

# 시뮬레이터를 이용한 지하철 혼잡도 분석에 관한 연구

이두용\* · 이종석\* · 김동희\*\* · 홍순흠\*\* · 이창호\*\*\*

\*인하대학교 산업공학과 · \*\*한국철도기술연구원 · \*\*\*인하대학교 아태물류학부

## A Study on the Analysis of Subway Crowdedness using Simulator

Doo-Yong Lee\* · Zhong-Shi Li\* · Dong-Hee Kim\*\* · Soon-Heum Hong\*\* · Chang-Cho Lee\*\*\*

\*Dept. of Industrial Engineering, INHA University

\*\*Korea Railroad Research Institute

\*\*\*Asia Pacific School of Logistics, INHA University

### Abstract

Many people transfer from the automobile to the subway because of increasing in oil price and improvement of mass transit system of Seoul Metropolitan City. But Seoul Metropolitan Subway have brought out passengers discomfort because it is more crowded over the appropriateness because of very high utilization though it is highly technically facilitated.

This study deals with the development and simulation study of subway train simulator. We performed the validity simulation study for the simulator for the interval from Sindorim station to Samsung station in Seoul Subway Line 2. We analyzed the simulation results considering crowdedness after we defined the concept of crowdedness. Also we accomplished the analysis of simulation results after simulation under the assumption that the crowdedness is alleviated by controlling the passengers using RFID technology.

Keywords : m-TMS, Subway, Crowdedness, Simulation

### 1. 서론

노선 운행의 많은 부분이 지하 터널 구간에서 이루어지는 지하철은 많은 사업비용에도 불구하고, 대도시 교통체계에 있어서 수송기능의 우수성으로 인해 세계 160여개 도시에서 운행되고 있다. 서울 지하철의 경우 일일 수송인원은 2006년 기준으로 년 평균 22억 명으로 모스크바(33억 명), 도쿄(26억 명)에 이어 세계 3위를 차지하고 있다.[1]

세계적인 수준인 우리나라의 도시철도 혼잡도의 경우 국토해양부가 2008년 4월에 발표한 '혼잡역사 안전대책 합동점검 결과'에서 2호선 사당~방배 구간은 출퇴근 시

간대(아침 7~9시, 저녁 6~8시) 평균혼잡도 221%를 기록했다. 지하철 한 칸의 승차 정원은 160명, 좌석은 54개다. 혼잡도 221%면 한 칸에 350여 명이 타고 있다는 뜻이다. 혼잡도가 250%를 넘어가면 출입문이 열려도 더 이상 탈 수 없다. 4호선 한성대~길음 구간이 189%, 1~4호선의 평균 혼잡도가 171%였다. '차이지 않고 서 있을 수 있는' 적정혼잡도 150%를 훌쩍 넘어섰다.[2]

혼잡도와 함께 고려되어야 할 부분은 승객들이 열차를 기다리는 시간이다. 서울 지하철의 출근시간대 배차 간격은 2분대이지만 연착으로 인해 승객이 플랫폼에서 5분 이상씩 열차를 기다려야 한다.

† 본 연구는 한국철도기술연구원-서울메트로 협력연구사업 지원에 의하여 연구되었음.

† 교신저자: 이창호, 인천광역시 남구 용현동 253

M · P: 011-761-2995, E-mail: lch5601@inha.ac.kr

2008년 10월 접수; 2008년 11월 수정본 접수; 2008년 11월 게재확정

2006년 11월6일~10일 일주일간 출근시간 지하철 평균 지연시간과 정차시간을 조사한 결과, 신도림역의 평균 지연시간은 2분50초, 신림역은 4분 28초, 교대역은 무려 7분33초나 된다. 평균 정차시간도 신도림역 1분8초, 사당역 1분27초, 교대역 1분22초 등을 기록했다. 정차와 지연의 악순환이다. 1호선도 창동역 3분30초, 서울역 5분 54초, 사당역 6분6초의 평균 지연시간을 보였다.

본 논문의 목적은 지하철 혼잡도 분석을 위해 기존 철도 시뮬레이터의 지하철 적합화를 수행하여 시뮬레이션 결과 분석 및 혼잡도 해소방안을 제시하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 혼잡도 분석 연구

Takagi[6]는 환승역에 도착하는 열차 시간이 늦어질 때 앞 열차를 언제 출발시킬 것인지에 대한 연구를 수행하였다. 다른 열차들과의 관계가 종합적으로 고려되지는 못하였다.

