

미니트램(한국형 PRT) 자동운행제어시스템 개발

김 백 현[°], 정 락 교^{*}, 강 석 원^{*}, 변 윤 섭^{*}

Development of Automatic Operation Control System for Mini-Tram(Korean PRT)

Baek-Hyun Kim[°], Rag-Gyo Jeong^{*}, Seok-Won Kang^{*}, Yeun-Sub Byun^{*}

요 약

미니트램은 승객의 요구에 따라 출발지에서 목적지까지 네트워크 형태의 노선을 통행 상황에 따라 최소의 이동 시간이 소요되는 경로를 탐색하여 무정차(non-stop)로 이동할 수 있는 쾌적하고 프라이버시가 보장되는 새로운 문전수송(door-to-door) 서비스형 완전자동 대중교통수단이다. 본 연구에서는 승객의 목적지 선택에 따라 승객운행 스케줄링을 통해 적절한 차량을 배차하며, 도착예정 시각정보 등을 정류장의 키오스크 화면에 표시하여 승객이 확인할 수 있도록 미니트램 운행제어시스템을 구현하였다. 미니트램 차량은 정류장에 도착하여 승객을 탑승시킨 후 목적지까지 위치 및 상태에 따라 실시간으로 속도프로파일에 따라 운행제어시스템에 의해 제어될 수 있도록 구현하였다. 다수의 차량 제작이 현실적으로 힘든 개발 초기에 있어서, 높은 트래픽 환경에서의 운행제어 알고리즘 및 안전대책을 보다 실제 상황에 근접하게 검증하기 위하여 가상의 미니트램을 혼재하여 운행이 가능하도록 시뮬레이션 시스템을 구성하였다. 안전을 최우선으로 고려하는 철도 운행제어기술과 최신 센서 및 전자제어기술 등의 다양한 전기 자동차 기술을 접목하여 구축된 미니트램 시스템은 편리하고 안전한 미래의 새로운 대중교통수단으로 실용화되어질 전망이다.

Key Words : Mini-tram, PRT(Personal Rapid Transit), Operation control, Door-to-door, On-demand

ABSTRACT

The Mini-tram, commonly known as PRT(Personal Rapid Transit), has been highly focused in future transportation developments as a result of its on-demand and optimized door-to-door transport capability. In this study, the operation control interfaces for mini-tram were designed and implemented. The Mini-tram operation control system is connected with vehicles under operation in real time by means of wireless communication, which enables it to control and manage these vehicles; it services requests from passengers based on the implementation of operation scheduling for vehicle dispatch requests received from individual station control systems. Additionally, it provides the required user interface for control operations through a user information display unit. This operation control system monitors the condition and operational status of all vehicles in real time while remotely controlling and managing the vehicles and other facilities.

※ 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

•° First and Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Metropolitan Transportation Research Center, bhkim@krii.re.kr, 정회원

* Korea Railroad Research Institute, Metropolitan Transportation Research Center, {rhjeong, swkang, ysbyun}@krii.re.kr
논문번호 : KICS2017-02-049, Received February 23, 2017; Revised June 1, 2017; Accepted June 15, 2017

1. 서 론

일반적으로 PRT(Personal Rapid Transit)로 정의되는 미니트램(Mini-tram)은 최대 6명 정도가 탑승이 가능한 소형 대중교통수단으로써, 총연장거리 10km 정도의 지역에서 시간당·방향당 3,000명 정도의 수송능력을 제공한다¹⁾. 더불어, 승객의 요구에 따라 출발지에서 목적지까지 네트워크 형태의 노선을 통행 상황에 따라 최소의 이동시간이 소요되는 경로를 탐색하여 무정차(non-stop)로 이동할 수 있는 쾌적하고 프라이버시가 보장되는 새로운 문전수송(door-to-door) 서비스형 완전자동 대중교통수단이다^{2,3)}.

미니트램은 정거장에서의 선행 차량의 정차에 따른 후속 차량의 정체를 해소하기 위하여 정류장을 측선(off-line)으로 설치하며, 정거장에서 승객이 차량을 요청하는 경우에만 서비스를 제공하는 수요응답형 배차서비스(On-demand service)로 수용에 탄력적으로 대응하는 것을 기본운영시나리오로 한다^{4, 5)}. 즉, 비첨두시에는 쓸모없는 빈차운행에 따른 에너지 소모를 최소화하기 위하여 정거장이거나 수요가 예상되는 정거장 근처의 대기선에서 승객의 서비스 요청을 기다리므로, 효율적인 공차관리(Empty vehicle management)를 통해 효율성 및 에너지 절감효과를 극대화시킬 수 있다. 본 연구에서는 미니트램의 네트워크 운영을 제어하고 운행상태를 모니터링하기 위한 중앙운행제어시스템을 구현하였다.

