설물 내부의 속도 변화에 대한 조사를 실시하였다.

보행목적 상 출퇴근 및 등하교 통행이 집중적으로 발생하는 평일 오전 7시부터 9시, 오후 6시부터 8시를 대상으로 조사하였다.

조사 시 보행교통의 3요소인 밀도, 보행교통유율, 보행속도를 측정하기 위하여 보행현장을 실측하였고 현장 실측도구는 캠코더, 사진기와 계수기 및 초시계를 이용하였다. 캠코더를 이용한 비디오 촬영을 시도한 이유는 조사원의 현장조사 시 발생하는 오류를 방지하여 같은 화면을 여러번 반복하여 조사할 수 있으므로 자료수집에 정확성이 증가할 수 있기 때문이다. 하지만 비디오 촬영 시 높은 곳에서 시설물을 내려다 볼 수 없기 때문에 화면

이 원추형이 되는 단점이 있으나 오차를 줄이기 위해 캠코더를 가까운 지점의 거리와 먼 지점의 거리를 측정하여 이를 밀도와 속도 측정에 반영하였다.

조사결과 열차의 도착에 따라 서비스수준 산정의 기본인 보행교통량과 밀도의 변화가 있는 것으로 나타났다. 열차가 도착했을 때는 보행군이 시설물의 접근부에 몰리고 접근부의 병목현상으로 인해 대기행렬이 발생하고 지체가 생성된다. 하지만 접근 보행군이 환승 보행시설을 통과한 후 다음 열차의 보행군이 접근하는 동안의 시간에는 보행교통량이 매우 적고 밀도 또한 매우 낮은 것으로 나타났다.

3. 자료구축·분석

현장조사의 자료를 대기행렬이론으로 분석을 하기 위해서 도착분포와 서비스시간 분포가 어떤 분포를 따르는지를 검정하여야 한다. 일반적으로 대기행렬에서 도착분포는 포아송 분포를 따르고 서비스시간 분포는 지수분포를 따른다고 가정한다.

1) 도착분포의 적합도 검정

환승 보행시설 이용 보행자의 도착분포를 추정하기 위해 통계적 기법인  $\chi^2$  적합도 검정을 실시하고, 귀무가설은 다음과 같이 설정하였다.

$H_0$  : 환승 보행시설 이용 보행자의 도착분포는 포아송 분포를 따른다.

검정 분석결과는 <표 5>와 같고 유의수준 5%에서  $\chi^2$

<표 5> 도착분포의  $\chi^2$  적합도 검정

계급	관찰도수	기대확률	기대도수	$\chi^2$
1	0	0.002215	0.737648	0.737648
2	7	0.009117	3.035875	5.176199
3	10	0.025014	8.329662	0.334951
4	23	0.051474	17.14084	2.002802
5	28	0.084739	28.21805	0.001685
6	29	0.116251	38.71155	2.436331
7	35	0.136698	45.52053	2.431464
8	39	0.140649	46.83625	1.311095
9	49	0.128635	42.83555	0.887122
10	41	0.105883	35.25894	0.934793
11	27	0.079231	26.38404	0.01438
12	18	0.054348	18.09776	0.000528
13	13	0.034411	11.45899	0.207236
14	9	0.020232	6.737257	0.759954
15	5	0.011102	3.697061	0.459189
합계	333	1	333	17.69538



적합도 검정 결과  $\chi^2$ 의 값이 17.695로 귀무가설  $H_0$ 을 채택하여 환승보행시설의 보행자 도착분포는 포아송 분포를 따른다는 것을 알 수 있다.

2) 서비스시간 분포의 적합도 검정

환승 보행시설 이용 서비스시간 분포를 추정하기 위해 통계적 기법인  $\chi^2$  적합도 검정을 실시하고, 귀무가설은 다음과 같이 설정하였다.

$H_0$  : 환승 보행시설의 서비스시간 분포는 지수분포를 따른다.

검정 분석결과는 <표 6>과 같고 유의수준 5%에서  $\chi^2$  적합도 검정 결과  $\chi^2$ 의 값이 11.427로 귀무가설  $H_0$ 을 채택하여 환승보행시설의 서비스시간분포는 지수분포를 따른다는 것을 알 수 있다.