Hirai[7]은 승객의 흐름을 고려한 열차 시뮬레이터를 개발하여 승객의 총 여행시간(total travel time)과 열차 혼잡도 분산 결과로 분석하였다. 이를 위하여 그 동안 수동으로 행해지던 열차 간격 조정을 위한 알고리즘을 개발하여 적용하였다. 여러 가능한 OD데이터를 가정으로 시뮬레이션을 수행하여 다양한 결과들을 얻었다.

Lam[8]은 홍콩의 경전철을 대상으로 혼잡도에 영향을 주는 중요 인자들을 분석하였다. 이를 위해서 Level of Service(LOS)로 사용하기 위해서 서비스 정도와 혼잡도에 대한 정의를 승객들 인터뷰를 통해서 도출하였다. 열차 정차 시간 모델을 구하고 이를 이용하여 혼잡도에 대한 다양한 시나리오 하에서 LOS의 변화를 시뮬레이션 하였다.

Li[13]는 열차 운영자에게는 운영의 효율화를 위해서 승객 관점에서는 혼잡으로 야기된 승객의 불편 완화를 위해서 열차 시뮬레이션이 필요함을 역설하고 하나의 시뮬레이션 모델을 제시하였다.

오석문과 김형진[3]은 서울시 혼잡 지하철역에서의 승객들의 승하차 시간을 실증 분석하였으며 승하차 시간에 대한 회귀모형 분석을 행하였다. 다만 이를 활용하여 어떻게 열차 간격과 역에서의 정차 시간을 조정하여 혼잡도를 완화할 수 있을지에 대한 방안을 제시하지는 못했다.

Puong[10]은 열차의 정차 시간에 대한 분석을 뉴욕의 MBTA Red Line을 대상으로 행하였다.

Qi[11]은 중국 북경 지하철을 대상으로 승하차에 따

른 승객들의 행태학적인 관점이 열차 정차 시간에 어떤 영향을 미치는가를 분석하였다.

Peard[12]은 열차 정차 시간에 대한 회귀식을 구하였으며 이러한 정차 시간에 영향을 주는 다양한 요인들에 대한 분석과 이를 완화시킬 수 있는 방법들을 제시하였다.

Harris[9]는 기존에 알려져 있는 열차 정차 시간에 대한 회귀식을 세계 여러 나라를 대상으로 적용한 결과 모수값에서 약간의 차이를 보이지만 대체적으로 같은 수식으로 표현할 수 있음을 보였다.

이상과 같이 열차의 혼잡도와 관련해서는 세계 대도시를 대상으로 여러 실증적 연구들이 있었고 대부분이 승객의 승하차 시간과 정차 시간의 관계를 분석하였다.

이를 통해서 열차의 역 정차 시간은 당연히 승객들의 승하차 시간과 직접 관련됨을 알 수 있다. 이번 연구는 이러한 열차 혼잡도에 대한 실증적 분석이 아닌 혼잡도에 따른 지연이 열차의 운행 간격이나 역 정차 시간에 어떤 영향을 주는가를 그래서 결과적으로는 운전자나 승객들에게 어떤 영향을 주는지에 대해서 분석하고자 한다. 후에 이런 연구의 보완으로 혼잡도를 실측하고 이를 반영할 수 있을 것이다.

### 2.2 국외 시뮬레이션 사례

열차운영 시뮬레이션은 열차운영계획의 수립 및 시설투자를 위한 사전 검토를 위하여 기본적으로 필요한 도구이며, 대부분의 해외 철도회사에서는 각국 고유의 철도환경에 적합한 열차운영 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 실제 업무에 활용하고 있다.[5]

#### 2.2.1 영국 (VISION)

영국의 BRR (British Rail Research)은 경쟁력 있는 가격으로 신뢰성 있는 서비스를 제공하기 위해 철도운영에 대한 많은 연구를 하고 있다. 1970년 최초의 철도 운영 시뮬레이터인 GATTS (General Area Timebased Train Simulation)를 개발하여 운용계획 작업에 사용한 바 있고, 이후 1987년부터는 제반성능향상과 사용자측면에서의 용이성을 향상시킨 VISION (Visualisation and Interactive Simulation of Infrastructure and Operations on rail Networks)을 개발하였다. 이 시뮬레이션은 인프라스트럭처 변경, 운전시각표 변경, 열차배치 전략변경, 열차성능 및 부하변경, 신호시스템 설계, 선로용량, 미예측 사례의 처리 등 철도운영 전반에 관계하는 사항들의 평가를 위한 시뮬레이션에 사용함으로써 철도개발에 투자되는 비용의 최적화와 고품질의 철도서비스를 동시에 이루려는 시도를 하고 있다.

