

■ 論 文 ■

도시철도 정차시간 분석을 통한 모형식 개발에 관한 연구 (서울시 도시철도 4호선을 중심으로)

Development of Station Dwelling Time Estimation Model for Seoul Metro Line No. 4

박 정 수

(한양대학교 도시대학원 박사수료)

신 동 희

(한국 철도기술 연구원)

원 제 무

(한양대학교 도시대학원 교수)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 내용 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. 문헌 고찰</p> <p>1. 철도 용량의 기본개념</p> <p>2. 정차 시간의 기본개념</p> <p>III. 선행연구 고찰 및 연구 착안점 제시</p> <p>1. 선행 연구 고찰</p> | <p>2. 연구의 착안점 제시</p> <p>IV. 자료수집 및 정차시간 예측 모형 개발</p> <p>1. 자료 수집</p> <p>2. 정차 시간예측 모형 개발</p> <p>V. 모형 검증</p> <p>VI. 결론 및 향후 연구 과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : Line Capacity (선로용량), Line Headway(선구시격), Station Headway(역사시격), Dwelling Time(정차시간), 지하철 4호선(Seoul Metro Line NO.4)

요 약

수도권 지하철의 경우 역사의 규모, 역간 거리가 짧으며, 수요가 첨두시에 집중되는 경우는 선구 시격(Line Headway)보다는 역사 시격(Station Headway)이 선로 용량(Line Capacity)산 정시에 적용 되는 시격이다. 역사 시격을 결정하는 요소들은 기계의 고정 값과 정차 시간이 있다. 다른 요소들은 이미 정해지거나 고정적인 값들이지만 수요에 따라 변화하는 정차 시간은 역사 시격에 가장 큰 영향을 준다. 본 연구에서는 역사 시격에 영향을 주는 요소들을 분석 후 수요에 따라 변화하는 정차 시간 예측 모형 식을 도출하였다.

Metropolitan Subway, the volume of station, distance between station is short, when the demand is concentrated during morning peak periods, the Headway that than Line Headway in which Station Headway is applied to Station Capacity computation be. The factors to determine the Station Headway have a fixing price of the machine and the Dwell time.

Other factors are decided already or fixing price but the Dwell time that change according to demand cause the biggest effect at Station Headway.

After analyze constituents that influence to Station Headway in this study, calculated correct Station Capacity drawing estimating dwell time model that change according to demand.

1. 서론

1. 연구의 내용 및 목적

수도권 지하철은 2004년을 기준으로 서울시민 교통량의 35.8%를 수송하는 중요한 교통수단이다. 이렇듯 대중교통에서 큰 비중을 차지하고 있는 철도 수송시스템에 있어 용량은 승객 취급능력의 매우 중요한 측정도구이고, 운영계획의 기본이 된다.

철도 용량의 정확한 측정은 매우 중요하며 철도 선로의 용량은 그 노선을 운영하는 열차편성의 빈도수에 의해서 결정된다. 노선의 빈도수는 지역 간 철도의 경우(선구 시격), 도시 철도의 경우(역사 시격)에 의해서 결정되어지는데, 지역 간 철도의 경우 역간의 길이가 길고 역사의 규모가 크기 때문에 역사 시격(Station Headway)보다는 선구 시격(Line Headway)이 용량에 더욱 영향을 미친다. 반면 수도권 지하철의 경우 역간 거리가 짧고 역사의 규모가 작으며 첨두시 승객의 집중으로 인하여 역사 시격이 더욱 중요시 된다. 첨두시 수도권 지하철에서 열차의 운행 회수가 다른 경우가 발생하는데, 이는 선로 용량의 용량 산정 시 역사 시격을 제대로 고려하지 않았기 때문이다.

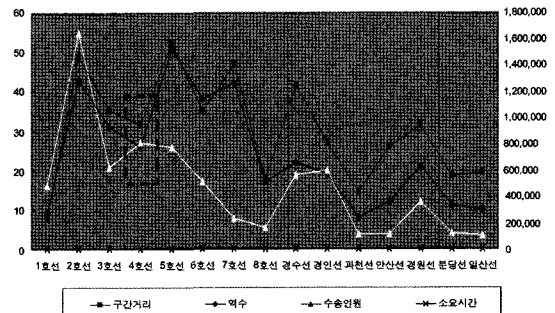
역사의 시격이 증가하는 이유는 여러 가지가 있으나, 그 중 수요의 증감으로 인하여 변화하는 요소는 정차 시간(Dwelling Time)을 들 수 있다. 일반적으로 수요가 증가할 경우 열차의 정차 시간이 길어지고, 이로 인하여 역사 시격이 달라진다.

이러한 현상으로 인하여 노선 전체 용량에도 영향을 미친다. 수도권 지하철 역사나 노선 신설 시 계획 단계에서 역사 시격과 선구 시격이 균형적으로 조화를 이루어야 하나, 현재 서울시 수도권 지하철의 경우는 수요 변화에 따른 선로 용량을 정확히 산출하지 못하고, 대략적인 값을 사용하고 있다.

