

■ 論 文 ■

# 대중교통 이용자 속성을 고려한 환승시간별 환승률 결정모형의 개발

Determination of Transfer Ratio According to Transfer Time Reflecting Passenger Attributes

송 기 태

(유신코퍼레이션 건설기술연구소 ITS연구실)

박 준 식

(University of Texas at Austin, Postdoctoral Fellow)

고 승 영

(서울대학교 건설환경공학부 교수)

김 점 산

(경기개발연구원 교통정책연구부 책임연구원)

이 성 모

(서울대학교 건설환경공학부 교수)

## 목 차

- I. 서론
  - 1. 연구의 배경 및 범위
  - 2. 연구의 목적 및 내용
- II. 이론고찰
  - 1. 대중교통 정류장 접근에 관한 연구
  - 2. 환승에 관한 연구
  - 3. 기존 연구 검토를 통한 본 연구의 방향설정
- III. 이용자 속성에 따른 환승시간 조사분석
  - 1. 조사개요
- 2. 조사자료의 일반적 통계특성
- 3. 이용자 속성별 환승시간의 분석
- IV. 환승시간별 환승률 결정모형
  - 1. 전체모형
  - 2. 이용자 성별에 따른 모형
  - 3. 이용자 수입에 따른 모형
  - 4. 이용자 환승횟수에 따른 모형
  - 5. 예제
- IV. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 환승, 환승환승시간, 환승환승도보시간, 환승률, 이용자속성  
Transfer, Marginal Transfer Time, Marginal Transfer Walking Time, Transfer Ratio, Passenger Attribute

## 요 약

이용자가 수용 가능한 환승시간 및 환승거리의 결정은 환승시스템을 계획하는 단계에서 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 환승 자체가 불가능한 경우, 환승시스템 구성요소의 개선은 환승을 선택하는데 있어서 전혀 영향을 주지 못한다. 환승환승도보거리는 이용자의 처음교통수단에서 다음 교통수단까지의 합리적인 도보거리와 대기시간으로 결정되어야 한다. 대중교통 네트워크나 환승시스템 계획단계에서 환승서비스 권역을 좀 더 현실적으로 결정하기 위해서는 이용자 속성이 고려되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 환승에 초점을 맞추어 이루어 졌으며, 대중교통 이용자 인적속성에 따라 수용하는 환승거리와 시간이 다를 것이라는 가정을 한 후 대중교통 이용자 인적속성에 따라 환승시간별 환승률 산정 모형을 개발을 하는것을 목적으로 하였다. 이 중 환승환승시간과 상관관계가 높고, 환승시간에 따른 명확한 차이가 있는 성별, 월평균 수입별, 대중교통 환승횟수로 한정하여 환승시간별 환승률, 환승거리별 환승률의 결정모형을 개발하였다.

The purpose of this research is the estimation of a transfer ratio according to transfer time reflecting passenger attributes such as sex, age, income, job, the car ownership, and other variables with the assumption that a transfer ratio would be different depending on each passenger attribute. This research tested transfer time through a question-survey, estimated transfer time according to the passenger attributes using a data sample, and presented some applicable models about marginal transfer time for the case of the determination of transfer ratios according to transfer time. In this research the sample which had been surveyed for passengers walking to access a transfer station was used to test and estimate and the question was present walking time to the transfer time and the marginal transfer walking time.

# 1. 서론

## 1. 연구의 배경 및 범위

환승은 환승횟수, 환승거리, 환승환경에 따라서 통행저항요인으로 구분되어 질 수 있지만 환승시스템이 효율적으로 구축되어진다면, 대중교통 이용자의 통행시간 단축, 통행편의 증가로 인해서 대중교통 시스템 전반에 걸쳐서 승객수가 증가하는 효과가 있을 수 있다. 하지만 비효율적인 환승시스템 구축은 환승거리가 길어지면서 환승저항이 커지게 한다. 수단간 환승에 의한 통행저항은 환승의 횟수, 환승에 걸리는 시간 뿐 아니라 역사의 동선체계 등에 영향을 받는다. 환승하려는 이용자가 출발지 정류장에서 목적지 정류장까지 수용하기 어려운 환승거리 이상 떨어져 있을 경우 도로로 환승정류장까지 접근하기가 불가능하게 되어 경로 선택시 환승 자체를 거부하게 된다. 이러한 비효율적인 환승시스템 아래에서는 편안함, 편리성, 경제성 등 대중교통서비스를 개선하더라도 이용자가 환승을 선택하는데 거의 영향을 미치지 못한다. 따라서 효율적인 대중교통환승시스템을 구축하기 위해서 이용자가 다른 교통수단으로 환승할 때 환승정류장이 일정 도보거리 또는 일정 도보 시간 내에 있는지 우선적으로 이에 대한 검토가 이루어져야한다.

본 연구는 대중교통 이용자 속성을 고려한 환승시간별 환승률 결정모형의 개발을 목적으로 하는 연구로서 설문지법을 통하여 대중교통 이용자의 한계환승시간을 조사한 후, 이용자 속성에 따른 한계환승시간을 통계적 검정방법을 통하여 대중교통환승시간별 환승률 결정모형을 구축한다. 본 연구에서 구축하는 모형은 집계모형에 해당하며 개별선택모형과는 구분된다.

## 2. 연구의 목적 및 내용

본 연구에서는 대중교통을 이용하는 승객을 대상으로 환승하려는 지점까지의 평균도보시간과 환승지점에서의 평균대기시간에 대한 조사 결과를 토대로 앞서 정의한 한계환승시간이 이용자 개별속성에 따라 달라질 수 있다는 가정을 검증한 후 이를 바탕으로 대중교통 이용자의 개별속성을 고려한 환승시간별 환승률 결정모형을 개발하고자 한다. 본 연구의 주요내용과 방법은 다음과 같다.

