급행지하철 도입에 따른 승객통행시간 절감효과에 관한 연구

A Effects of Passenger's Time Saving on Express Subway Systems

김경철[1] 김원호[2]
Kim, Gyeng-Chul Kim, Won-Ho

ABSTRACT

Express subway system is one of the effective systems adapting to improve service level. Express trains make fewer passenger stop, using a double track or a bypass track, than local trains which served all stations. Express service has been very popular with passengers who travel uninterrupted between terminals, but is has generated some dissatisfaction among passengers who experience longer waiting time on stations.

This study aims at proposing the methodology to analyze changes of travel pattern in subway system adapting the express service and to estimate the time saving effects resulting from the installation of the express system. This methodology is evaluated in the fifth line under an assumption that express subway system are adapted.

Based on the results of the case study, the following conclusions are made:

First, express system reduce a total travel time of 13% or above.

Second, shorter headway of express trains increases the time saving effects on subway system, although it requests more waiting time to local train passenger.

Third, an installation of Express system to Seoul subway system can augment subway demand in Seoul metropolitan area.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 서울시 교통정책 목표는 도시철도를 중심으로 대중교통체계를 구축하여 지하철 수송분담율을 60% 이상으로 끌어 올리는 것이다. 또한 수도권 전철망이 추가 건설되면 철도가 수도권과 서울을 연결하는 주 교통수단이 될 전망이다. 그러나 2기 지하철의 건설에도 불구하고 지하철의 수송분담율은 기대에 미치지 못하고 있다. 이는 지하철의 연장이 늘어남에 따라 이용수요가 비례하여 증가하지 않다는 것을 의미한다. 이는 각 역마다 정차하는 기존의 일반지하철 시스템으로는

1 서울시정개발연구원 부연구위원, 정회원
2 서울시정개발연구원 연구원

이용자의 요구를 충족시키지 못하고 있는 것에 상당부분이 기인된 것으로 판단할 수 있다. 이제는 시각을 전환하여 지하철 운영의 서비스 향상과 다양화를 통해 수송수요 증대를 꾀해야 할 시점에 와 있다.

지하철이 갖는 장점은 승용차와 버스에 비해 정시성이 강하다는 것이다. 서울시 지하철의 표정속도(정차시간 포함)는 33㎞/h이며 도로의 평균통행속도는 약 20㎞/h로써 지하철의 통행속도가 단연 앞서고 있다. 그러나 지하철은 승용차와는 달리 많은 승객이 마을버스 등 타교통수단을 이용하여 접근해야하는 단점을 가지고 있다. 또한 노선간의 환승은 지하철의 이용을 저하시키는 한 요인이 되고 있다. 따라서 지하철을 이용한 통행시간은 지하철 통행시간과 접근시간, 그리고 환승시간이 포함되어야 한다. 서울시 지하철 이용객의 평균통행거리는 10㎞이지만 평균 통행시간은 30분으로, 버스의 평균통행시간과 비슷하다. 이는 지하철의 통행속도는 버스보다 높지만 접근시간과 환승시간을 고려하면 버스보다 빠르지 않다는 것을 의미한다. 따라서 지하철은 버스와 경합되는 노선, 특히 버스전용차로가 실시중인 노선에서는 버스에 대한 경쟁력이 없으며 노면교통이 혼잡한 도심구간과 일부 정체구간에서만 경쟁력을 가질 수 있게 되었다.

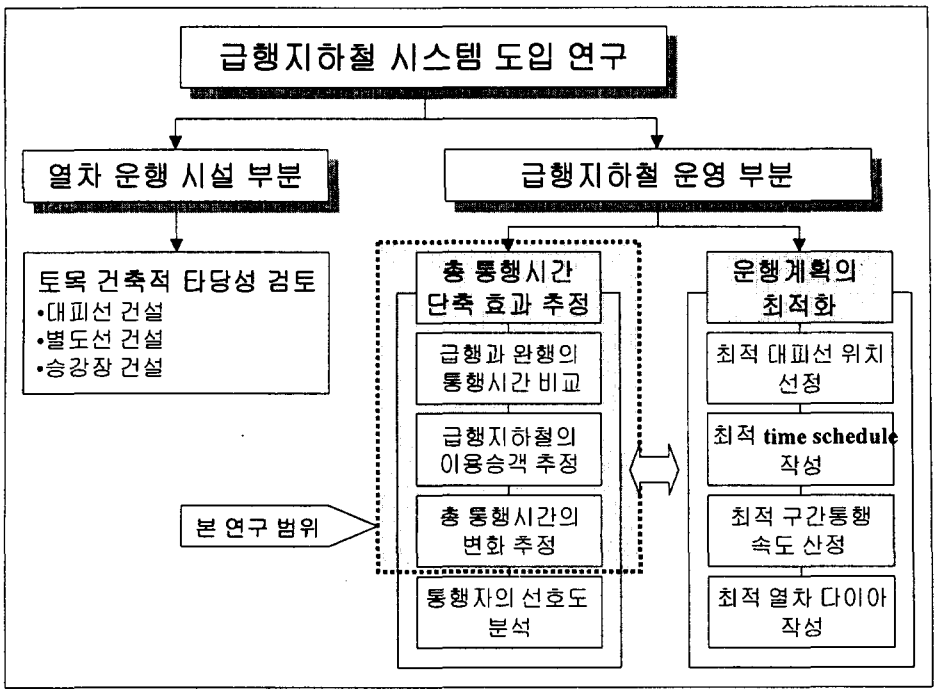
지하철이 모든 구간에서 경쟁력을 갖기 위해서는 접근시간의 단축과 더불어, 통행속도의 향상이 요구된다. 일본 동경도의 경우, 급행지하철 시스템을 도입하여 동경 도심을 중심으로 반경 50㎞이내 지역을 한시간 통행권으로 서비스를 제공하겠다는 목표 하에 계획을 수행중에 있다. 서울시도 지하철의 연장이 길어지고 장래 수도권 순환전철과 연결될 것을 감안하여 3기 지하철은 물론 기존의 지하철에도 급행지하철 시스템의 도입을 검토하여야 한다.