이에 본 연구에서는, 실제 조사를 통하여 수도권 지하철에 영향을 주는 시격을 살펴보고, 역사 시격 산정 시 중요한 요소인 정차 시간에 영향을 주는 사항들을 살펴본 후, 사례연구를 통하여 수도권 지하철 4호선의 정차 시간 예측 모형 식을 개발하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

2003년 수도권 지하철 주요 운행 지표 <그림 1> 을



<그림 1> 2003년 수도권 도시철도 현황

살펴보면, 1,2기 지하철 및 국철 운행구간의 총 노선거리가 388.4km이며, 노선별로는 5호선이 52.3km로 가장 길고, 그 다음은 2호선이 48.8km 순이다. 수송인원의 경우는 지하철 2호선이 1,794천명/일, 그 다음은 4호선 649천명/일 으로 가장 많다. 노선 운행 소요시간은 2호선과 5호선이 모두 80분대로서 가장 많이 소요되고 있고 지하철 4호선의 경우는 53분대(당고개~남태령 구간)이며, 표정속도의 경우, 지하철과 도시철도는 국철에 비해 10~20km/h정도 낮으며, 지하철 2호선 성수와 신철동을 잇는 지선을 제외하고는 평균 30km/h 정도를 나타내고 있다.

수도권 지하철 노선 중 수송인원이 가장 많은 지하철 2호선을 자료 수집 노선으로 선택하여야 하나, 지하철 2호선의 경우 2005년에 신호 시스템이 고정 폐색 신호에서선로 용량에 관계없는 이동 폐색신호 시스템으로 전환을 계획하고 있다. 이에 본 연구에서는 두 번째로 수송 인원이 많고, 지하철 2호선과는 다른 시스템인 TGIS(Traffic General Information Systems)가 장착되어 있는 수도권 지하철 4호선을 자료 수집 대상 노선으로 선택하였다.

정차 시간에 영향을 주는 변수는 TCRP(Transit Cooperative Research Program), Report 13 : Rail Transit Capacity, TRB, 1996. 및 TCRP(Transit Cooperative Research Program), Report 100 : Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2003에서 제시하고 있는 다섯 가지 변수(승차 인원, 하차 인원, 플랫폼 대기자 수, 플랫폼 승객수, 차량내 혼잡)로 하였다.

이 다섯 가지 변수에 대한 설명은 다음과 같다.

첫째 : 승차 인원

- 열차에 승차 하는 인원이 많을수록 정차 시간은 증가 한다.

둘째 : 하차 인원

- 열차에 하차 하는 인원이 많을수록 정차 시간은 증가 한다.

셋째 : 플랫폼 대기자 수

- 플랫폼에 대기하고 있는 대기인원이 많을수록 하차하는 인원과의 상충으로 인하여 정차 시간이 증가 한다.

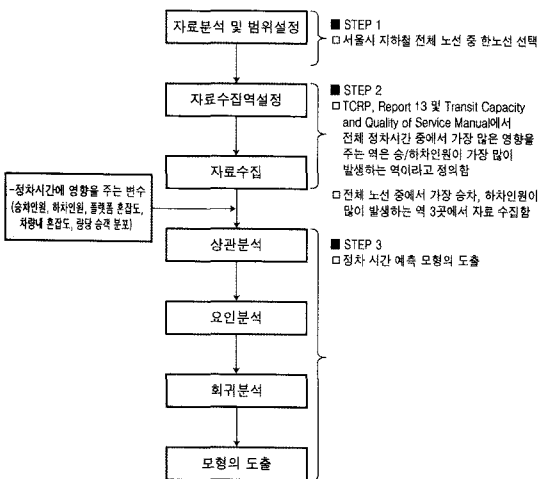
넷째 : 차량내 혼잡

- 열차가 플랫폼에 도착할 때 차량 내에 탑승해 있는 인원이 많을수록 승차하는 인원과의 상충으로 정차시간이 증가 한다.

다섯째 : 량당 승객수

- 출입구나 환승구 근처의 차량에 승객이 집중해 있기 때문에 승차, 하차 시간이 증가하여 정차 시간이 증가 한다.

〈그림 2〉는 본 연구에서 수행한 연구의 흐름도 를 나타낸다.



〈그림 2〉 연구 수행 과정

II. 문헌 고찰

1. 철도 용량의 기본개념¹⁾

일반적으로 철도 선로용량의 기본 개념은 한 시간 동안 한 방향으로 하나의 트랙이 수송할 수 있는 최대 열차의 운행회수를 의미한다. 연구에서 사용되어지는 용량은 개념상 설계용량(Design Capacity)과 가능용량(Achievable Capacity)으로 구분된다. 설계용량(Design Capacity)

은 이론적인 최대 용량으로 각 량당 승객들이 균일하게 모두 차있을 경우로 가정한 용량이다. 사실상 이러한 현상은 발생하지 않고 실제 상황과는 차이가 있다. 여기에 실제상황을 고려한 용량이 가능용량(Achievable Capacity)으로 이것은 모든 객차에 승객들이 균일하게 모두 탑승해 있다는 가정이 아니라 침두 시간에 유동적인 승객을 고려한 용량이다. 본 연구에서 사용되어지는 용량은 가능용량(Achievable Capacity)이다. 여기서 선로 용량(Line Capacity)은 다음과 같이 표현 될 수 있다. 선로 용량은 열차의 빈도수에 의해 결정되어진다.