- 환승의 정의 및 분류, 대중교통 이용자의 접근속도 및 이용가능거리, 정류장에 서비스 적용범위에 대

한 기존 연구 검토

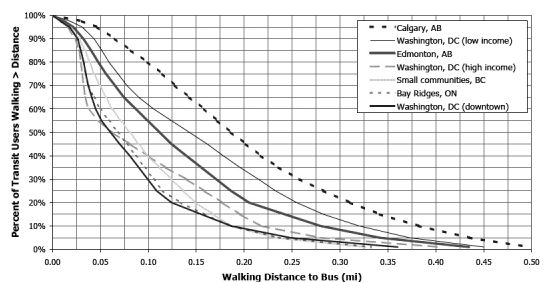
- 조사대상, 조사내용 등 조사 설계
- 설문조사 결과를 바탕으로 이용자 속성별로 이용자들의 한계환승시간을 산출
- 통계 분석을 통하여 환승시간별 환승률 결정모형 구축에 필요한 이용자 속성 결정
- 대중교통 이용자 인적속성별로 환승시간별 환승률 결정모형의 개발
- 결론 및 향후 연구과제 제시

# II. 이론고찰

## 1. 대중교통 정류장 접근에 관한 연구

### 1) 이용자의 접근속도 및 이용가능거리

TCRP Report 100 (Transit Capacity and Quality of Service)에서는 대중교통 이용자의 접근속도 및 이용가능거리를 다음과 같이 정의 하였다. 대중교통 이용자들의 출발지에서 정류장까지, 정류장에서 목적지까지 접근속도는 주위 환경에 영향을 받아 다양한 통행속도로 나타나게 된다. 대중교통 이용자의 접근속도는 도보일 경우에는 일반적으로 4~5 km/h, 차량을 통해서 접근할 경우 30~50 km/h로 다양하다. 이러한 대중교통 이용자의 접근속도는 대중교통 노선의 배치, 정류장간 간격을 분석하거나 대중교통 계획에 있어서 중요한 지표로 사용된다. 대중교통 이용자가 대중교통을 이용하기 위한 접근거리는 여러 상황에 영향을 받아 다양하게 나타난다. <그림 1>은 미국의 도시를 대상으로 연구된 대중교통 도보접근거리에 관한 여러 연구 결과를 보여주고 있다. 비록 도시와 수입 구조에 따라 편차가 존재하지만 대부분의 이용객(평균 80%에서 75%)의 평균 도보거리는 400m로 나타났다. 여기서 평균 도보속도를 5km/h로 가정하면, 한계도보시간은 5분으로 나타났다.



<그림 1> 보행자의 보행거리분포

2) 정류장의 서비스 권역

TCRP Report 100에서는 대중교통 정류장의 서비스 권역을 다음과 같이 정의 하였다. 대중교통 정류장의 서비스 권역은 각 정류장의 서비스 적용범위에 영향을 미치는 여러 요소(이용자밀도, 보행환경 등)를 반영하여 결정되어진다. 정류장의 서비스 권역은 일반적으로 최대 400~800m까지 다양하게 나타난다.

$$r = r_0 f_{sc} f_g f_{pop} f_{px}$$

- $r$  : 정류장에 서비스 권역
- $r_0$  : 이상적인 정류장 서비스 권역
- $f_{sc}$  : 가로 연결 요소,  $f_g$  : 경사 요소
- $f_{pop}$  : 인구 요소,  $f_{px}$  : 보행자 횡단요소

3) 관련연구

김점산(2005)의 연구에서는 도로를 이용하여 정류장까지 접근할 경우에 한하여 버스이용자 인적속성에 따라 버스정류장까지 접근거리와 시간이 다를 것이라 가정하고 이를 검증하였다. 또한 버스이용자 인적속성에 따라 버스서비스권역을 산정하는 모형을 개발하였다.

2. 환승에 관한 연구

1) Headway 길이에 의한 환승의 분류

Vukan R. Vuchic은 <표 2>와 같이 대중교통 수단간 환승을 Headway에 의해서 분류하였다. Headway 10분을 기준으로 하여 Short Headway와 Long Headway로 나누어지며, Short Headway/Long Headway, 기점 노선, 종점 노선의 기준에 따라 총 4가지의 Case로 분류된다.

<표 2> Headway에 따른 환승의 분류

종점 기점	Short Headway	Long Headway
Short Headway	Case A (환승이 편리)	Case C · 환승 시간이 Random하게 나타남 · 정보제공을 통하여 불확실성을 제거
Long Headway	Case B (환승이 편리)	Case D · Case $D_1$ : Headway와 도착시간이 같은 경우 · Case $D_2$ : Headway는 같지만 도착시간이 다른 경우 · Case $D_3$ : Headway가 다른 경우

2) 노선형태에 따른 환승의 분류

Vukan R. Vuchic은 <표 1>과 같이 대중교통 노선형태에 따라서 환승을 분류하였다. 환승 가능한 노선 수와 특성은 다음 2가지 요소에 의해서 결정되어진다. 첫 번째

<표 1> 노선형태에 따른 환승의 분류

구 분	노선 수		환승 가능한 경우의 수	유사한 노선 경로			지선과 간선		
	종결	통과		개략도	사례	설명	개략도	사례	설명
1	$N_c$	0	$N_c(N_c - 1)$		교외의 종결되는 노선	노선들 사이의 조정 필요. TTS 적용 가능		지선 노선이 간선 노선과 만나면서 종결	TTS를 적용하여 지선 노선간에 환승
2	0	$N_t$	$4N_t(N_t - 1)$		한 점에서 노선이 교차	TTS 적용 가능 환승승객들은 지체가 발생		간선노선의 정류장에 지선노선이 교차 혹은 종결	TTS 가능. 간선정류장 주변에서 지선의 도착출발 가능
3	$N_c$	$N_t$	$(N_c + 2N_t)^2 - (N_c + 4N_t)$		노선이 종결 되거나 통과	TTS 적용 가능 Case 2보다 적용이 쉬움		간선 노선 통과 지선노선은 교차 혹은 종결	
4	2	0	2		교외의 2개 노선이 종점			간선노선 종결 지선존선 종결	
5	0	2	8		2개 노선이 한점에서 교차			간선정류장에 지선노선이 교차함	
6	1	1	4		노선의 종결 점에서 다른 노선 통과			간선노선은 통과하고 지선 노선은 종결	

TTS : Timed Transfer System

요소는 각 노선에서 환승이 일어난 지점(Terminating :  $t_e$ , Through :  $t_t$ )이며, 두 번째 요소는 환승이 발생하는 각 노선 특성(빈도, 용량, 수단)의 유사성의 여부이다.

3) 관련연구

이경재(2005)는 지하철 경로선택에 영향을 미치는 변수들을 크게 경로특성변수와 환승역특성변수로 나누었다. 경로특성변수에는 선택경로와 대안 경로의 차내시간, 환승시간, 환승횟수를 포함시켰으며, 환승차량을 탑승하기 위해 기다리는 대기시간을 포함시켰다. 환승역 특성변수의 경우 환승하는데 걸리는 수평이동거리, 상향계단수, 하향계단수, 에스컬레이터 이용시간 등 4가지 변수를 포함시켰다.