특히, VISION은 BR에서 현재 사용 중이거나 계획 중인 모든 철도 운용 작업을 매우 쉽게 모델링하고 시뮬레이션 할 수 있도록 설계된 것으로, 컴퓨터 전문가가 아닌 운전시각표, 인프라스트럭처 설계자들도 쉽게 사용할 수 있도록 하였다. VISION은 오랜 검증 기간을 거쳐 현재 상용화되어 영국철도와 런던 지하철, 구광철도 등에서 사용하고 있다.[4]

## 2.2.2 스웨덴 (SIMON)

스웨덴 국영철도(Swedish National Rail Administration)는 장래의 여객 수요와 여러 가지 투자 대안을 비교 평가하기 위한 열차운용시뮬레이션이 사용되는데, 이를 위해 열차 운용 시뮬레이션 프로그램인 SIMON을 개발하였다. SIMON은 철도망 및 선로용량분석을 주목적으로 하는데, 현재까지 주로 트랙 및 신호 시스템의 평가와 선로용량 해석에 활용되어 왔으며, ADtranz사의 SIMTRAC (System for Simulation of Train Traffic Power System)과 연결하여 급전 계통의 연구도 수행할 수 있고, 운전시각표의 평가에도 이용할 수 있다.

SIMON의 주요 특징은 첫째, 선로길이 900km에서 일당 220 열차가 운행되는 철도시스템에 대해 Sun Spark IPX를 사용하여 9분에 시뮬레이션을 수행할 수 있을 정도로 시뮬레이션 속도가 빠르다.

둘째, 트랙 정보를 데이터베이스로 저장하여 처리하는 BIS (The Track Information System)과 열차성능계산 프로그램인 RPT (Train Performance Calculation) 및 Train Traffic Simulator로 기능별로 모듈화되어 있어 용도에 맞게 시스템을 구성하여 적용할 수 있다.

셋째, Man-Machine Interface로서, User Interaction 및 on-line graphic 기능에 의한 시뮬레이션 개입 및 결과 검증이 용이하다.[4]

## 2.2.3 홍콩 (MTS)

홍콩의 MTR (Mass Transit Railway Corporation)과 영국의 LUL (London Underground Limited)는 철도시스템의 설계과정을 지원하기 위하여 컴퓨터를 기초로 한 다수 열차 시뮬레이터 (Multi-Train Simulators)를 공동으로 개발하였다. 두 기관은 기존의 열차운용 시뮬레이터 기본 패키지를 소스코드까지 구입한 뒤, 각 기관의 특정 응용목적에 적합하도록 수정, 보완하는 방식을 취했으며 기본 소프트웨어를 표준화하여 공동으로 사용하고 각 회사의 필요에 의해 개발된 새로운 모듈들을 추가할 수 있도록 하였다.

MTS의 주요 특징은 첫째, 급전시스템과의 상호 작용을 포함한 열차운용 시뮬레이션이다. 전철의 급전시

스템에서 공급전압은 +20%에서 -30%까지 변동할 수 있는데 이때 열차성능 및 전력수요는 큰 영향을 받게 되고 철도의 다른 부분 시스템까지 과급될 수 있다. 이와 같은 부분 시스템간의 영향을 종합적으로 시뮬레이션하기 위하여 차량, 신호제어, 선로시설들의 시뮬레이션과 더불어 급전시스템 시뮬레이션도 포함하였다.

둘째, 복자한 분기기를 갖는 다중 루트 구조의 철도망을 시뮬레이션 할 수 있도록 하고, 이를 위해 분기기에서의 열차주행상황에 대한 상세 모델을 개발하였다.

셋째, 신호시스템이 역간 운전시분, 운적 시격 및 에너지 소비량 등 열차성능에 미치는 영향을 연구할 수 있도록 다양한 신호시스템 기능을 추가하였다.[4]

## 2.3 다중열차운용시뮬레이터

### 2.3.1 시뮬레이터의 구조

다중열차운용 시뮬레이션 프로그램의 각 부분별 프로그램 모듈은 크게 3가지로 구성되어 있다.[5]

#### (1) 입력모듈

입력모듈은 시뮬레이션을 위하여 필요한 선로망 데이터, 신호기 데이터, 구배, 커브, 제한속도와 같은 철도망 데이터와 열차제원, 열차 시각표, 운행루트와 같은 데이터를 사용자로부터 입력받아 저장하게 되며, 또한 이미 구성된 데이터를 편집하는 부분이다.

