

발간등록번호

11-1613000-001058-01

열차운행의 안전성 및 효율성
향상을 위한 도시철도 열차운영
시스템 개량 최적화 기획연구
- 최종보고서 -

2015. 10.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 서울특별시도시철도공사
대아티아이

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템
개량 최적화 기획연구"과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2015 . 10 .

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 오세찬

공동연구기관명 : 서울특별시도시철도공사

공동연구책임자 : 전조원

공동연구기관명 : 대아티아이

공동연구책임자 : 안진

목 차

제 1장 기술의 정의 및 필요성	1
제 1절 기획연구의 배경 및 기술의 정의	1
1. 기획연구의 배경	1
가. 사회적 배경	1
나. 경제적 배경	1
다. 기술적 배경	1
2. 기술의 정의	2
가. 개량 기준	3
나. 개량 전략	3
다. 안전요구사항	7
제 2절 기획연구의 목적 및 필요성	8
1. 기획연구의 목적	8
2. 기획연구의 필요성	8
3. 정부지원의 필요성	8
제 2장 기획연구내용 및 추진전략	9
제 1절 기획연구 내용	9
1. 총괄내용	9
2. 기관별 연구내용	10
제 2절 기획연구 추진전략	12
제 3장 국내외 기술개발 동향 및 현황분석	13
제 1절 국내외 정책동향	13
1. 국내 정책동향	13
2. 국외 정책동향	13

제 2절 국내외 현황분석	14
1. 국내 현황	14
2. 국외 현황	14
제 3절 국내외 기술개발 동향	15
1. 연구개발 동향	15
가. 국내 연구개발 동향	15
나. 국외 연구개발 동향	15
2. 특허 동향	15
3. 논문 동향	16
제 4절 국내외 시장동향	17
제 4장 연구개발 기술의 정의	18
제 1절 기술동향 분석결과	18
제 2절 개량시스템 구축 프로세스	20
제 3절 시스템 Migration 전략	21
1. Migration의 정의 및 프로세스	21
가. 정의	21
나. Migration Solution 선정방법	21
2. Migration 접근법	22
3. 시스템 별 개량 상세사항	23
4. 주요 개량 리스크	24
5. 개량 전략에 대한 결론	24
제 4절 UTO 시스템 설계방법	25
1. 구조	25
2. 데이터 모델 및 제품 분류체계	25
3. 설계 요구사항	26
4. 수용 요구사항	26

제 5절	개량시스템 안전성 확보방안	27
1.	RAMS 관리	27
2.	안전	27
3.	RAM	27
제 6절	개량요구사항 도출	28
1.	운영기관 기술협의체 구성 및 운영결과	28
2.	분야별 개량 요구사항 도출	28
가.	신호분야	28
나.	관제분야	28
다.	통신분야	29
라.	차량분야	30
마.	전력분야	30
바.	기타	31
제 7절	개량시스템의 정의	32
제 8절	연구개발기술의 정의	34
1.	신호분야	34
가.	열차제어 개량핵심기술 개발	34
2.	관제분야	35
가.	관제 개량핵심기술 개발	35
3.	통신분야	37
가.	철도무선망 무선트래픽 분배시스템 개발	37
4.	차량분야	39
가.	DT0/UT0 운영을 위한 안전장치 개발	39
5.	기타	39
가.	개량 최적화를 위한 시스템 설계 및 안전성 확보기술	39
나.	기능 및 성능검증을 위한 시뮬레이터 개발	40
다.	테스트 베드 구축 및 시험평가 기술 개발	40

제 5장 연구개발 타당성 분석	41
제 1절 정책적 타당성	41
제 2절 기술적 타당성	41
제 3절 경제적 타당성	41
제 6장 연구개발과제 구성 및 추진전략	42
제 1절 비전 및 목표	42
1. 비전 및 연구목표	42
2. 현황 및 미래상	43
제 2절 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표	45
1. 핵심기술요소(CTE) 도출	45
가. 신호분야	45
(1) 핵심기술요소(CTE) 후보	45
(2) 핵심기술요소(CTE) 선정	45
나. 관제분야	46
(1) 핵심기술요소(CTE) 후보	46
(2) 핵심기술요소(CTE) 선정	46
다. 통신분야	47
(1) 핵심기술요소(CTE) 후보	47
(2) 핵심기술요소(CTE) 선정	47
라. 전력분야	48
(1) 핵심기술요소(CTE) 후보	48
(2) 핵심기술요소(CTE) 선정	48
마. 차량분야	49
(1) 핵심기술요소(CTE) 후보	49
(2) 핵심기술요소(CTE) 선정	49
2. 기술성숙도(TRL) 목표	50
가. 신호분야	50
나. 관제분야	50
다. 통신분야	50
라. 차량분야	50

