

Analysis of PRT Station Capacity based on Micro Simulation

김 백 현[†] · 정 락 교^{*} · 황 현 철^{**}
 (Baek-Hyun Kim · Rag-Gyo Jeong · Hyeon-Chyeol Hwang)

Abstract - The introduction of Personal Rapid Transit (PRT) has been widely discussed in the Korean transportation research field. However, there is no robust criterion to derive the throughput of cars and passengers at PRT stations, which plays a primary role in determining the overall capacity of PRT systems. The present study provided a methodology to rigorously compute the capacity for simple-serial PRT stations with a single platform, considering three decisive factors, i.e., the demand level of incoming cars and outgoing passengers, the station structure, and the operation strategy. A micro-level simulator was developed for the analysis of station capacity. And, by using this, station capacities were presented for various combinations of the decisive factors. In particular, the relationship between capacity and station structure was investigated in detail. Station structure is represented by the numbers of platform berths, input queue berths, and output queue berths. Moreover, both waive rate and waiting time, which represent the level of passenger service, were taken into account when the station throughput was computed.

Key Words : PRT(Personal Rapid Transit), Station, Throughput, Waive rate, Waiting time

1. 서 론

최근 국내에서 PRT(Personal Rapid Transit) 도입에 대한 활발한 논의가 진행 중임에도 불구하고 PRT 체계의 용량 결정요인 중 가장 영향이 큰 정류장 거동에 대해서는 체계적인 연구가 부재하였다. 본 연구에서는 가장 기초적인 구조의 PRT 정류장인 단순 직렬 정류장을 대상으로 3가지 용량 결정요소, 즉 통행수요, 정류장 구조, 정류장 운영전략에 따른 정류장 용량수준을 분석하였다. 정확한 분석을 위해 PRT 정류장 전용 시뮬레이터를 개발하였으며, 이를 통해 다양한 결정요소 조합에 따른 정류장 용량 수준을 제시하였다. 결과적으로, 정차대, 진입대기공간, 방출대기공간의 크기 수준에 따라 도착차량 및 출발승객에 대한 최대 처리 용량을 산출하였고, 또한 PRT 운영의 중요한 서비스 요소인 차량 거부율과 승객 대기시간을 고려한 정류장 용량을 산출하였다.

2. 본 론

2.1 연구의 개요

1960년대 미국에서 PRT(Personal Rapid Transit)이 처음

소개된 이래 교통전문가들 사이에서는 이 시스템에 대해 수많은 찬반 논란이 있어왔다. 그 중, 가장 핵심이 되는 쟁점은 PRT가 다른 고정 궤도 대중교통수단에 비해 처리용량에 있어 불리하다는 점에 집중되었다. 하지만, 이러한 비판의 당사자들도 구체적으로 PRT 용량에 대한 해답 없이, 단지 직관에 의존한 주장을 펼쳐온 것이 사실이다. 특히, 최근 국내에서 PRT에 대한 관심이 고조되고 많은 연구가 시행되고 있으나, 시스템의 기계적 구현에 집중한 나머지 PRT의 운영 서비스 수준에 대한 체계적인 연구가 부재한 실정이다.

물론, 초기 PRT 제안자들은 시뮬레이션을 통해 PRT 처리용량에 대한 연구를 발표한 바 있다([1],[2]). 그러나, 그 당시 전산 구동능력의 한계로 인해 포괄적인 연구가 이루어지지 않아, 아직도 PRT 처리용량에 대한 논란이 남아있다. 예를 들어, 현대적인 시뮬레이션 분석의 경우 입력요인들의 무작위성에 의한 변동을 충분히 고려하기 위해서 랜덤 시드(random seed)값을 바꾸어 가며 충분한 시뮬레이션 수행 횟수를 확보하는데, Irving등 [1]의 연구에서는 최소 4회 시뮬레이션 시행의 평균값을 최종결과로 제시하는 신뢰도의 한계를 보이고 있다.