III. 이용자속성에 따른 환승시간 조사분석

1. 조사개요

본 조사는 경기도 산하 31개 시/군에 거주하는 대중교통 이용자를 대상으로 하였으며, 구체적인 조사대상, 내용, 그리고 방법론은 다음과 같다.

1) 조사개요

- 조사대상 : 경기도 산하 31개 시/군에 거주하는 대중교통 이용자, 만 15세 이상의 대중교통 이용자
- 조사기간 : 2007. 9. 1 ~ 2007. 9. 30
- 표본추출방법 : 층화랜덤추출법 (각 시/군별 인구, 성별, 연령 등에 따라 산출한 표본크기에 따라 표본을 임의 추출하여 조사함)
- 조사방법 : 직접 면접 조사 후, 설문지 수거 후 일괄 전산입력 처리

2) 조사내용

- 설문대상자 인적사항, 대중교통 이용 빈도, 환승회수, 이용시간대, 통행목적, 환승지점까지의 도보시간, 대기시간 및 도보추가시간, 대기추가시간

여기서, 환승시간은 환승수단으로의 접근시간과 환승수단의 대기시간으로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 도보에 의해서만 이루어지는 환승접근만을 대상으로 하였다. 즉, 환승시간은 도보시간과 대기시간의 합으로 표현된다. 도보추가시간 및 대기추가시간은 환승을 시행한

이용자들이 추가적으로 인내할 수 있는 도보 및 대기시간을 말한다. 즉, 이용자들이 최대한 감수할 수 있는, 환승을 수용할 수 있는 도보시간은 실제 환승을 시행하기 위해 소비한 도시간과 도보추가시간의 합이 되며, 이용자들이 최대한 감수할 수 있는 환승시간은 도보시간, 대기시간, 도보추가시간, 그리고 대기추가시간의 합이 된다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- 환승시간 : 도보시간 + 대기시간
- 한계환승시간 : (도보시간 + 도보추가시간) + (대기시간 + 대기추가시간)
- 한계도보시간 : (도보시간 + 도보추가시간)

본 연구에서는 실제 환승시간 및 도보시간을 사용하는 대신 한계환승시간 및 한계도보시간을 사용한다. 또한 환승시간 및 도보시간에 따른 이용자 비율은 실제로 환승을 시행한 이용자들의 환승시간 및 도보시간에 따른 비율과 구분하기 위해 "이용자 수용비율"이라 칭한다.

2. 조사자료의 일반적 통계특성

목표 표본수에서 미기입 및 오류 표본수를 제외한 후 유효 표본수 2,802개(남자 1,378명, 여자 1,424명)로 분석하였으며, 목표 표본수는 경기도 31개의 시군의 인구에 비례하게, 각 지역별 표본수를 결정하였다. 조사자료의 일반적 통계특성은 <표 3>과 같다.

<표 3> 조사자료의 일반적 통계특성

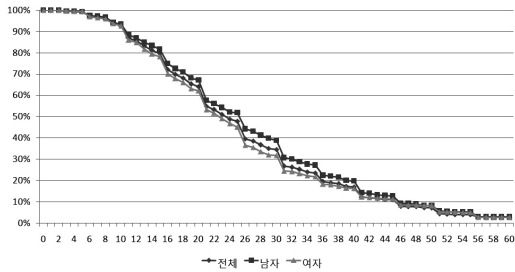
	1	2	3	4	5	6	7
성별	49.2%	50.8%					
연령	8.5%	17.7%	24.8%	23.0%	12.0%	14.0%	
직업	22.9%	12.2%	19.5%	5.5%	16.3%	20.7%	2.9%
수입	35.6%	26.5%	19.8%	9.8%	2.0%	1.9%	3.7%
차량	41.4%	58.6%					
시간	49.3%	50.4%					
목적	30.0%	12.9%	6.2%	11.1%	7.4%	25.4%	7.0%
환승	35.9%	36.5%	21.3%	3.9%	0.8%	1.0%	

- 범례 :
- 성별 1. 남자 2. 여자
  - 연령 1. 15~19세 2. 20~29세 3. 30~39세 4. 40~49세 5. 50~59세 6. 60세 이상
  - 직업 1. 상근직 2. 비상근(시간제) 3. 자영업 4. 무직 5. 학생 6. 전업주부 7. 퇴직
  - 수입 1. 100만원 미만 2. 100~200만원 3. 200~300만원 4. 300~400만원 5. 400~500만원 6. 500만원이상 7. 퇴직
  - 차량 1. 있다 2. 없다
  - 시간 1. 혼잡시간대 2. 비혼잡시간대
  - 목적 1. 출퇴근 2. 등하교 3. 쇼핑 4. 여가활동 5. 친구 및 친지방문 6. 개인업무 7. 기타
  - 환승 1. 0회 2. 1회 3. 2회 4. 3회 5. 4회 6. 5회 이상

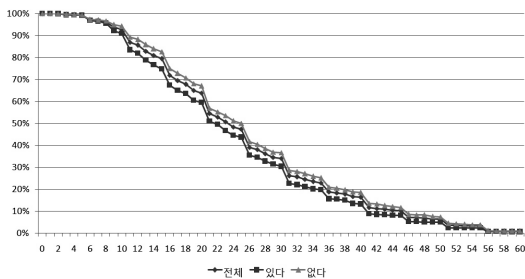
### 3. 이용자인적속성별 한계환승시간의 분석

본 연구에서는 한계환승시간에 영향을 미치는 결정인자를 성별, 연령, 직업, 월평균수입, 승용차 유무, 통행목적, 대중교통 이용 일수, 이용시간대, 환승횟수로 한정하였다. 이용자 속성에 따른 환승시간별 환승률 결정모

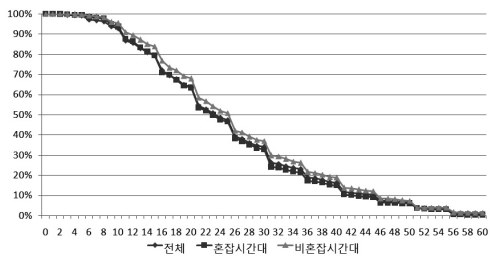
형을 구축하기 위해서 이용자 속성 즉, 각각의 표본 집단의 차이유무를 판단하였다. 이용자 속성에 따른 한계환승시간의 차이가 없다고 한다면 전체 자료를 통한 단일 모형으로 표현이 가능하지만, 이용자 속성에 따른 한계환승시간에 차이가 있다고 한다면, 이용자 속성에 따른 각각의 결정모형을 구축하여야 한다. 이런 표본 집단의