제 3절 연구개발과제 구성	51
1. 연구개발 과제구성	51
2. 기술개발 전략수립(SWOT 분석)	53
제 4절 연구개발 후보과제별 과제카드	54
1. 1세부 과제 : 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술 개발	54
2. 2세부 과제 : 개량 핵심기술 개발	62
3. 3세부 과제 : UT0/DT0 적용기술 개발	70
4. 4세부 과제 : 개량시스템 기능 및 성능평가	79
제 5절 테스트 베드구축 계획수립	86
1. 테스트 베드 선정기준	86
2. 테스트 베드 평가방법	86
3. 기관별 역할 정립 및 추진전략	86
제 6절 단계별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵	87
1. 단계별·연차별 기술로드맵	87
2. 세부과제별 주요 연구 성과물	89
가. 최종 성과물	89
나. 세부과제별 성과물	90
3. 세부과제별 성과지표 및 성과 맵	90
제 7절 성과의 활용방안 및 실용화 전략	91
1. 성과의 활용방안	91
2. 실용화 전략 및 추진방안	91
3. 기존 기술·인프라 활용 및 연계방안	92
제 7장 수행체계 및 소요예산 산정	93
제 1절 연구수행체계	93
1. 연구추진체계	93

제 2절 연구일정에 따른 인력투입계획	95
1. 세부과제 주요 연차별·공정별 인력투입계획	95
제 3절 소요예산	97
1. 소요예산 산정	97
제 8장 과제 제안요구서	100
제 1절 연구개발 RFP	100
제 2절 연차별 평가방법 및 기준	100

그림 차례

[그림 1.1.1] 시스템 개량의 방향	2
[그림 1.1.2] Switched Operation - 기존 ATC mode	4
[그림 1.1.3] Switched Operation - 신규 CBTC mode	4
[그림 1.1.4] Switched Operation 프로세스	4
[그림 1.1.5] Mixed Operation	5
[그림 1.1.6] Mixed Operation Process	6
[그림 1.1.7] 개량 전략의 선택기준	7
[그림 1.1.8] IEC-62267 AUGT safety requirements	7
[그림 4.2.1] 시스템 개발 V-cycle	20
[그림 4.3.1] Migration 결정 프로세스	22
[그림 4.4.1] 사업 수명 주기내 UTO 시스템 요구사항 개발의 위치	25
[그림 4.7.1] 개량시스템의 정의	32
[그림 4.8.1] 개량효율화를 위한 시스템 flexibility 및 scalability concept	34
[그림 4.8.2] 열차제어시스템 모듈화 concept	35
[그림 4.8.3] 관제시스템 개량 핵심기술 개발 개요	36
[그림 4.8.4] 혼영 운용 절체방안 개념	36
[그림 4.8.5] 주간 Shadow 모드 운영 방안	37
[그림 4.8.6] Mixed 모드 운영 방안	37
[그림 4.8.7] 철도 이동성 모형 예시	38
[그림 6.1.1] 연구개발 비전 및 목표	42
[그림 6.3.1] 연구개발 추진체계	51
[표 6.3.1] 연구개발 과제의 구성	52
[그림 6.7.1] 지하철 8호선 별내선 연장사업	91
[그림 6.7.2] KRTCS 시스템 구성도(대불시험선)	92
[그림 7.1.1] DT0/UT0 테스트 베드 구축방향	93
[그림 7.1.2] 연구개발 추진체계	94