$$C = \frac{3600}{\text{Headway}} \quad (1)$$

여기서, C : 선로 용량

Headway : 선구, 역사(Headway)

선구 시격(Line Headway)은 안전 제동 거리, 제동 거리, 운행속도를 초과하여 운행한 거리에 최소운전 시격 식에 대입하면 식(2)과 같이 표현된다.

$$H(l) = \frac{L}{v_l} + \left(\frac{100}{K} + B \right) \left(\frac{v_l}{2d_s} \right) + \frac{a_s t_{os}^2}{2v_l} \left(1 - \frac{v_l}{v_{\max}} \right) + t_{os} + t_{jl} + t_{br} \quad (2)$$

여기서, $H(l)$: 선구 시격

L : 열차의 최대 길이(m)

v_l : 선로에서의 열차 속도(m/s)

K : 제동 안전 계수(보통 75%사용)

B : 열차 간격 안전 계수

t_{os} : 과속감지 및 조절장치 작동시간

t_{br} : braking jerk 손실시간(sec)

t_{jl} : 출발완화 시간(sec)

a_s : 선로의 가속도(m/s^2)

d_s : 서비스 감속도(m/s^2)

역사시격(Station Headway)은 선구시격(Line Headway)에 플랫폼 접근속도의 변화, 열차가 플랫폼을 빠져나가는 시간, 플랫폼 정차 시간, 운영 여유 시간을 추가하여 산정 한다. 열차가 플랫폼을 빠져나가는

1) TCRP Report 13, "Rail Transit Capacity", TRB, 1996

시간(Time to Clear Platform)은 식(3)과 같다.

$$t_c = \sqrt{\frac{2(L+D)}{a_s}} \quad (3)$$

플랫폼내의 역사시격(Station Headway)식은 식(4)과 같다.

$$H(l) = \sqrt{\frac{2(L+D)}{a_s}} + \frac{L}{v_l} + \left(\frac{100}{K} + B\right) \left(\frac{v_l}{2d_s}\right) + \frac{a_s t_{os}^2}{2v_l} \left(1 - \frac{v_l}{v_{max}}\right) + t_{os} + t_{jl} + t_{br} + t_d + t_{om} \quad (4)$$

여기서, $H(l)$: 역사 시격

L : 열차의 최대 길이 (m)

v_l : 선로에서의 열차 속도 (m/s)

K : 제동 안전 계수 (보통 75%사용)

B : 열차 간격 안전 계수

t_{os} : 과속감지 및 조절장치 작동시간

t_{br} : braking jerk 손실시간 (sec)

t_{jl} : 출발완화 시간 (sec)

a_s : 초기 가속도 (m/s^2)

t_d : 정차 시간 (sec)

t_{om} : 운행 여유 시간 (sec)

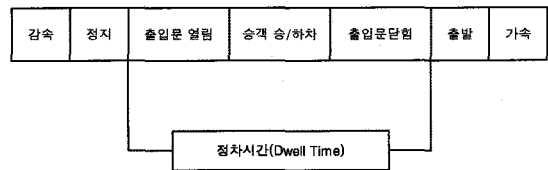
d_s : 서비스 감속도 (m/s^2)

선로용량(Line Capacity)산정 시 사용한 식은 역사시격(Station Headway)식을 이용하였다. 역사시격(Station Headway)식을 살펴보면 기계 고정 값과 수요 변화에 따라 변화는 정차 시간에 의해 선로 용량이 결정된다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 수요 변화에 따라 변화 하는 정차 시간 예측 모형 식을 개발하는 것이 본 연구의 진행 방향이다.

2. 정차 시간(Dwell Time)의 기본 개념

정차시간은 <그림 3>에서 나타나듯이 3부분으로 구성되어 있으며, 열차가 정차 한 뒤 문이 열리는 시간, 승객의 승차 및 하차시간, 문이 닫힌 후 열차출발 전까지 걸리는 시간의 합이다.

승객의 승차, 하차시간을 제외한 나머지 두 요소들



<그림 3> 정차시간 개요

의 시간은 고정적으로 정해져있다. 그러므로 정차 시간은 승객의 승차, 하차 시 flow Time에 의해 결정된다고 할 수 있다. 승객의 승차, 하차가 한 방향으로 이루어지기 때문에 승차와 하차 간의 상충이 발생하고 또한 승객이 승차 시 차량내의 혼잡상태, 하차 승객은 역사의 혼잡 상태에 따라 정차 시간이 달라 질 수 있다.

