

도시철도 운영시나리오 개발방안 소개 (인천도시철도 2호선 구축사례를 중심으로)



한석인 |
현대로템
E&M영업담당 이사



서용준 |
현대로템
E&M기술영업팀 차장

1. 서론

도시철도 안전성과 운영성능 향상을 위해 최근 인적요인이 도시철도 사건·사고에 미치는 영향과 이의 평가방법에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 도시철도 운영의 각 단계에서 불필요한 인적간섭은 배제하고 필요한 인적관여는 명확히 함으로서 사건·사고를 예방하고 도시철도 안전성과 운영성능을 향상하기 위해 운영회사를 중심으로 보다 합리적인 운영규정과 규칙을 제정하고 운영인원의 보수 교육을 실시하는 등 노력을 하여왔다.

그러나 도시철도시스템의 노반 및 각 장치·제품·시스템과 이와 관련된 각종 기능의 설계·시공과는 별개로 진행되는 운영회사의 이러한 노력에 따른 효과는 제한적이라고 볼 수 있다.

인천도시철도 2호선의 경우 실시설계 단계에서부터 운영시나리오를 개발하고 각 시나리오에 따라 관련 장치·제품·시스템을 설계·제작·시공함으로써 영업운영 단계에서 운영인력과 도시철도 시스템 간에 조화를 극대화하며 정상·비상·고장 운영의 각 단계에 관련 서브시스템과 운영인원의 역할을 명확히 함으로써, 결국 인천도시철도 2호선의 운영성능과 안전성을 향상하고자 운영시나리오를 개발하기로 하였다. 이를 위해 덴마크 코펜하겐 메트로의 운영시나리오 사례를 검토한다.

2. 코펜하겐 메트로 개요

코펜하겐 메트로의 노선특성을 이해하기 위해 본선·차량기지·차량에 대한 개요와 정상·고장·비상 시나리오의 유형 및 개발예제를 살펴봄으로써 인천2호선의 적합한 운영시나리오 개발방안을 도출하고자 한다.

2.1 코펜하겐 메트로 개요

코펜하겐 메트로는 2002년 10월~2007년 09월 까지 3단계에 걸쳐 개통되었으며 21km 노선길이, 22개 역사, 1개 차량기지 및 34편성(3량1편성)의 열차로 구성되어 있다.

M1호선은 뱅로스역에서 도심지인 포름역과 네레포트역을 경유하여 베스터마저 역까지이며 M2



그림 1. 코펜하겐 메트로 노선도

호선은 뱅로스역에서 도심지인 포름역과 네레포트역을 경유하여 코펜하겐공항 역까지로 노선은 “Y” 형태이다.

메트로서비스(운영회사)는 인원 207명(이중에서 안전요원 100명, 2008년 09월 현재)으로 혼잡시간대 2분, 일반시간대 3분, 심야시간대 15분(10:00~06:00) 간격으로 일일 24시간 일년 365일 무인운전 열차와 무인운영 역사를 운영하고 있다.

2.2 차량기지

차량기지는 건물 3340평에 운영사령실, 비상운영사령실, 정비공장, 차체세척기, 객실 세척장, 낙서 제거장, 변전소 및 관리사무실이 설치되어 있으며 5km 궤도연장과 800m 시험선이 건설 되어있다.



그림 2. 차량기지 전경

2.3 정비공장 배치 단면

정비공장은 그림 3과 같이 왼쪽으로부터 정비고&부품창고, 차륜선반&대차교환, 내부정비, 차체하부정비, 낙서 제거&지붕정비, 객실세척, 차체세척 및 물탱크 순으로 건설되어 있다.

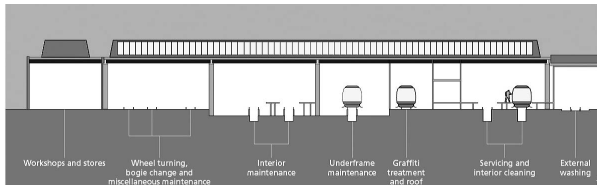


그림 3. 정비공장 배치 단면도

2.4 지하정거장

지하정거장은 박스형 구조로 승강장부터 천정까지 개

방되어 있어 햇빛이 승강장을 직접 비추고 화재발생시 지붕에서 승강장의 연기를 직접 배출하여 재연이 쉽게 될 수 있다.

또한 그림 4와 같이 계단이 없이 상승/하강 에스컬레이터를 설치하여 메트로를 처음 이용하는 승객도 열차를 타는 방향과 내리는 방향에 혼란이 없도록 편의성을 고려하였다.

역사에 화장실이 없고 이동 승객의 시야에서 가려지는 사각지역이 없도록 공간을 설계하여 테러나 범죄 예방을 고려하였다.

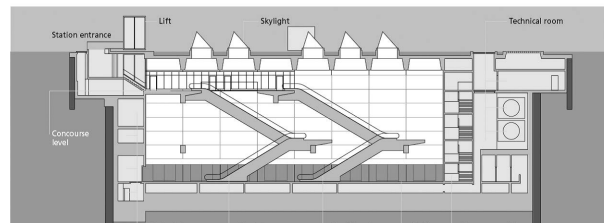


그림 4. 지하 정거장 단면도

2.5 차량시스템

3량 1편성으로 구성된 열차는 길이39m, 폭2.65m, 높이 3.4m로 만차 시 300명의 승객이 탑승할 수 있다. 또한 와이드 갭웨이(wide gangway)로 설계하여 열차내부 개방성을 고려하였다.