<표 6> 서비스시간 분포의  $\chi^2$  적합도 검정

계급	관찰도수	기대확률	기대도수	$\chi^2$
1	53	0.205926	61.36585	1.140495
2	47	0.165056	49.18659	0.097205
3	41	0.132297	39.42455	0.062957
4	32	0.10604	31.59998	0.005064
5	27	0.084994	25.32834	0.110329
6	23	0.068126	20.30144	0.358706
7	18	0.054605	16.27222	0.183456
8	17	0.043767	13.04268	1.200704
9	14	0.035081	10.4541	1.202722
10	10	0.028118	8.379282	0.313479
11	9	0.022538	6.716249	0.776552
12	3	0.018065	5.383278	1.055122
13	3	0.014479	4.314861	0.400675
14	1	0.011606	3.458492	1.747636
15	0	0.009302	2.772087	2.772087
합계	298	1	298	11.42719

V. 시설물의 서비스수준 분석 및 결과

1. 시설물의 용량산정

시설물의 서비스율은 시설물의 용량을 말하며 이는 시설물이 단위시간 당 몇 명의 보행자를 처리할 수 있는지에 관한 것이다. 시설물의 진입구간을 대기행렬이론에서 정의한 하나의 서비스기관으로 설정하고 그 기관의 서비스수준을 산정하기 위해 단위시간당 서비스기관으로

써 서비스를 제공할 수 있는 용량을 산정한다.

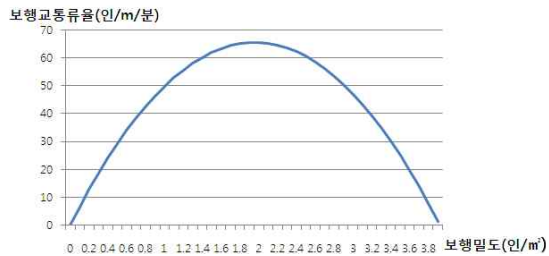
그래서 본 연구의 대상지인 사당역의 환승통로와 신도림역의 내부계단에 대해 출퇴근 첨두시간 동안의 조사 결과를 바탕으로 보행교통량-밀도-보행속도의 관계를 나타내기 위해 회귀분석을 실시하였고, 회귀분석 결과로 시설물의 보행용량(인/m/분)을 산정하였다. 사당역과 신도림역의 밀도에 따른 속도변화를 조사한 평균치(관측점수 : 40개)를 이용하여 통계 패키지 SPSS 12.0K for Windows 프로그램을 이용하여 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 보행 관계식을 도출하였다.

<표 7>, <표 8>의 보행 관계식을 통해서 환승보행시설의 첨두시간 대 보행의 자유속도 즉, 밀도에 의해 영향을 받지 않는 속도와 보행교통류율이 최대가 될 때의 보행 밀도인 임계밀도 그리고 보행밀도가 한계점에 이르러 보

<표 7> 환승 보행시설(사당역)의 보행 관계식

보행구분	보행밀도-보행속도	보행밀도-보행교통류율
환승 보행시설	$\mu = 66.95 - 17.09 k$ (34.72) (-21.66)	$q = 66.95 k - 17.09 k^2$

( ) 안의 값은 t통계량을 나타내며 1%에서 유의하다. ( $R^2 = 0.917$ )

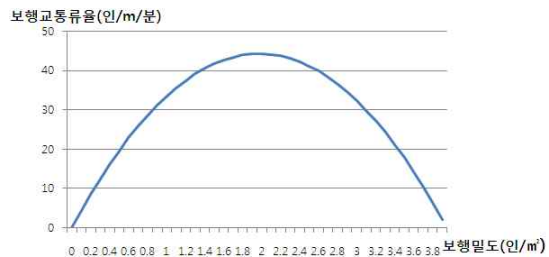


<그림 7> 환승보행시설(사당역)의 밀도-보행교통량 관계

<표 8> 환승 보행시설(신도림역)의 보행 관계식

보행구분	보행밀도-보행속도	보행밀도-보행교통류율
환승 보행시설	$\mu = 44.85 - 11.36 k$ (31.96) (-19.05)	$q = 44.85 k - 11.36 k^2$

( ) 안의 값은 t통계량을 나타내며 1%에서 유의하다. ( $R^2 = 0.903$ )