III. 선행 연구 고찰 및 연구 착안점 제시

1. 선행 연구 고찰

국내 학계에서의 이론적인 연구는 김상역(2002)에 의해 처음으로 시도 되었다. 김상역(2002)은 선로 용량에 영향을 주는 역사 시격과 선구 시격 중에서 수도권 지하철처럼 역의 규모가 작고 수요가 집중도가 생기는 이유로 인하여 역사 시격을 선로 용량 산정 시 기준이 되는 시격으로 보았다. 역사 시격에 영향을 주는 요소 중에서 수요 변화에 따라 변화하는 정차 시간 예측 모형 식을 산출 하였다. 정차 시간에 영향을 주는 변수는 승차 인원, 하차 인원으로 하여 정차 시간 예측 회귀 모형 식을 산출하였다.

$$DT = 1.629 + 4.897 \times (Al\ Bo) (R^2 = 0.93) \quad (5)$$

(1.191) (28.192)

여기서, DT : 정차 시간

Al Bo : 승차 인원, 하차 인원의 합

국외에서는 ALLE, P.(1981)는 정차 시간이 전체 열차 빈도수에 미치는 영향을 조사하여 용량을 산정하는 과정에 적용을 한 연구이다. Queens Plaza Station에서 실질적인 정차 시간 데이터를 수집하고 통계적 확률 이론을 이용하여 정차 시간을 예측하였다. 예측된 정차 시간은 실제 평균의 95%의 신뢰구간을 가지는 평균과 표준편차를 구하여 상한치의 합을 최대 정차 시간으로 보고 용량 산정을 위한 Simulator에 적용을 하였다.

LIN, TYH-MING과 WILSON, NIGEL, H. M. (1992)은 회귀분석을 통하여 Massachusetts의 LRT의 정차 시간을 예측하였다. 정차 시간에 영향을 주는 변수로는 승차 인원, 하차 인원, 출발 대기자수로 하는 회귀분석을 통하여 정차 시간 예측 모형 식을 산출하였다.

• one - car train

$$DT = 9.24 + 0.71 \times \text{Tons} + 0.52 \times \text{Toffs} + 0.16 \times \text{LS} \quad (R^2 = 0.62) \quad (6)$$

여기서, DT : 정차 시간

LS : 도착 시 입석 인원

Tons : 승차 인원

Toffs : 하차 인원

• two - car train

$$DT = 13.93 + 0.27 \times \text{Tons} + 0.36 \times \text{Toffs} + 0.0008 \times \text{SUMasls} \quad (R^2 = 0.70) \quad (7)$$

여기서, DT : 정차 시간

SUMasls : 출발시 입석 인원과 하차 인원과 도착시 입석 인원 중 하차 인원

Tons : 승차 인원

Toffs : 하차 인원

William H.K Lam(1988)은 홍콩 MTRC(Mass Transit Railway Corporation)의 역사 중 가장 혼잡한 역사 3곳을 택하여 정차 시간에 영향을 주는 자료를 수집한 후 정차 시간 예측 하는 모형 식을 만들었다. 홍콩의 MTRC는 총 38개의 역사로 이루어져 있으며, 한 열 차당 8량으로 구성 되어 있고 한 량 당 출입구는 5개이다. 관측 자료는 승차 인원, 하차 인원, 정차 시간으로 하였고, 승, 하차인원에 따른 정차 시간을 모형화 하였다.

〈표 1〉 정차 시간 예측 모형식

Station	R ²	예측된 모형식	Sample size
Quarry Bay	0.89	DT = 9.21+0.0260Al+0.0141Bo	44
Kowloon Tong	0.87	DT = 10.1+0.0215Al+0.0182Bo	41
Mongkok	0.85	DT = 11.2+0.013Al+0.0183Bo	45

모형은 역사에서 수집된 자료를 이용하여 각 역의 모형을 예측한 것이다. 각 역사에서 수집된 모든 자료를 이용하여 예측한 식(8)과 같다.

$$DT = 10.5 + 0.021Al + 0.016Bo \quad (R^2 = 0.75) \quad (8)$$

여기서, DT : 정차 시간

Al : 승차 인원

Bo : 하차 인원

Andre Puong(2000)은 MTBA(Massachusetts Bay Transportation Authority) Red Line에서 특히 역에서 열차 정차 시간은 노선 운행 시간과 배차 간격의 변수와 서비스 품질에 영향을 미친다고 보았다. 승객의 승차, 하차 차량 내부의 혼잡도가 정차 시간에 영향을 작용한다고 보고, 자료들은 Red Line의 Kendall역과 South Station역에서 99년 봄과 가을 동안 아침 피크 시에 데이터를 수집하였다. 정차 시간에 영향을 주는 변수로는 승차 인원, 하차 인원, 차량 내 혼잡도로 하여 총 54개의 데이터로 통계적 기법인 회귀분석을 이용하여 정차 시간 예측 모형 식을 도출 하였다. 도출된 정차 시간 예측 모형 식은 식(9)과 같다.

$$DT = 12.22 + 2.27 B_d + 1.82 A_d + 6.2 \cdot 10^{-4} TS_d^3 B_d \quad (12.82) \quad (7.11) \quad (9.07) \quad (4.70) \quad (R^2 = 0.89) \quad (9)$$