표 차 례

[표 4.2.1] 기존노선에 대한 운영요구를 다루는 사업형태	20
[표 4.3.1] 각 개량전략의 민감한 사항	22
[표 4.3.2] 시스템별 개량 쟁점 예시	23
[표 4.3.3] 주요 개량 리스크	24
[표 4.4.2] 인터페이스 분장표	26
[표 6.2.1] 신호분야 핵심기술요소 후보	45
[표 6.2.2] 신호분야 핵심기술요소 선정	45
[표 6.2.3] 관제분야 핵심기술요소 후보	46
[표 6.2.4] 관제분야 핵심기술요소 선정	46
[표 6.2.5] 통신분야 핵심기술요소 후보	47
[표 6.2.6] 통신분야 핵심기술요소 선정	47
[표 6.2.7] 전력분야 핵심기술요소 후보	48
[표 6.2.8] 전력분야 핵심기술요소 선정	48
[표 6.2.9] 차량분야 핵심기술요소 후보	49
[표 6.2.10] 차량분야 핵심기술요소 선정	49
[표 6.2.11] 신호분야 핵심기술요소 TRL 목표	50
[표 6.2.12] 관제분야 핵심기술요소 TRL 목표	50
[표 6.2.13] 통신분야 핵심기술요소 TRL 목표	50
[표 6.2.14] 차량분야 핵심기술요소 TRL 목표	50
[표 6.3.2] 연구개발 과제의 구성	53
[표 6.3.3] 1세부 연구개발 과제카드	54
[표 6.3.4] 2세부 연구개발 과제카드	62
[표 6.3.5] 3세부 연구개발 과제카드	70
[표 6.3.6] 4세부 연구개발 과제카드	79
[표 6.6.1] 단계별·연차별 로드맵	87
[표 7.2.1] 1세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표	95
[표 7.2.3] 2세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표	95
[표 7.2.5] 3세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표	96
[표 7.2.7] 4세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표	96
[표 7.3.1] 연구비 총괄표	97

[표 7.3.2] 1세부 과제 연구비 총괄표	97
[표 7.3.7] 2세부 과제 연구비 총괄표	98
[표 7.3.12] 3세부 과제 연구비 총괄표	98
[표 7.3.18] 4세부 과제 연구비 총괄표	99

제 1장 기술의 정의 및 필요성

제 1절 기획연구의 배경 및 기술의 정의

1. 기획연구의 배경

가. 사회적 배경

○ 안전성 측면

국내의 도시철도 열차운영시스템은(신호, 통신, 관제, 전력 등) 도입 이후 많게는 약 20~30년 이상 사용되고 있다. 열차운영시스템의 대표적인 설비의 예로 신호시스템을 들 수 있다. 현재 국내 운영되고 있는 신호시스템의 경우 다양한 외산 제품이 도입됨에 따라 시스템 노후화로 인한 안전성, 신뢰성, 가용성이 심각하게 저하되고 있으며 이로 인해 열차운행 중단 및 안전사고 발생이 우려되고 있다.

현재 국내 도시철도 전체 운행 노선 길이는 약 715km 이며, 그 중 현재 수도권을 중심으로 약 57%에 해당하는 407km 길이의 노선이 개통이후 약 20년이 경과되고 있으며, 도시철도 열차운영시스템 내용연수 현황을 토대로 볼 때 향후 5~10년 이내에 개량이 필요한 실정이다.

○ 승객 수송량 측면

다음으로는 철도의 수송량 증대를 들 수 있다. 도시인구 집중화는 전 세계적인 추세이다. 우리나라 또한 전형적인 도시인구 집중 형 국가이다. 국내 도시지역 인구는 해마다 증가 추세에 있다. 또한 국내 도시철도 이용객 수는 해마다 증가 추세에 있음을 알 수 있다. 따라서 노후화된 도시철도시스템 개량방향은 증가하는 도시철도 수송수요를 고려해야 함을 알 수 있다.

나. 경제적 배경

시스템의 노후화에 따라 장애 및 고장 발생의 증가로 인해 유지보수비용이 증가되고 있으며 이는 운영기관의 경영성 저해 요인으로 작용되고 있다. 특히 열차운영시스템의 핵심요소인 열차제어시스템의 경우 모두 국외에서 도입된 시스템이므로 일상적인 유지보수 뿐만 아니라 노선의 연장, 개량에 있어서 막대한 비용이 소요되고 있다.

다. 기술적 배경

기존 노선을 개량하기 위해서는 신규노선 구축과는 달리 영업 운영의 중단 없이 이루어져야 하며 동시에 안전성이 확보되어야 한다. 하지만 현재 우리나라의 경우 시스템 개량에 필요한 핵심기술과 시스템 엔지니어링 기법과 노하우가 미흡하여 외국사와 경쟁에서 경쟁력이 매우 낮은 상태이다. 따라서 산업계의 생존을 위해서도 반드시 핵심기술에 대한 개발과 기술기준 정립이 절실한 실정이다.