PRT 체계의 전체 성능은 크게 세 가지 단위 용량에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 첫째로, 본선(on-line)의 차량 통과 용량에 대한 고려가 필요하다. Anderson[1]에 의하면 동기식 제어의 경우 본선의 최소 차두시간은 0.5초 이하로 줄일 수 있다고 주장하고 있다. 최소 차두시간 0.5초를 인정한다면 본선의 한 시간 통과 차량 용량은 7,200대 수준이다. 이는 어느 특정 구간에 집중되는 차량 통행 수준으로는 매우 높은 값이다. 이를 상회하는 차량 통행이 본선의 특정구간에 집중될 수 있지만 빈도가 높지 않으며, 만약 이런 상황

† 교신저자, 정희원 : 한국철도기술연구원 선임연구원
 E-mail : bhkim@krti.re.kr

* 정 희 원 : 한국철도기술연구원 책임연구원

** 정 희 원 : 한국철도기술연구원 선임연구원

접수일자 : 2011년 8월 5일

최종완료 : 2011년 11월 23일

이 자주 발생한다면 네트워크 구조를 통해 개선해야 한다. 그러므로, 사전에 효율적인 네트워크 구조를 설계했다면, 전체 PRT 용량의 결정요소가 본선 용량에 있다고 보기 힘들다. 두 번째 고려할 단위 용량은 본선 합류부의 용량이다. 대부분의 비동기식 운행전략에서도 합류부에서는 동기식 제어를 채택하기 때문에, 합류부 용량 또한 상당히 높은 편이다. 일반적인 PRT 체계에서는 동시에 두 개 링크이상의 합류를 허용하지 않으며, 어떠한 차량진입 우선순위 전략을 선택하는가에 따라 다를 수 있으나, 합류 시 두 합류링크의 통과량이 합류 후 본선 용량보다 적은 수준이어야 한다. 다만, 합류 후 하류 링크의 수용 능력을 초과하는 차량 수요가 집중될 경우, 상류 링크로부터 대기행렬 형성이 불가피하다. 이러한 용량 초과 현상을 막기 위해서는 사전에 수요 패턴에 근거하여 합리적인 네트워크 설계를 구현해야 한다. 반면, 일시적인 수요 증대로 인해 운영 중에 대기행렬이 생성될 경우 경로의 재탐색을 통한 차량들의 우회 처리가 가능하다. 마지막으로 PRT 전체용량의 결정에 가장 영향이 큰 단위용량은 정류장 용량이다. 정류장의 용량은 다수의 영향 요소에 의해 복합적으로 결정되며 단순 계산으로 산정할 수 없다. 이를 산정하기 위해서는 차량과 승객을 단위 객체로 다루는 미시적인 시뮬레이션 접근방법이 유일하다.

본 연구에서는 가장 기초적인 구조의 PRT 정류장인 단순 직렬 정류장을 대상으로 3가지 용량 결정요소, 즉 통행수요, 정류장 구조, 정류장 운영전략에 따른 정류장 용량수준을 분석한다. 단순직렬 PRT 정류장(Fig. 1 참조)에 대한 운영 시뮬레이터를 개발하고, 이를 이용하여 다양한 결정요소 조합에 따른 정류장 용량 수준을 제시한다. 즉, 승강장 정차대, 진입대기공간, 방출대기공간의 크기 수준에 따라 도착차량 및 출발승객에 대한 최대 처리용량을 산출하고, PRT 운영의 중요한 서비스 요소인 차량 거부율과 승객 대기시간을 분석한다.

2장에서는 정류장 용량의 결정요소를 도출하고 이들의 상호관계에 대한 개념틀(conceptual framework)을 구성한다. 3장에서는 구성된 개념틀에 따라 개발한 시뮬레이터에 대한 개요를 서술한다. 4장에서는 개발된 시뮬레이터를 이용해 산출한 용량산출 결과를 다양한 경우에 대해 제시하고, 마지막 5장에서는 본 연구의 결과를 요약하고 향후 연구과제를 제시한다.