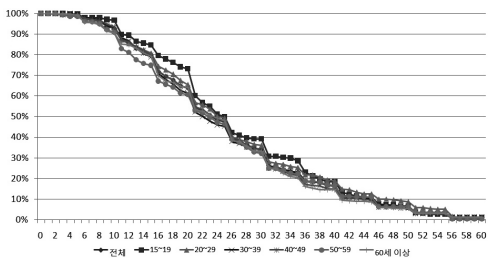
〈그림 2〉 성별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계



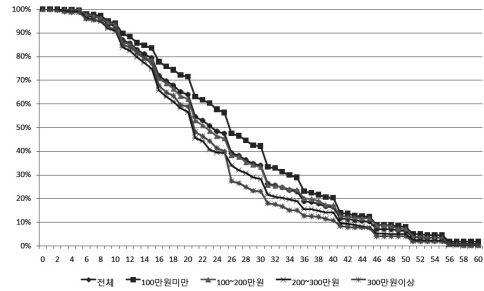
〈그림 3〉 승용차유무에 따른 한계환승시간과 이용자 수용비율관계



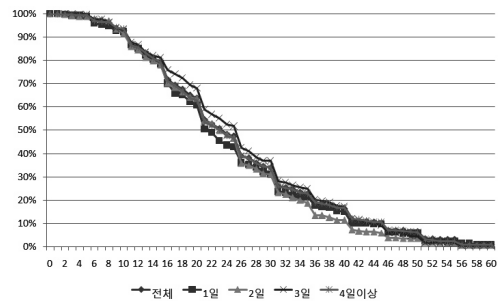
〈그림 4〉 이용시간대별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계



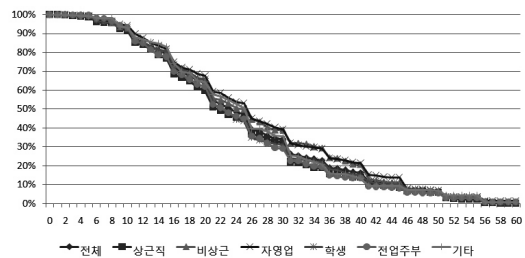
〈그림 5〉 연령별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계



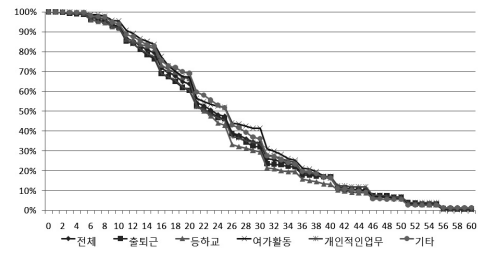
〈그림 6〉 월평균수입별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계



〈그림 7〉 이용일수별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계



〈그림 8〉 직업별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계



〈그림 9〉 통행목적별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계

차이를 결정하기 위해서 이용자 속성에 따라서 t-검정, 분산분석, 군집분석등의 통계적 방법을 이용하였다. <그림 2>는 환승을 시행한 이용자들이 응답한 한계환승시간을 1분 단위로 집계하여 한계환승시간이 큰 표본부터 누적인 한계환승시간별 누적비율값을 나타낸 것이다. 이후 제시되는 그래프들 역시 동일한 방법으로 구축되었다.

먼저, 성별 한계환승시간과 이용자 수용비율 관계분석 결과, 평균 한계환승시간은 남자의 경우 25.6분, 여자의 경우 24.1분으로 나타났다. 성별에 따른 한계환승시간의 차이유무를 판단하기 위해서 t-검정을 실시하였다. <표 4>에서 보면 유의확률은 0.001로 유의수준

0.05보다 작으므로, "유의수준 5%하에서 남자와 여자의 한계환승시간은 차이가 있다"라는 결론을 내릴 수 있다. 따라서 성별에 따라 각각의 환승시간별 환승률 결정모형이 필요하다는 결론을 내릴 수 있다.

승용차 보유여부에 따른 평균 한계환승시간은 승용차를 보유한 경우 23.4분, 승용차를 보유하지 않은 경우에는 25.9분으로 나타났다. 승용차 보유에 따라 한계환승시간의 차이유무를 판단하기 위해서 t-검정을 실시하였다. <표 4>에서 보면 유의확률은 0.001로 유의수준 0.05보다 작으므로, "유의수준 5%하에서 승용차보유 유무에 따라서 한계환승시간은 차이가 있다."라는 결론을 내릴 수 있다.

<표 4> t-검정, 분산분석, 군집분석 결과 정리

이용자 속성		t-검정					
		N	평균	표준편차	t	유의확률	개별모형
성별	남자	1366	25.63	12.705	3.186	0.001	필요
	여자	1414	24.10	12.618			
차량유무	있다	1147	23.43	12.271	-4.971	0.001	필요
	없다	1633	25.85	12.873			
이용시간	혼잡시간	1330	24.52	12.204	-3.540	0.001	필요
	비혼잡시간	1360	26.22	12.684			
이용자 속성		분산분석					
		N	평균	표준편차	F	유의확률	개별모형
연령	15~19세	235	26.38	12.29	1.766	0.116	불필요
	20~29세	493	25.82	13.37			
	30~39세	686	24.56	12.63			
	40~49세	641	24.61	12.22			
	50~59세	337	24.13	12.45			
	60세이상	387	24.26	12.68			
월평균 수입	100만원미만	988	27.09	13.00	20.905	0.000	필요
	100~200만원	741	24.79	12.91			
	200~300만원	551	22.87	12.26			
	300만원이상	483	22.44	11.50			
이용일수	1일	569	23.96	12.53	2.380	0.068	불필요
	2일	552	23.66	11.50			
	3일	477	25.48	12.14			
	4일 이상	1150	24.75	12.65			
환승회수	0회	992	22.12	12.28	36.039	0.000	필요
	1회	1013	25.01	11.92			
	2회이상	728	27.04	12.42			
직업	상근	637	23.78	12.39	3.362	0.009	필요
	비상근	343	25.95	13.22			
	자영업, 학생 <sup>1)</sup>	986	25.61	12.95			
	전업주부	577	23.86	12.13			
	기타	235	25.12	12.33			
통행목적	출퇴근	832	24.32	12.90	1.921	0.104	불필요
	등하교	356	24.07	12.21			
	여가활동	312	25.98	12.27			
	개인적인업무	712	24.71	13.15			
	기타	568	25.66	12.23			