본 연구에서는 급행지하철의 도입에 앞서 급행지하철 이용의 통행특성을 소개하고, 급행지하철의 통행특성을 분석하기 위한 모형을 구축하고, 급행지하철의 도입으로 인한 통행시간 단축효과를 개략적으로 검토할 수 있는 방법론을 제시하였다. 또한 서울시 지하철 5호선을 대상으로 급행지하철을 도입하였을 경우, 통행시간 절감효과를 추정함으로서 급행지하철 도입의 타당성을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 범위

급행지하철의 도입에 관한 연구는 크게 열차운영과 열차시설 개선으로 양분할 수 있다. 열차운영 관련부문은 기존의 노선이나 신설되는 노선의 열차를 어떻게 운영할 것인가 하는 것이며, 열차시설 개선부문은 급행지하철 운행을 위한 대피선이나 별도의 노선, 승강장 등의 시설을 어떻게 개선할 것인가 하는 것이다. 본 연구에서는 대상노선이 모두 대피선 방식으로 시설개선이 가능하다는 전제에서 이루어졌으며 열차운영부분 중에서도 급행지하철의 도입으로 인한 총 통행시간 단축효과 측면만을 대상으로 하였다. 아래 그림은 전체 급행지하철에 관한 연구의 틀에서 본 연구가 차지하는 내용적 범위의 한계를 나타낸 것이다.

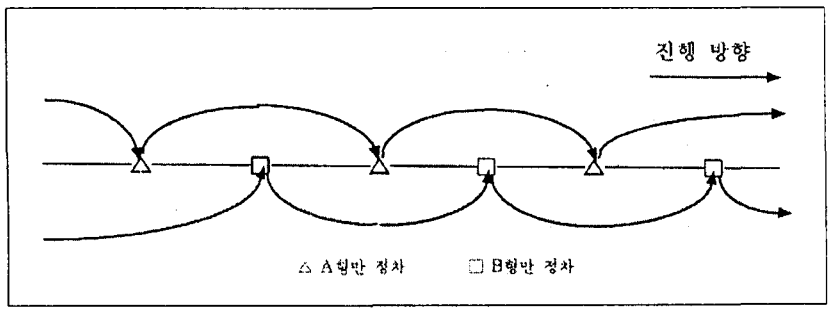
본 연구에서는 급행지하철을 도입하였을 경우, 각 역간의 통행시간을 산정하고 통행시간의 변화에 따른 급행지하철의 이용승객을 추정하여 총 통행시간의 변화를 추정하는 모형을 구축하였다. 또한 급행지하철을 운영하기 위해서는 대피선 공사비용을 고려한 운영계획을 최적화하고 이에 따른 최적열차다이아를 작성하여, 최적시스템 속에서 총 통행시간 단축효과를 분석하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 이용승객의 통행시간 단축효과만을 분석하는 것으로 연구의 범위를 한정하였다. 정밀한 모형이 되기 위해서는 통행자의 선호도가 반영되어야 한다. 통행자의 선호도란 급행지하철을 이용하기 위해 기다리는 대기시간의 가중치가 통행시간보다 높은 이용자의 기호와 급행지하철이 혼잡한 경우, 좌석확보여부가 통행수단선택에 영향을 미치기 때문이다.



<그림 1> 연구의 범위

2. 기존 연구 고찰

급행지하철에 관한 국내 연구로는 원제무, 황준환의 『급행지하철의 시간절감 효과분석 연구』가 있다. 이 연구에서는 급행지하철을 3호선에 도입하였을 경우, 시간단축효과에 대하여 분석하고 있다. 이 연구에서 사용한 급행지하철 방식은 홀짝제 시스템으로 모든 역을 격역제로 정차하는 방식으로 기존의 시설만을 이용하여 운행하는 방식이다. 격역제로 정차함으로써 단축되는 정차시간, 가감속시간으로 총 통행시간의 변화를 추정하였다. 그러나 대기시간과 주행속도 등을 평균 값으로 적용하여 총 통행수요에 적용함으로써 미시적인 통행시간 절감효과의 분석에 한계를 가지고 있으나 우리나라 최초의 급행운행에 관한 논문으로 평가되고 있다.