미니트램의 국외 개발 동향을 살펴보면, 영국 히드로(Heathrow) 공항에서 터미널과 외부 주차장간 셔틀로 운영되고 있는 ULTraPRT 시스템과 아랍에미리트연합의 마스다르(Masdar institute)에서 탄소제로 도시 구현의 일환으로 시범운영중인 네덜란드의 2getthere 시스템이 대표적이다.

ULTraPRT는 영국 브리스틀(Bristol) 대학의 마틴 로슨(Martin M. Lowson) 교수의 연구팀이 최초로 제안하였으며, 대학 내에 설립된 ATS사(Advanced Transport Systems Ltd, 현 Ultra Global사)를 중심으로 컨소시엄이 구성되어 영국 정부의 지원 하에 개발이 진행되었다. 현재 영국 교통부의 저탄소도시교통정책(Low Carbon Urban Transport Zone Program)에 따라 밀턴케인스(Milton Keynes) 지역에 ULTraPRT 시스템의 확대 적용을 통한 친환경 무인운전 도시교통 체계 구축을 계획하고 있다⁶⁾.

아랍에미리트연합(UAE)의 마스다르시(Masdar)는 친환경 생태도시 개발 계획에 따라 ADFEC(Abu Dhabi Future Energy Company)에 의해 네덜란드 2getthere사의 PRT를 도입하여, 1.2km(단방향) 노선에서 차량 13대와 5개역 규모로 운영중에 있다⁷⁾.

한정된 전용의 도로를 운행하는 미니트램의 적용가능성을 확장시키기 위해, 저속 주행을 전제로 하여 일반 보행자와 도로를 공유하는 시스템들에 대한 관



그림 2. 마스다르(UAE)의 2getthere PRT
Fig. 2. 2getthere PRT at Masdar institute(UAE)[7]



그림 1. 히드로 공항(영국)의 ULTraPRT
Fig. 1. ULTraPRT at Heathrow airport(UK)[6]



그림 3. 트리칼라(그리스)의 CityMobil2 차량
Fig. 3. CityMobil2 vehicle at Trikala(Greece)[8]

심이 높아지고 있다. 특히, 유럽연합은 연구개발 7차 프레임워크 프로그램(FP7: Framework Program 7)을 통해서 유럽의 여러 도시 환경에 적합한 도로 자동 수송시스템의 Pilot System을 구축하기 위한 차세대 무인운전 대중교통수단 개발 과제로 CityMobil2 프로젝트를 추진중에 있다^[8].

또한, 영국 교통연구소(TRL)는 도심 환경에서의 무인자동차의 구현에 대한 기술적, 법적, 사회적 문제를 이해하고 극복하기 위하여, 8백만 파운드의 예산으로 GATEway(Greenwich Automated Transport Environment) 연구 프로젝트를 추진중에 있으며, Heathrow 공항의 전용궤도에서 운행되는 ULTRA PRT 차량을 수정/개선하여 일반 도로에 적용하는 스마트 모빌리티 개발 과제를 추진중이다^[9].



그림 4. 그리니치(영국)의 GATEway 차량
Fig. 4. GATEway vehicle at Greenwich(UK)[9]

II. 미니트램 운행제어 프로세스 설계

미니트램 운행제어시스템은 운행중인 차량과 무선 통신에 의해 실시간으로 연결되어 차량을 주행을 제어하고 및 상태를 관리한다. 또한, 차량호출장치인 키오스크(Kiosk)가 설치되어 있는 승강장과 연계되어 있는 개별 지역운행제어시스템으로부터 승객의 차량 배차 요청을 받아 최적의 운행 스케줄링을 계산하여 최상의 대중교통서비스를 제공할 수 있도록 설계되었다. 철도분야의 다양한 응용에 대해 적용되고 있는 ICT 융합기술을 바탕으로 미니트램에서도 안전하고 효율적인 시스템 개발을 위한 다양한 ICT 기술이 적용되고 있다^[10-12].