#### (2) 메인모듈

메인모듈은 입력모듈에서 구성 혹은 편집한 인프라 및 열차관련 데이터를 이용하여 혼합열차 시뮬레이션을 수행하는 부분이다. 시뮬레이션 수행을 위해서는 사용할 인프라 및 열차관련 데이터의 정의가 필요하며, 또한 시뮬레이션 수행과 관련된 옵션이 필요하다. 이를 위해 시뮬레이션 수행에 앞서 인프라, 열차 및 시각표, 운행루트, 그리고 시뮬레이션 옵션으로 구성된 프로젝트 데이터를 만들게 된다.

#### (3) 출력모듈

다중 열차운용 시뮬레이션 수행 결과로서 열차주행결과 파일과 신호기상태 파일이 생성된다. 열차주행결과 파일에는 각 열차별로 시간, 위치, 속도, 통과 혹은 정차 역명 등과 같은 정보가 기록되며, 신호기상태 파일에는 시간, 신호기별 현시상태 등과 같은 정보가 저장된다. 시뮬레이션 종료 후 열차별 주행곡선, 열차 다이어, 열차 시발착 정보 등을 출력할 수 있다.

### 3. 지하철 적합화 시뮬레이터

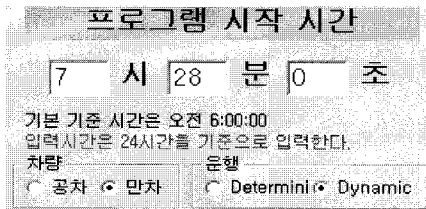
#### 3.1 지하철 시뮬레이터

본 연구에서는 경부선용으로 개발된 다중열차운용시뮬레이터를 지하철의 상황에 맞게 시뮬레이터를 개량하였다. 수정된 사항을 살펴보면 첫째, 철도망 데이터 중 선로, 구배, 곡선, 제한속도에 대한 부분과 열차제원, 열차 시각표, 운행루트 등을 지하철 2호선에 맞게 개량하였다.

둘째, 시뮬레이션 수행 중 사용자가 개입하여 다양한 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 제어모듈을 추가하였다.

셋째, 보다 현실적인 시뮬레이션이 가능하도록 역별 정차시간을 설정하여 정차시간을 이용해 다양한 시뮬레이션이 가능하도록 구성하였다.

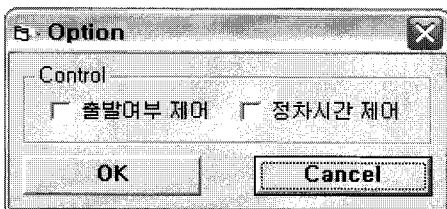
시뮬레이션은 기본적으로 두 가지 모드로 수행할 수 있다. 기존 시각표의 정차시분을 준수하는 모드와 새롭게 계산된 정차시분을 준수하는 모드가 있다.



[그림 1] 시뮬레이션 모드

기존 시각표 정차시분 준수 모드는 현재 구성된 시뮬레이션이 현실 상황과 얼마나 적합한지 확인할 수 있고, 시각표의 시각을 바꾸어 다양한 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 구성하였다.

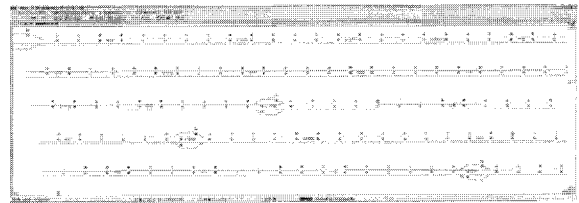
새로운 정차시분 반영 모드의 경우 시뮬레이터 상의 열차 간격을 계산하여 간격에 비례하는 역별/시간대별 정차시분을 준수하도록 구성되어 있다. 특히 관제소에서 열차별로 제어하는 방식과 같이 사용자가 임의로 중간에 출발하는 열차의 순서를 제어할 수 있고, 각 열차별로 각 역에서 열차의 정차시분을 제어할 수 있는 Control모드를 만들어 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였다.