<그림 2>홀짝시스템의 운영개념도

일본의 토목학회는 급행과 일반지하철이 동시에 운행되는 노선에서 승차인원 배분량을 통행비용과 소요시간에 따른 시간가치를 곱하여 전체 선택가능한 열차 중에서 확률적으로 수송배분율을 구하여 분석하고 있다. 추정을 위한 모형식은 다음과 같다.

$$P_r = \frac{R_r^{-n}}{\sum_r R_r^{-n}}$$

$$R_r = C + WT$$

P_r : 수송배분율

R_r : 교통수단 r의 수송저항

n : 실측데이타(6)

W : 시간가치

T : 소요시간(환승시간, 좌석확보여부 등)

C : 통행비용

외국의 급행지하철 운행사례로는 일본 新宿線과 미국의 뉴욕지하철과 프랑스 지하철을 들 수 있다. 新宿線과 뉴욕지하철의 일부는 대피선 방식이며 그 이외는 별도 선로 방식으로 운영중에 있다.

新宿線의 경우 新宿~本八番간 23.5㎞, 12개 역사를 피크시 3분, 비피크시 5분의 운행간격으로 급행열차가 운행중이다. 3개역에 대피선을 설치하여 동경시내 동서간의 장거리 수요를 담당하여 기종점간 약 7~10분 정도의 통행시간을 단축하고 있으며 약 10,000명/일의 수요가 증가될 것으로 분석되었다.

3. 급행지하철 도입에 따른 교통분석 모형 구축

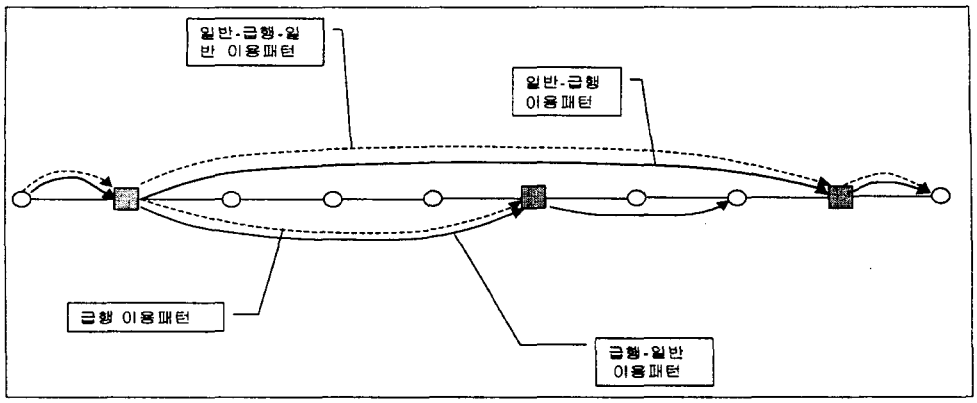
3.1 급행지하철의 이용특성

급행지하철은 대피선 방식과 별도선 방식으로 구분할 수 있다. 대피선 방식은 급행이 일반 지하철을 추월하기 위한 선로를 역에 설치하여 일반지하철이 정차하고 있을 때 급행이 통과하는 방식이며 별도선 방식은 급행지하철의 선로를 별도로 건설하고 역을 공유하는 방식이다. 별도의 선로와 대피선으로 인해 급행지하철은 일반지하철을 추월할 수 있으므로 주요 거점역만 정차하고 다른 역은 통과할 수 있다. 이로 인해 급행지하철은 정차시간과 가감속에 따른 시간을 줄일 수 있어 통행시간을 단축할 수 있다.

즉, 급행지하철이 일반지하철보다 표정속도가 높은 것은 차량자체의 성능차이 이외에 정차하는 역의 수가 적어 정차시간과 가감속시간이 적기 때문이다. 따라서 급행지하철의 효과를 극대화시키기 위해서는 정차역을 수가 적어야 한다. 그러나 정차역 수가 너무 적으면 이용승객 수요가 줄어들게 되므로 이에 대한 분석이 필요하다.

정차역의 수가 제한되므로 급행이 정차하지 않는 역의 이용객중 급행을 이용하는 승객은 일반지하철을 이용하여 급행 정차역까지 이동하는 시간과 급행정차역에서 대기하는 시간이 추가로 요구된다.

<그림 3>에서 보듯이 급행지하철을 이용하는 패턴은 4가지로 구분할 수 있다.