1) 군집분석결과 군집형성

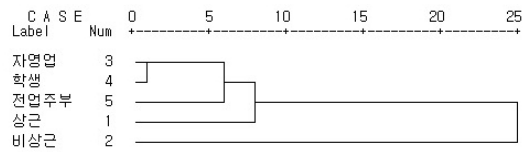
대중교통 이용시간대별 한계환승시간과 이용자 수용 비율 관계 분석 결과, 평균 한계환승시간은 혼잡시간대(오전 07:00~09:00, 오후 05:00~08:00) 24.5분, 비혼잡시간대(혼잡시간 외 시간대) 26.2분으로 나타났다. 이용시간대에 따른 한계환승시간의 차이유무를 판단하기 위해서 t-검정을 실시하였다. <표 4>에서 보면 유의확률은 0.001로 유의수준 0.05보다 작으므로, “유의수준 5%하에서 이용시간대에 따라서 한계환승시간은 차이가 있다”라는 결론을 내릴 수 있다.

연령별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계를 분석한 결과, 평균 한계환승시간은 15~19세 26.4분, 20~29세 25.8분, 30~39세 24.6분, 40~49세 24.6분, 50~59세 24.1분, 60세 이상 24.2분으로 나타났다. 연령에 따른 한계환승시간의 차이유무를 판단하기 위해서 분산분석을 실시하였다. <표 4>에서 보면 검정통계량(F)의 유의확률이 0.116으로 유의수준 0.05보다 크므로 유의수준 5%하에서 귀무가설을 채택하게 된다. 즉, “연령에 따라서 한계환승시간이 차이가 없다.”는 결론에 도달할 수 있다.

월평균 수입에 따른 한계환승시간과 이용자 수용비율 관계 분석결과 100만원 미만 27.1분, 100~200만원 24.8분, 200~300만원 22.9분 300만원이상 22.4분으로 나타났다. 월평균 수입에 따른 각 집단별 한계환승시간의 차이 여부를 판단하기 위해서 분산분석을 실시하였다. <표 4>에서 보면 검정통계량(F)의 유의확률이 0.000로 유의수준 0.05보다 작으므로 유의수준 5%하에서 귀무가설을 기각하게 된다. 즉, “월평균수입에 따라서 한계환승시간이 차이가 있다.”는 결론에 도달할 수 있다.

대중교통 이용 일수별 평균 한계환승시간은 대중교통 이용 일수 1일 24.0분, 2일 23.7분, 3일 25.5분, 4일 이상 24.8분으로 나타났다. 대중교통 이용일수에 따른 한계환승시간의 차이유무를 판단하기 위해서 분산분석을 실시하였다. <표 4>에서 보면 검정통계량(F)의 유의확률이 0.000로 유의수준 0.05보다 작으므로 유의수준 0.05보다 작으므로 유의수준 5%하에서 귀무가설을 기각하게 된다. 즉, “환승횟수에 따라서 한계환승시간이 차이가 있다.”는 결론에 도달할 수 있다.

직업별 한계환승시간과 이용자 수용비율관계를 분석한 결과, 평균 한계환승시간은 정규직 23.8분, 비상근(시간제) 26.0분, 자영업 26.5분, 학생 24.5분, 전업주부 23.9분, 기타(무직자, 퇴직자) 25.1분으로 나타났다. 직업별 환승시간별 환승률 결정모형을 구축하기 위해서 서로 유사한 몇 개의 집단으로 분류하여야 한다. 집단으로



<그림 10> 직업별 속성 따른 군집분석 결과(덴드로그램)

분류하기 위해서 군집분석을 실시하였는데 그 결과는 <그림 10>과 같다. 군집분석결과 자영업과 학생이 군집을 이루는 것으로 분석되었으며, 군집으로 형성하고 분산분석을 실시하였다. <표 4>에서 보면 검정통계량(F)의 유의확률이 0.009로 유의수준 0.05보다 작으므로 유의수준 5%하에서 귀무가설을 기각하게 된다. 즉, “직업에 따라서 한계환승시간이 차이가 있다.”는 결론에 도달할 수 있다.

통행목적별 평균 한계환승시간은 버스이용일수 출퇴근 24.3분, 등하교 24.1분, 여가활동 26.0분, 개인적인 업무 24.7분, 기타(쇼핑, 친구 또는 친지방문) 25.7분으로 나타났다. 통행목적에 따른 한계환승시간의 차이유무를 판단하기 위해서 분산분석을 실시하였다. <표 4>에서 보면 검정통계량(F)의 유의확률이 0.104로 유의수준 0.05보다 크므로 유의수준 5%하에서 귀무가설을 채택하게 된다. 즉, “통행목적에 따라서 한계환승시간이 차이가 없다.”는 결론에 도달할 수 있다.

<표 4>는 분석한 결과를 종합적으로 정리한 표이다. 통계분석결과 성별, 차량유무, 대중교통이용시간, 월평균 수입, 환승회수, 직업에 관련된 이용자 속성은 개별적인 환승순응시간 결정모형이 필요하다고 판단되며, 이용자의 연령, 이용일수, 통행목적에 관련된 이용자 속성은 큰 차이가 없어 통합적인 전체 모형으로 설명가능하다고 분석되었다.

#### IV. 환승시간별 환승률 결정모형

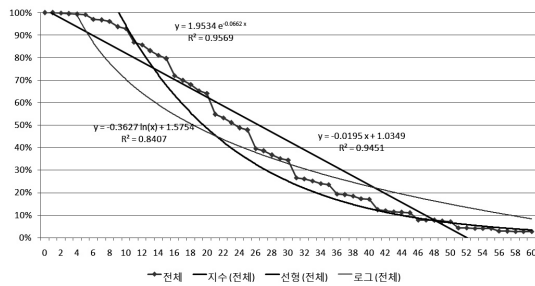
분석 결과를 기초로 이용자 속성을 고려한 대중교통 환승시간별 환승률 결정모형을 개발하였다. 한계환승시간 결정에 영향을 미치는 이용자 속성을 1) 성별 2) 월평균수입, 3) 환승회수로 한정하였다. 설명변수로 성별, 월평균수입, 환승회수로 선정한 이유는 통계적으로 유의하고, 한계환승시간과 상관관계가 높고, 속성별 한계환승시간에 따른 이용자 수용비율의 명확한 차이를 확인할 수 있었기 때문이다.