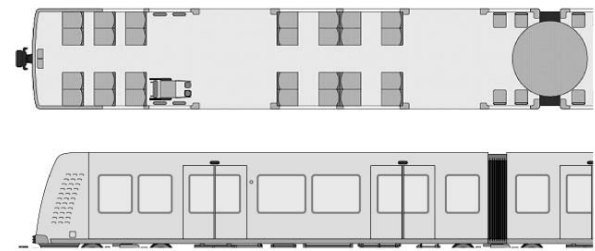


그림 5. 차량시스템

3. 코펜하겐 메트로 운영시나리오

3.1 운영시나리오 개발절차

그림 6은 코펜하겐 메트로 운영시나리오와 운영&유지 보수 자료 및 시스템엔지니어링 자료들 상호간의 관계를

나타낸다.

코펜하겐 메트로는 시스템 설계 업무의 일부인 시스템 엔지니어링의 한 영역으로서 운영시나리오를 개발하였으며, 이는 타 설계업무의 성과물인 운영인력계획, 시스템 유지보수계획, 시스템운영계획과 관련되어 있으며, 타 시스템 엔지니어링 성과물인 시스템 RAMS 자료와 시스템 요구사항 관리활동에 관련된다.

따라서 운영시나리오는 전체시스템 설계에 영향을 주고 서브시스템 요구사항 추적 매트릭스에 따라 그 결과를 검증하는 절차를 채택하였다.

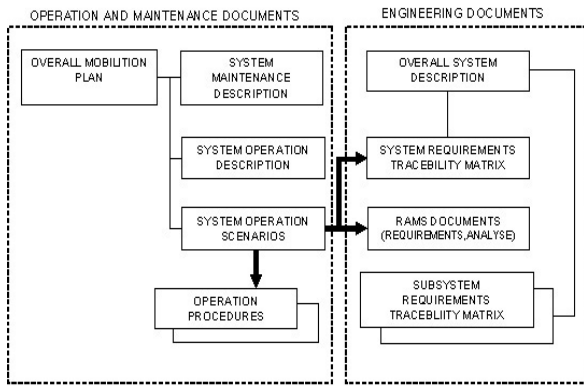


그림 6. 운영시나리오 개발절차

3.2 운영시나리오 구성

표 1과 같이 코펜하겐 메트로는 본선운영 관련 97건, 차량기지운영 관련 64건 등 총 161건의 운영시나리오를 개발했다. 이는 모든 시스템 및 운영인력이 정상적인 기능과 성능을 유지하는 상태에서의 정상운영 48건, 일부 시스템 또는 장치가 고장 상태에서의 고장운영 80건, 사고 발생의 위험이 높은 비상 상태에서의 비상운영 33건의 운영시나리오로 구분할 수 있다.

표 1. 운영시나리오 분류

	본선	차량기지	소 계
정상운영	21	27	48
고장운영	49	31	80
비상운영	27	6	33
소 계	97	64	161

각각의 시나리오는 표 2와 같은 내용으로 구성 된다

표 2. 운영시나리오 내용

시나리오	분석되는 임무들에 대한 개략적 설명
시스템	시나리오에 관련된 주요 서브시스템 (차량, 신호, 전력, SCADA, 통신등)들의 요구사항
운영설명	운영 이벤트들의 순서를 보여 주는 테이블 - 서브시스템/개인 : 누가 기능을 수행 하는가 - 이벤트 : 기능의 설명 - 운영모드 : 수동/자동 - 차량모드 : 자동, ATP 수동, 비상수동 - 명령 : 서브시스템/개인이 발행한 명령 - 표시 : 관련된 서브시스템에서의 표시
요구사항	시나리오의 임무들을 완료하는데 필요한 소요 인 원수와 소요시간

3.3 본선 운영시나리오

표 1과 같이 본선 운영 시나리오는 정상운영모드 21건, 고장운영모드 49건, 비상운영모드 27건 등 총 97건으로 구성되어 있으며, 상세 목록은 다음과 같다.

3.3.1 정상운영모드

본선에서 정상운영모드는 다음의 목록과 같이 시스템 운영시작(MN1)부터 종착역운영(MN21)까지 21건의 시나리오로 구성되며 그 내용은 다음과 같다.

- MN1 System start up
- MN2 Implementation of the daily schedule
- MN3 Translation between schedules
- MN4 Train entry into passenger service for the CMC
- MN5 Scheduled train operation
- MN6 Automatic vehicle regulation for recovery of minor delays to schedule
- MN7 Train exit from passenger service to return to the CMC
- MN8 Schedule changes during operations
- MN9 Operation under headway regulation
- MN10 Adding trains to passenger service
- MN11 Train entry into passenger service at the terminal stations/pocket Track
- MN12 Train storage in the Pocket Track or terminal stations
- MN13 Special trains

- MN14 Speed restriction enforcement and cancellation
- MN15 Train operation in ATO/ATP mode
- MN16 Implementing a Work Zone at track level on the mainline
- MN17 Use of the Emergency Control Center for simulation, testing, and training
- MN18 Maintenance vehicle operation on the mainline
- MN19 Normal operation of tunnel and underground station ventilation systems
- MN20 Operation under vehicle regulation
- MN21 Terminal station operations

3.3.2 비상운영모드

본선에서 비상운영모드는 다음의 목록과 같이 운영사령실 비상대피(ME1)부터 터널과 지하정거장 환기설비 비상운영(ME27)까지 27건의 시나리오로 구성되며 그 내용은 다음과 같다.