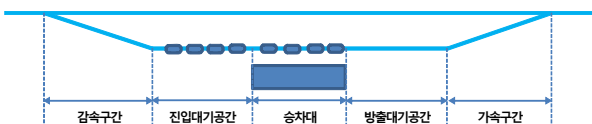


그림 1 단순직렬 PRT 정류장
Fig. 1 Simple serial PRT station with a single platform

2.2 PRT 정류장 용량 결정요소

PRT 정류장 용량의 정의는 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 정류장으로 진입하는 재차의 처리능력이다. 재차처리 용량을 산정할 때 동시에 고려해야 할 필수요건이 거부율이다. 거부율은 승객을 싣고 도착예정 정류장으로 진입해

야 할 차량이 해당 정류장의 대기공간 부족으로 진입하지 못하고 우회하는 비율로 정의된다. 또 하나의 용량개념은 출발승객의 처리능력이다. 얼마나 많은 승객을 출발 시킬 수 있는가는 승객의 대기시간과 함께 고려해야 한다. 두 용량 개념인 재차처리용량과 승객처리용량은 상호 종속적으로 결정되는 바, 다양한 결정요소의 조합에 따라 상호관계를 파악하는 것이 중요하다. PRT 정류장에 있어 두 용량개념을 결정하는 요소들은 교통수요조건, 물리적조건, 운영조건의 세 가지로 구분할 수 있다(Fig. 2 참조).

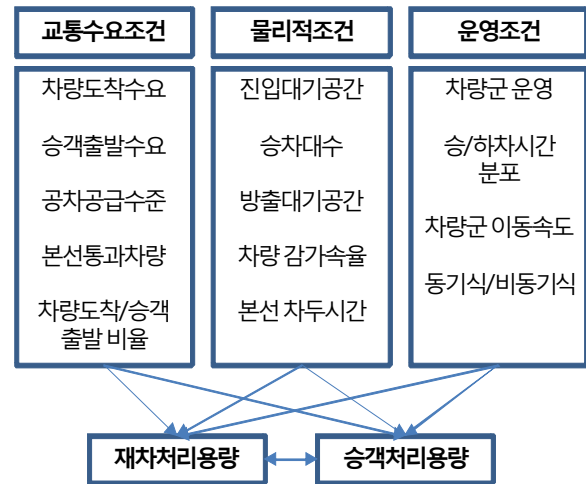


그림 2 PRT 정류장 용량을 결정하기 위한 개념체계
Fig. 2 Conceptual framework for the determination of station capacity

2.2.1 교통수요 조건

PRT 정류장 용량은 다양한 교통조건에 따라 영향을 받을 수 있는데, 그 중 재차의 도착수요와 승객의 출발수요가 지배적이다. 본 연구에서는 전체 수요를 고정시키고 두 가지 수요의 비율에 따른 처리용량을 계산한다. 승객출발 수요가 재차 도착수요보다 클 경우, 본선 상에서 호출할 수 있는 공차의 공급 수준이 승객처리용량에 영향을 미친다. 반대의 경우 재차의 정류장 진입거부가 관건이 된다. 본선의 통과 차량이 많을 경우에는, 정류장에서 승객을 싣고 출발한 차량이 본선에 진입하지 못하고 방출대기공간에 멈추는 경우가 발생할 수 있고 정류장 용량에 영향을 줄 수 있다.

2.2.2 물리적 조건

PRT 정류장의 물리적 요소는 본선조건, 차량조건, 정류장 조건으로 구분된다. 본선의 최소차두시간 및 차량의 감가속 능력은 정류장 가감속 구간 설정에 결정적인 역할을 한다. 본 연구에서는 본선 최소차두시간을 0.5초, 차량 감가속율을 2.5m/s²로 가정하였고 차량에 대한 최대허용 저크(jerk)는 고려하지 않았다. 본 연구의 주 관심사는 승강장 정차대와 대기공간의 규모에 따라 정류장 용량이 어떻게 변화하는가

에 있다. 방출대기공간의 규모는 승강장 정차대 수와 같은 수로 가정하였고, 진입 대기공간의 규모는 항상 승강장 정차대 수보다 많게 가정하였다. 다양한 조합의 승강장 정차대 수와 진입대기공간 규모에 대해 정류장 용량을 산정하였다.