<그림 3> 급행지하철의 이용형태

<표 1> 급행지하철 이용패턴과 특성

이용패턴	출발역	도착역	환승 횟수	이용열차 (이용순서)	특 징
급행	급행정차역	급행정차역	0	급행지하철	급행지하철의 대기시간이 너무 길어지면 일반지하철을 이용하게 됨
일반-급행-일반	급행정차역	급행정차역	2	일반지하철 급행지하철 일반지하철	급행지하철을 이용하여 기대할 수 있는 통행시간의 단축이 2번의 환승시간보다 커야 함
일반-급행	일반정차역	급행정차역	1	일반지하철 급행지하철	급행지하철의 통행시간단축이 일반지하철에서 급행지하철로 갈아타는 시간을 상쇄할 수 있어야 함.
급행-일반	급행정차역	일반정차역	1	급행지하철 일반지하철	급행지하철의 대기시간과 일반지하철의 대기시간이 추가됨.

3.2 통행시간 및 대기시간의 변화 분석

① 주행시간 산정

지하철을 이용한 통행의 총 통행시간은 크게 지하철 접근교통의 통행시간과 지하철 통행시간으로 구성되며 지하철 통행시간은 대기시간, 주행시간, 환승시간으로 구성된다. 그러나 급행지하철은 한 노선을 대상으로 시행되므로 통행시간 분석에서는 타 노선과의 환승을 고려하지 않으므로 대기시간과 주행시간으로 구성된다.

$$T_{ij} = t_{ij} + w_{ij} + f_{ij}$$

T_{ij} : 총통행시간

t_{ij} : 주행시간(차내시간)

w_{ij} : 대기시간(정거장 대기시간)

f_{ij} : 환승시간

출발정차장 i에서 도착정거장 j까지의 통행시간은 다음과 같다.

$$t_{ij} = \sum_{i}^{j-1} t_{k,k+1}$$

$$t_{k,k+1} = \triangle t + \frac{d_{k,k+1}}{V} + \frac{V}{2}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right)$$

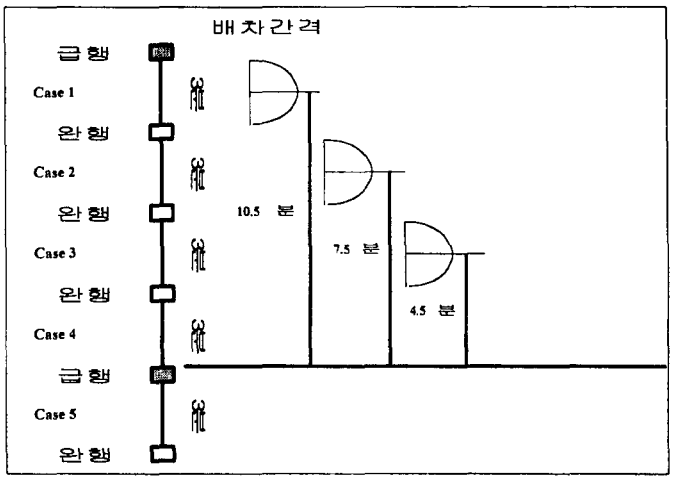
$\triangle t$	: k 정차장 정차시간
$d_{k,k+1}$	: 정차장 k와 k+1간의 거리
V	: 운행속도
a, b	: 가·감속도

주행시간은 정해진 노선을 정해진 속도로 주행하므로 계산이 용이하지만 총 통행시간은 주행시간과 대기시간의 합이므로 대기시간의 산정이 중요하다. 대기시간은 통행패턴과 운행빈도에 따라 달라진다.

② 대기시간에 따른 이용객의 변화

일반적으로 급행지하철은 장거리를 통행하는 수요를 담당하기 위해 도입되므로 지하철 이용수요의 평균통행거리가 약 10㎞인 점을 감안하여 볼 때, 운행횟수가 일반적으로 일반노선보다 적다. 운행빈도가 적어지면 급행지하철을 이용하기 위한 대기시간이 길어지게 되므로 일정거리 이상을 이동하는 이용객들로 급행지하철 이용객이 한정된다.

일반지하철을 15회/시간, 급행지하철을 5회/시간으로, 배차간격은 모두 3분으로 가정하면 급행과 일반의 배차계획은 <그림 4>와 같다. 또한 각 배차간격동안 승강장에 도착하는 승객들의 도착형태는 정규분포를 따른다고 가정한다.