여기서, DT : 정차 시간

Bd : 승차 인원

Ad : 하차 인원

Tsd : 각 량당 승객 수

Chung - Yu Cheung, C.F.Lam(2002)은 홍콩의 LRT의 정차 시간 예측 모형 식을 도출하였다. 혼잡역 선정 방법은 하루의 두 번씩 발생하는 첨두 시간 중 승객의 집중 현상이 가장 많은 오전 첨두시 가장 혼잡한 역을 설정 하였다. 첨두시 가장 혼잡역 Hung Shui Kjus, Hong Lok Station 두 곳에서 정차시간에 영향을 주는 변수로는 열차 도착 시 탑승해 있는 승객 수, 승차 인원, 하차 인원, 열차의 정차시간을 조사하여 통계적 기법인 회귀분석을 통하여 정차시간 모형

〈표 2〉 정차 시간 예측 모형식

Station	R ²	예측된 모형식	Sample size
HungShui Kjus	0.8041	DT = 6.6014+0.6772A1+0.6809B0	81
Hong Lok	0.8003	DT = 7.9352+0.7856A1+0.7052B0	88

식을 도출하였다. 도출된 정차 시간 예측 모형 식은 〈표 2〉과 같다.

2. 연구의 착안점 제시

문헌 고찰 및 기존 연구들을 살펴 본 결과 선로 용량 (Station Capacity)에 영향을 주는 시격은 도시 철도 인 경우 역사 시격(Station Headway)이 선로 용량 산정(Line Capacity)시 이용되는 시격임을 알 수 있었다. 김상역(2002)은 처음으로 선로 용량 산정 시 역사 시격을 이용하여 선로 용량을 산정하였으나, 역사 시격에 영향을 주는 변수 중에 정차 시간에 영향을 주는 다섯 가지 변수(승차 인원, 하차 인원, 플랫폼 대기자 수, 각 량당 승객 수, 차량 내 혼잡)중에서 승차 인원, 하차 인원만을 변수로 하여 정차 시간 예측 모형 식을 도출하였다. 이에 본 연구에서는 정차 시간에 영향을 주는 다섯 가지 변수를 다 조사하여 정확한 정차 시간 예측 모형 식을 도출하고자 한다.

〈표 3〉 정차 시간에 영향을 주는 변수 설정

외국 사례	국내 사례	본 연구
- 승차 객의 수 - 하차 객의 수 - 플랫폼 대기자 수 - 차량 내 혼잡 - 각 량당 승객의 수	- 승차 인원 - 하차 인원	- 승차 객의 수 - 하차 객의 수 - 플랫폼 대기자 수 - 차량 내 혼잡 - 각 량당 승객의 수

Ⅳ. 자료수집 및 정차시간 예측 모형 개발

1. 자료 수집

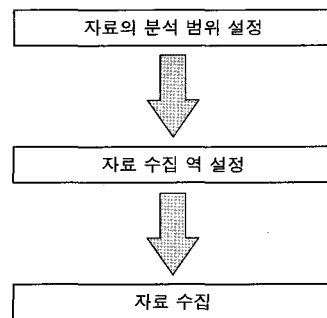
자료 수집의 일반적인 절차는 〈그림 4〉와 같다. 수도권 지하철 노선 중에서 4호선을 자료 수집 대상 노선으로 설정하였다.

자료의 조사는 2004년 11월 한 달 동안 매주 금요일(11월 5일, 11월 12일, 11월 19일, 11월 26일)의 침두시

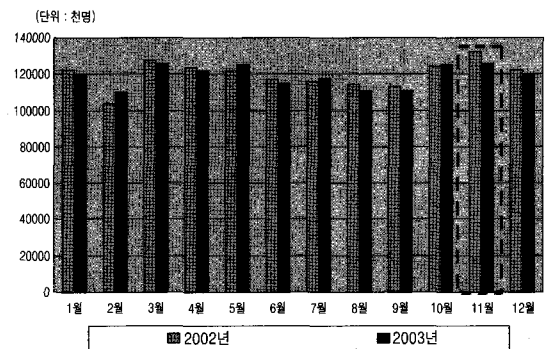
7시 30분~8시 30분으로 조사하였다. 조사 역은 수도권 지하철 4호선의 침두시 가장 승차, 하차가 인원이 많이 발생하는 역 3곳을 선정하였으며, 조사 항목은 정차 시간에 영향을 주는 다섯 가지 변수 중, 승차 인원, 하차 인원, 플랫폼 대기자 수, 각 량당 승객수, 차량 내 혼잡을 조사하였다.

금요일 수도권 지하철 4호선 역 중에서 가장 많은 승차, 하차 인원이 발생하는 역은 동대문 운동장, 동대문, 충무로역이다. 정차 시간에 영향을 주는 변수에 대한 데이터를 수집할 역은 혼잡역 3곳에서 데이터를 수집하였다.