2.2.3 운영 조건

Irving 등[1]은 PRT 정류장 구간 내에서는 차량군(platoon) 운영이 효율과 안전 측면에서 유리하다고 주장하였다. 개별 차량 단위로 정류장 구간내에서 이동하게 되면 승객이 승차 또는 하차중인 차량의 후미에 진입차량이 정지해야 하기 때문에 안전상에 큰 부담을 갖게 된다. 이러한 맥락에서 본 연구에서도 정류장 구간의 차량 이동은 차량군 운영을 기본전제로 하였다. 정류장 구간 내 차량군 이동속도는 6.6m/s로 가정하였고, 차량 길이는 3m로, 차량군내 차간간격은 30cm로 가정하였다. 차량군 이동전략에는 두 가지 세부전략이 있는데, 첫째로 대기공간에서 승강장 정차대 수만큼의 차량이 확보된 후에 차량군을 이동시키는 전략(전략 A)과, 둘째로 승강장에 승객수요가 있다면 승강장 정차대 수보다 적은 수의 차량이 진입 대기공간에 있더라도 차량군을 승강장으로 이동시키는 전략(전략B)이 있다. 본 연구에서는 두 세부전략을 구분해서 분석할 수 있도록 시뮬레이터를 개발하였다.

2.3. PRT 정류장 운영 시뮬레이터

PRT 정류장 운영 시뮬레이터는 개별 차량과 승객을 요소(agent)로 하여 개별 거동을 추적하는 방식을 채택하였다. 전체적으로 시뮬레이션의 진행은 시간 구동방식을 적용하였고, 일부 단위 모듈의 구현에 있어서는 이벤트 구동방식을 채택하였다. 객체지향 개념에 입각하여 프로그램을 설계하였으며 자바 언어를 통해 구현하였다. 개발된 프로그램의 구동 화면과 입출력 창은 Fig. 3과 같다. 본 논문에서는 프로그램 개발에 대한 세부설명은 생략하고 핵심 객체에 대한 구동 논리와 알고리즘에 대해 간단히 서술한다.

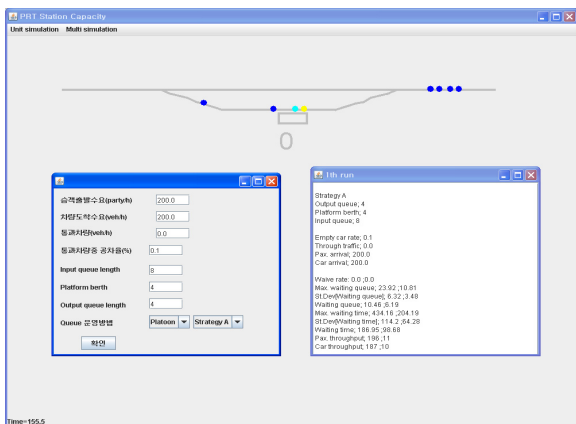


그림 3 PRT 정류장 운영 시뮬레이터의 메인 및 입출력 윈도우

Fig. 3 Main and Input/Output windows

2.3.1 승객 도착

승객의 도착 시간간격은 음지수 분포에 따른다고 가정하고 이벤트 구동방식의 시뮬레이션모듈을 작성하였다. 즉, 랜덤 넘버 발생 후, 승객 도착 시간간격의 누적분포식(1)를 이용하여 주어진 승객 수요에 따른 승객 도착 패턴을 생성하였다([4]).

$$P(h < t) = 1 - e^{-t/T} \quad (1)$$

여기서, h 는 승객도착간격, t 는 시간변수, T 는 주기(=1/평균승객수요)를 나타낸다. 전체 시뮬레이션 구동 시간단위를 본선 차두시간인 0.5초로 설정하였으므로 입력한 평균 승객도착율이 높을 경우, 0.5초보다 짧은 승객도착간격이 생성이 될 수 있다. 이 경우 생성된 승객도착간격의 합이 일정시간 이상이 될 때까지 승객도착을 누적시켜서 고밀 승객도착을 구현할 수 있도록 하였다.