### 1. 전체모형

전체 수집된 자료를 대중교통 이용자의 개별 속성을 고려하지 않고, 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %) 관계를 직선식, 로그식, 지수식을 기본식으로 추정한 결과, 지수식을 기본식으로 한 모형이 결정계수( $R^2$ )가 0.9569로 가장 통계적으로 가장 설명력이 높은것으로 분석되었다. 모형의 현실성을 부여하기 위하여 한계환승시간 60분 이상에 해당하는 자료는 제외하였다. 그리고 각 모형식에 한계환승시간(x, 분) 범위 이하의 값은 100%로 가정하였다. 이것은 한계환승도보시간이 100%를 초과하는 경우가 발생하는데 한계환승시간을 범위로 제한함으로써 100%를 초과하는 것을 방지하기 위해서이다.

〈표 5〉 전체모형 - 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

구분	모형식	$R^2$
직선식	$y = -0.0195x + 1.0349 \quad (2 \leq x \leq 60)$	0.9451
로그식	$y = -0.3627\ln(x) + 1.5754 \quad (5 \leq x \leq 60)$	0.8407
지수식	$y = 1.9534\exp(-0.0662x) \quad (11 \leq x \leq 60)$	0.9569

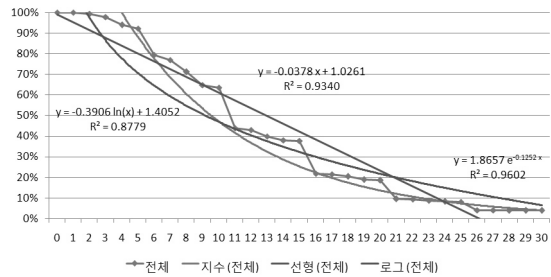


〈그림 11〉 전체모형 - 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

〈그림 12〉에서 한계환승시간은 이용자수용비율(y, %) 관계를 직선식, 로그식, 그리고 지수식을 기본식으로 추정한 결과, 지수식을 기본식으로 한 관계모형의 결정계수( $R^2$ )가 0.9602로 통계적으로 가장 설명력이 높은 것으로 분석되었다. 여기서 모형의 현실성을 부여하

〈표 6〉 전체모형 - 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

구분	모형식	$R^2$
직선식	$y = -0.0378x + 1.0261 \quad (1 \leq x \leq 30)$	0.9340
로그식	$y = -0.3906\ln(x) + 1.4052 \quad (3 \leq x \leq 30)$	0.8779
지수식	$y = 1.8657\exp(-0.1252x) \quad (5 \leq x \leq 30)$	0.9602



〈그림 12〉 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

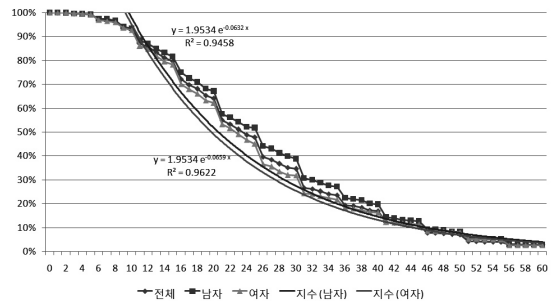
기 위하여 한계환승도보시간 30분 이상에 해당하는 자료는 제외하였다. 모형식의 결과는 〈표 6〉과 같다.

### 2. 이용자 성별에 따른 모형

이용자 성별에 따른 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %) 관계식은 전체모형에서 채택한 지수식을 기본식으로 하되 절편을 전체모형의 1.9534로 고정하고 추정하였다. 이용자 성별 관계식의 추정결과는 〈표 7〉과 같으며, 남자와 여자의 관계식이 유의한 것으로 분석되었다. 추정된 모형의 지수승수를 살펴보면, 남자가 -0.0632, 여자가 -0.0659로 여자모형이 환승시간에 좀 더 소극적인 것으로 나타났다. 이용자 성별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %) 관계식은 전체모형에서 채택한 지수식을 기본식으로 하되 절편을 전체모형의 1.8657로 고정하고 추정하였다.

〈표 7〉 이용자 성별 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

구분	모형식	$R^2$
남자	$1.9534\exp(-0.0632x) \quad (11 \leq x \leq 60)$	0.9458
여자	$1.9534\exp(-0.0659x) \quad (11 \leq x \leq 60)$	0.9622

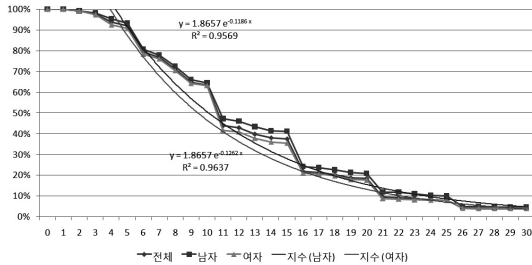


〈그림 13〉 이용자 성별 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계



〈표 8〉 이용자 성별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

구분	모형식	R <sup>2</sup>
남자	$1.8657\exp(-0.1186x)$ ( $6 \leq x \leq 30$ )	0.9569
여자	$1.8657\exp(-0.1262x)$ ( $5 \leq x \leq 30$ )	0.9637



〈그림 14〉 이용자 성별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

이용자성별 관계식 추정결과는 〈표 8〉과 같으며, 남자와 여자의 관계식이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 추정된 지수형태의 이용자 성별 한계환승도보시간 모형의 지수 승수를 살펴보았을 때, 한계환승시간과 마찬가지로 여자의 모형이 -0.1262로 환승시간에 좀 더 소극적인 것으로 나타났다.