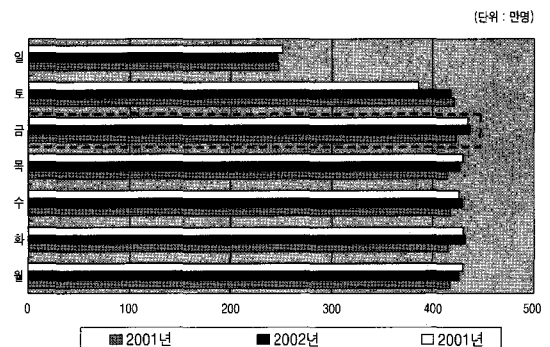
2002년과 2003년의 월별, 요일별, 지하철 4호선의



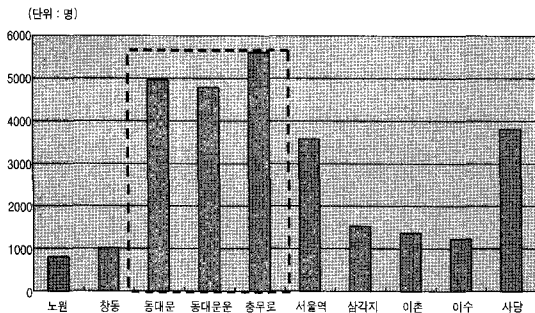
〈그림 4〉 자료 수집 개요



〈그림 5〉 수도권 지하철 4호선 월별 수송인원



〈그림 6〉 수도권 지하철 4호선 요일별 수송인원



〈그림 7〉 데이터 수집 역 설정

승객 이용 현황을 살펴 본 결과 월별로는 11월 달, 요일별로는 금요일에 승객 집중한 것을 알 수 있었다. 이에 본 연구에 필요한 데이터 수집은 매주 금요일 한 달 동안 이루어 졌다. 그리고 계절별과, 요일별 오차는 고려하지 않았다. 정차 시간에 영향을 주는 다섯 가지변수 조사는 아침 첨두시 1시간동안에 해당 역에서 자료 수집을 하였다. 승차, 하차 인원은 실제 이용하는 승객 수를 조사원을 배치 시켜 조사하였으며, 플랫폼 대기자 수는 조사 해당 역에 비디오카메라 설치 및 지하철에 설치되어 있는 비디오 자료를 병행 하였고, 량당 승객 수 및 차량 내 혼잡은 지하철 4호선에 설치되어 있는 TGIS(Traffic General Information System)²⁾ 자료를 이용 하였다.

2. 정차시간 예측 모형식 개발

동대문, 동대문 운동장, 충무로역에서 수집한 정차 시간에 영향을 주는 변수인 승차 인원, 하차 인원, 각 량당 승객 수, 차량 내 혼잡, 플랫폼 대기자 수가 정차 시간과의 상관 분석을 실시하였다.

동대문역, 동대문운동장역, 충무로역에서 상관분석을 해 본 결과 차량 혼잡과 MAX 객차가 상관이 높은 것

〈표 4〉 동대문역에서 정차 시간에 영향을 주는 변수 상관 분석

	정차 시간	승차 인원	하차 인원	MAX 객차	차량 혼잡	대기 자수
정차시간	-	.671	.951	.635	.589	.507
승차인원	.671	-	.364	.457	.442	.389
하차인원	.951	.364	-	.469	.341	.307
MAX 객차 ³⁾	.635	.457	.469	-	.649	.454
차량혼잡	.589	.442	.341	.649	-	.373
대기자수 ⁴⁾	.507	.389	.307	.454	.373	-

2) 각 량당 무게를 측정하는 시스템

3) 열차 운행중에서 가장 많은 승객이 탑승해 있는 량

4) 대기자수는 플랫폼에 열차가 들어오기 직전에 대기하고 있는 승객임

〈표 5〉 동대문운동장역에서 정차 시간에 영향을 주는 변수 상관 분석

	정차 시간	승차 인원	하차 인원	MAX 객차	차량 혼잡	대기 자수
정차시간	-	.769	.878	.626	.669	.559
승차인원	.769	-	.391	.386	.356	.380
하차인원	.878	.391	-	.353	.445	.265
MAX 객차	.626	.386	.353	-	.602	.371
차량혼잡	.669	.356	.445	.602	-	.324
대기자수	.559	.380	.265	.371	.324	-

〈표 6〉 충무로역서 정차 시간에 영향을 주는 변수 상관분석

	정차 시간	승차 인원	하차 인원	MAX 객차	차량 혼잡	대기 자수
정차시간	-	.859	.891	.649	.660	.546
승차인원	.859	-	.386	.443	.339	.336
하차인원	.891	.386	-	.360	.367	.320
MAX 객차	.649	.443	.360	-	.623	.385
차량혼잡	.660	.339	.367	.623	-	.483
대기자수	.546	.336	.320	.385	.483	-

으로 나타났다. 이에 통계적 기법인 요인분석을 실시하여 차량 혼잡과 MAX 객차가 하나의 요인으로 추출되는지를 살펴보았다.