<그림 4> 배차간격과 급행지하철의 대기시간

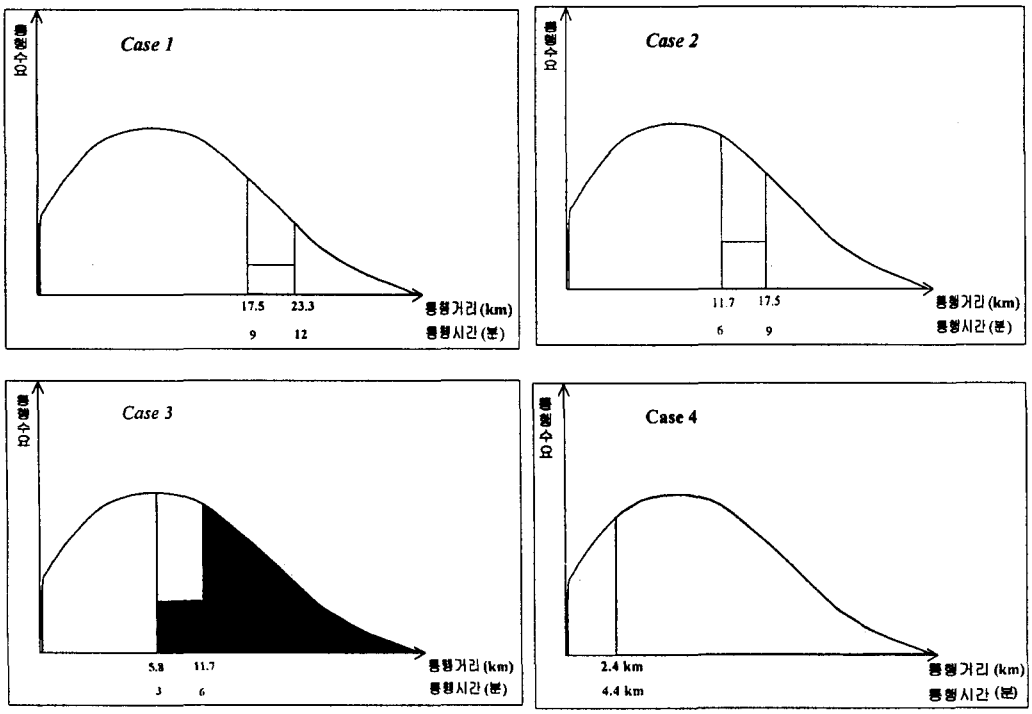
급행정차장에서 급행지하철은 완행이 3회 통과한 후에 도착하게 된다. 따라서 급행지하철을 이용하기 위해서는 평균적으로 4.5분의 대기시간이 일반지하철에 비해 더 요구된다.

3분동안 정차장에 도착하는 승객이 정규분포를 따른다고 가정하면 승객들은 지하철을 타기위해 평균 1.5분을 대기하여야 한다. 따라서 Case 1에 도착한 승객중 급행지하철을 이용하는 승객은 10.5분을 대기하여야한다. Case 3에 정차장에 도착한 승객은 4.5분 후에 급행지하철을 탈 수 있으며 Case 4에 도착한 승객중 급행지하철을 이용하는 승객은 1.5분을 대기하여야 하지만 일반지하철을 이용할 승객은 4.5분을 대기하여야 한다.

일반지하철의 표정속도를 33km/h, 급행지하철의 표정속도를 46km/h로 가정하고[3] 각 Case 별로 급행지하철을 타기 위한 대기시간과 그에 해당하는 통행거리는 다음과 같다.

Case 1의 경우, 급행을 타기위해 대기하는 시간은 10.5분이지만 일반지하철을 타기 위해서도 1.5분을 기다려야 하므로 급행과 일반의 대기시간 차이는 9분이다. 따라서 9분의 대기시간을 급행지하철이 상쇄하는 거리인 17.5km이상 통행하는 이용객들이 급행을 탈 것이다.

그러나 만일 20km 지점이 목적지인 경우, 급행에서 하차하여 일반지하철을 타기 위해 3분을 더 기다려야 한다. 따라서 그림에서 보듯이 17.5km와 23.3km 사이의 일정수요는 일반지하철을 이용할 것이며 12분거리에 해당하는 23.3km이상 이동하는 통행수요는 급행지하철을 이용할 것이다. Case 2와 3의 경우도 같은 과정으로 분석할 수 있다.



<그림 5> Case 별 급행지하철의 통행수요

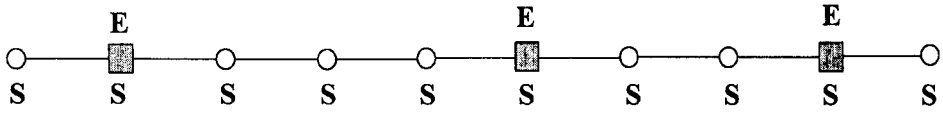
3) 미쓰비시 사가 서울시 지하철 9호선을 대상으로 대피선을 설치를 가정하여 시뮬레이션을 수행할 때 사용한 표정속도임.

Case 4의 경우, 급행지하철을 이용하기 위해서는 1.5분을 대기하며 일반지하철을 이용하기 위해서는 4.5분을 대기하여야 한다. 따라서 이 시간대의 이용객 중 급행지하철의 평균 역간 거리인 2.5㎞ 이상 통행하는 승객은 모두 급행지하철을 타게된다.

3.3 모형 정립

급행노선이 도입된 지하철 노선의 정거장의 유형은 일반과 급행이 모두 정차하는 역(이하 E type)과 일반만 정차하는 역(이하 S type)으로 구분되며 이에 따라 출발 정거장 i와 도착 정거장 j 간의 주행시간은 통행패턴에 따라 달라진다. <그림 3>에서 구분한 통행패턴에 따라 대기시간과 주행시간이 달라지게 된다.