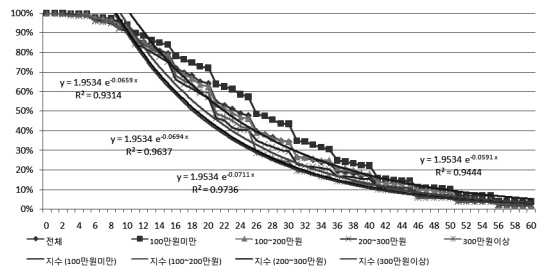
### 3. 이용자 수입에 따른 모형

대중교통 이용자의 월평균수입별 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)의 관계식은 전체모형에서 채택한 지수식을 기본식으로 하되 절편을 전체모형의 1.9534로 고정하고 추정하였다. 대중교통 이용자의 월평균수입별 관계식 추정결과는 〈표 9〉와 같으며, 각각의 월평균 수입별 관계식이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

대중교통 이용자의 월평균 수입별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %) 관계식은 전체모형에서 채택

〈표 9〉 이용자 월평균수입별 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

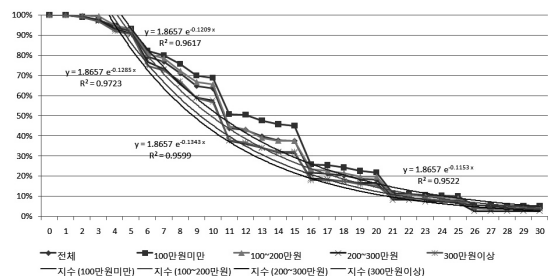
구분	모형식	R <sup>2</sup>
100만원 미만	$y = 1.9534\exp(-0.0591x)$ ( $12 \leq x \leq 60$ )	0.9444
100~200만원	$y = 1.9534\exp(-0.0659x)$ ( $11 \leq x \leq 60$ )	0.9314
200~300만원	$y = 1.9534\exp(-0.0694x)$ ( $10 \leq x \leq 60$ )	0.9637
300만원 이상	$y = 1.9534\exp(-0.0711x)$ ( $10 \leq x \leq 60$ )	0.9736



〈그림 15〉 수입별 한계환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

〈표 10〉 월평균수입별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

구분	모형식	R <sup>2</sup>
100만원 미만	$y = 1.8657\exp(-0.1153x)$ ( $6 \leq x \leq 30$ )	0.9522
100~200만원	$y = 1.8657\exp(-0.1209x)$ ( $6 \leq x \leq 30$ )	0.9617
200~300만원	$y = 1.8657\exp(-0.1343x)$ ( $5 \leq x \leq 30$ )	0.9599
300만원 이상	$y = 1.8657\exp(-0.1285x)$ ( $5 \leq x \leq 30$ )	0.9723



〈그림 16〉 이용자 수입별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

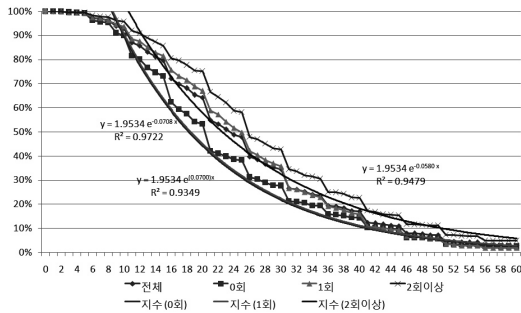
한 지수식을 기본식으로 하되 절편을 전체모형의 1.8657로 고정하고 추정하였다. 월평균 수입별 관계식의 추정결과는 〈표 10〉과 같이 분석되었으며, 결정계수를 살펴보았을 때 각각의 모형은 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

### 4. 이용자 환승횟수에 따른 모형

대중교통 이용자의 목적지까지의 환승횟수에 따른 한계 환승시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %) 관계식은 전체 모형에서 채택한 지수식을 기본식으로 하되 절편을 전체모형의 1.9534로 고정하고 추정하였다. 이용자 환승횟수에 따른 관계식이 추정결과는 〈표 11〉과 같이 분석되었으며, 각각의 모형식의 결정계수(R<sup>2</sup>)를 살펴보았을 때, 최소

〈표 11〉 이용자 환승횟수에 따른 한계환승시간(x, 분)과 이용자 수용비율(y, %)관계

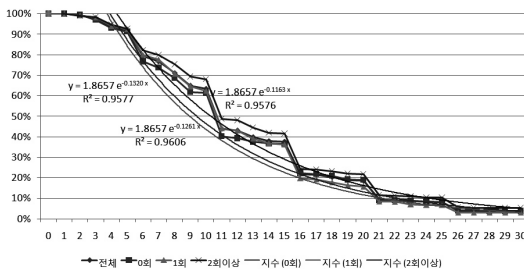
구분	모형식	R <sup>2</sup>
0회	$y=1.9534\exp(-0.0708x)$ ( $10 \leq x \leq 60$ )	0.9722
1회	$y=1.9534\exp(-0.0700x)$ ( $10 \leq x \leq 60$ )	0.9349
2회이상	$y=1.9534\exp(-0.0580x)$ ( $12 \leq x \leq 60$ )	0.9479



〈그림 17〉 환승횟수에 따른 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

〈표 12〉 환승횟수별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자 수용비율(y, %)관계

구분	모형식	R <sup>2</sup>
0회	$y=1.8657\exp(-0.1261x)$ ( $5 \leq x \leq 30$ )	0.9606
1회	$y=1.8657\exp(-0.1320x)$ ( $5 \leq x \leq 30$ )	0.9577
2회이상	$y=1.8657\exp(-0.1163x)$ ( $6 \leq x \leq 30$ )	0.9576



〈그림 18〉 환승횟수별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %)관계

0.9349, 최대 0.9722로 이용자의 환승횟수에 따른 한계환승시간 모형은 모두 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

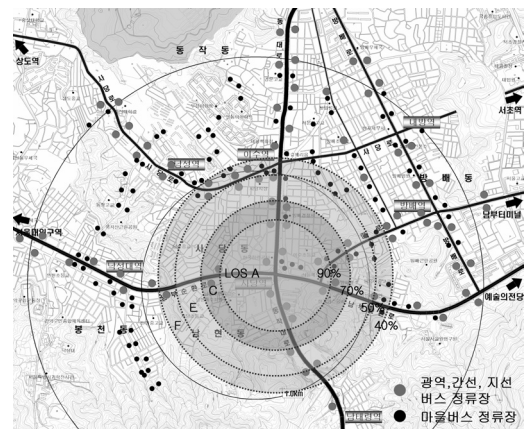
이용자의 환승횟수별 한계환승도보시간(x, 분)과 이용자수용비율(y, %) 관계식은 전체모형에서 채택한 지수식을 기본식으로 하되 절편을 전체모형의 1.8657로 고정하고 추정하였다. 추정된 지수형태의 이용자 환승횟수별 한계환승도보시간 모형의 승수를 살펴보았을 때, 이용자 환승횟수가 증가할수록 환승에 좀 더 적극적인 것으로 나타났다.

