

사용자비용을 고려한 역사설계기준교통량 선정을 위한 시뮬레이션 기법의 적용

김용일(시정개발연구원), 서선덕(한양대학교)

The Application of Simulation Method for Selection of Design Volume to reflect User Cost in Station Planning

Yongil Kim(Seoul Development Institute), Sunduck Suh(Hanyang University)

Abstract

The service level of Metro stations is affected by the design criteria such as platform area, width and length of stairways, and the number of turnstile, etc. The Korean station design process utilizes peak-hour volume as design volume. Hourly volume, however, can not explicitly account for the variation of traffic and consequently the variation of the level of service within the one-hour time period. Movements in various areas inside of stations are simulated with a queueing network under various operating conditions. A discrete simulation tool called SIMUL8 was utilized. Based on the results, peak volume for 15 minutes period was recommended as a preferred base volume over the peak-hour volume for station design purpose to realistically account for user delays under. Simulation runs also confirmed that escalators have positive effects on passenger processing capacity and on securing stability of passenger flows in stations.

1. 서론

기존의 지하철역 설계나 개발계획의 수립시 고려되었던 시설별 규모계획은 승객의 지체와 같은 행태적 특성이 명시적으로 반영되지 않고 단지 승객수요량에 대한 설계기준에만 의존하고 있는 문제점이 있다고 지적된다. 역사내의 지체는 역사시설을 사용하는 사용자의 비용이며 이러한 비용은 역사설계에 반영될 필요성이 있다. 또한 역사는 여러 개의 시설이 유기적으로 연결되어 운영되는 하나의 체계로서, 어느 한 시설의 개선이 전체 시스템의 성능향상을

의미하지는 않는다. 그러므로 궁극적으로는 승객의 지체를 고려할 수 있고 역사를 하나의 시스템으로 설계하는 방법의 고안이 필요하겠으나, 본 연구에서는 기존 설계방법의 문제점을 도출하고 더 개선된 방향을 제시하는 것으로 범위를 한정하였다.

이를 위하여 서울시 1기 지하철에서 사용되었던 설계의 개념과 규모산정방법에 대해 고찰한다. 그리고 실제 상황을 실험해볼 수 있는 모형을 만들고 시뮬레이션을 이용하여 기존 설계방법

의 문제점을 파악하고 개선점을 제시하여 향후 정거장 계획방향의 수립 및 설계에 참고가 되고자 한다.

2. 우리 나라의 현황 및 기존 연구방법

우리 나라의 경우 사용자의 비용을 명시적으로 고려하지 않고 설계목표년도의 수요를 주어진 운전계획하에 처리할 수 있는 시설의 규모를 산정하고 있다. 수요는 전구간 개통후 10년 내지 15년후의 각 정차장 1일 승강인원을 추정하며, 보통 1일 승강인원의 25~30%가 첨두시간에 집중하는 것으로 보고 정차장의 입지조건에 의해 집중도를 보정하여 규모를 고려한다. 설계단계에서는 승객의 행태적인 측면은 반영되지 않고 단지 수요에 의해서만 설계가 이루어지며, 평가단계에서 승객에 대한 서비스수준이 고려되고 있다. 우리 나라의 역사설계절차와 방법에 대한 자료는 '지하철정거장표준화설계'가 있으며, 이러한 설계와 평가는 수 계산을 이용하여 이루어지고 있다.

전산모형을 이용한 외국의 설계방법의 예로는 미국의 UMTA Station Simulation Model(USS model)과 영국의 PEDROUTE Model을 들 수 있다. 이들은 역사를 개방형의 대기행렬 네트워크로 나타내고 시물레이션을 통하여 역사를 설계하도록 하고 있다.

수 계산 방법이나 전산설계에서나 설계시간교통량의 결정은 똑같이 중요한 문제이며 USS model에서는 15분 설계교통량의 사용을 권장하고 있으며 현재 우리 나라에서는 첨두 1시간교통량을 쓰고 있다.