- ME1 Evacuation of the Control Center
- ME2 Starting Control Center operation from the Emergency Control Center
- ME3 Fire or smoke detected in a station
- ME4 Fire or smoke detected on a train
- ME5 Fire or smoke detected in the tunnel or on the viaduct
- ME6 Activation of an Emergency Power Cut -off Handle
- ME7 Activation of a Station Train Emergency Stop
- ME8 Activation of the Emergency Stop System in the Control Center
- ME9 Activation of an Emergency Stop Handle on a train
- ME10 Activation of an Emergency Door Release Handle on a train
- ME11 Detection of an unplanned train door opening
- ME12 Detection of an unplanned platform screen door opening
- ME13 Detection of an unplanned platform end door/gate opening
- ME14 Detection of an intrusion into the tunnel area

- ME15 Obstacle detected at a platform
- ME16 Train collision with a person or object on the track
- ME17 Train derailment on the mainline
- ME18 Medical emergency on a train or in a station
- ME19 Airborne hazard or toxic substance spill on or near the system
- ME20 Bomb threat/suspicious package
- ME21 Train evacuation in a station or between stations
- ME22 station evacuation
- ME23 Serious crime on the System
- ME24 Severe weather conditions
- ME25 Flooding of the Track Area
- ME26 Emergency access to track area by operations and maintenance staff
- ME27 Emergency operation of tunnel and underground station ventilation systems

3.3.3 고장운영모드

본선에서 고장운영모드는 다음의 목록과 같이 전체시스템 고장(MF1)부터 열차 출입문고장(MF49)까지 49건의 시나리오로 구성되며 그 내용은 다음과 같다. 이중 MF21, MF38, MF44 시나리오는 초기 설계단계에서는 개발을 했으나 노선건설이 진행되면서 검토 중에 불필요 하다고 인 정되어 삭제 되었다.

- MF1 Complies System Shutdown
- MF2 Failed train on the mainline in a station or between stations
- MF3 Train removal and replacement during passenger service
- MF4 Closing and opening stations
- MF5 Operating a train with reduced performance capability
- MF6 Schedule recovery after a major delay
- MF7 ATC track circuit(AF902) failure
- MF8 ATC audio frequency transmitter overlay(AFO 11 C) transmitter/receiver failure
- MF9 ATC train-to-wayside communication failure
- MF10 ATC non-vital logic emulator failure

MF11 ATC MicroLok 11 failure
 MF12 Central ATC system failure
 MF13 Track blockages requiring single track operation
 MF14 Shuttle operations
 MF15 Turnback Operation
 MF16 Train emergency braking in a switch zone
 MF17 Terminal switch failure
 MF18 Bifurcation switch failure
 MF19 Crossover switch failure between stations
 MF20 Moving a faulted train to the CMC or to the Pocket Track
 MF21 Deleted
 MF22 Transition from central to local command of ATC equipment
 MF23 Rescue operation for failed trains
 MF24 Train operation in ATP mode
 MF25 Train Operation in Bypass mode
 MF26 Obstacle detection system failure
 MF27 Intrusion detection system failure
 MF28 Platform screen door failure
 MF29 Reduced System traction power supply
 MF30 Loss of System failure
 MF31 PS&IS system failure
 MF32 PS&IS/ATC system interface failure
 MF33 PS&IS failure in a station
 MF34 PS&IS failure in a station
 MF35 System-wide radio failure
 MF36 Radio failure in a station
 MF37 Radio failure on a train
 MF38 Deleted
 MF39 Emergency service radio system failure
 MF40 Communications transmission system failure
 MF41 SCADA system failure
 MF42 Broken running rail
 MF43 Tunnel and underground station ventilation systems failure
 MF44 Deleted
 MF45 Station auxiliary equipment failure

MF46 Passengers blocking train and/or platform screen doors
 MF47 False occupancy of a track circuit
 MF48 Train wheel slip/slide condition
 MF49 Train door failure

3.4 차량기지 운영시나리오

표 1과 같이 차량기지 운영시나리오는 정상운영모드 27건, 고장운영모드 31건, 비상운영모드 6건 등 총 64건으로 구성되어 있으며, 상세 목록은 다음과 같다.

3.4.1 정상운영모드

차량기지에서 정상운영모드는 다음의 목록과 같이 가상의 승강장 M으로부터 시험선까지 열차이동(CN1)부터 게이트 5와 6에서의 운영(CN27)까지 27건의 시나리오로 구성되어 그 내용은 다음과 같다.

CN1 Train movement from Platform M to the Test Track
 CN2 System re-entry testing on the Test Track and return to Platform M
 CN3 Special testing
 CN4 Train movement from Platform M to the Stabling Area, to the Inspection and Cleaning Facility, or to the Exterior Wash
 CN5 Train entry into the Manual Area from Platform M
 CN6 Train arrival at tracks A1 and A2 from the mainline
 CN7 Train arrival at Stabling Area tracks from the mainline
 CN8 Train movement from one Arrival track(A1 or A2) to the other
 CN9 Train movement from the Arrival tracks or from Platform M to the Inspection and Cleaning Facility
 CN10 Train movement from the Inspection and Cleaning Facility to the Manual Area, to the Exterior Wash, or to the Stabling Area
 CN11 Train movement through the Exterior Wash
 CN12 Train movement from the Exterior Wash to the Stabling Area tracks

- CN13 Train storage in the Stabling Area
- CN14 Moving a train within a Stabling Area track or between Stabling Area tracks
- CN15 Preparation of trains in the Stabling Area for entry into passenger service
- CN16 Train movement from the Stabling Area to the mainline
- CN17 Deleted
- CN18 Maintenance vehicle entry into the Driverless Area through Gate 1 or Gate4
- CN19 Maintenance vehicle entry into the Workshop through Gate 1 or into the Trackwork Maintenance Building through Gate4
- CN20 Maintenance vehicle entry on to the mainline from the CMC
- CN21 Maintenance personnel access to the Driverless Area through Gates 2 or 3
- CN22 Train movements within the Manual Area
- CN23 Train movement into and out of the Workshop building
- CN24 Train movement from the Manual Area to Platform M
- CN25 Using the inspection pits in the Inspection and Cleaning Facility
- CN26 Implementing a work zone at track level in the CMC
- CN27 Operation of Gates 5 and 6

3.4.2 비상운영모드

차량기지에서 비상운영모드는 다음의 목록과 같이 차량기지에서 의료조치(CE1)부터 차량기지에서 열차탈선(CE6)까지 6건의 시나리오로 구성되며 그 내용은 다음과 같다.