## V. 예제

본 연구에서 구축한 모형을 적용하기 위해서는 균등 도보통행시간 그래프를 도면상에 구축해야 하는데, 이는 지형정보 분석 프로그램에서 평균 도보통행속도 값을 이용하여 어렵지 않게 수행할 수 있다. 본 장에서는 본 연구에서 구축한 모형의 적용방법을 보여주는데 목적이 있으므로 가로망을 고려하지 않고 직선거리로 균등 도보 통행시간 그래프를 구축하고자 한다. 평균 도보통행속도 값은 TCQSM에서 제시한 3mph (5km/h)를 사용하였다. 현재 대중교통 시스템의 환승체계를 평가해 보기 위해서 TCQSM에서 제시한 대중교통서비스권역의 서비스수준 〈표 13〉을 통하여 서비스수준을 평가하였다. TCQSM에서 제시한 이 서비스수준 기준표는 일반버스의 경우 반경 400m, 간선버스 및 전철의 경우 반경 800m 내의 권역을 서비스권역으로 정의하고 이 권역 내에 포함되는 통행발생지점의 비율을 대중교통시스템의 서비스권역 서비스수준 기준으로 설정한 것이다. 환승시스템의 서비스수준을 평가하는데 있어서 대중교통서비스권역의 서비스수준을 적용하는데 다소 무리가 있고, 그 개념 또한 다소 상이한 감은 있으나, 현재 환승시스템의 서비스 수준을 평가하는 기준이 없으며, 환승과 접근은

〈표 13〉 대중교통서비스권역의 서비스수준

LOS	%TSA	설명
A	90~100%	고밀도 지역의 전체에 제공
B	80~89%	고밀도 지역의 대부분에 제공
C	70~79%	고밀도 지역의 대략 3/4에 제공
D	60~69%	고밀도 지역의 대략 2/3에 제공
E	50~59%	고밀도 지역의 최소 1/2에 제공
F	< 50%	고밀도 지역의 1/2 이하에 제공



〈그림 19〉 예제(사당역 환승체계 평가)

도보를 이용한다는 공통점이 있어, 본 연구에서는 대중교통 서비스권역 서비스수준을 이용하였다.

〈표 13〉을 기준으로 하여 사당역을 중심으로 한 환승 체계의 서비스 수준을 평가하였다. 적용결과 〈그림 19〉와 같이 사당역을 중심으로 각각의 원이 LOS A, C, E, F 등을 나타낸다. 사당역의 환승체계를 평가해 본 결과 사당역을 중심으로 환승 이용자수용비를 90%에 해당되는 LOS A 수준에 범위 안에(약 500m) 광역, 간선, 지선 버스정류장이 존재하는 것으로 나타나 사당역 환승체계는 매우 효율적으로 구축된 것으로 나타났다.

## VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 이용자 속성을 고려한 환승시간별 환승률 결정모형을 개발하였다. 연구의 주요내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 본 연구는 대중교통 이용자 인적속성에 따라 수용하는 환승거리와 시간이 다를 것이라는 가정을 한 후 이에 대한 검증을 하는 것을 주요 목적으로 하였고, 대중교통 이용자 인적속성에 따라 환승시간별 환승률 모형 개발을 하는데 추가적인 목적을 두었다.
- 분석 결과, 대중교통 이용자의 성별, 차량유무, 이용시간, 월평균수입, 환승횟수, 직업등 속성에 따라 개별적인 환승시간별 결정모형이 필요한 것으로 분석되었다.
- 대중교통 이용자 속성 중 성별, 월평균수입, 환승횟수에 따른 환승시간별 환승률, 환승거리별 환승률의 결정모형을 개발하였다.

본 연구가 실제 활용 가능한 환승시간별 환승률 결정모형 개발에 중점을 두었음에도 불구하고, 설문지법의 한계로 인해 환승순응거리 결정을 도보시간으로 환산한 값을 사용하였다. 따라서 실제 적용을 위해서는 이용자인적속성별(연령별) 평균보행속도(km/hr)와 지역의 지리적 특징을 반영할 수 있는 보정계수에 대한 정립이 필요하다. 그리고 예제에서 환승체계 서비스수준 평가에서 TCQSM에서 제시한 대중교통서비스권역을 적용하였는데, 환승체계에서 적용 가능한 서비스평가 기준 마련이 필요하다. 본 연구에서 구축한 이용자 속성별 환승률 산정모형은 이용자의 속성별로 구분된 각 계층별 집계모형으로 이용자의 각 속성별, 계층별로 모형이 구분된다. 이와 달리 개별행태모형을 통해서 하나의 모형으로 구축하는 방법도 생각

할 수 있는데, 이는 향후 연구과제로 남기도록 한다.

## 참고문헌

1. 김집산·권용석(2005), “이용자 속성을 고려한 버스 서비스권역 결정모형의 개발”, 대한교통학회지, 제23권 제3호, 대한교통학회, pp.149~159.
2. 김종민(2005), 버스 이용자 인적 속성에 따른 버스 이용권역 결정 모형 개발, 서울대학교 공학석사학위논문.
3. 이경재(2004), 환승역사의 동선체계를 고려한 환승패널티 추정 : 서울시 지하철 사례, 서울대학교 공학석사학위논문.
4. 황연하(2007), “환승센터 설계기준 개발방향에 관한 연구”, 교통 기술과 정책, 제4권 제1호, 대한교통학회, pp.115~130.
5. TCRP Report 19(1996), Guidelines for the Location and Design of Bus Stops, Transportation Research Board, National Research Board.
6. TCRP Report 47(1999), A Handbook for Measuring Customer Satisfaction and Service Quality, Transportation Research Board, National Research Council.
7. TCRP Report 100(2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C.
8. Vuchic, V.R(2005) Urban Transit : Operations, Planning, and Economics, John Wiley & Sons, Inc.
9. Xia Jin(2005), Impacts of Accessibility, Connectivity and Mode Captivity on Transit Choice - Final Report, U.S. Department of Transportation.

✉ 주 작성자 : 송기태

✉ 교신저자 : 송기태

✉ 논문투고일 : 2008. 2. 23

✉ 논문심사일 : 2008. 4. 13 (1차)

2008. 6. 19 (2차)

✉ 심사판정일 : 2008. 6. 19

✉ 반론접수기한 : 2008. 12. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필