<그림 8> 환승보행시설(신도림역)의 밀도-보행교통량 관계

<표 9> 환승 보행시설(사당역)의 자유속도, 임계밀도, 한계 밀도 및 보행용량

자유속도 (m/분)	임계속도 (m/분)	임계밀도 (인/m <sup>2</sup> )	한계밀도 (인/m <sup>2</sup> )	보행용량 (인/m/분)
66.95	33.48	1.96	3.92	65.57

<표 10> 환승 보행시설(신도림역)의 자유속도, 임계밀도, 한계밀도 및 보행용량

자유속도 (m/분)	임계속도 (m/분)	임계밀도 (인/m <sup>2</sup> )	한계밀도 (인/m <sup>2</sup> )	보행용량 (인/m/분)
44.85	22.43	1.97	3.95	44.27

<표 11> 환승 보행시설의 용량 (단위 : 인/분)

	사당역	신도림역
환승 보행시설의 용량	344	164

행자가 움직일 수 없게 되어 보행흐름이 정지되는 한계 밀도, 임계밀도 때의 보행교통류율인 보행용량, 임계속도를 계산하면 <표 9>, <표 10>과 같다.

위의 <표 9>와 같이 환승 보행시설의 침두시 자유속도는 66.95 m/분으로 나타났고 보행교통류율이 가장 클 때의 밀도인 임계밀도는 1.96인/m<sup>2</sup>이며 이 때의 보행교통류율 즉, 환승 보행시설의 보행용량은 65.57 인/m/분으로 나타났다. 이러한 결과는 침두시 환승 보행시설은 1m<sup>2</sup>당 두 명 정도의 밀도로 보행할 때 단위폭, 단위시간 당 가장 많은 보행자가 통과할 수 있고, 이 때의 보행속도는 33.48 m/분이며 1m의 폭을 1분동안 65.57 명이 통과할 수 있다는 것을 의미한다.

신도림역의 경우, 침두시 자유속도는 44.85 m/분으로 나타났고 보행교통류율이 가장 클 때의 밀도인 임계밀도는 1.97인/m<sup>2</sup>이며 이 때의 보행교통류율 즉, 환승 보행시설의 보행용량은 44.27 인/m/분으로 나타났다. 이러한 결과는 침두시 환승 보행시설은 1m<sup>2</sup>당 두 명 정도의 밀도로 보행할 때 단위폭, 단위시간 당 가장 많은 보행자가 통과할 수 있고, 이 때의 보행속도는 22.43 m/분이며 1m의 폭을 1분 동안 44.27 명이 통과할 수 있다는 것을 의미한다.

위에서 산정한 환승 보행시설의 용량(인/m/분)을 각 시설물의 너비에 맞게 산정한 결과는 다음과 같다. 그리고 이 값은 각 시설의 서비스율로 정의할 수 있다.

사당역은 1분에 344명을 처리할 수 있다는 뜻 즉 344명의 보행자에게 서비스를 제공할 수 있고, 신도림역은 1분에 164명에게 서비스를 제공할 수 있는 서비스 기관이 되는 것이다.

2. 대기행렬 분석

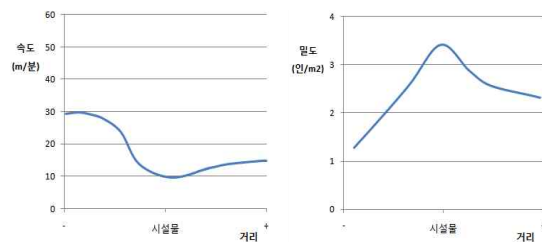
환승 보행시설에서 지체의 원인인 대기행렬이 발생하는 이유는 병목현상이다. 그리고 대기행렬이란 침두시 환승 보행시설의 활성화 유무를 나타내는 가장 좋은 지표이다. 즉 침두시 환승 보행시설을 이용하기 위한 보행자가 열차에서 하차하였을 때 시설물 접근부에 대기행렬이 발생하게 된다. 시설물을 기준으로 시설물 접근 전과 접근 후의 구간을 나누어 각각의 속도와 밀도를 비교, 분석하였다. (-)는 시설물 접근하기 전 구간을 말하며 (+)는 시설물을 통과한 후를 의미한다. 또한 열차가 도착시 대기행렬이 발생하는 경우를 대상으로 조사한 결과이며 표본조사방법을 이용하였다.