동대문, 동대문 운동장, 충무로역의 요인 분석 결과 승차 인원, 하차 인원, 대기자 수가 하나의 요인으로 MAX

〈표 7〉 동대문역 회전후의 요인 분석

Rotated Component Matrix(a)

	Component	
	1	2
승차인원	.760	.391
하차인원	.657	.340
MAX객차	.331	.905
차량혼잡	.254	.940
대기자수	.808	.222

〈표 8〉 동대문운동장역 회전후의 요인 분석

Rotated Component Matrix(a)

	Component	
	1	2
승차인원	.740	.236
하차인원	.882	.277
MAX객차	.267	.777
차량혼잡	.137	.849
대기자수	.969	.174

〈표 9〉 충무로역 회전후의 요인 분석

Rotated Component Matrix(a)

	Component	
	1	2
승차인원	.863	.368
하차인원	.918	.256
MAX객차	.265	.819
차량혼잡	.249	.867
대기자수	.892	.340

객차, 차량 혼잡이 하나의 요인으로 묶인 것을 알 수 있다.

회귀분석은 독립변수와 종속변수 사이에 어떤 관계식이 성립하는지를 찾아내는 분석방법이다. 앞서 요인 분석에서 묶여진 요인 1을 승객 수(승차 인원, 하차인원, 플랫폼 대기자 수)라고 하고, 요인 2를 혼잡도(MAX 객차, 차량 내 혼잡)라고 명명했다. 이 두 요인을 가지고 정차 시간 예측 모형 식을 도출하였다.

앞서 요인분석을 통한 정차 시간 예측 모형 식을 도출하였다. 요인분석을 한 경우 요인 1이 승객 수(승차 인

〈표 10〉 동대문역 회귀 분석

Model Summary(b)

Model	R	R ²	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.816(a)	.666	.658	5.514	1.738

a Predictors: (Constant), 승객수, 혼잡도

b Dependent Variable: 정차시간

Coefficients(a)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1(Constant)	12.404	2.032		8.271	.000
승객수	.016	.035	.427	5.482	.000
혼잡도	.010	.013	.262	3.855	.001

a Dependent Variable: 정차시간

〈표 11〉 동대문운동장역 회귀 분석

Model Summary(b)

Model	R	R ²	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.876(a)	.767	.761	3.041	1.879

a Predictors: (Constant), 승객수, 혼잡도

b Dependent Variable: 정차시간

Coefficients(a)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1(Constant)	10.021	1.802		9.359	.000
승객수	.021	.034	.536	7.140	.000
혼잡도	.012	.026	.137	4.509	.000

a Dependent Variable: 정차시간

〈표 12〉 충무로역 회귀 분석

Model Summary(b)

Model	R	R ²	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.929(a)	.862	.859	3.276	1.822

a Predictors: (Constant), 승객수, 혼잡도

b Dependent Variable: 정차시간

Coefficients(a)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1(Constant)	5.627	5.387		11.482	.000
승객수	.014	.024	.626	9.133	.000
혼잡도	.024	.037	.262	3.133	.003

a Dependent Variable: 정차시간

원, 하차 인원, 플랫폼 대기자 수)라고 명명하였고, 요인 2를 혼잡도(MAX 객차, 차량 내 혼잡도)라고 명명한 이 두 요인을 가지고 정차 시간 예측 모형 식을 도출하였다. 이번 분석 방법은 회귀식 도출 방법 중에 STEP WISE를 이용하여 정차 시간 예측 모형 식을 도출하고자 한다. 이 두 모형식 중 검증을 통하여 현실에 잘 맞는 모형 식을 사용 하였다.

〈표 13〉 STEP WISE를 이용한 회귀 분석

Model Summary(e)

Model	R	R ²	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.540(a)	.291	.288	7.607	
2	.694(b)	.482	.476	6.521	
3	.827(c)	.672	.668	5.218	
4	.854(d)	.731	.714	4.562	1.763

a Predictors: (Constant), 대기자수

b Predictors: (Constant), 대기자수, 하차인원

c Predictors: (Constant), 대기자수, 하차인원, 차량혼잡

d Predictors: (Constant), 대기자수, 하차인원, 차량혼잡, 승차인원

e Dependent Variable: 정차시간

Coefficients(a)

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1(Constant)	31.841	2.470		12.889	.000
대기자수	.017	.002	.540	8.628	.000
2(Constant)	17.847	2.728		6.543	.000
대기자수	.016	.002	.496	9.208	.000
하차인원	.028	.003	.439	8.141	.000
3(Constant)	38.532	6.018		6.402	.000
대기자수	.011	.001	.356	7.833	.000
하차인원	.079	.006	1.214	13.735	.000
차량 혼잡	.174	.017	.887	10.055	.000
4(Constant)	17.896	5.962		3.002	.003
대기자수	.007	.001	.233	5.420	.000
하차인원	.021	.006	1.617	17.098	.000
차량 혼잡	.012	.015	.825	10.606	.000
승차인원	.037	.013	.541	7.422	.000

a Dependent Variable: 정차시간

STEP WISE란 단계적 변수등록 및 제거, 블록 내 변수에 대한 등록 및 제거가 각 단계별로 분석하는 방법으로 변수 중에서 설명력이 낮은 변수를 제거하는 방법이다.

V. 모형 검증 및 분석

요인 분석과 STEP WISE에 의해 도출된 이 두 정차 시간 예측 모형 식을 처음 249데이터 중에서 모형 검증을 위해서 제외시켜 놓았던 2004년 11월 26일 데이터에 이 두 모형을 적용 시켰으며, 적용 대상 역은 충무로역⁵⁾으로 하였다.