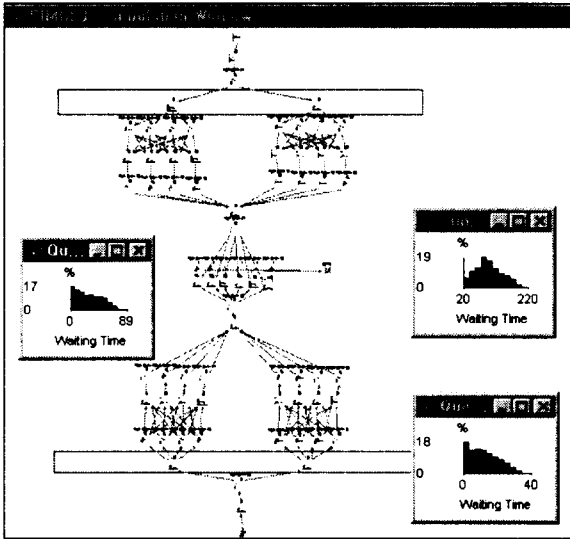
3. 연구의 방법

주어진 역사를 시물레이션하기 위한 모형을 개발하였다. 모형의 개발을 위해서 시물레이션 패키지를 이용하였으며 열차의 배차간격, 승객의 도착시간분포, 서비스시설별 서비스시간분포특성이 가정되었다. 주어진 특성에 따라 구성된 모형이 제대로 작동하는지 확인하는 과정을 거쳐, 가정한 분포가 맞는가를 현장조사를 통해 확인하고 모수를 조정하였다. 본 연구에서는 모형의 검정을 위한 연구 대상역으로 서울시 지하철 4호선의 연결구간의 안산선의 상록수역을 선정하여 자료를 수집하고, 모형의 검증과정을 수행하였다. 그리고 가정된 역사의 시설물 배치와 이용자 분포하에 설계시간교통량별 역사설계대안의 평균 시스템 체류시간의 추정 등 다양한 모의실험을 수행하였다.

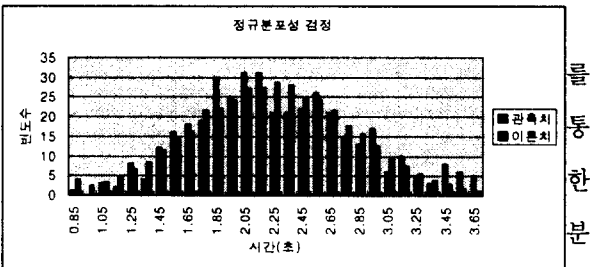
4. 모형의 설정 및 검증

열차의 하차객을 대기시스템의 고객으로 보고 계단 입구부 및 출구부와 개찰구를 서비스시설로 보면 승강장은 개방형의 Queueing Network으로 모형화할 수 있다. 역사의 서비스시설은 node로 표현이 되고 이러한 서비스시설을 연결하는 계단, 통로 등은 link로 표현된다. 각 node에서는 승객의 대기시간이 계산되며 link에서는 승객의 이동시간이 계산된다.

<그림 1>과 같이 모형을 설정하고 모형을 검정하기 위해 조사를 수행했다. 계단부 입구에서의 평균 서비스율을 구하기 위해 J.J. Fruin[1991]의 공식을 이용하여, 계단부가 용량상태의 밀도로 이용될 때 단위시간당 계단부로 진입하는 사람의



<그림 1> 역사의 모형화(대기행렬 네트워크)를 기록하였다. 해당상태도 볼 수 있는 모형사 모듈)은 LOS가 E상대인 $0.4 \sim 0.7(m^2/인)^2$ 이며, 이 $0.4(m^2/인)$ 수준의 보행자모듈에서 1초동안에 계단부로 진입한 사람의 수는 평균 4.5명이었다. 조사지점의 폭원과 승객의 행태를 고려하면, 서비스창구 하나의 평균서비스율은 $0.89(초/명)$ 으로 계산된다. 계단부의 서비스시간분포는 통상적인 음지수분포로 가정하였다. 개찰구의 서비스분포는 그 형태상 정규분포 $N(2.22, 0.5668)$ 인 것으로 판단되었으며 카이제곱(χ^2)테스트