<그림 9>의 결과에서 알 수 있듯이 시설물에 접근할 수록 속도가 급격히 감소하여 떠밀리는 정도의 보행으로 시설물 진입구간을 통과한 후 속도가 증가하고, 밀도의 경우 시설물에 접근할수록 고밀도 상태로 보행환경이 좋지 않은 것으로 나타났고 이는 병목현상의 직접적인 원인이 된다고 할 수 있다.

보행자 도착율과 환승 보행시설의 서비스율을 토대로 접근부에 생성된 대기행렬을 분석하기 위해 조사된 보행교통량을 이용한 보행자도착율과 환승 보행시설의 용량 즉, 서비스율을 이용하여 분석한다. 보행자 도착율은 단위시간 동안 도착한 보행자수를 의미하며 조사된 자료를 이용하여 단위시간 당 보행자도착율을 산정한다. 서비스율이란 앞에서 보행밀도와 보행속도를 회귀분석을 통해 보행 관계식을 도출하고 이를 이용하여 시설의 용량을 산출한 값이다.

보행자 도착율과 환승 보행시설의 서비스율을 이용하여 환승 보행시설에서 대기행렬이 생성될 확률 즉 시설이 활성화 되는 비율을 산정하며 이는 보행자의 도착율을 환승 보행시설의 서비스율로 나눈 값을 의미한다.

<표 12-14>의 결과는 기존 보행 서비스수준 산정 시 사용되는 전체 교통량 자료를 이용하여 산정한 것으로 침두시 보행교통량을 기준으로 보행자도착율을 산정하였



<그림 9> 구간별 속도와 밀도 변화

<표 12> 대기행렬 분석 방법론

입력자료	⇒	출력자료
보행자도착율 시설물의 서비스율		환승보행시설의 활성화비율

<표 13> 사당역 대기행렬 분석 결과

입력자료		⇒	출력자료
보행자 도착율	127 인/분		환승통로의 활성화비율 36.92 % (22분/60분)
환승통로 서비스율	344 인/분		

<표 14> 신도림역 대기행렬 분석 결과

입력자료		⇒	출력자료
보행자 도착율	114 인/분		내부계단의 활성화비율 69.51 % (42분/60분)
내부계단 서비스율	164 인/분		

고 <표 9, 10>에서 보행속도와 보행밀도를 이용하여 회귀분석한 값으로 구한 용량으로 서비스율을 산정하였고 이들 값을 이용하여 대기행렬이론을 통해 본 시설물에서 대기행렬이 생길 확률 즉 환승 보행시설이 활성화(가용)되는 비율을 산정하였다.

기존 연구에서는 환승 보행시설은 꾸준한 보행자의 보행으로 100%활성화된다는 가정 하에 보행 서비스수준을 산정하였기에 환승 보행시설에 보행자가 소수 통행하는 시간까지 고려하므로 실제 상황보다 서비스수준이 과대평가되었지만 활성화 비율을 토대로 보행자가 실제 통행한 시간만을 기준으로 서비스수준을 산정한다면 보다 실제 상황에 근사한 결과를 얻을 수 있다.

분석된 자료를 살펴보면, 사당역의 경우는 한 시간 동안 실제로 환승통로가 활성화되어 보행자들이 통행한 시간은 22분으로 산정되었다. 이는 3분에 한 번 주기로 보행자가 발생하여 혼잡했다는 것으로 실제 현장조사를 통해서 산정한 값과 배차간격 등으로 미루어 보아 타당한 결과라고 할 수 있다. 이처럼 조사된 전체 보행교통량은 22분에 한정되어 통행하였기에 22분을 기준으로 보행 서비스수준을 산정하여야 함에도 불구하고 기존 연구에서는 전체 보행교통량을 환승 보행시설이 실제 이용자가 없는 시간을 포함한 60분을 기준으로 설정하였기 때문에 서비스수준이 과대평가되었다.

신도림역의 경우는 한 시간 중 내부계단이 활성화된 시간은 42분으로 산정되었는데, 사당역과는 활성화 비율에 있어 차이를 나타냈다. 이는 사당역은 단일 노선의

환승이 발생하는 구간인 것에 비해 신도림역은 다중 노선의 환승이 발생하고 이로 인해 내부계단에 보행군이 도착하는 비율이 높기 때문인 것으로 분석되었다.