그림 5에 나타난 바와 같이 미니트램 운행제어시스템은 모든 운행 및 대기중인 차량의 상태 및 운용상황을 실시간으로 감시할 수 있는 관제정보관련 화면을 제공하며, 원격의 중앙운행제어시스템에서 차량 및 기

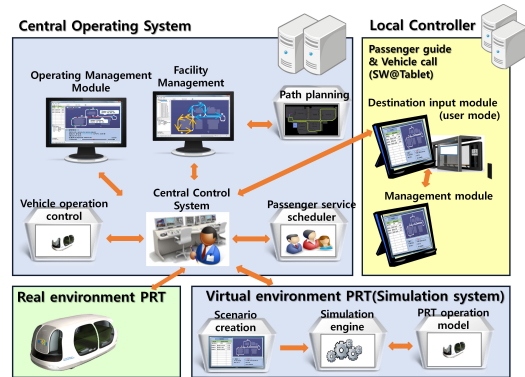


그림 5. 미니트램 운행제어시스템의 구성도
Fig. 5. Schematic diagram of mini-tram operation control system

타 설비에 대한 통제 및 제어가 가능하도록 구현되었다. 현재 개발 초기 단계인 미니트램을 다수의 차량을 제작하여 실제 노선에서 운영하고 검증하기에는 개발 비용 등의 문제로 효율성이 떨어진다. 실제 운영노선에서 발생 가능한 다양한 운행제어 시나리오를 검증하기 위해 운행제어 프로그램내에서 실제차량과 더불어 가상으로 주행하는 차량을 시뮬레이션할 수 있는 시스템을 구축하였다. 더불어, 공사 또는 사고 등의 이벤트가 발생하여 차량 주행 경로를 변경해야 하는 경우, 경로 관리 모듈을 통해 새로운 경로의 추가 및 기존 경로를 수정할 수 있는 편집 기능을 제공할 수 있도록 미니트램 운행제어시스템을 구현하였다.

미니트램 시스템은 중앙운행제어시스템, 지역운행제어시스템, 가이드웨이제어기, 미니트램제어기의 하부시스템으로 구성되며, 각 하부시스템은 다음과 같이 기능의 세부요소로 나뉜다.

- 중앙 운행제어시스템 : 최적경로탐색 모듈, 공차 배차 모듈, 모니터링 모듈
- 지역 운행제어시스템 : 정차역(승강장, 키오스크), 충전역(충전소, 충전기), 차고지
- 가이드웨이 제어기 : 자석노드, 링크, 교차로, 제어영역, 대기선
- 미니트램 제어기 : 자기장센서, 제동장치, 조향장치, 출입문, 비상문, 이산화탄소 검지센서, 조명, 공조기, 정보제공장치, 비상호출장치

2.1 미니트램 운행제어 메시지 흐름 모델링

미니트램 운행제어 시스템의 요구사항 분석을 위하여, 운행제어시스템을 구성하는 핵심 액티비티에서 각 부분들 사이에 메시지 흐름을 모델링하는 방법인

BPMN(Business Process Model and Notation) 기법을 이용하여, 다수의 미니트램 운행제어 프로세스 중에서 주요 프로세스에 해당하는 공차배차, 차량출발, 차량도착의 3가지 프로세스에 대한 액티비티간(중앙 운행제어시스템, 지역운행제어시스템, 가이드웨이제어기, 미니트램제어기)의 프로세스 흐름을 그림 6~8에 나타내었다.

그림 6의 공차배차 BPMN 다이어그램에 나타난 바와 같이 미니트램 운행제어 시스템에 있어서 모든 차량관련 프로세스에는 주기적인 시간 이벤트(timer event)에 따른 차량의 위치/상태 보고 및 등록 작업이 기본적으로 이루어져야 한다. 지역운행제어시스템으로부터 공차의 배차가 요청되면 중앙운행제어시스템은 적합한 공차를 선정하여 요청한 정류장까지의 최적 경로를 계산한 후 출발지점과 목적지점의 상황(정차 가능한 승강장 확보 유무 등)을 판단하여 차량에게 이동명령을 지시하며, 차량은 출발 준비를 확인하고 중앙운행제어시스템에 등록한다.

미니트램 차량에 설치된 출발 버튼이 눌리면 그림 7에 나타난 바와 같이 차량은 이동이 준비됐음을 보고하고, 중앙운행제어시스템은 차량 이동준비를 등록한 후 최적 경로를 검색한 후 출발지점과 목적지점의 상황을 판단하여 차량 출입문을 닫은 후 차량을 목적지로 출발 시킨다.

차량이 목적지의 승강장에 도착하게 되면 그림 8과 같이 중앙운행제어시스템은 차량이동을 완료하고 승강장의 상태를 확인한 후 차량을 출입문을 열고, 무선 급전장치를 이용하여 차량의 배터리에 충전을 시작한다.