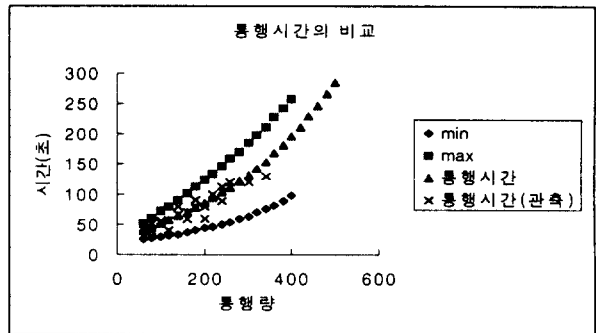


<그림 2> 개찰구 서비스시간의 분포검정의 적합도 검정결과 검정통계량 $\chi^2_T=42.0$ 을 얻었으며 유의수준 0.025에서의 기각역

- 1) 보행자모듈 : 보행자 밀도의 역수로 1인당 점유하는 면적을 지칭한다.
- 2) J.J. Fruin, "보행자공간", 태림문화사, 유봉렬의 역, 1991, p.58

$\chi^2_{0.025, 26} = 41.923$ 보다 크게 나타났다. 그러므로 개찰구의 서비스분포는 유의수준 0.025에서 정규분포 $N(2.22, 0.5668)$ 한다고 할 수 있다.

그 다음 모형이 승객의 시스템체류시간을 잘 설명하는지를 보기 위하여 모형의 예측치와 실측치를 <그림3>과 같이 비교하였다. 그리고, 조사된 시스템체류시간과 모형에서의 평균 시스템체류시간이 사이의 통계적인 차이가 있는가를 보기 위해서 paired t-test를 수행하였다. 관측치와 실측치 사이의 차이



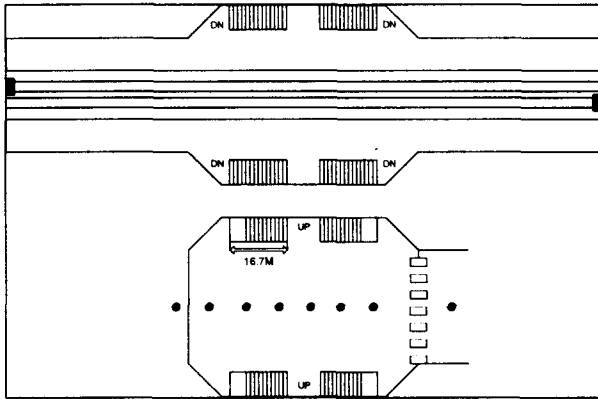
<그림 3> 총통행시간의 모형값과 실측값 비교

의 평균을 μ_D 라고 할 때, 귀무가설을 $\mu_D=0$ 으로 설정하였을 때, 검정통계량은 0.6809로 유의수준을 낮게 잡아도($t_{0.10, 23} = 1.319$) 기각하지 못하였다. 그러므로 설정된 모형이 신뢰성이 있다고 판단하였다.

5. 대안의 설정 및 분석

분석을 위해서 역사의 배치는 다음의 <그림4>와 같이 고정시켰으며, 승하차객 수요도 가정하였다.

설계에 사용되는 1시간 첨두교통량이 적정한



<그림 4> 역사 시설의 배치도
 승인가를 모기 위해 3분, 15분, 30분, 1시간 첨두
 시간교통량을 계산하여 각각의 시설규모를 다음
 의 표와 같이 계산하였다.

<표 1> 설계시간교통량별 시설규모대안

	3분첨두	15분첨 두	30분첨 두	1시간첨 두
개찰구수	6(9)	6(8)	6(8)	5(8)
계단폭원 (M)	2.98	2.95	2.79	2.51
승강 장 폭원 (M)	B ₁	0.98	0.93	0.80
	B ₂	0.38	0.34	0.25
	B ₃	3.06	3.12	3.11
	B _c	1.60	1.60	1.60
	합 계	6.02	5.99	5.76

*()는 개찰구의 평균서비스시간을 조사된 바
 와 같이 2.22(초/명)으로 하는 경우 소요
 개찰구수 임.

이렇게 설계시간교통량별로 산정된 시설규모대
 안에 실제에 가까운 3분 교통량분포로 시물레이
 션을 수행한 결과는 다음과 같다.