### 3. 서비스수준 산정

동적인 변화를 고려한 서비스수준을 산정하는 것은 환승 보행시설의 분석에 있어 매우 중요하다. 예를 들자면 한 시간에 3명을 이발할 수 있는 이발사 한 명에게 2명의 손님이 온다면 60분 중 40분 동안 이발사는 서비스를 하고 있는 것이다. 즉 이발사의 가용시간은 40분이며 이발사의 고생 정도를 표현하기에는 40분에 2명을 이발한 것으로 평가해야하는 것이 적절하다. 이 개념이 환승 보행시설이 보행자 도착시만 가용되는 점을 설명할 수 있다.

본 연구에서 보행교통량의 동적 변화를 반영하는 서비스수준을 산정하는 방법은 다음과 같다.

- ① 15분 보행교통량을 구한다.
- ② 보행자 도착율과 환승 보행시설의 서비스율을 구한다.  
보행자도착율 : 1분 당 보행교통량 (인/분)  
환승 보행시설의 서비스율 : 1분당 시설의 용량 (인/분)
- ③ 환승 보행시설의 활성화 비율과 활성화 시간을 구한다.  
환승 보행시설의 활성화 비율 =  $\frac{\text{보행자 도착율}}{\text{환승 보행시설의 서비스율}}$   
환승 보행시설의 활성화 시간 = 환승 보행시설의 활성화 비율 \* 15분
- ④ 환승 보행시설의 활성화 시간을 기준으로 서비스수준을 산정한다.

$$\text{서비스수준} = \frac{15\text{분 보행교통량}}{\text{환승 보행시설의 활성화 시간}}$$

\* 여기서 15분 보행교통량에 대해 보행군에 속해 보행하지 않는 후속 보행자(느린속도로 보행하는 노약자 및 장애인 등)의 비율 10%를 감해주어야 한다.

여기서 환승 보행시설의 용량을 산정하지 못한 경우는 침두 15분 동안 환승 보행시설을 이용하기 위한 보행자들의 대기행렬에서 평균대기시간을 이용하여 환승 보

행시설의 서비스율을 산정하는 방법을 사용할 수 있으며, 보행교통류를 뿐만 아니라 보행밀도, 보행속도, V/C 서비스수준 지표를 사용하여 시설물이 활성화되는 시간을 기준으로 서비스수준을 산정함이 가능하다.

4. 결과

환승 보행시설의 서비스수준을 평가함에 있어서 기존에는 15분 보행교통량을 이용하여 보행교통류율, 보행밀도(일인당 점유공간), 보행속도, V/C 등의 지표로 산정하였다. 하지만 여기서 15분 보행교통량을 이용하는 방법을 환승 보행시설에 적용시켜서는 부적합한 이유가 있다. 환승 보행시설은 일반 보행로와 같이 일정한 보행자가 15분이라는 정해진 시간 내에 지속적으로 보행하는 시설이 아니라 열차의 도착에 의해서만 보행이 발생하는 시설이다. 이는 즉 열차가 도착하여 보행자가 시설물 이용을 위해 접근할 경우만 시설물이 이용된다는 뜻이다.

이러한 기존 15분 방법의 문제점을 극복하기 위해 15분이라는 시간을 더욱 세분화하여 1분 단위로 서비스수준을 살펴보았다. 열차가 도착한 시점에 보행교통량은 매우 높은 것으로 나타난 반면, 열차에서 하차한 보행자들이 시설을 모두 통과한 후에는 환승 보행시설을 이용하는 보행교통량은 매우 적은 것으로 나타났다. 서비스수준 평가는 시간을 세분화하여 가장 많은 보행자가 통과한 시점에 초점을 맞추어야 한다.