- CE1 Medical emergency at CMC
- CE2 Fire in the Workshop
- CE3 Fire in the Driverless Area of the CMC
- CE4 Activation of an Emergency Power cut-off handle at the CMC
- CE5 Alarm on emergency doors on tracks 7/W and 8/W
- CE6 Train derailment in the CMC

3.4.3 고장운영모드

차량기지에서 고장운영모드는 다음의 목록과 같이 승강장 M에서 열차고장(CF1)부터 차량기지에서 고장열차구원(CF31)까지 31건의 시나리오로 구성되며 그 내용은 다음과 같다.

- CF1 Failed train at Platform M
- CF2 Failed train on Inspection and Cleaning Facility tracks
- CF3 Failed train in the Exterior Wash
- CF4 Failed train on the test track
- CF5 Failed train in the stabling Area
- CF6 Failed train on the Run-around track
- CF7 Failed train on the CMC Entry track
- CF8 Failed train on the CMC Exit track
- CF9 Failed train on the Arrival tracks
- CF10 Failed train between switch 2 and switch 4
- CF11 Failed train between switch 1 and switch2
- CF12 Switch 1 failure - entry/exit from the stabling Area tracks
- CF13 Switch 2 or 4 failure - entry/exit from the stabling Area tracks
- CF14 Switch 5 or 6 failure - entry/exit from the stabling Area tracks
- CF15 Switch 3 or 13 failure - entry/exit from the test track
- CF16 Switch 7 or 8 failure - use of the stabling Area tracks for train arrival
- CF17 Switch 9,23 or 24 failure - entry/exit from the Trackwork Maintenance shop
- CF18 Switch 10,11 or 12 failure - entry/exit from the stabling Area Tracks
- CF19 Switch 14 or 15 failure - access to the Test Track and Exterior Wash
- CF20 Switch 16 failure - access to the Workshop
- CF21 Switch 17,18,19,20 or 21 failure - access to various Workshop tracks
- CF22 Switch 22 failure - access to the Inspection and Cleaning Facility
- CF23 Loss of traction power at the CMC
- CF24 Deleted
- CF25 Failure of Gate1

- CF26 Failure of Gate4
- CF27 Failure of Gates 2 or 3
- CF28 Failure of Gates 5 or 6
- CF29 Failure of track doors in the Inspection and Cleaning Facility or the Exterior Wash
- CF30 Deleted
- CF31 Rescue operation for failed train at the CMC

3.5 운영시나리오 사례

본장에서 몇 가지 대표적 운영시나리오를 살펴봄으로써 운영시나리오의 개발에 필요한 고려사항들을 살펴보고자 한다.

3.5.1 운행열차를 본선에 투입(MN4)

차량기지로부터 서비스운행열차를 본선에 투입하는 절차를 시나리오 설명, 관련 서브시스템 요구사항, 개발된 시나리오, 운영 요구사항 순으로 살펴보고자 한다.

(1) 시나리오 설명

차량기지에서 첫 번째 역사의 2번 트랙 승강장으로 열차가 운행서비스에 투입되는 절차에 해당하며, 또한 이는 오전 혼잡시간대에 여객서비스 열차 수를 증가시키는 절차를 설명한다. 야간시간 대의 열차운행에 이어서 여객서비스 열차 수는 6편성에서 17편성까지 증가한다. (1+2a 단계 개통기준)

그림 7을 참조하면 차량기지에서의 열차이동을 시각적으로 이해할 수 있다.

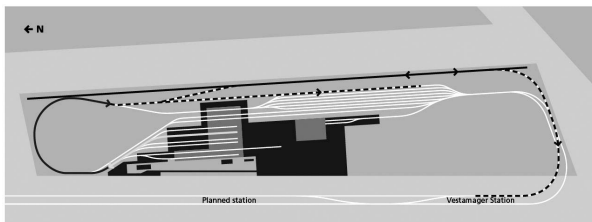


그림 7. 정비 후 열차이동

- ← (노랑화살표) : 정비고로부터 열차를 수동 운전하여 수동/무인 운전모드변경 구간으로 이동
- (적색화살표) : 열차는 무인운전으로 시험선으로 이동
- (청색화살표) : 시험선에서 제동, 통신, 제어시스템

등 해당되는 시험을 실시
→ (청색점선화살표) : 시험이 끝난 열차를 주차선 또는 본선의 운행서비스에 투입

(2) 시스템설명

이 시나리오에 관련된 서브시스템은 표 3과 같이 신호시스템, SCADA/급전시스템(전력), 통신시스템과 차량시스템에 해당한다.

표 3. 차량기지에서 열차의 본선 투입

시스템	요구사항
신호	ATC는 열차가 야간에 자동적으로 에너지 절감 모드 "Rest Mode"에서 내부조명, 히팅과 냉방 장치가 꺼진 상태로 차량기지에 주차시킨다. ATC는 정해진 일일 운행 스케줄에 따라 차량기지 주차선의 열차들 중에서 운행열차를 자동으로 선정하고, 선정된 열차들의 운행준비를 위해서 "Rest Mode"에서 해제 시킨다. TD(차량기지 운영사령)는 각각의 열차에 대해 출입문들의 출발전시험을 수동으로 명령할 수 있다. ATC는 종착역(제1역사)에서 각각의 열차를 운행서비스에 자동으로 투입한다.
SCADA /급전	SCADA는 열차의 자가진단 결과를 운영사령실에 보고한다.
통신	무선통신시스템은 본선에 근무하는 직원에게 운영사령실에서 연락을 할 수 있게 한다. 여객정보(PIS)/방송장치(PA)는 차량기지에서 운행서비스에 투입되는 열차에 대하여 종착역(제1역사)에서 문자표시와 음성방송으로 정보를 제공한다.
차량	열차는 내부조명, 히팅, 냉방이 꺼진 상태로 "Rest Mode"를 실행할 수 있다. 열차는 차량기지 주차선에서 출발시험인 출입문 시험(수동)과 제동장치시험(자동)을 실행할 수 있다.