<표 2> 시설규모별 시물레이션 결과

	계단부보행시간			개찰구대기시간		
	-95%	평균	95%	-95%	평균	95%
3분	62.7	63.1	63.58	29.3	30.4	31.4
	4	6		2	0	7
15분	63.6	64.1	64.59	42.5	51.3	60.1
	6	3		6	3	0
30분	68.8	69.4	70.08	45.0	52.7	60.4
	5	7		4	4	4
1시간	63.6	87.0	129.6	8.50	17.7	41.1
	6	3	0		9	5

<표 2>의 결과는 1시간 첨두교통량을 설계기
 준교통량으로 산정할 경우 계단부가 매우 협소하
 게 설계되어 문제가 발생하게 되며 계단부에서
 유출되는 승객의 속도가 저하되어 개찰구에서는
 문제점이 두드러지는 않음을 볼 수 있다. 3분,
 15분, 30분 첨두교통량이 설계에 사용된 경우는
 계단부에서 안정적인 결과를 얻고 있다. 그러나
 15분, 30분 첨두교통량으로 설계된 경우 개찰구
 에서 문제가 발생하게 됨을 알 수 있다.

또, 설계의 평가시 어떤 시간단위의 분포를 사
 용할 것인가도 중요할 것이다. 사용하는 시간분
 포에 따른 영향을 보기 위하여 시설의 규모를 고
 정시키고, 시물레이션의 입력치를 3분, 15분, 30
 분, 1시간 단위의 시간분포에 맞추어 발생시켜
 그 결과를 다음의 표와 같이 얻었다.

<표 3> 분포별 성과치의 차이 (단위: 초)

	평균통행시간		
	-95%	평균	95%
3분 분포	105.58	105.84	106.10
15분 분포	102.73	102.98	103.23
30분 분포	100.86	101.09	101.32
1시간	89.32	89.50	89.68

*±95% : 각 성과치의 95%신뢰구간을 나타낸
 다.

위의 결과에서 3분, 15분, 30분 시간분포의 경

우는 그 성과치가 비슷하게 나타나고 있으나 1시간 분포를 사용하는 경우는 실제로 과소하게 시설 규모가 산정이 되었어도 양호한 것으로 산정이 될 수 있는 소지가 많다. 그러므로 1시간 단위의 시간분포를 사용하여 시설을 평가하는 것은 무리가 있음을 볼 수 있다.

에스컬레이터를 설치하는 경우, 그리고 설계에 사용하고 있는 개찰구 평균서비스시간(1.43 (초/명))과 실제의 평균서비스시간(2.22 (초/명))의 차이로 인하여 발생하는 평균시스템 체류시간에 대한 결과를 다음의 <표 4>, <표 5>와 같이 얻었다. 아래와 같은 결과에서 에스컬레이터의 설치가 승객처리 효율성을 높일 수 있다는 것과 개찰구의 규모산정을 위한 모수의 신중한 사용이 필요함을 알 수 있다.

<표 4> 에스컬레이터설치 전후의 시스템체류시간 비교 (단위:초)

설치후			설치전		
-95%	평균	95%	-95%	평균	95%
77.91	80.67	83.43	113.40	114.18	114.96

<표 5> 개찰구 평균서비스 시간차에 의한 성과 차이

	시스템체류시간			개찰구대기시간		
	-95%	평균	95%	-95%	평균	95%
설계	97.2	100.1	103.0	27.0	29.4	32.0
실제	204.0	210.9	217.8	126.6	133.6	140.6

6. 결론

(1) 역사의 기능을 검토할 수 있는 Simulation 모

형을 역사내의 각 요소를 대기행렬네트워크로 표현하여 정립하였다. 모형의 모수 및 결과에 대한 검정이 수행되었고, 작성된 모형을 이용하여 기존 설계기준을 검토하기 위해 생성한 대안들을 분석하였다.

(2) 분석결과 기존의 설계에 이용된 1시간단위의 교통량분포는 역사문제의 한가지 원인으로 지적될 수 있다. 침두 1시간동안 내부에서 있을 수 있는 변동을 설계에 반영하지 못함으로 인해 당초 목표했던 서비스수준을 달성하지 못할 가능성이 크기 때문이다. 1시간 미만의 3분, 15분, 30분 단위의 교통량분포를 이용한 설계대안의 경우 통행시간의 평균과 분산은 크게 증가하지 않았으며, 이는 설계에 1시간 미만의 교통량분포로 설계시간교통량을 산출해야할 필요성을 나타낸다. 3분, 15분, 30분 단위의 교통량분포는 설계대안의 성과에 큰 차이가 없는 것으로 나타난다. 3분 단위의 교통량분포를 사용하는 것이 좋을 것이나 자료의 수집이 어려우며, 30분 단위의 교통량분포를 사용할때에는 통행량의 변동이 심한 경우에 1시간 단위의 교통량분포의 사용시 나타나는 단점이 동일하게 발생될 것이다. 그러므로 역사설계교통량을 선정하는데 15분 단위의 교통량분포 사용이 타당하다고 판단된다.