하지만 1분 조사에는 조사기법상 어려움과 한계점이 있어 환승시설을 평가하기에는 어려움이 있다. 그래서 본 연구에서는 기존 방법에서 이용한 15분 보행교통량과 환승 보행시설의 용량을 이용하여 대기행렬이론에 적용시켜 시설물의 가용시간 즉 활성화시간을 연구했다. 15분 보행교통량은 대기행렬이론에서 산출한 보행시설의 활성화 시간을 이용하여 약 90%의 보행자가 통행하는 것으로 나타났고, 기타 10%의 보행자는 보행군에서 벗어나 통행하고 있는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 15분 보행교통량의 90%를 침투 시간 중 열차 도착시 혼잡한 시간대에 통행하는 보행자

로 간주하고 이를 환승 보행시설 활성화 시간을 이용하여 동적으로 변화하는 보행자수를 반영할 수 있는 새로운 서비스수준 산정 방법론을 제시했다. 그 결과 1분 단위로 서비스수준을 산정했을 때 침투 시간대의 서비스수준이 본 연구에서 제시한 방법론을 통해서 산출되었으며 시설물의 활성화 시간 역시 실제 조사된 환승 보행시설의 가용시간과 같음이 증명되었다. 또한 배차간격, 15분간 열차도착 횟수를 입력하여 실제 현장상황과 동일한 통행분포를 도출할 수 있었다.

본 연구 방법론으로 분석한 결과는 열차가 도착하여 보행자가 시설물 이용을 위해 접근하여 발생하는 극도의 혼잡상황을 나타낼 수 있는 서비스수준 결과를 산정하였다. 이는 본 연구방법론이 15분을 기준으로 서비스수준을 산정하는 기존 방법보다 실제 상황에 가까운 보행교통류의 특성을 반영한다는 결론을 내릴 수 있다.

그리고 환승 보행시설의 활성화시간을 보행자도착율과 시설물의 용량 즉 서비스율의 관계에서 도출하여 실제 조사된 열차가 도착하여 보행자가 대기행렬을 모두 빠져나가는 시간과 비교하여 본 결과 거의 동일한 것으로 나타났다. 사당역은 실제 조사 시 침투 15분 동안 약 6분 정도 보행자들의 극심한 혼잡을 나타냈고, 본 연구에서 산정한 환승통로의 활성화 시간은 5.5분으로 실 상황을 반영한다고 할 수 있으며 신도림역의 경우도 15분 동안 약 11분의 혼잡이 나타났고 본 연구에서 산정한 활성화 시간 역시 11분에 가까운 10.5분으로 산정되어서 본 분석의 타당성을 입증해준다.

VI. 결론 및 향후연구과제

현재까지 보행에 대해 진행된 연구에서 환승 보행시설이라는 특수한 보행교통류 특성을 고려한 연구는 이루어지지 않았다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

환승 보행시설의 경우에는 열차 도착과 미도착의 경우 모두 서비스수준을 기존 15분 방법으로 산정한다면 현실을 잘 반영할 수 없는 결과가 나온다. 이는 환승 보행시설의 설계나 운영분석에 있어서 큰 문제가 될 수 있

<표 15> 기존 방법론과 본 연구방법론 결과 비교

	보행교통류율			밀도			V/C		
	기존방법론	1분단위	본방법론	기존방법론	1분단위	본방법론	기존방법론	1분단위	본방법론
사당	C	E	E	D	F	F	C	E	F
신도림	C	E	D	C	E	E	D	F	E

으며, 보행자의 안전을 위협할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 대기행렬이론의 시설물 가용에 대해 보행자 도착율과 환승 보행시설의 용량을 회귀분석을 통해 도출하여 서비스율을 산정하고 환승 보행시설의 활성화 비율과 시간을 산정하였다. 이는 실제 조사 자료와 비교하였을 때 열차가 도착하여 환승 보행시설을 이용하는 보행자들이 모두 소멸될 때까지의 시간과 근사치로 일치하는 결과가 나왔고 이로써 환승 보행시설의 활성화 시간을 이용하여 서비스수준을 산정하면 동적으로 변화하는 보행교통량을 잘 반영할 수 있다는 의미이다.

본 연구에서 제시한 방법을 사용하면 기존에 조사된 보행교통량 자료를 이용하여 환승 보행시설의 특징을 잘 반영할 수 있는 분석이 가능하고 열차 도착횟수나 배차간격을 알면 15분 보행교통량만으로도 1분 조사한 것과 같이 동적인 보행교통량의 변화를 추정할 수 있다는 장점이 있다.