[그림 2] Control 모드

#### 3.2 시뮬레이터 수행

사용자가 인프라 데이터 및 열차 제원, 시각표, 운행루트 등을 입력하면 시뮬레이터 내부에서 입력한 정보들을 컴파일하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 데이터베이스에 기록한다. 기록된 정보를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하는데, 그래픽 현시 없이 내부적으로 연산을 수행하는 모드와 그래픽을 통해 사용자가 열차운용 상황을 감시하고 필요에 따라 시뮬레이션 제어를 수행할 수 있는 모드가 있다. 전자는 화면 출력이 없으므로 시뮬레이션 속도가 빠르고, 후자는 화면에 출력되는 연산시간으로 인해서 시뮬레이션 속도가 느린 반면 시뮬레이션 과정을 실시간으로 감시하여 열차운용상황을 직접 파악할 수 있다는 장점이 있다.

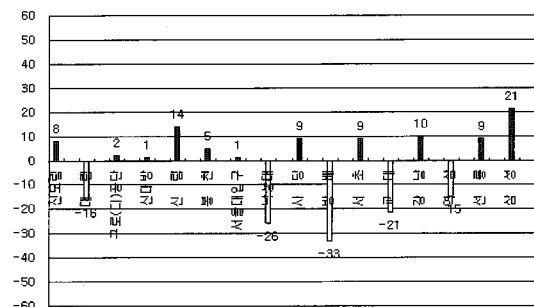


[그림 3] 시뮬레이터 수행 화면

#### 3.3 시뮬레이터 타당성 검증

경부선용으로 개발된 다중열차운용시뮬레이터를 지하철 상황에 맞게 개량한 시뮬레이터의 타당성을 검토하기 위해 2가지 시뮬레이션을 수행하여 결과를 분석하였다.

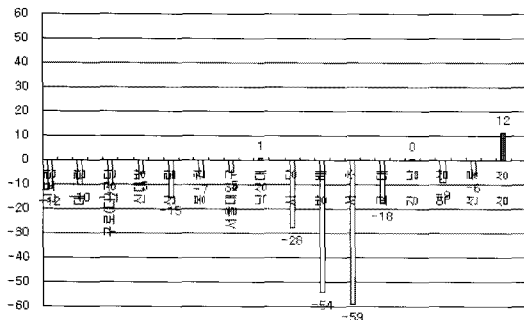
첫째, 시각표와 실제 시뮬레이션과의 차이를 위해 1대의 열차를 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 시각표의 결과와 비교하였다. 시뮬레이션 결과 역간 운행시분과 시각표의 역간 운행시분의 차이를 그래프로 나타내면 [그림 4]와 같다.



[그림 4] TPS-시각표 비교 (70Km 제한속도)

둘째, 실제 운행 데이터와의 결과를 비교하기 위해 1대의 열차를 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 실제

행 데이터와 비교하였다. 시뮬레이션 결과 역간 운행시분과 실제 운행데이터의 역간 운행시분의 차이를 그래프로 나타내면 [그림 5]와 같다.



[그림 5] TPS-실제운행 비교 (70Km 제한속도)

첫 번째 시뮬레이션 수행 결과를 보면 시각표는 정차시분이 30초를 바탕으로 시각표를 작성하기 때문에 30초를 넘는 부분은 가산을 하고 30초가 안되는 부분은 감산을 하여 시각표를 작성한다. 따라서 시뮬레이션 결과와 시각표와의 차이를 비교해 보면 오차범위 내에서 시뮬레이션이 수행되고 있음을 알 수 있다. 두 번째 결과는 시뮬레이션 결과는 역간 운행시분을 비교한 결과 지연이 많이 발생하는 구간이 사당~교대 부분인 것을 알 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션 결과 분석

##### 4.1 시뮬레이션 가정

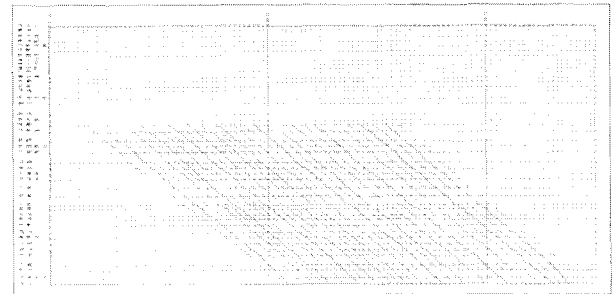
지하철 혼잡은 출퇴근시에 집중되어 발생하며, 동선을 최소화하려는 승객의 심리로 인해 환승통로, 환승계단, 환승에스컬레이터 등 특정지점에 혼잡이 집중되어 지연이 발생한다. 본 연구에서는 역사의 혼잡도를 문헌을 바탕으로 조사하였고 정차시분을 계산하여 시뮬레이션에 반영하였다.