앞서 살펴본 BPMN 모델링 기법을 통해 주요 메시지의 흐름에 따라 핵심 액티비티의 요구사항을 도출

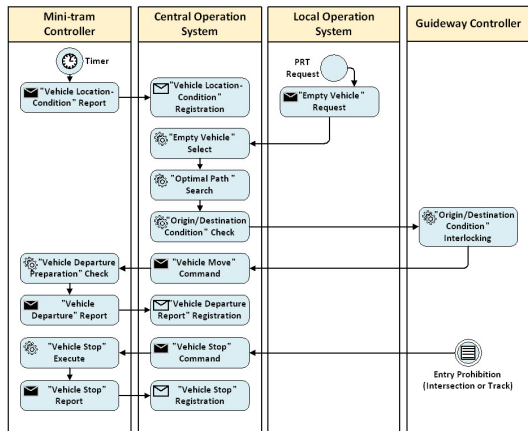


그림 6. 공차 배차 BPMN 다이어그램
Fig. 6. BPMN diagram for empty vehicle allocation

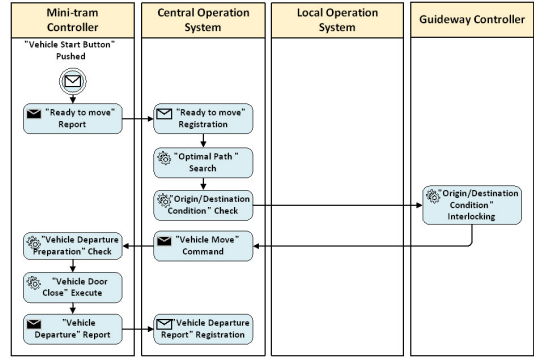


그림 7. 차량 출발 BPMN 다이어그램
Fig. 7. BPMN diagram for vehicle start

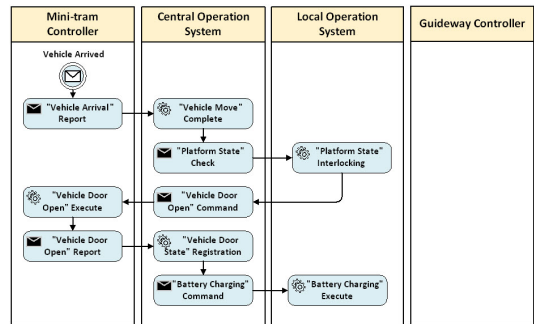


그림 8. 차량 도착 BPMN 다이어그램
Fig. 8. BPMN diagram for vehicle arrival

하여 각 프로세스의 설계에 반영하였다. 다음으로 실제 시스템을 구현하기 위해 구성요소 액티비티들중 가장 핵심적인 차량 액티비티의 세부동작 프로세스의 작업 순서도를 그림 9에 나타내었다.

최초로 미니트램 차량이 부팅이 되면 유지보수 및 충전이 필요한지 확인하여 필요시 유지보수와 충전작업을 수행한 후 차량 기지에서 호출을 기다린다. 중앙 운행제어시스템의 공차배차 모듈로부터 차량의 호출이 발생하면 차량은 호출된 정류장으로 이동한다. 호출된 정류장에 근접한 지점에서 차량의 정차가 가능한 승강장이 있는지 확인한다. 정차할 수 있는 승강장이 없으면 대기 선로를 확인하여 대기 선로가 없는 경우에는 다음 역으로 이동시킨다. 대기 선로에 대기중인 차량은 승강장을 점유하던 선행 차량이 이동하여 승강장이 비워지면, 승객을 태우기 위하여 승강장으로 진입하여 승객을 탑승시킨 후 목적지 정류장으로 출발한다. 만약, 승강장에 공차로 대기중인 차량에 대하여 서비스를 요청한 승객이 없는 상황에서 후속 차량이 승객의 하차를 위해 승강장을 비워줄 것을 요청하면 승객이 탑승하지 않더라도 다음 정류장으로 이동