급행지하철을 이용하는 것이 일반지하철을 이용하는 것보다 통행시간이 적게 소요될 때 급행지하철을 이용하게 되므로 급행지하철을 이용한 통행시간과 일반지하철을 이용한 통행시간을 비교하여 이용수요를 산정한다.



<그림 6> 급행정차장과 일반정차장

일반지하철의 총 통행시간은 다음과 같다.

$$t^{s}_{ij} = \sum_{i}^{j-1} t^{s}_{k,k+1} + w_s$$

그러나 급행지하철을 이용할 경우, 통행패턴이 다양해지므로 다음과 같이 더미변수를 이용하여 계산한다.

$$t^{e}_{ij} = \rho_1(\sum_{i}^{e'} t^{s}_{k,k+1}) + w_e + \sum_{e}^{e''} t^{e}_{k,k+1} + \rho_2(w_s + \sum_{e}^{j-1} t^{s}_{k,k+1})$$

$t^{s}_{k,k+1}$: 일반지하철이 k번째 일반정차장에서 다음 일반정차장까지의 통행시간

$t^{e}_{k,k+1}$: 급행지하철이 k번째 급행정차장에서 다음 급행정차장까지의 통행시간

w_s : 일반지하철을 타기 위한 대기시간

w_e : 급행지하철을 타기 위한 대기시간

w_s' : 급행에서 일반지하철로 갈아타기 위해 기다리는 시간(배차간격)

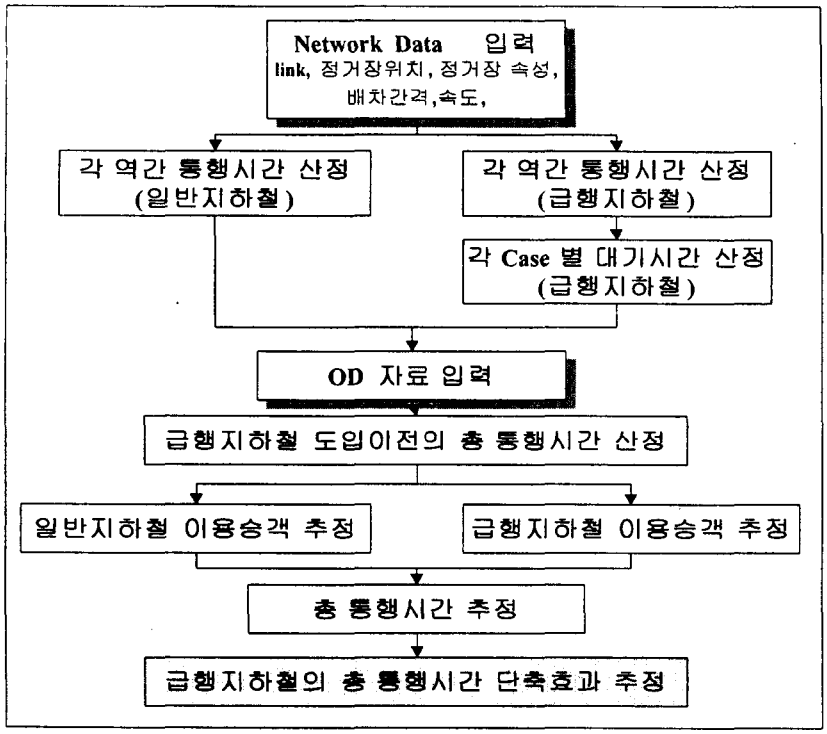
e' : i 에서 가장 가까운 급행정차장

e'' : j 에서 가장 가까운 급행정차장

ρ_1 : i 가 급행정차장일 경우 0, 그렇지 않으면 1

ρ_2 : j 가 급행정차장일 경우 0, 그렇지 않으면 1

위의 과정을 Case 별로 반복하여 급행지하철과 일반지하철의 통행시간을 구한 후, 이를 비교하여 급행지하철의 이용승객을 추정한다. 추정된 급행지하철과 일반지하철의 이용승객과 통행시간을 가지고 총 통행시간을 산정하여 급행지하철의 시간단축효과를 추정한다.