(3) 운영시나리오

차량기지에서 본선에 운행열차 투입은 첨부 1과 같이 21개 단계에 걸쳐서 진행되며, 각각의 시나리오 단계는 고유 번호, 관련 서브시스템/인원, 실행 이벤트, 운영모드(자동/수동), 차량모드(자동/수동), 명령(지시), 표시(해당 이벤트를 표시하는 장치/시스템)로 구분하여 분석 기술한다.

(4) 운영요구사항

첨부 1과 같이 차량기지에서 본선에 운행열차 투입하는 시나리오에는 표 4와 같이 인력이 필요하게 된다.

표 4. 운영 요구사항(MN4)

직원의 역할	인원
운영사령실 사령(CCS)	-
운영사령(TD, Train dispatcher)	1
승객사령(PSC, Passenger security controller)	-
전력사령(SC, SCADA controller)	-
승무원(STW, Steward)	1
유지보수인원(MA, Maintenance attendant)	-
유지보수책임자(MS, Maintenance supervisor)	-

3.5.2 열차의검사고 및 세척고 도착

본선에서 서비스운행이 끝난 열차들의 차량기지 도착절차를 시나리오 설명, 관련 서브시스템 요구사항, 개발된 시나리오, 운영 요구사항 순으로 살펴보고자 한다.

(1) 시나리오 설명

본선에서 운행서비스를 종료하고 차량기지에 도착한 열차들은 객실내부 청소와 차체외부 세척을 위해 진행한다. 이 경우 열차들은 보통 검사나 세척설비로 진행하기 전에 도착선에 도착하여 정차한다. 열차들은 검사&세척고에서 객실내부 세척과 검사를 받은 후 차체외부 세척기로 진행한다. 열차는 세척을 위해 본선에서 회송하여 세척공정의 지연 가능성을 축소하기 위해 교대로 정해지는 도착선으로 진행한다.

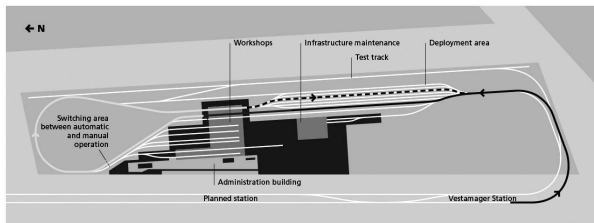


그림 8. 열차의 검사고 및 세척고 도착

그림 8을 참조하면 본선에서 열차 회송 후 차량기지에서 이동을 시각적으로 이해할 수 있다.

- ← (청색화살표): 본선에서 회송후 서비스를 위해 대기
- (적색화살표): 열차는 검수고 내부로 진행한 후 객실 내부 청소, 일상검사를 실시하며, 단순한 경정비 수행
- (노랑화살표): 열차가 자동 차체세척기로 이동
- (청색점선화살표): 세척후 열차는 대기상태로 배치 되거나 본선운영 준비상태로 대기

(2) 시스템 설명

이 시나리오에 관련된 서브시스템은 표 5와 같이 신호시스템이 해당한다.

표 5. 열차의 검사고 및 세척고 도착

시스템	요구사항
신호	ATC는 자동적으로 열차 객실내부 및 외부 세척을 위해 본선에서 차량기지로 회송하고 세척이 끝난 후 현재의 운영스케줄에 따라 열차를 대기시킨다. 차량기지의 각 도착선은 고유의 목적지 ID를 갖고 있어 열차는 본선에서 회송하여 지정된 도착선으로 진행한다. 본선에서 회송한 열차는 보통 도착선의 남쪽 끝으로 진입하고 가급적 도착선의 북쪽 끝에 가까이 진행한다. 만약 다른 열차가 도착선에 이미 정차되어 있으면 새로이 도착한 열차는 접근 가능한 지점까지 진행한 후 앞 정차열차의 남쪽 궤도회로 안에 정차한다. 첫 번째 정차한 열차가 검사&세척고에 진입하기 위해 도착선을 떠나면 도착선에 있는 모든 열차는 도착선의 북쪽 끝을 향하여 이동한다.
SCADA / 급전	요구사항 없음
통신	요구사항 없음
차량	요구사항 없음

(3) 운영시나리오

열차의 검사고 및 세척고 도착은 13단계에 걸쳐서 진행되며, 각각의 시나리오 단계는 고유번호, 관련 서브시스템/인원, 실행 이벤트, 운영모드(자동/수동), 차량모드(자동/수동), 명령(지시), 표시(해당 이벤트를 표시하는 장치/시스템)로 구분하여 기술한다.

(4) 운영요구사항

열차의 검사고 및 세척고 도착 시나리오에는 표 6과 같이 인력의 개입이 필요하지 않는다.

표 6. 열차의 검사고 및 세척고 도착

직원의 역할	인원
운영사령실 사령(CCS)	-
운영사령(TD, Train dispatcher)	-
승객사령(PSC, Passenger security controller)	-
전력사령(SC, SCADA controller)	-
승무원(STW, Steward)	-
유지보수인원(MA, Maintenance attendant)	-
유지보수책임자(MS, Maintenance supervisor)	-

3.5.3 열차의 비상도어해제 핸들의 작동

본선에서 열차운행 중 비상도어해제 핸들이 작동될 경우를 시나리오 설명, 관련 서브시스템 요구사항, 개발된 시나리오, 운영 요구사항 순으로 살펴보고자 한다.