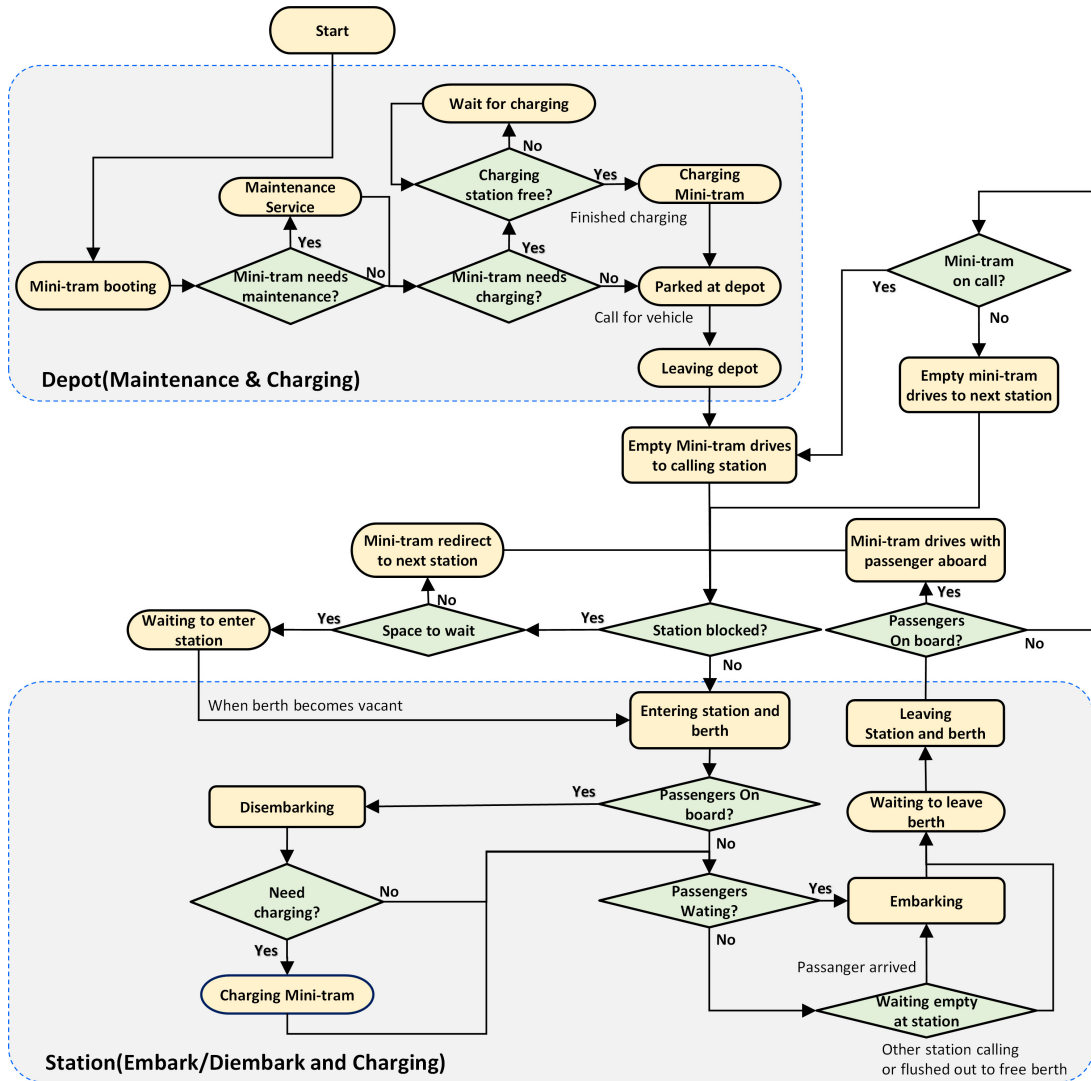


그림 9. 미니트램 운행제어시스템의 차량 액티비티 순서도
Fig. 9. Flowchart of mini-tram operation control

시키도록 한다. 승객을 태우고 목적지역에 도착하는 차량에 대해서는 승객의 하차 작업을 진행한 후 충전상태를 확인한 후, 필요한 경우 차량의 충전을 진행한다. 승객을 태우지 않은 공차는 승강장에서 승객을 대기하거나, 후속 차량의 하차를 위해 승강장을 벗어나 주행선로를 배회하거나 대기선로에 머무를 수 있으며, 승객의 차량요청이 발생하면 요청 정류장으로 이동한다.

2.2 미니트램 주행제어 프로세스 설계

미니트램은 운전자없이 중앙운행제어시스템에 의해 자동으로 제어되며, 동일한 노선에서 다수의 차량이 충돌없이 주행하기 위한 기본적인 주행제어 알고

리즘은 최근 열차제어분야에 도입되고 있는 Distance-to-go 방식을 기반으로 설계되었다.

그림 10에 나타낸 바와 같이 선행차량과 후속차량 간에는 위치 불확실성(position uncertainty)에 따른 여유공간이 존재한다. 또한, 차량이 준수해야 하는 속도는 기본적으로 주행선로의 경사나 곡선반경 등과 같은 고정적 파라미터로 결정되는 정적 속도 프로파일(static speed profile)과 주행시 교통환경에 따라 변화하는 동적 속도 프로파일(dynamic speed profile)로 결정되며, 비상상황시 긴급제동에 따른 비상 제동곡선에 의해 선행 차량에 접근할 수 있는 한계지점인 위험 지점(danger point)이 정해진다. 후속차량이 진행할 수

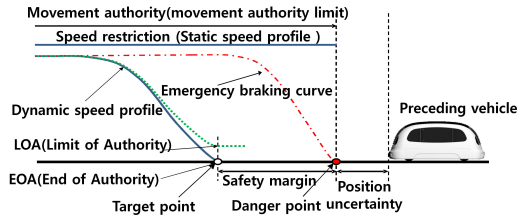


그림 10. 미니트램의 차량 접근제어 개념
Fig. 10. Concept of distance-to-go for mini-tram

있는 목표지점(target point)까지 차량이 이동할 수 있는 권한(end of authority)이 주어지며, 차량은 동적 속도 프로파일에 의해 정해진 속도 한계에 따라 속도를 제어하여 주행하여 차량간의 안전을 확보한다.