2. 기술의 정의

본 연구과제는 노후화된 도시철도시스템을 영업운행의 중단 없는 운영성과 동시에 안전성을 확보하면서 개량하기 위한 개량 기준 및 전략, 개량에 필요한 분야별 핵심요소기술을 도출함으로써 궁극적으로는 보다 빠르고, 안전하면서도 저렴하게 그리고 자동화된 도시철도 열차운영시스템을 구축하기 위함이다.

즉, 기존의 열차운영시스템이 fixed block 방식의 STO(Semi-automated Train Operation) 모드라 한다면 개량화를 통해 moving block 방식의 DTO(Driverless Train Operation) 및 UTO(Unattended Train Operation) 모드로 전환을 목표로 한다.

열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영 시스템 개량 최적화 기획연구



[그림 1.1.1] 시스템 개량의 방향

개량기준은 노후화된 열차운영시스템을 개량하기 위한 기준으로써 통상적인 장비의 유지보수 또는 교체가 아닌 새로운 시스템으로 업그레이드하기 위한 전환점의 계기를 제시하는 것이다. 개량 전략은 시스템 개량을 어떠한 전략과 접근방법을 가지고 진행하는가를 의미하며 일반적으로 노후화된 도시철도 열차운영시스템을 개량하는 전략은 크게 switched operation과 mixed operation 두 가지가 있다.

핵심요소기술은 열차운영시스템 개량을 위해 필요한 신호, 차량, 전력, 통신, 관제 분야별 개발기술을 의미함. 시스템 개량 전략을 토대로 실제 개량시스템 구현이라는 측면에서 영업운영에 지장을 주지 않으면서 안전성을 확보 할 수 있는 분야별 요소기술을 의미한다.

분야별 개량화의 범위는 다음을 중심으로 제시한다.

- 개량의 효율화 측면에서 필요한 연구개발 요소
- 궁극적으로 UTO 적용을 목표로 필요한 연구개발 요소

가. 개량 기준

새로 고시된 철도안전관리체계 기술기준에서는 철도차량 및 철도시설에 대해서 운영기관 자체적으로 유지관리절차를 수립하고 시행하도록 규정하고 있다. 개정된 노후 철도차량 및 철도시설의 유지관리 세부기준은 [상세보고서 pp. 10~20]에 제시하였다.