2.3.2 차량 생성

정류장에 도착하는 재차 및 통과차량의 생성은 진입선 상류의 본선 끝에서 생성하였다. 주어진 평균 차량도착율에 따라 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 무작위 패턴으로 차량을 생성하였다[5]. 통과 차량 중 공차 지정 역시 주어진 공차율에 따라 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 구현하였다. 정류장과 연결되는 진후 일정거리(45m)의 본선 구간에도 동기식 제어를 가정하였으므로 구간을 슬롯 단위로 나누었고, 최초 슬롯의 차량 점유 유무를 통해 차량생성을 처리하였다.

2.3.3 승객 승하차

승강장에서 승차 또는 하차에 소요되는 시간은 정류장의 용량에 큰 영향을 미치므로, 평균 승하차 시간과 더불어 그 분산까지 고려해서 시뮬레이터를 작성 하였다. 차량 승하차 시간의 분포는 로그정규분포에 따르는 것으로 알려져 있다 [식(2)].

$$f(x) = \frac{e^{-[\ln((x-\theta)/m)]^2/(2\sigma^2)}}{(x-\theta)\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (2)$$

여기서, x 는 확률변수, θ 는 평균, σ^2 은 형상 파라미터, m 은 스케일 파라미터이다. 로그정규분포의 기본 개념은 어떠한 변량에 자연로그를 취한 값이 정규분포에 따른다는 전제에 기초한다. 그러므로, 로그정규 변량을 생성하기 위해서는 우선 Box-Muller 방법[6]에 의해 정규 변량을 생성한 후, 역으로 지수함수를 적용하여 로그정규변량을 도출하는 방법을 사용한다. 본 연구에서 로그정규변량을 생성하기 위해 적용한 승하차 조건은 Table 1과 같다. 일반적으로, 목적지 입력을 위한 시간이 포함되므로 승차에 소요되는 시간이 하차시간 보다 길고 분산도 크다.

표 1 PRT 승하차 시간의 평균 및 분산

Table 1 Mean and Standard Deviation of Boarding and Alighting Time

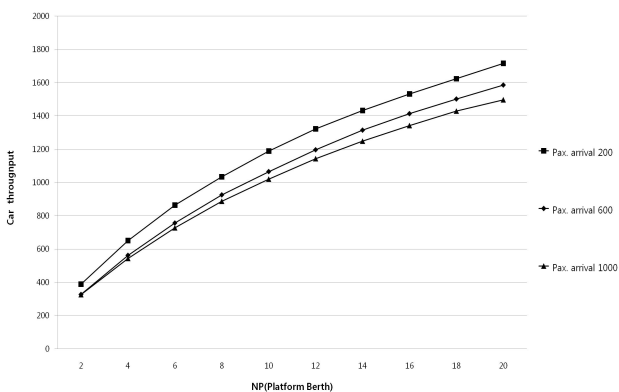
Conditions	Time(second)	
	Mean	Standard deviation
Boarding	10	4
Alighting	8	3