<그림 7> 급행지하철 통행분석의 틀

4. 사례연구

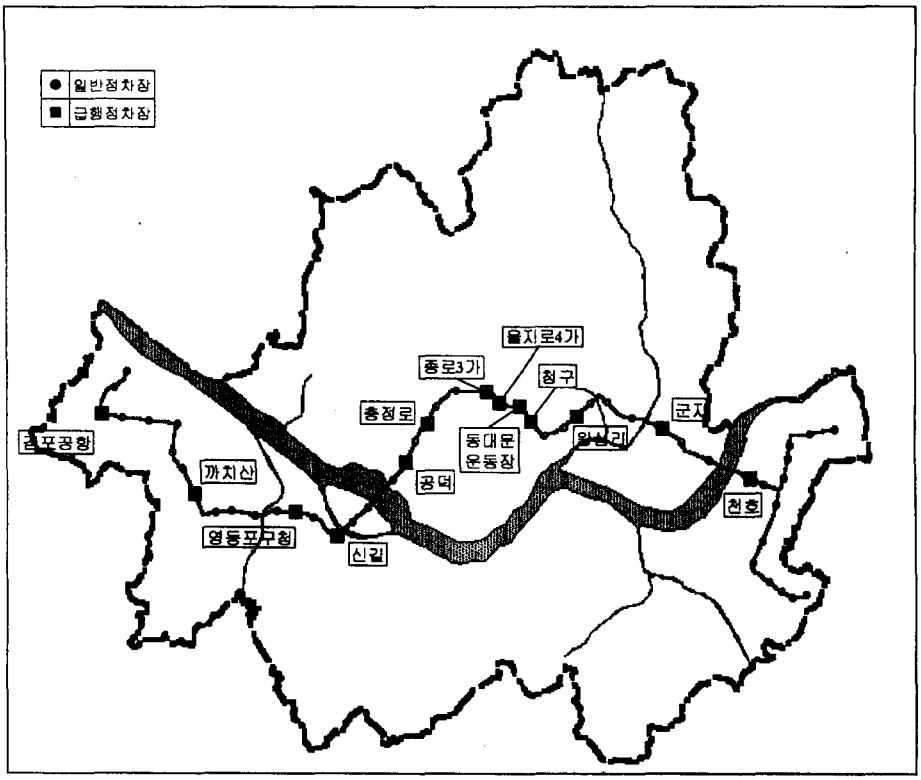
4.1 사례대상노선 개요 및 분석 전제

① 사례대상노선

본 연구에서는 서울시 2기 지하철 5호선을 대상으로 사례분석을 시행하였다. 5호선은 서울시 지하철 노선중 가장 긴노선으로 서울의 강동, 강서, 도심을 연결하고 있다. 특히 김포공항과 연결되어 있어 장거리 이용객이 타 노선에 비해 비교적 많은 노선이다.

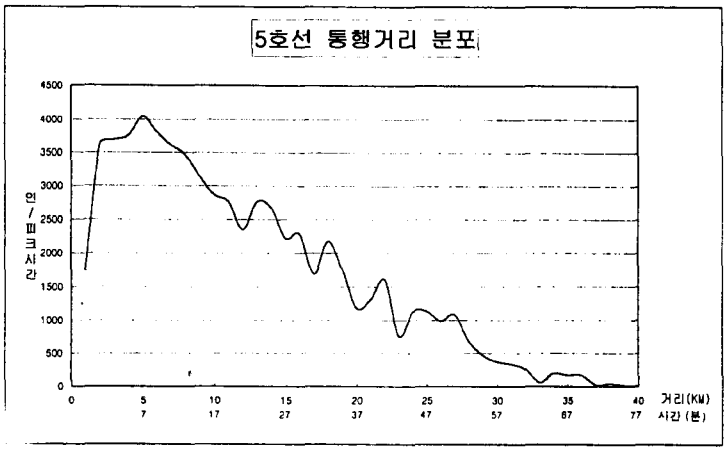
<표 2> 5호선 현황

역수	51개
환승역	13개
연장	52.1㎞
표정속도	32.6㎞/h
수송인원	320천명/일



<그림 8> 5호선 현황도 및 급행정차역

현재('97년 11월) 지하철 5호선의 승객통행패턴은 다음 그래프에서 보듯이 승객의 절반이상이 15km 미만의 통행을 하고 있다. 평균 통행거리는 11.9km이며 평균 통행시간은 약 19분으로 분석되었다. 이는 서울시 지하철 평균거리인 10km보다 약 2km 높은 수치로써 5호선의 특성이 반영되어 있다. 이러한 노선에 급행지하철 시스템을 도입하면 총 통행시간의 단축효과가 다른 노선에 비해 클 것으로 예상된다.



<그림 9> 5호선 거리별 통행분포

② 분석의 전제

본 연구에서는 다음과 같은 가정을 전제하고 사례분석을 실시하였다.

- 지하철 이용승객은 통행시간이 단축되는 통행패턴을 선택함.
- 급행지하철의 도입으로 인한 5호선의 수요 증가는 없음.
- 5호선 방화역에서 강동역까지를 대상으로 분석을 시행함.
- 현재 5호선의 환승역과 김포공항역에(총 13개역) 급행지하철이 정차함.
- 승강장에 도착하는 승객들의 분포는 정규분포를 따름.
- 급행이용 승객 중 50%가 열차 time schedule을 숙지하고 있어 이들의 대기시간은 1.5분 이내로 가정함.