중앙운행제어시스템과 미니트램간의 속도 프로파일 생성 메커니즘을 다음 그림 11에 나타내었다. 우선 미니트램으로부터 무선통신 인터페이스를 통해 전달된 미니트램 주행 특성들을 바탕으로 중앙운행제어시스템에서는 데이터베이스에 저장된 속도 프로파일중에서 가장 적합한 정적 속도 프로파일을 선정하여 미니트램에게 전달한다. 미니트램은 전달받은 속도 프로파일을 바탕으로 동적 속도 프로파일을 연산하여 현재의 위치에 따른 실제 주행 속도와 비교하여 계산된 프로파일 값을 넘지 못하는 범위에서 가장 근접하도록 속도를 증가하거나 감소시켜 미니트램의 주행을 제어한다.

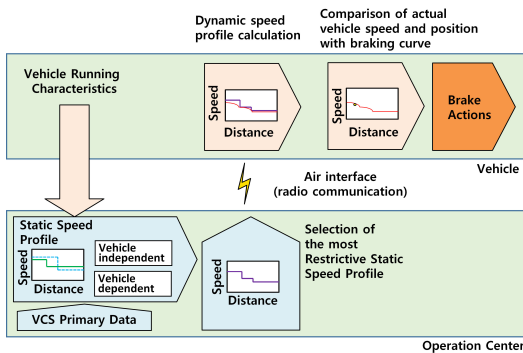


그림 11. 미니트램 속도 프로파일 생성 메커니즘
Fig. 11. Mechanism of the speed profile generation

Ⅲ. 미니트램 운행제어시스템 구현

앞서 살펴본 프로세스 설계 기법을 바탕으로 Java 언어를 이용하여 미니트램 운행제어시스템을 구현하였다. 구현된 미니트램 운행제어시스템은 크게 공통적으로 사용되는 패키지인 prt.common 프로젝트와 운행제어시스템에 필요한 컴포넌트와 타 시스템과의 인

터페이스를 담당하는 prt.cos 프로젝트 및 사용자 GUI와 관련된 컴포넌트 및 web page 관련 소스로 구성된 prt.web 프로젝트로 구성된다.

구현된 미니트램 운행시스템은 모든 차량의 상태 및 운용상황을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 사용자 정보화면을 제공하며 원격에서 차량 및 기타 설비에 대한 통제 및 제어가 가능하다. 또한, 차량 주행 경로에 대한 변경이 필요한 경우, 경로 관리 모듈을 통해 경로의 추가 및 수정을 할 수 있는 편집 기능을 제공하여 변경된 운행노선을 제어시스템에 반영할 수 있도록 기능을 제공한다.

미니트램 운행제어시스템을 구성하는 기본적인 기능은 다음의 4가지 화면을 제공하는 모듈에 의해 구현된다.

- ① 차량 정의(Vehicle Definition) : 시스템에 사용될 차량 모델 정보 및 각 모델별 등록 차량을 관리하기 위한 화면으로 차량 모델 및 신규 차량의 등록/수정/삭제가 가능하고 차량의 체원 및 승차인원 등의 정보를 관리하는 기능 제공
- ② 노선 모니터링(Top View Monitoring) : 전체 노선을 바탕으로 모든 차량의 상태 및 위치를 실시간 모니터링 하는 화면
- ③ 객체 모니터링(Object Monitoring) : 운행제어시스템에 연관된 각종 객체들(차량, 정류장, 수직이송장치 등)을 목록 형식으로 나타내고, 사용자가 모니터링 대상이 되는 객체들을 화면상에 배치하여 볼 수 있는 화면
- ④ 차량상태 모니터링(Vehicle Status Monitoring) : 차량 정의 화면에서 등록된 모든 차량에 대해서 위치정보와 세부 상태정보를 실시간 모니터링 화면

미니트램 운행 상황의 용이한 모니터링 및 차량수 증가에 따른 운행제어 기능을 현실에 보다 근접하게



그림 12. 미니트램 운행제어시스템의 GUI 화면 (a) 전체노선화면 모니터링 (b) 객체 모니터링
Fig. 12. GUI of mini-tram operation system (a) top view monitoring (b) object monitoring