충무로역에서 실제 조사된 정차 시간 실측치와 요인 분석, STEP WISE를 이용한 정차 시간 예측 모형 식을 실측치인 정차 시간과 비교하였다. 비교 한 결과 요인 분석에 의해 도출 되어진 정차 시간 예측 모형식이 실측 정차 시간과의 오차가 적은 것으로 나타났다.

〈표 14〉 조사된 정차 시간과 예측된 정차 시간 비교

NO	실측 정차 시간 ①	요인 분석 모형식 ②	STEP WISE 모형식 ③	추정 정차시간 시간-실제 조사된 정차시간	
				②-①	③-①
1	48	47.502	49.445	0.498	1.445
2	52	52.198	53.483	0.198	1.483
3	51	50.815	52.228	0.185	1.228
4	53	54.812	54.075	1.812	1.075
5	50	49.561	51.012	0.439	1.012
6	52	51.776	54.617	0.224	2.617
7	56	55.036	55.381	0.964	0.619
8	61	60.34	60.161	0.66	1.161
9	57	56.864	56.141	0.136	0.859
10	64	63.174	65.231	0.826	1.231
11	61	62.347	59.722	1.347	1.278
12	60	60.776	60.949	0.776	0.949
13	56	55.75	56.491	0.25	0.491
14	52	52.662	53.509	0.662	1.509
15	59	58.583	59.49	0.417	0.49
16	58	58.151	56.908	0.151	1.092
17	51	50.626	52.095	0.374	1.095
18	62	63.333	60.014	1.333	1.986
19	50	49.767	51.118	0.233	1.118
20	48	48.108	49.215	0.108	1.215
21	47	47.796	46.969	0.796	0.031
22	51	50.225	52.972	0.775	1.972

5) 3개 역 중에서 승, 하차인원이 가장 많은.

VI. 결론 및 향후 연구 과제

수도권 지하철의 경우 건설 계획 단계부터 선로 용량에 대한 언급이 없이 계획하였다. 이러한 이유 때문에 수도권 지하철의 열차의 속도 저하 및 운행 시간 증가로 인한 문제점이 도출되었다. 이 문제점을 해결하기 위해서는 여러 가지 원인들이 있다. 지하철의 기하구조, 역사의 기하구조, 지하철 속도, 수요에 따라 변화는 정차 시간 등이 있으나 본 연구에서는 수요에 영향을 받는 정차 시간을 현실에 맞는 정차 시간 예측 모형 식을 개발하였다.

이는 수요 변화에 따라 변화하는 정차 시간을 정확히 알 수 있고, 역사 시계 및 선로 용량을 정확히 산출하여 차후 신설 되는 지하철 노선이나 경전철 노선에 운행 계획을 수립 할 때 선로 용량을 보다 현실에 가까운 선로 용량으로 산출 할 수 있을 것이라 기대 된다.

본 연구에서 수행한 정차 시간 예측 모형은 단지 수요에 따른 정차 시간 예측 모형으로 보다 정확한 선로 용량을 산출하기 위해서는 다음과 같은 연구가 추가로 있어야 할 것이다.

첫째, 플랫폼 대기자 수의 적절한 승객의 분포에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

둘째, 지금 현 운행 중인 지하철은 출입문이 4개로 한 방향으로만 승차, 하차가 이루어지고 있다. 이에 대한 출입문의 수를 늘리는 방안, 출입문 폭을 넓히는 방안 및 출입하는 문과 하차 하는 문으로 나누어 운행하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 승차 인원, 하차 인원의 승객 이동특성이 다르므로 승차와 하차 인원의 승객 이동특성을 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김상역(2002), "서울시 지하철 정차 시간 관계식의 개발과 용량에의 영향 분석", 한양대학교.
2. 서울특별시 지하철 공사(2004), "지하철 수송 계획 2001~2003".
3. 한국경영 개발연구원(2003), "지하철 정기 교통량 조사".
4. ALLEP(1981), "Improving Rail Transit Line

Capacity Using Computer Graphics".

5. LIN, TYH-MIC(1992), "Dwell Time Relationship for Light Rail System".
6. LAM, W.H.K(1998), "A Study of Train Dwelling Time at The Hong-Kong Mass Transit Railway System".
7. Andre Pong(2000), "Dwell Time Model Analysis for MBTA Red Line".
8. William H.K(2001), "A Study of Crowding effects at the Hong-Kong Light Rail Transit Station".
9. TCRP(Transit Cooperative Research Program) Report 13, "Rail Transit Capacity", TRB, 1996.
10. TCRP(Transit Cooperative Research Program) Report 100, "Transit Capacity and Quality of Service", 2003.

✎ 주 작 성 자 : 박정수

✎ 교 신 저 자 : 박정수

✎ 논문투고일 : 2005. 12. 7

✎ 논문심사일 : 2006. 2. 1 (1차)
2006. 3. 20 (2차)

✎ 심사판정일 : 2006. 3. 20

✎ 반론접수기한 : 2006. 8. 31