(1) 시나리오 설명

이 시나리오는 열차운행 중 비상도어해제 핸들(EDRH)이 작동될 때 대응절차를 아래 사항을 포함하여 설명한다.

- 비상도어해제 핸들 작동에 대한 시스템의 자동대응
- 비상도어해제 핸들 작동에 대한 직원의 대응
- 비상상태가 종료된 후 안전한 열차운행 재개 및/또는 해당 지역에 급전전력공급 재개

표 7. 비상도어핸들(EDRH) 작동

시스템	요구사항
신호	정차열차(역사 또는 본선): EDRH의 작동시 ATC는 열차의 정차상태를 유지하며 EDRH가 현장에서 리셋되고 또한 TD가 수동으로 열차출발 명령을 내리지 전까지는 열차의 출발을 허락하지 않는다. 주행중열차(역사간): EDRH의 작동시 ATC는 열차의 정상속도로 다음 역사까지 진행하고, 승강장에서 정차하며 출입문 개방을 허가한다. ATC는 열차의 정차상태를 유지하며 EDRH가 현장에서 리셋되고 또한 TD가 수동으로 열차출발 명령을 내리지 전까지는 정차역사에서 열차의 출발을 허락하지 않는다.
SCADA /급전	SCADA는 열차주변에서 필요 지역에 수동으로 급전전력을 차단하고 비상상태가 해제되면 급전전력을 재 공급한다. 급전전력시스템은 비상상태발생 위치에 따라 급전차단이 될 수 있는 구간으로 분리 된다
통신	운영사령실과 객실승객 간과 운영사령실과 전체 시스템에 있는 직원간에 비상전화를 통해 무선통신이 가능하게 한다. 운영사령실 승객사령(PSC)은 차상 CCTV를 통해 객실내부 상태를 모니터링 한다.
차량	정상운행 동안 출입문은 닫혀있고 기계적으로 잠겨있다. 각 출입문에는 심각한 비상상황에서 열차가 정차한 후 승객이 차량내부로부터 출입문을 수동으로 개방할 수 있는 개별 EDRH가 설치 된다. EDRH는 출입문을 기계적으로 잠금 해제하여 승객이 물리적으로 출입문을 끌어당겨 열수 있도록 한다. EDRH를 동작시키면 차량 내부에 알람음을 발생시킨다.

이 시나리오에는 아래의2가지 경우가 있다.

- 정차한 열차에서의 비상도어해제 핸들 작동
- 역사간에 주행중인 열차에서의 비상도어해제 핸들 작동

(2) 시스템 설명

이 시나리오에 관련된 서브시스템은 표 7과 같이 신호시스템, SCADA/급전 시스템(전력), 통신시스템과 차량시스템에 해당한다.

(3) 운영시나리오

열차의 비상도어해제 핸들의 작동은 19단계에 걸쳐서 진행되며, 각각의 시나리오 단계는 고유번호, 관련 서브시스템/인원, 실행 이벤트, 운영모드(자동/수동), 차량모드(자동/수동), 명령(지시), 표시(해당 이벤트를 표시하는 장치/시스템)로 구분하여 기술한다.

(4) 운영요구사항

열차의 비상도어해제 핸들의 작동 시나리오에는 표 8과 같은 인력의 개입이 필요하다.

표 8. 비상도어핸들(EDRH) 작동

직원의 역할	인원
운영사령실 사령(CCS)	-
운영사령(TD, Train dispatcher)	1
승객사령(PSC, Passenger security controller)	-
전력사령(SC, SCADA controller)	-
승무원(STW, Steward)	2
유지보수인원(MA, Maintenance attendant)	-
유지보수책임자(MS, Maintenance supervisor)	-

3.5.4 셔틀운영

본선에서 궤도의 일부 구간이 폐쇄되거나 시스템의 일부 구간이 고장일 때 셔틀열차 운영을 하며 셔틀운영의 시나리오 설명, 관련 서브시스템 요구사항, 개발된 시나리오, 운영 요구사항 순으로 살펴보고자 한다.

(1) 시나리오 설명

열차의 셔틀운영은 본선에서 궤도의 일부 구간이 폐쇄되거나 시스템의 일부 구간이 고장일 때 수행하며 셔틀운영은 모든 발생 가능한 고장위치를 기준으로 보다 효율적인 셔틀운영의 시나리오들이 정해진다. 여기서는 셔틀운영 시나리오를 설명하기 위해 아래와 같은 특수한 예제가

사용된다.

- 분기기 고장으로 한 방향 궤도의 일부구간 운행중단
- 열차들은 정상운행처럼 영향이 없는 운행으로 설정
- 고장 위치 북쪽의 가능한 가장 먼 곳에 있는 역사에서 회차를 하는 고장운영모드 서비스로 설정
- 양 방향 궤도의 분기기 고장지점 남쪽에서 서틀열차 운영
- 고장이 발생한 지점의 역사간에는 임시 서틀버스운행

(2) 시스템 설명

이 시나리오에 관련된 서브시스템은 표 9와 같이 신호시스템과 통신시스템에 해당한다.