그림 13. 주행시험중인 미니트램
Fig. 13. Driving test of mini-tram

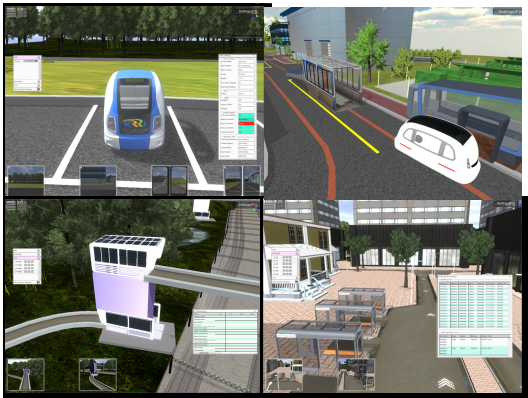


그림 14. 미니트램 운영시뮬레이터 화면
Fig. 14. Screen captures of mini-tram operating simulator

분석하기 위하여 가상현실 기반의 3D 시뮬레이션 기능을 구현하였다. 3D 시각화 모듈은 중앙운영제어시스템과 인터페이스를 통하여 미니트램의 움직임을 모사하고 운행 상태정보를 현시한다.

미니트램 운행제어시스템의 운영 성능을 평가하기 위하여 실제로 제작된 미니트램 차량이 시험노선에서 운행되는 상황에서 가상의 미니트램 차량이 혼재되어 운행되도록 시뮬레이션을 수행하였다. 미니트램 운행제어시스템의 성능을 판단하기 위한 지표로 고객이 차량을 요청한 시각으로부터 차량이 도착하기까지 평균 소요시간인 평균서비스대기시간(average service wait time), 운영 효율을 위해 수요가 예측되는 지역으로 공차(empty vehicle)를 이동시키는데 평균 소요시간인 평균공차주행시간(average empty travel time), 배차된 차량이 정류장으로 이동하는 평균 소요시간인 평균배차시간(average vehicle dispatch time) 등을 정의할 수 있으며, 다음 그림 15와 같이 시뮬레이션에 따른 주요성능평가지표를 그래프로 표출하는 GUI 화면을 미니트램 운영시뮬레이터에 구현하였다.

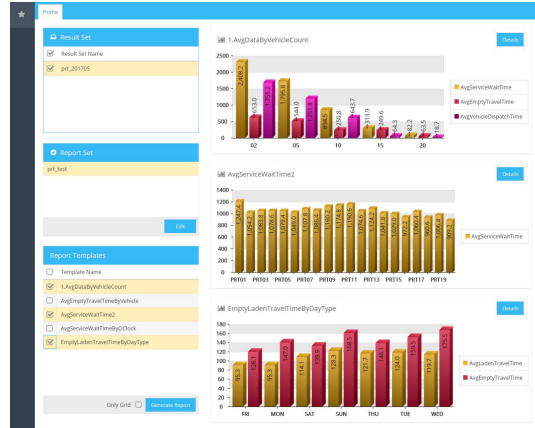


그림 15. 미니트램 시뮬레이터 성능평가지표 GUI 화면
Fig. 15. Performance index GUI of mini-tram simulator

철도기술연구원내에 구축된 680m 연장의 시험노선을 대상으로 투입된 미니트램 운행차량대수를 2대에서 20대까지 증가시키며 앞서 정의한 미니트램 운행제어 성능지표에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 다음 그림 16에 나타내었다. 운행차량의 수가 2대로 극히 부족한 상황인 경우, 평균서비스대기시간, 평균공차주행시간 및 평균배차시간은 각각 약 40분, 10분, 30분으로 고객에게 만족할만한 서비스를 제공하기에는 어려운 상황으로 확인되었으며, 운행차량의 대수가 증가할수록 평균서비스대기시간이 감소하여 운행차량의 대수가 15대 이상이면 약 5분 이하의 평균서비스대기시간으로 충분히 고객에게 서비스 제공이 가능한 수준이 되는 것을 확인하였다.

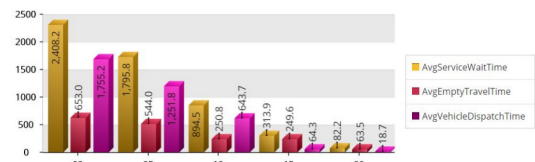


그림 16. 미니트램 운행제어 성능평가 시뮬레이션 결과
Fig. 16. Simulation results of mini-tram operation control

IV. 결 론

본 연구에서는 미니트램 차량과 무선 통신으로 실시간 연결되어 승객의 목적지 선택에 따라 승객운행 스케줄링을 통해 적절한 차량을 배차하며, 도착예정 시각정보 등을 정류장의 키오스크 화면에 표시하여 승객이 확인할 수 있도록 미니트램 운행제어시스템을 구현하였다. 미니트램 차량은 정류장에 도착하여 승객

을 탑승시킨 후 목적지까지 위치 및 상태에 따라 실시간으로 속도프로파일에 의해 운행제어시스템으로부터 제어되도록 구현되었다.