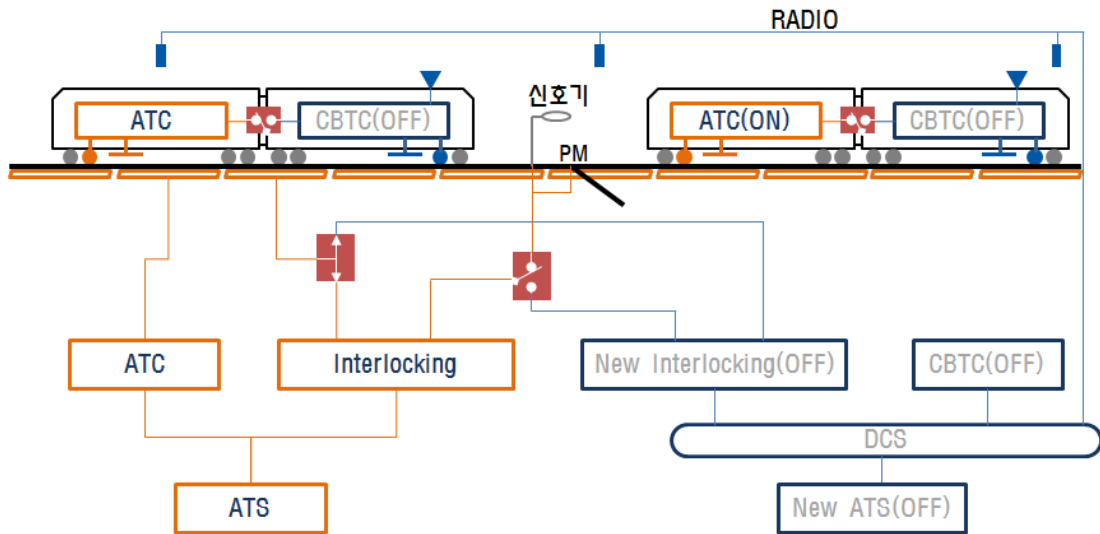
나. 개량 전략

(1) Switched Operation

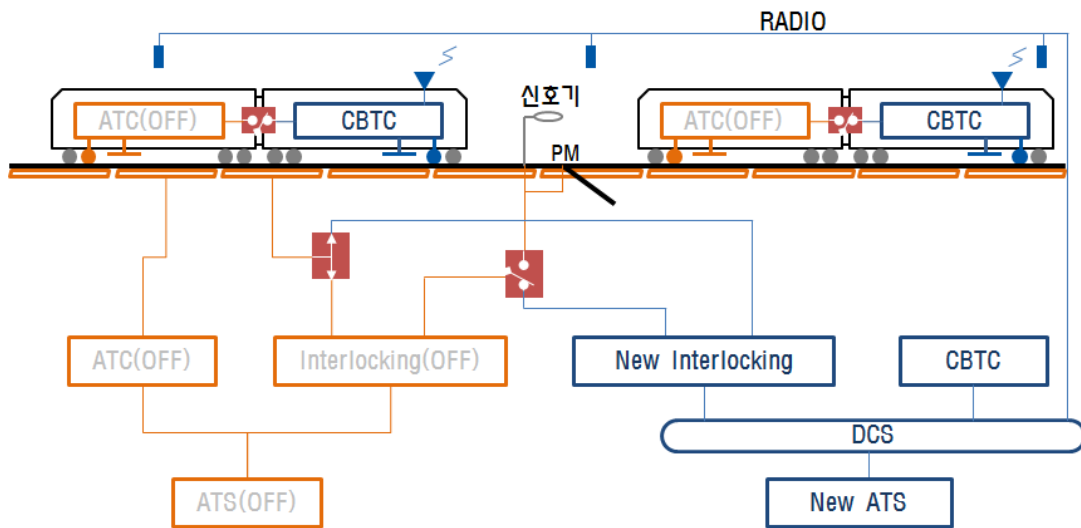
Switched Operation은 기존 열차제어시스템(ATC)을 그대로 둔 상태에서 차상과 지상에 신규 열차제어시스템(CBTC)를 설치하고 스위치 조작에 각각의 모드를 선택하여 운영하는 개량 전략이다. [그림 1.1.2]와 같이 영업운행 종료 후 야간 시간을 이용하여 차상과 지상 신규 열차제어시스템을 설치하며 리소스를 기존열차제어시스템과 신규열차제어시스템이 공유하는 부분에는 스위치를 두어 시스템 간 절체가 가능하도록 한다. 야간에는 [그림 1.1.3]과 같이 기존 열차제어시스템을 switch off한 후 신규 열차제어시스템을 테스트하게 되며 주간의 영업운행시간에는 다시 신규열차제어시스템을 switch off한 후 기존열차제어시스템으로 정상적인 영업운행을 수행한다.

Switched operation 프로세스는 [그림 1.1.4]와 같다. 기존시스템은 fixed block 방식을 가지는 제어시스템으로 가정하고 신규시스템은 moving block 방식을 가지는 제어시스템으로 가정하였다.