2.3.4 차량 이동

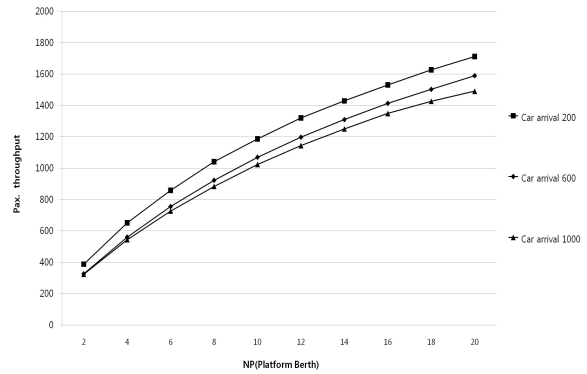
앞서 언급한 바와 같이, 비동기식 제어방식을 채택한 PRT 체계에서도 합류부 및 정류장 구간에서는 동기식 제어를 적용하고 있다. 따라서, 본 연구에서도 정류장 구간 및 진출입부 운영에 대해 동기식 제어 방식을 기반으로 시뮬레이터를 개발하였다. 차두시간을 0.5초로 고정하였으므로, 동기식 제어 원칙에 따라 본선을 비롯해 가감속 구간, 대기공간, 승강장 구간의 슬롯의 크기를 지정속도에 맞게 달리 설정하였다. 본선의 차량 지정속도는 9m/s, 차량 가감속은 2.5m/s², 정류장 구간 내 차량군 이동속도는 6.6m/s를 기본 조건으로 하였다. 물론, 시뮬레이터 사용자가 쉽게 이들 수치를 조정할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 본선 구간과 정류장 구간 모두 슬롯의 점유여부에 따라 차량이동을 구현하며, 특히, 정류장 구간에서 차량진행은 차량군 운행 전략에 따른다.

2.4. PRT 정류장 용량 분석 결과

승강장 정차대 수와 정류장 처리용량과의 관계는 초기 PRT 연구자들([1],[2])과 더불어 국내에서도 규명한 바 있다([7]). 본 연구에서 개발한 시뮬레이터의 적합성 검증을 위해 재차 및 승객 처리 용량을 산출하여 상기 기존 연구결과와 비교 분석한 결과, 본 연구 결과가 Irving등 [1] 및 이준호등 [7]의 결과와 크게 다르지 않은 것으로 확인되었다(Fig. 4 참조).



(a) Number of berths vs. Car throughput



(b) Number of berth vs. Passenger throughput

그림 4 이상조건에서의 PRT 재차처리 및 승객처리 용량 Fig. 4 Car and Passenger Throughput for Ideal Conditions

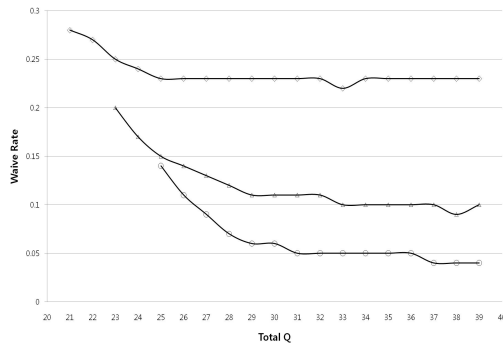
Fig. 4의 결과를 도출한 전제조건은 다음과 같다. 본 연구에서 제시하는 모든 시뮬레이션 결과는 최소 100번 이상의 단위 시뮬레이션 구동결과를 평균한 값이다. 재차도착량과 승객발생량의 합을 시간당 3,600으로 고정하고 두 변량의 비율을 변화시키면서 재차 및 승객 처리용량을 계산하였고, 승객발생이 재차도착보다 많은 경우 승객처리를 위해 충분한 공간공급을 가정하였다. 방출대기 정차대 수는 승강장 정차대 수(NP)와 같게 설정하였고, 진입대기 정차대의 수는 승강장 정차대 수의 2배로 설정하였다. Fig. 4(a)는 승강장 정차대 수와 재차처리 용량(Car Throughput)의 관계를 나타내고, (b)는 승강장 정차대 수와 승객처리 용량(Car Throughput)의 관계를 나타낸다.

승강장 정차대의 수가 늘어날수록 처리용량이 증가하지만, 갈수록 증가폭이 작아지는 것을 확인 하였다. 재차처리 용량의 감소폭은 상대 통행량(=승객 도착량)이 증가할수록 감소하고, 승객처리 용량의 감소폭도 상대 통행량(=재차 도착량)이 증가할수록 감소하는 현상을 보였다. 상대 통행량에 대한 감소폭은 승객처리 용량과 재차처리 용량에 대해 비슷한 수준으로 나타났다. 재차처리 용량과 승객처리 용량 모두 승강장 정차대 수가 20이고 상대 통행량이 시간당 200일 때, 공통적으로 시간당 최대 1,800까지 접근하는 것을 알 수 있다. 하지만, 이 수치는 승객 서비스 수준을 고려하지 않은 이상조건에서의 물리적 용량일 뿐, 차량 진입거부율과 승객 대기시간의 허용치를 제한하면 현실적으로 구현하기 힘든 값이다. 승객 서비스 수준을 고려한 실용용량은 이보다 낮은 수준에서 결정된다.