또한, 구현된 시뮬레이터는 실제 미니트램 차량을 3D 시각화하여 주행상태를 모니터링할 수 있을 뿐 아니라, 실제 차량이 운행중인 구간에 가상의 차량을 투입하여 모의 주행할 수 있다. 이를 통하여, 다수의 차량 제작이 현실적으로 힘든 개발 초기에 있어서, 높은 트래픽 환경에서의 운행제어 알고리즘 및 안전대책을 보다 실제 상황에 근접하게 검증하여 시스템의 안정성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

철도분야의 안전을 최우선으로 고려하는 운행제어 기술과 전기자동차 분야의 최신 센서 및 전자제어 기술 등의 다양한 기술을 접목하여 구축된 미니트램 시스템은, 편리하고 안전한 대중교통수단으로 실용화되도록 지속적인 연구가 진행되어 국내 교통관련 산업 성장에 기여될 수 있기를 기대한다.

References

- [1] Advanced Transit Association [Internet], Available Retrieved Oct. 2016. from <http://www.advancedtransit.org>.
- [2] J. S. Lee and K. T. Kim, "A study on the possibilities of PRT applications," *J. Korean Soc. for Railway*, vol. 12, no. 4, pp. 526-534, 2009.
- [3] J. H. Irving, H. Bernstein, C. L. Olson, and J. Buyan, *Fundamentals of Personal Rapid Transit*, D.C. Health and Company, Lexington M.A., 1978.
- [4] B. H. Kim, R. G. Jeong, S. G. Jeong, and S. W. Kang, "A development of the electric power supply system for PRT vehicle," *KIEE Trans.*, vol. 62, no. 2, pp. 196-200, 2013.
- [5] S. W. Kang, J. H. Um, R. G. Jeong, and J. S. Kim, "A development of the apparatus for vertical transfer of a PRT vehicle operating on a road network," *J. Korean Academia-Ind. Cooperation Soc.*, vol. 14, no. 6, pp. 2604-2611, 2013.
- [6] Ultra Global PRT [Internet], Retrieved Oct. 2016. from <http://www.ultraglobalprt.com>.
- [7] 2getthere [Internet], Retrieved Oct. 2016. from <http://www.2getthere.eu>.
- [8] CityMobil2 [Internet], Retrieved Oct. 2016. from

<http://www.citymobil2.eu/en>.

- [9] GATEway [Internet], Retrieved Oct. 2016. from <http://www.gateway-project.org.uk>.
- [10] S. G. Park, J. W. Lee, and T. H. Jeon, "Performance comparison of space-time block coding in high-speed railway channel," *J. KICS*, vol. 39C, no. 3, pp. 291-297, 2014.
- [11] C. H. Park, H. Y. Choi, and J. H. Baek, "Preliminary field of improved train control system using on-board control," *J. KICS*, vol. 39C, no. 3, pp. 298-306, 2014.
- [12] D. H. Shin, J. H. Baek, H. Y. Choi, and Y. G. Kim, "Functional testing of level crossing obstruction detecting system using laser radar sensor," *J. KICS*, vol. 39C, no. 3, pp. 307-315, 2014.

김 백 현 (Baek-Hyun Kim)



1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
 1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과 석사
 2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과 박사
 2003년 3월~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원
 <관심분야> 무선통신, 열차제어, 자율주행

정 락 교 (Rag-Gyo Jeong)



2005년 2월 : 인하대학교 전기공학과 박사
 1990년 12월~1994년 12월 : 한진중공업 사원
 1995년 1월~현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야> 전기전자, 열차제어

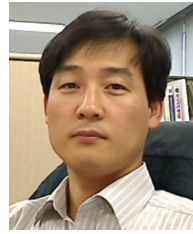
강 석 원 (Seok-Won Kang)



2012년 5월: 미국 Texas A&M
University at College
Station 기계공학과 박사
2007년 1월~2008년 7월: 르노
삼성자동차 중앙연구소 사원
2012년 5월~현재: 한국철도기
술연구원 선임연구원

<관심분야> N/MEMS, 마이크로 열전달

변 윤 섭 (Yeun-Sub Byun)



2012년 2월: 충북대학교 전자
공학과 박사
1996년 12월~현재: 한국철도기
술연구원 책임연구원
<관심분야> 전기전자, 자동제어