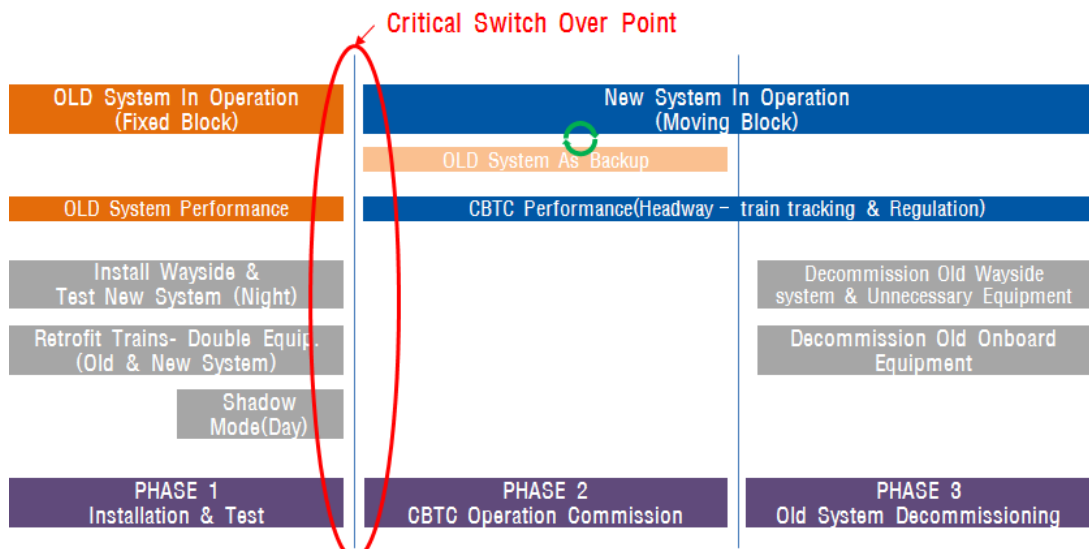
- Phase1: 기존시스템이 운영되고 있는 상황에서 야간에는 새로운 지상시스템을 설치하고 이에 대한 테스트를 수행한다. 또한 차량시스템을 개량하게 되는데 기존시스템을 그대로 둔 상태에서 신규 시스템을 추가로 설치하게 된다. 기존시스템과 신규시스템이 공유하는 자원 즉, 차량의 추진제어장치, 지상의 선로변 제어장치는 스위치를 두어 신규와 기존시스템이 서로 스위치 조작에 의해서 공유할 수 있도록 한다. 차상과 지상에 모두 신규시스템 설치가 완료된다면 야간 테스트 이외에 주간시간에는 Shadow mode로써 정상적인 운영상황에 대한 시험을 하게 되는데 이때는 신규시스템의 연산만을 확인하게 되며 어떠한 제어를 위한 출력도 허용하지 않는다. 이 시기에는 기존열차제어시스템의 성능을 갖게 된다.
- Phase2: 신규시스템에 대한 테스트가 완료되면 실제 운영상황에서 신규시스템으로 완전히 절체가 이루어지는데 이 시점을 switch over point라 한다. 이후로 시스템은 신규열차제어시스템 성능을 갖게 되며 기존 시스템은 백업시스템으로 활용하게 된다.
- Phase3: 신규시스템에 대한 안정화 기간이 지나면 기존의 설비를 철거한다. 기존의 지상시스템과 불필요한 선로변 설비를 철거하며 차상의 기존설비 또한 철거한다.