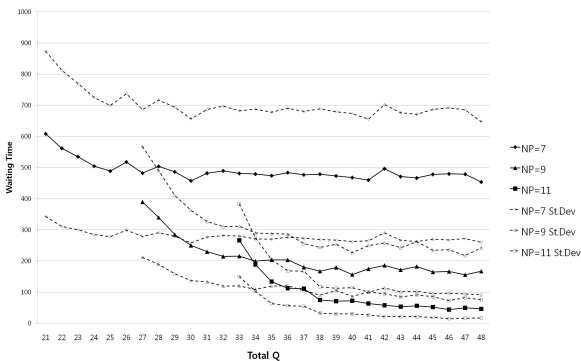
본 연구가 이준호 등[7]의 기존 연구에서 진일보한 점은 다양한 교통조건에 따른 정류장 용량을 산정하고, 차량 진입 거부율과 승객 대기시간등 이용자 서비스 수준과 처리용량을 함께 고려한다는 점이다. Fig. 5는 재차도착량과 승객발생량의 합을 시간당 2,000으로 고정하고 두 변량의 비율이 1:1일때, 전체 정차대 수(승강장 정차대 수 + 진입대기 정차대 수 + 방출대기 정차대수)에 따라 재차 진입 거부율과 승객 대기시간을 도출한 결과이다. 방출대기 정차대 수는 승강장 정차대 수(NP)와 같게 설정하였고, 승객처리를 위해

충분한 공차공급은 가능한 것으로 가정하였다. Fig. 5(a)에서 보듯이 승강장 정차대의 수가 증가할수록 재차 진입 거부율이 점진적으로 줄어드는 현상을 확인 하였다. 반면, 주어진 승강장 승차대에 대해 일정 수준까지는 진입대기 승차대 수가 증가할수록 거부율이 작아지지만, 그 한도를 지나면 진입대기 정차대의 수가 늘어나더라도 거부율의 변화는 없었다. 결과적으로, 평균 5% 이하의 재차 거부율을 보장하기 위해서는 적어도 11개 이상의 승차장 정차대 수와 15개 이상의 진입대기 정차대 수가 필요한 것으로 판명되었다.

또한, Fig. 5(b)는 전체 정차대 수에 따른 승객 대기시간의 변화를 나타낸다. 예상했던 대로 승강장 정차대 수와 진입대기 공간이 커질수록 승객대기 시간이 줄어드는 현상을 확인하였다. 반면, 승객대기시간의 평균과 더불어 표준편차를 계산하여 평균 승객대기시간의 변동폭을 함께 고려하였다. Fig. 5(b)의 점선은 평균 대기시간에서 표준편차를 더하고 뺀 값을 표시한다. 결과에 따르면, 승강장 정차대의 수가 적을수록 승객대기시간의 변동폭이 높은 수준으로, 평균 승객대기시간은 신뢰성 있는 서비스 평가지표가 될 수 없음을 확인하였다. 이러한 현상은 승객대기시간의 최대 허용치를 기준으로 소요 정차대 수를 산정한 Irving등[1]의 연구에서 간과되었던 사항이다. 결과적으로, 평균 100초 이하의 승객 대기시간을 보장하기 위해서는 적어도 11개 이상의 승차장 정차대 수와 16개 이상의 진입대기 정차대 수가 필요한 것으로 판명되었다.