표 9. 서틀운영

시스템	요구사항
신호	<p>운영사령(TD)은 시스템의 모든 열차들 또는 특정 개별 열차에 영향을 미치는 열차홀드(hold)를 실행하거나 해제할 수 있다. 또한 운영사령(TD)은 노선의 선정된 구간들에서 단선운행을 실행시킬 수 있다.</p> <p>운영사령(TD)은 서틀운영에 관련된 열차의 적절한 목적지 고유번호(ID)를 선정하고 실행함으로써 두 개의 선정된 역사들 사이에서 동일 궤도의 양 지점을 왕복 운행하는 서틀운행을 실행시킬 수 있다.</p>
SCADA /급전	해당사항 없음
통신	<p>PS&IS는 자동적으로 서틀운영에 관련된 차량의 운행정보를 정해진 역사 승강장, 역사외부, 그리고 차량내·외부에 문자정보로 표시한다. 또한 PS&IS는 자동적으로 서틀운영에 관련된 차량의 운행정보를 정해진 역사 승강장과 차량내부에서 음성방송을 실시한다.</p> <p>승객사령(PSC)은 역사나 차량내에 직접 음성방송을 할 수 있으며 PIS 메시지를 신규 제작하고 역사들과 차량들에 있는 PID에 송부할 수 있다. 신규로 만들어진 메시지들은 자동적으로 반복된다.</p> <p>승객사령(PSC)은 시스템의 지연에 대응해서 녹음된 방송이나 PIS 메시지를 초기화 할 수 있다. 이러한 음성방송들이나 문자 메시지들은 자동적으로 프로그램화 되어 반복될 수 있다.</p>
차량	해당사항 없음

(3) 운영시나리오

서틀 운영 시나리오는 30단계에 걸쳐서 진행되며, 각각의 시나리오 단계는 고유번호, 관련 서브시스템/인원, 실행 이벤트, 운영모드(자동/수동), 차량모드(자동/수동), 명

령(지시), 표시(해당 이벤트를 표시하는 장치/시스템)로 구분하여 분석 기술한다.

(4) 운영요구사항

서틀 운영 시나리오에는 표 10과 같이 10명의 인력 개입이 필요하다.

표 10. 서틀운영

직원의 역할	인원
운영사령실 사령(CCS)	1
운영사령(TD, Train dispatcher)	1
승객사령(PSC, Passenger security controller)	1
전력사령(SC, SCADA controller)	1
승무원(STW, Steward)	6
유지보수인원(MA, Maintenance attendant)	-
유지보수책임자(MS, Maintenance supervisor)	-

4. 결론

4.1 인천 도시철도2호선 개요

인천 도시철도2호선은 인천광역시 서구 검단·경서·청라지역 등 신규개발지역의 인구증가와 주안·석바위·구월지구 등 기존 시가지의 교통난 해소, 경제자유구역 개발촉진, 대공원 시민 쉼터 편의제공 및 인천지역의 동서축과 남북축을 연계한 도시철도시스템 구축을 위하여, 서구 오류동~주안역~인천대공원을 경유하는 2단계로 건설되는 경량전철로 “인천광역시 도시철도건설본부”에서 시행하고 있다.

- 구간 : 서구 오류동~주안역~남동구 인천대공원
- 연장 : 29.2km(지하 23.1km, 고가 및 지상 6.1km)
- 규모 : 정거장 27개소, 차량기지 1개소, 주차기지 1개소
- 열차 : 37편성 (74량)
- 건설 : 2008년~2014년

인천 도시철도2호선의 운영시나리오는 실시설계 단계에서 예비적으로 운영시나리오를 개발하고, 이를 제작설계 단계까지 보완하여 확정하고, 기술/영업 시운전 단계에서 이를 검증하는 3단계로 추진할 예정이다.

4.2 예비 운영시나리오

현재 개발이 진행되고 있는 예비 운영시나리오는 인천 도시철도2호선 기본설계자료, 부산-김해간 경량전철 민간

투자업 운영시나리오, 코펜하겐 메트로 운영시나리오를 입력 데이터로 하여 실시설계 단계까지 개발하며, 그 주요한 내용은 아래와 같다.

- 본선 및 차량기지 시나리오 목록의 예비적 정의
- 각 시나리오에 관련된 서브시스템 기능의 예비적 정의
- 각 시나리오 이벤트 발생 순서를 예비적으로 정의
 - 관련된 직원의 정의
 - 자동/수동 운영모드 정의
 - 차량의 자동/수동 모드 정의

4.3 운영시나리오 검증

예비 운영시나리오는 제작설계단계를 거치면서 확정될 예정이며 종합시운전 단계에 검증하여 개발된 시나리오의 운영 적용성을 확인할 예정이다.

4.4 기대효과

본고에서는 인천 도시철도 2호선의 운영시나리오 개발을 위해 검토한 내용을 중심으로 설명하였다.

인천 도시철도2호선은 운영시나리오에 따라 장치·제품·시스템을 설계·제작·설치·시운전하며, 운영&유지보수 설계를 함으로써 영업운영 단계에서 운영인력과 각 서브시스템 간에 조화를 극대화 하고, 정상·비상·고장 운영의 각 단계에 관련 시스템과 운영인원의 역할을 명확히 하여 운영성과 운영효율의 극대화를 기대한다. ☺

♣ 참고 문헌

1. 백동현, 구락조, 이경선, 김동산, 신민주, 윤원철, 정명철(2008.03), "철도사고의 인적요류 분석을 위한 수행도 영향인자 분류", Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 31, No. 1, pp.41-48.
2. Federal Railroad Administration: "Accident Causes", <http://safetydata.fra.dot.gov>, Washington DC: US Department of Transportation, 2006.
3. Catalog, "Copenhagen's Metro", <http://www.m.dk>, pp.1-38.
4. 포스코건설, 현대로템, D'Appolonia (2010.03), "인천도시철도 2호선 운영시나리오" pp.1-302.
5. 현대로템, D' Appolonia (2007.06), "부산-김해간 경량전철 민간투자사업 운영시나리오", pp. 1-283.
6. Christian Boye, COWI, Copenhagen Denmark (2002.11), "Copenhagen Metro Inauguration Seminar", pp.15-227.