4.2 분석결과

① 입력자료

<표 3> 5호선 급행지하철 도입효과 분석을 위한 입력 자료

자료	일반지하철	급행지하철
주행속도	50㎞/h	60㎞/h
가속도	3.0㎞/h/s	3.0㎞/h/s
감속도	3.5㎞/h/s	3.5㎞/h/s
정차시간	30초	30초
배차간격	3분	12분
O-D 자료	지하철 월간 운영 전산자료('97년 11월)	

② 분석결과

급행지하철의 운행빈도를 5회/시간(12분 시격), 7.5회/시간(8분 시격), 10회/시간(6분 시격)으로 변경하면서 총 통행시간의 절감효과와 급행지하철 이용승객의 수를 비교하였다. 또한 OD자료는 월간자료를 피크시 자료(피크율 200%)로 환산하여 입력하였다.

<표 4> 5호선 급행지하철 도입에 따른 시간단축 효과 (단위:시간)

	5 회	7.5 회	10 회
급행지하철 이용승객(인)	38,892 (58.6%)	42,440 (64%)	47,006 (70.8%)
일반지하철 이용승객(인)	27,470 (41.4%)	23,920 (36%)	19,356 (29.2%)
일반만 운행시 총 통행시간	24,403	24,403	24,403
급행 혼용운행시 총 통행시간	21,229	20,921	20,501
개선 효과	3,174 (13%)	3,482 (14.3%)	3,902 (16%)

급행지하철을 도입하였을 경우, 총 통행시간의 개선효과는 급행열차의 운행빈도가 5회(12분 시격)인 경우에 3,174시간/피크1시간 이 절약되어 13%의 시간절감효과가 있는 것으로 분석되었으며 급행열차가 10회 운행시 16%의 시간절감효과가 있는 것으로 분석되었다. 급행지하철의 운행빈도가 증가할수록 급행지하철의 이용객은 증가하지만 개선효과가 두드러지지 않는 이유는 급행지하철의 운행빈도를 높이게 되면 급행지하철을 타기 위한 대기시간이 감소하여 총 통행시간은 줄어들게 되는 반면, 급행지하철을 이용하지 않는 단거리 승객들의 대기시간은 증가하기 때문에 총 통행시간의 감소는 상쇄되기 때문이다.

5. 결론

급행지하철의 도입에 따른 총 통행시간 단축효과는 급행지하철의 운행빈도에 따라 다르지만 13%이상이 효과가 있는 것으로 분석되었다. 비록 시스템 전체적으로 대기시간은 증가하지만 통행속도의 향상으로 인한 총 통행시간의 감소는 이를 훨씬 능가하였다. 통행속도의 향상은 각 역마다 정차하지 않고 주요 거점역과 환승역에서만 정차하기 때문에 발생되는 효과이다.

사례분석을 통해 얻은 결론으로는 첫째, 급행지하철의 도입은 지하철 시스템의 총 통행시간을 단축할 수 있으며, 둘째, 급행지하철의 운행빈도와 총 통행시간의 단축효과는 운행시격이 6분까지는 비례하는 것으로 분석되었다. 셋째, 급행지하철의 도입은 대상 노선의 전체적인 수요를 증가시킬 것으로 예상된다. 비록 사례연구에서는 통행시간의 단축에 따른 전환수요를 고려하지 않았지만 급행지하철의 도입은 지하철 노선의 수요를 증진시킬 것으로 예상된다.

본 연구에서는 급행지하철의 도입 효과를 개략적으로 분석하였기 때문에 승객의 개별적인 행태 특성과 정성적인 요인을 고려하지 못하였으며 지하철의 운행계획을 임의로 설정함으로 인해 시스템의 최적화를 이루지 못하였다. 따라서 향후 연구과제로는 첫째, 승객의 개별적인 행태 특성을 반영하기 위해 이용객의 연령, 직업, 소득 등 개별적인 자료와 급행지하철의 혼잡도로 인한 승객들의 거부감 등을 통행저항계수로 고려하는 연구가 필요하다. 둘째, 서울시 전체 교통시스템 틀에서 급행지하철의 도입효과를 분석함으로써 타 교통수단에서 전환되는 교통수요를 추정할 수 있는 연구가 요구되며, 셋째, 급행지하철의 수요추정에 앞서 급행지하철의 배차간격, 운행빈도, 대피선 위치, 정거장 개수와 위치 등을 최적화시키는 연구가 필요하다.

참고문헌

1, 김경철 (1998), "해외 도시철도의 계획과 건설", 서울시정개발연구원

2, 서울특별시 도시철도공사 (1997), " '97 도시철도수송계획"

3, 원제무, 황준환 (1997), "급행지하철의 시간절감 효과분석 연구", 국토계획, 제32권 제6호

4, 土木學會 編著 (1984), "交通需要豫測ハンドブック, 技報堂出版株式會社

5, 吉江一雄 (1980), "電車輸送と建設", 交友社

6, William W. Hay (1982), "Railroad Engineering, Second Edition", John Wiley & Sons, Inc.

7. Mitsubishi Electric Corporation(1997), 서울 3기 지하철 9호선의 급행운행 등에 관한 운행 시뮬레이션 자료