(a) Total number of berths vs. Waive rate



(b) Total number of berths vs. Waiting time

그림 5 재차 진입 거부율과 승객 대기시간

Fig. 5 Waive Rate and Waiting Time

3. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 미시적인 시물레이션 접근방법을 통해 PRT 체계의 핵심적인 성능 결정요소인 정류장 용량에 대해 분석하였다. 정류장 용량 결정요소인 교통조건, 물리적조건, 운영조건등에 대해 포괄적인 검토를 시행하여 그 영향을 규명하였고, 이를 통해 PRT 정류장 운영 시물레이터를 개발하였다. 개발된 운영 시물레이터를 이용하여 다양한 교통조건에서의 재차 및 승객 처리용량을 제시하였으며, 승객 서비스 지표인 재차 진입 거부율과 승객 대기시간을 용량 분석과 연계 하였다. 승객 대기시간의 분석에 있어서는 개별 승객에 대한 변동분까지 고려해 용량에 미치는 영향을 조사하였다. 다차원의 용량 결정요소들의 무수히 많은 조합에 대한 모든 결과를 다 제시할 수는 없으나, 개발된 시물레이터를 이용한다면 주어진 어떠한 조건에 대해서도 정류장 처리 능력과 이용자 서비스 수준을 쉽게 평가할 수 있다는 점이 본 연구의 현실적 기여이다.

본 연구는 단일 승강장을 가진 단순 직렬 정류장을 대상으로 분석을 제한하였다. 향후, 병렬 승강장을 가진 정류장을 포함하여 다양한 PRT 정류장 구조에 대한 운영 시물레이터 개발과 이를 통한 용량 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발한 정류장 시물레이터는 객체지향 원리에 맞추어 개발되었으므로, 향후 다른 구조의 정류장 시물레이터 또는 네트워크 시물레이터 개발 시 추가 코드부담 없이 재사용이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 국토해양부 교통체계효율화 사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] J.H. Irving, Bernstein, H., Olson, C.L. and J. Buyan, "Fundamentals of Personal Rapid Transit," D. C. Health and Company, LexingtonMA.,pp.58-53., 1978.
- [2] K.J. Liopiros, "PRT Station Operation Strategies and Capacities," Personal Rapid Transit II, University of Minnesota, pp. 449-460., 1973.
- [3] J.E. Anderson, PRT: Matching Capacity to Demand, <http://kinetic.seattle.wa.us/prt.html>
- [4] D.L. Gerlough, M.J. Huber, Traffic Flow Theory, Transportation Research Board National Research Council, 1974.
- [5] A.M. Law, Simulation Modeling and Analysis - Third edition, McGraw-Hill International Series, 2000.
- [6] W.H. Press, B.P. Flanery, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, Numerical Recipes, Cambridge University Press, 1989.
- [7] 이준호, 정락교, PRT 시스템의 역수용 용량결정에 관

한 연구, 전기학회 논문지, 59권, 6호, pp. 1070-1074.
2010.

저 자 소 개



김 백 현 (金伯鉉)

1994년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업.
1996년 2월 동 대학원 전자공학과 졸업
(석사). 2003년 2월 동 대학원 전자공학
과 졸업(박사). 2003년 3월~현재 한국철
도기술연구원 수요응답형교통연구단 선
임연구원.

Tel : 031-460-5443

Fax : 031-460-5036

E-mail : bhkim@krri.re.kr



정 락 교 (鄭樂敎)

1991년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업.
1999년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업
(석사). 2005년 2월 동 대학원 전기공학
과 졸업(박사). 1990년 12월~1994년 12
월 한진중공업 사원. 1995년 1월~현재
한국철도기술연구원 수요응답형교통연구
단 단장(책임연구원)

Tel : 031-460-5725

Fax : 031-460-5036

E-mail : rgjeong@krri.re.kr



황 현 철 (黃鉉喆)

1997년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공
학 사), 1999년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 (공학석사), 2006년 2월 : 인하대
학교 전자 공학과(공학박사), 2006년 8
월~현재 : 한 국철도기술연구원 무가선
트램연구단 선임연구원

Tel : 031-460-5747

Fax : 031-460-5036

E-mail : hchwang@krri.re.kr