첨부 1. 운행열차를 본선에 투입(MN4 Train entry into passenger service for the CMC)

번호	시스템/개인	이벤트	운영모드	차량모드	명령어	이벤트표시장치
1		이벤트의 시작 오전 혼잡시간대의 운행서비를 위해 야간 운영에 이어서 본선에서 운행열차는 6편성에서 17편성으로 증가한다. 필요한 일일운행 스케줄은 "MN2 Implementation of the daily schedule"에서 이미 준비되어 있다. 운행에 적합한 5편성 열차는 1SA 궤도에 주박하고 있으며, 5편성은 2SA 궤도에, 2편성은 3SA에 주박하고 있다. 이 열차들은 "Rest Mode"로 실내조명, 히팅, 냉방장치가 꺼진 상태로 주박하고 있다.		Auto		ATC-C OV&WS
2	ATC-C	운행스케줄에 따라 15A궤도에 주박된 열차를 활성화하고, 서비스 운행에 투입전에 객실온도가 적절하게 난방 되거나 냉방되도록 충분한 시간(배열 가능한 파라미터)을 갖고 "Rest Mode"를 해제한다.	Auto		ATC-C 열차의 "Rest Mode" 해제	ATC-C OV&WS
3	차량	실내조명 켜짐 명령을 한다. 온도에 따라서 난방/냉방 켜짐 명령을 한다.	Auto		Vehicle 실내조명, 난방/냉방 켜짐	
4	ATC-C	운행스케줄에 따라 운행서비스에 투입할 열차를 주박선 1SA궤도(주박선의 남쪽 끝 트랙부터)에서 선정한다. 운행스케줄에 따라 각각의 열차에 추적용 고유 열차번호(열번)를 배정한다. 각각의 열번은 운행스케줄의 목적지 고유번호(ID)와 연결된다.	Auto		ATC-C 열차번호 배정	ATC-C OV&WS
5	TD	필요할 때, (날씨에 따라) 열차의 우측/좌측 출입문을 연다.	Manual		ATC-C 출입문 사이클 테스트	ATC-C OV&WS
6	ATC-C	만약 주박궤도 1SA에 가용열차가 없을 때는 TD에게 알람을 송부한다. TD는 반듯이 수동으로 개입하여 운행스케줄에 맞는 열차를 선정한다.	Auto			ATC-C WS 가용열차 없음알람
7	ATC-C	운행스케줄에 따라 주박선 1SA에서 베스타마거역사(제1역사) 궤도의 2승강장에 열차를 투입한다. 열차는 분기기 #6, #5, #4, 및 #2를 경유하여 진행한다.	Auto		ATC-C 열차의 운행 투입	ATC-C OV&WS
8	TD	베스타마거역사에 있는 직원(STW)에게 운행스케줄에 따라 혼잡시간대를 위한 열차증편 투입이 시작되었음을 알린다	Manual		STW에게 무선통신	
9	PS&IS	베스타마거역 궤도2의 승강장에 있는 PID에 차량기지 1SA로부터 출발한 열차의 운영노선, 목적지, 예상 출발시간을 문자로 표시한다.	Auto		PS&IS 승강장 PID 열차출발	궤도2의 승강장 PID
10	PS&IS	베스타마거역 외부 PID에 차량기지 1SA로부터 출발한 열차의 운영노선, 목적지, 예상 출발시간을 문자로 표시한다.	Auto		PS&IS 외부 PID 열차출발	외부 PID
11	PS&IS	차량기지에서 출발한 열차가 궤도2에 도착함을 음성 방송한다.	Auto		PS&IS 승강장 PA 방송	
12	ATC-V	베스타마거역 궤도2의 승강장에 열차가 도착하여 출입문개방	Auto		ATC-V 출입문 개방	ATC-C OV&WS
13	ATC-C & ATC-V	차량기지 주박선 2SA에 있는 5편성 열차에 대해 2단계에서 6단계 까지 시나리오 반복				
14	ATC-C	운행스케줄에 따라 주박선 2SA에 있는 열차들을 베스타마거역 궤도2의 승강장에 투입한다. 열차는 분기기 #5, #4, & #2를 경유하여 진행한다.	Auto		ATC-C 열차의 운행 투입	ATC-C OV&WS
15	PS&IS & ATC-V	차량기지 주박선 2SA의 5편성 열차에 대해 9단계에서 12단계까지 시나리오 반복	Auto			

번호	시스템/개인	이벤트	운영모드	차량모드	명령어	이벤트표시장치
16	ATC-C & ATC-V	차량기지 주박선 3SA의 2편성 열차에 대해 2단계에서 6단계까지 시나리오 반복	Auto			
17	ATC-C	운영스케줄에 따라 주박선 3SA에 있는 열차 2편성들을 베스타마거역 계도2의 승강장에 투입한다. 열차는 분기기 #5, #4, & #2을 경유하여 진행한다.	Auto		ATC-C 열차의 운행 투입	ATC-C OV&WS
18	PS&IS & ATC-V	차량기지 주박선 3SA의 1편성 열차에 대해 9단계에서 12단계까지 시나리오 반복	Auto			
19	TD	베스타마거역사에 있는 직원(STW)에게 운영스케줄에 따라 혼잡시간대를 위한 열차증편 투입이 완료 되었음을 알린다	Manual		STW에 무선통신	
20	ATC-C	운영스케줄의 일부로써 예비 열차 1편성이 주박선 3SA에 대기하며, 이 열차는 운행이 가능한 상태이고, 필요시에 즉각 서비스운행에 투입이 가능하다.	Auto			
21	STW	열차가 베스타마거역에 도착할 때 모든 열차객실을 점검하여 열차가 여객서비스를 위해 청결하고 적당한지를 확인한다.	Manual			

주) ATC-C(ATC Center), ATC-V(ATC Vehicle), OV&WS(Workstation), TD(Train Dispatcher), PID (Passenger Information Display), STW(Steward)