##### 4.2 시나리오 설정

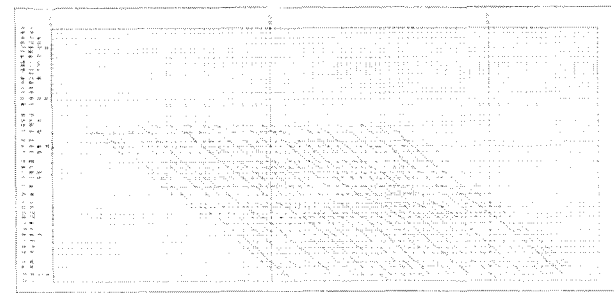
- 1) 신도림~삼성 구간에서 시각표 기준 시뮬레이션 수행 및 결과 분석
- 2) 신도림~삼성 구간에서 실제운행 기준 시뮬레이션 수행 및 결과 분석
- 3) 신도림~삼성 구간에서 혼잡도가 극혼잡일 경우 시뮬레이션 수행 및 결과 분석

#### 4.3 시뮬레이션 결과 분석

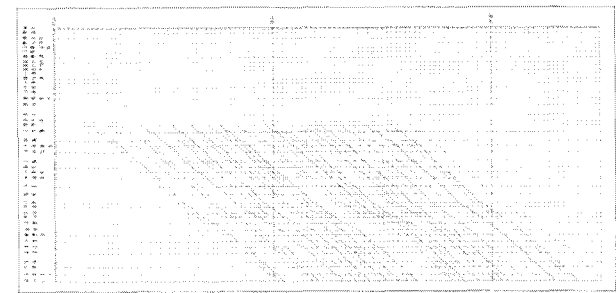
출근시간대 (07:00~09:00) 지하철 2호선 신도림~삼성 구간에 대해 운행 중인 33대의 열차를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였다.



[그림 6] 시각표 다이어



[그림 7] 실제 운행 다이어



[그림 8] 혼잡도 200% 다이어

시뮬레이션 결과를 분석해보면 [그림 6]의 시각표 다이어는 정차시분이 30초로 되어 있어 지연이나 연착이 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. [그림 7]은 출근시간대 실제 운행 중인 33대의 열차들의 다이어로서 승객들이 많이 몰리는 역에서는 정차시분이 길어져 후행 열차들에게서 지연이 발생하는 것을 볼 수 있으나, 관제소의 열차 제어에 의해 삼성 이후에서는 열차들이 시각표와 마찬가지로 운행되는 것을 볼 수 있다. [그림 8]은 역사 혼잡도가 극혼잡일 경우 시뮬레이션을 수행한 결과로 열차 간격이 상당히 벌어져 있는 것을 볼 수 있다. 이는 승객들의 열차 대기시간이 길어지는 것을 의미한다.

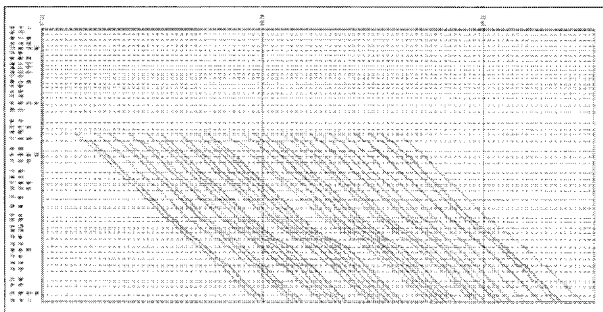
&lt;표 2&gt; 시뮬레이션 결과 분석

	시각표	실제운영	200%
Min	0:31:30	0:30:59	0:31:28
Max	0:34:00	0:36:45	0:38:43
Average	0:32:35	0:34:37	0:33:58

#### 4.4 혼잡도 개선 방안

역사 혼잡도를 개선하기 위해서 제시하는 방법은 환승통로, 환승계단, 환승에스컬레이터 등 특정지점에 혼잡이 집중되는 것을 최소화하기 위해 RFID를 이용하여 승객들을 분산시키는 방법이다.