(3) 역사에서 병목현상이 일어나는 지점중의 하나인 개찰구의 평균서비스시간은 매우 중요한 변수가 된다. 현장조사를 통해 얻은 자료의 평균은 2.22(초/명)인데 반해 표준안의 경우는 1.43(초/명)으로 상당히 낮은 숫자이다. 연구에서 가정된 교통량분포와 조사된 평균서비스시간분포를 적용하여 시물레이션한 결과, 표준안에 의해 만들어

진 대안은 그렇지 않은 대안과 비교해서 개찰구에서 4배가량의 대기시간을 소요하였다. 평균서비스시간의 작은 차이에도 승객의 지체시간은 커다란 차이를 보이므로 다양한 입지조건하의 역사에 대한 조사를 통해 역사설계에 이용할 개찰구 평균서비스시간을 조정할 필요성이 있다고 본다.

(4) 기존의 에스컬레이터 설치 개념은 승객의 편의증진이었으나 연구의 결과 승객의 편의증진효과뿐 아니라 승객처리의 효율성에 상당한 효과를 갖고 있는 것으로 분석이 되었다. 이는 역사가 일시적으로 비정상상태의 많은 수요가 발생해도 계단부밀도에 의한 속도의 저하가 없고 이동류가 물리적으로 분리되기 때문으로 판단된다. 그러므로 향후 설치방향에는 이러한 승객처리의 효율성과 역사시스템의 안정성차원에서 설치 검토되어야 할 것이다.

(5) 역사의 신설/개선에서 이러한 연구결과를 반영하면 승객의 지체로 표현되는 사용자의 비용은 감소시킬 수 있으며 역사운영의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

7. 향후연구과제

역사의 규모는 총량보다 첨두시 집중도가 더 커다란 영향을 미친다. 본 연구에서는 한 가지 유형의 수요에 대해서만 실험하였으나, 역사의 입지조건별 다양한 수요의 분포에 따라 시간의 대안과 규모의 대안을 검토할 필요가 있다.

작성된 모형은 하차객에 대해서만 모형

화하고 있으므로 제시한 대안별 성과치는 승차객의 비용(지체시간)을 포함하고 있지 못하다. 향후 하차객과 승차객을 동시에 반영하기 위해 계단부, 통로부 등에서 상충이동류가 있을 때의 보행자교통특성에 대한 연구를 통해 보완되어야 할 것이다.

본 연구에서는 계단부에서의 통행시간함수로 외국의 연구결과를 사용하고 있으며 추후 국내 지하철 계단부에서의 통행시간함수를 추정하여 사용해야 할 것이다.

6. 참고문헌.

1. Hugo P. Simao and Warren B. Powell, "Numerical Methods for simulating Transient, Stochastic Queueing Networks- I : Methodology", TR, Vol126, 1992, pp.296~311
2. "지하철 정거장 표준화 설계", 서울특별시지하철공사, 1986
3. Michael J. Demetsky, Lester A. Hoel, mark R. Virkler, "Design of Transportation Interface Facilities", US D.O.T, 1977
4. P. Clifford, "Passenger simulation modelling in station planning and design", Computers in Railways V-Volume 1, 1996, pp229~237
5. J.J. Fruin, "보행자공간", 태림문화사, 유봉렬의 역, 1991
6. B. Ran & D. Boyce, "Modeling dynamic Transportation Networks", Springer, 1994, pp4-15

7. 김종수, "OR이론과 응용", 박영사, 1996
8. William H.K.Lam, John F.Morrall, and Herbert Ho,"Pedestrian Characteristics in Hong Kong", Transportation Research Board No.1487, TRB, 1995. pp56~62
9. 도철웅,"교통공학원론(상)", 청문각, 1995, pp316~320
10. "Simul8 Manual and Simulation Guide",Visual Thinking International,1998