보행자의 안전을 고려해서 가장 혼잡한 첨두시에도 막대한 자본을 투자하여 폭을 늘리는 등의 방법으로 좋은 보행환경을 만들어주는 것이 나옴지 경제적인 측면을 고려하여 투자를 적게 해야 하는지에 대한 경제성 분석이 이루어진다면 좋을 것이다.

그리고 본 연구에서는 양방향 통행에 대해서 자료를 가공함에 있어 처리를 하였음에도 불구하고 양방향에 대한 고려가 부족하다. 양방향 보행군이 상충하는 상황에서 조사를 통해 보행군의 방향별 비율을 고려한 보행교통류특성의 변화에 대한 연구와 환승 보행시설을 이용하는 보행자의 목적별 분석도 필요할 것이라고 생각된다. 기존 보행 연구에서 출퇴근 보행을 하나의 목적으로 연구를 진행해왔으니 현장조사 자료 분석 시 출근통행과 퇴근통행에 있어서도 큰 차이가 있다는 점을 알게 되었다. 따라서 이에 대한 분석이 더욱 심층적으로 이루어져야 한다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제61회 학술발표회(2009.

11. 6)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

**참고문헌**

1. 건설교통부(2002), 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계지침.  
 2. 건설교통부(2004),도로용량편람.

3. 김정현·오영태·손영태·박우신(2002), “보행자 시설 서비스 수준 산정에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.149~156.  
 4. 김흥기(2006), 지하철 정거장 내 환승공간의 시설용량에 관한 연구, 건국대학교 대학원 석사학위논문.  
 5. 권영중(2005), “대중교통환승센터 유형별 설계기준 정립에 관한연구”, 대한국토지·도시계획학회지, 제40권 제2호.  
 6. 이준혁(2008.1.3.), 신도림역 ‘최악승강장’ 오명 벗을까, 오마이뉴스기사.  
 7. 이진욱(2005), 보행자교통류특성과 그 적용에 관한 연구, 영남대학교 대학원 석사학위논문.  
 8. 임 미(2005), 환승센터의 설계원칙에 관한 연구, 동의대학교 대학원 석사학위논문.  
 9. 임정실·오영태(2002), 보행자 도로의 용량산정, 대한교통학회지, 제20권 제1호, 대한교통학회, pp.91~99.  
 10. 임진경(2004), “유형별 보행자도로의 서비스수준 평가기준 설정”, 대한토목학회논문집, 제24권 제5호, pp.723~728.  
 11. 주정완(2008.1.28.), 서울 지하철역 이동 편해져요, 중앙일보기사.  
 12. 천승훈(2006), 대기행렬이론을 이용한 중앙버스 정류소 접근구간 보행환경 평가에 관한 연구, 도시교통연구세미나 자료집, pp.91~99.  
 13. 최진현(2005), 환승센터 평가기준 설정에 관한 연구, 국민대학교 대학원 석사학위논문.  
 14. Bruce. W.(2001), Modeling the Roadside Walking Environment : A Pedestrian Level of Service, *Transportation Research Board*, 01-0511.  
 15. Dennis G. Davis and John P. Braaksma (1987), Level-of-service standards for Platooning Pedestrians in Transportation Terminals, *ITE journal*, pp.31~35.  
 16. Dixon, L.B.(1996), Bicycle and Pedestrian Level-of-Service Performance Measures and Standards for Congestion Management System, Presented at the 75th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.  
 17. John J. Fruin(1971), Pedestrian Planning

- and Design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, Inc. N.Y.
18. John J. Fruin(1987), Pedestrian Planning and Design, Revised Edition, Elevator World, Inc. Mobile, AL.
19. Sarkar, S.(1993), Determination of Service Levels for Pedestrians, With European Examples, Transportation Research Record1405, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.35~42.
20. Transportation Research Board(2000), Highway Capacity Manual, national research council Washington, D.C.
21. Transportation Research Board(2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2nd Edition.

✉ 주 작 성 자 : 윤탈관

✉ 교 신 저 자 : 윤탈관

✉ 논문투고일 : 2009. 12. 3

✉ 논문심사일 : 2009. 12. 31 (1차)

2010. 1. 14 (2차)

✉ 심사판정일 : 2010. 1. 14

✉ 반론접수기한 : 2010. 6. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필