RFID 태그를 13.56MHz와 2.45GHz 대역의 Dual Band 로 구성하여 개찰구로 들어오는 승객들은 13.56MHz 대역의 RFID 태그로 개인정보를 인식하고, Station Zone (통로, 계단, 승강장 등)에서 2.45GHz 대역의 RFID 태그로 위치 정보를 인식하고 승객들의 휴대용 단말기에 정보를 제공한다. 이를 통해 승객들이 개찰구를 통해 들어오면 각 승객들의 개인정보를 인식할 수 있고 역에 진입하는 승객들의 숫자와 각 승객들의 출발지와 도착지 정보를 상세히 파악할 수 있다. 또한 2.45GHz 대역을 통해 승객들의 위치정보를 파악하면 통로나 계단, 승강장의 특정 지역에 승객들이 몰리는 정도를 파악할 수 있다. 이를 통해 승객이 개찰구를 통해 들어오면 승객의 휴대용 단말기에 역 내의 열차정보, 앞으로 들어올 열차의 정보, 역사 내의 승강장 혼잡도 정도를 제공하여, 특정 열차와 특정 승강장에 몰리는 인원을 분산시킬 수 있다. 이렇게 승객들을 분산하여 역사 혼잡도를 150%까지 낮출 경우 시뮬레이션을 수행하면 [그림 9]와 같다.



[그림 9] 혼잡도 150% 다이어

승객 제어를 한 시뮬레이션 결과를 비교해 보면 신도림에서 삼성역 구간의 열차 주행시간은 승객 제어를 하지 않았을 경우 33분 58초가 걸린 반면, 승객 제어를 한 경우 32분 15초가 걸려 시각표에 제시된 32분 25초

와 거의 비슷하게 운행하는 것을 볼 수 있다. 열차의 지연시간을 비교해 보면 시각표 대비 극혼잡일 경우 평균 82초가 지연되는 것으로 나타나는데 비해, 승객 제어를 하게 되면 시각표보다 21초 정도 일찍 도착하는 것으로 확인되었다.

#### 5. 결론

본 연구는 기존 다중열차운용시뮬레이터를 프로그램 구조 및 인프라, 열차제원, 시각표, 운행루트 등을 수정하여 지하철 혼잡도 분석을 위해 적합화하였다. 적합화된 시뮬레이션을 바탕으로 실제 시각표 및 운행기록과 비교를 통해 시뮬레이션이 현실 상황에 맞는지 판단하고, 혼잡한 상황을 선택하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 결과를 분석하고, 혼잡도 해소방안으로 RFID를 이용한 승객제어를 통해 출근시간대 열차들을 대상으로 운행시간, 지연시간 등을 비교하였다. 특히 정확한 시뮬레이션 분석을 위해 각 열차들의 데이터를 실제 데이터를 사용하였고, 적합화 수행 과정에서 현실 상황에 맞게 시뮬레이션을 구축하여 지하철 분석 시뮬레이터를 구성하였다. 시뮬레이션을 수행하면서 변수들을 변경하면서 다양한 시뮬레이션이 가능하도록 하였고, 열차 제어 모듈을 통해 관계소에서 열차들을 제어하는 것과 마찬가지로 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였다. 하지만 환승계단의 혼잡구간이나 연결통로의 혼잡 등 승강장 혼잡 이외에 다른 혼잡구간의 데이터가 반영되어 있지 않고, 운전자 관점에서의 데이터만 제시하여 승객들의 불편 정도와 같은 승객관점에서 비교 지표들이 제시되어 있지 못한 점은 다음 연구에서 개선되어야 할 부분이다. 본 연구는 혼잡도와 관련된 인자들을 다양한 방법으로 변경하여 시뮬레이션을 수행함으로써 혼잡도와 관련된 지하철 시뮬레이션의 활용가치를 극대화시키는데 기여할 수 있다. 국내 서울메트로나 국외 사례에서 살펴보면 꾸준히 혼잡도 해소방안에 대한 연구를 진행하고 있다. 추후 연구과제로 이 분야에 대한 구체적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 6. 참고 문헌

- [1] 한국교통연구원, “도시교통 특성을 고려한 도시철도 시스템 평가방안”, 연구총서, 2007.
- [2] 항공철도국, “혼잡역사 안전대책 합동점검 결과”, 보도자료, 2008.
- [3] 오석문, 김형진, “서울시 혼잡 지하철역의 승하차 시간 분석”, 한국철도학회 2005년도 춘계학술

[4] 이동승, "컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 열차운행제어 분석에 대한 기초검토", 석사논문, 2005.

[5] 한국철도기술연구원, "수송계획 및 제어관리 최적화", 연구보고서, 2001.

[6] R. Takagi, C. J. Goodman and C. Roberts, "Optimization of train departure times at an interchange considering passenger flows", Proc. of IMechE, Vol. 220, Part F: J. of Rail and Rapid Transit, 2006.

[7] C. Hirai and N. Tomii, "A train traffic control simulation with passengers' flowing model", International Conference on Developments in Mass Transit Systems, 1998.

[8] W. H. K. Lam, C. Y. Cheung and C. F. Lam, "A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations", Transportation Research Part A Vol. 33, 1999 .

[9] N. G. Harris and R. J. Anderson, "An international comparison of urban rail boarding and alighting rates", Proc. of IMechE, Vol. 221, Part F: J. of Rail and Rapid Transit, 2007.

[10] A. Puong, "Dwell time model and analysis for the MBTA", Working paper, 2000.

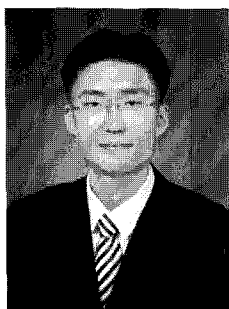
[11] Z. Qi, H. Baoming and L. Dewei, "Modeling and simulation of passenger alighting and boarding movement in Beijing metro stations", Transportation Research Part C, 2008.

[12] M. Pead, "The impact of boarding and alighting passengers on the dwell time at railway stations", Working paper, Aston University, 2007.

[13] J. P. Li, "Train station passenger flow study", Proc. of the 200 Winter Simulation Study, 2000.

저 자 소 개

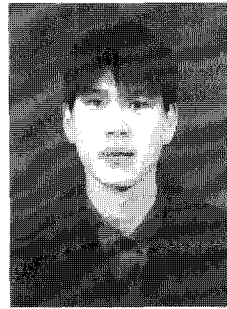
이 두 용



현재 인하대학교 대학원 산업공학과 석사 과정 중. 인하대학교 산업공학과 공학사 취득.  
 관심분야 : RFID 관련 물류 관리 시스템 개발, 항공물류 RFID 시스템 개발, 시뮬레이션, SCM

주소: 인천광역시 남구 용현동 253

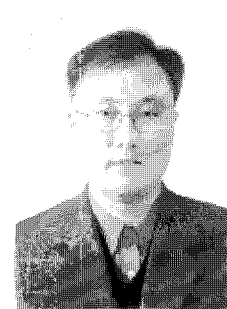
이 종 석



현재 인하대학교 대학원 산업공학과 박사과정 중. 인하대학교 산업공학과에서 공학석사 취득. 주요 연구 관심분야는 열차운행 시뮬레이터, 항공물류 정보시스템의 운영 방안, RFID를 활용한 응용시스템, SCM, ERP 등.

주소: 인천광역시 남구 용현동 253

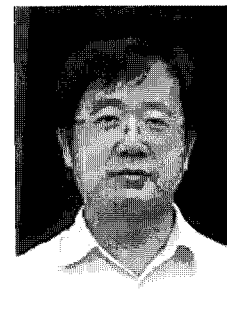
김 동 희



인하대학교에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하였다. 관심분야는 철도운영최적화 및 시뮬레이션, DSS, 물류시스템 등이며, 현재는 한국철도기술연구원 철도교통물류연구실에 재직 중이다.

주소: 경기도 의왕시 월암동 360-1

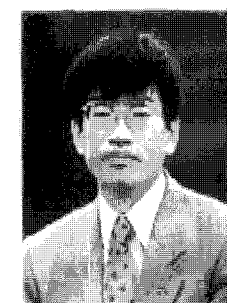
홍 순 흠



서울대학교에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하였다. 관심분야는 철도운영최적화 및 시뮬레이션, 열차운행관리체계, 수익관리 시스템 등이며, 현재는 한국철도기술연구원 철도교통물류연구실에 재직 중이다.

주소: 경기도 의왕시 월암동 360-1

이 창 호



인하대학교 산업공학과에서 학사 취득. 한국과학기술원에서 산업공학과 석사, 경영학과 공학박사 취득. 현재 인하대학교 교수로 재직 중.  
 관심분야 : 물류, RFID, SCM

주소 : 인천광역시 남구 용현동 253