[그림 1.1.2] Switched Operation - 기존 ATC mode



[그림 1.1.3] Switched Operation - 신규 CBTC mode

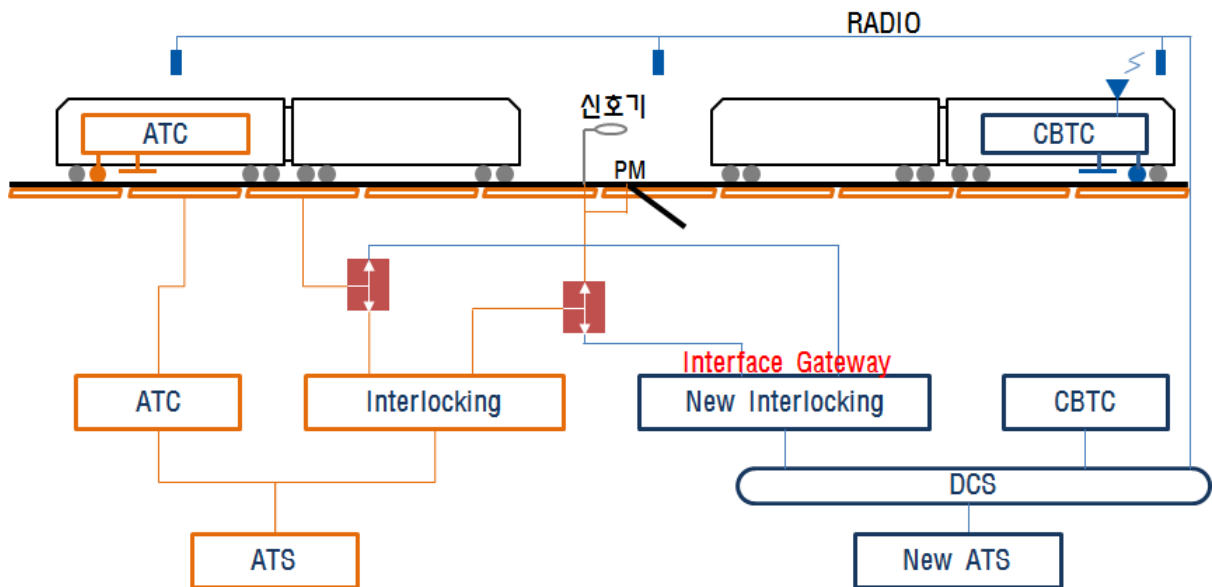


[그림 1.1.4] Switched Operation 프로세스

(2) Mixed Operation

Mixed Operation은 기존 열차제어시스템과 신규열차제어시스템이 병행하여 운영하는 개량 전략을 의미한다. Mixed operation은 [그림 1.1.5]와 같이 지상에는 야간시간 동안 신규시스템을 설치하고 기존시스템과 공존하게 된다. 이 때 지상의 신호기나 선로전환기와 같이 서로 공유하는 자원의 경우 스위치가 아닌 병행으로 연결함으로써 공유하도록 하였다.

차량의 경우 처음에는 모든 차량이 기존시스템을 탑재한 상태에서 시작하여 점차 신규시스템으로 개량하여 모든 차량이 신규시스템으로 개량이 완료되기 전까지 기존시스템과 신규시스템이 서로 혼용되어 운영된다.

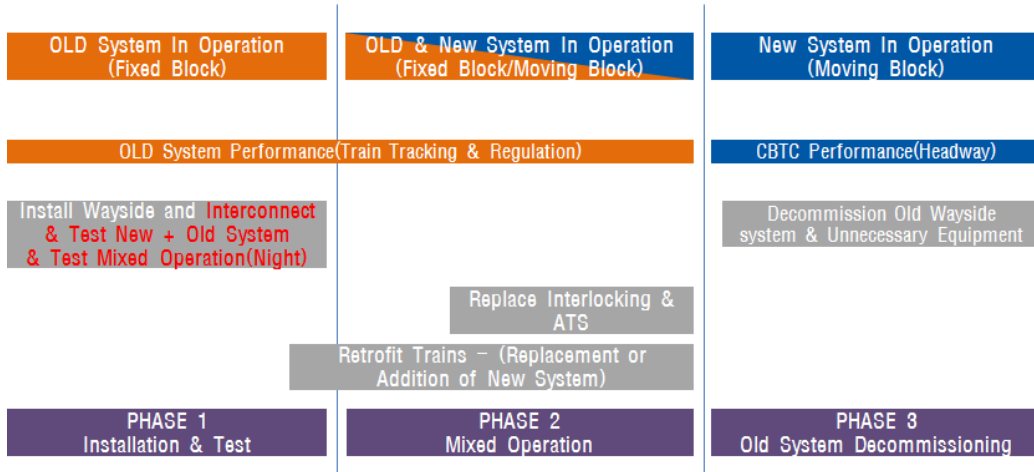


[그림 1.1.5] Mixed Operation

- Mixed operation 프로세스는 [그림 1.1.6]과 같다. 마찬가지로 기존시스템은 fixed block 방식을 가지는 제어시스템으로 가정하고 신규시스템은 moving block 방식을 가지는 제어시스템으로 가정하였다.
- Phase1: 기존시스템으로 운영되고 있는 상태에서 신규시스템을 영업운행 종료 이후에 설치하고 테스트한다. 신규시스템에 대한 테스트가 완료된 후에는 기존시스템과 혼용운행을 위한 연동 테스트를 수행하게 된다. 혼용운영 테스트가 어느 정도 진행된다면 차량 1편성을 개량하게 되는데 switched operation에서와는 달리 차상의 기존시스템을 철거한 후에 신규시스템을 설치한다.
- Phase2: 기존시스템과 신규시스템이 함께 혼용운영하는 단계이다. 즉, 영업운영시간에 기존시스템이 설치된 차량과 신규시스템이 설치된 차량이 함께 운영하는 단계로써 전체적인 성능은 아직까지 기존의 열차제어시스템 성능을 갖게 된다. 점차적으로 신규시스템이 탑재된 차량 편성수를 늘려가면서 결과적으로 전체 차량이 신규시스템을 탑재하도록 한

다. 이 기간 동안에는 신규 연동장치와 ATS로 시스템 절체가 이루어지게 된다.

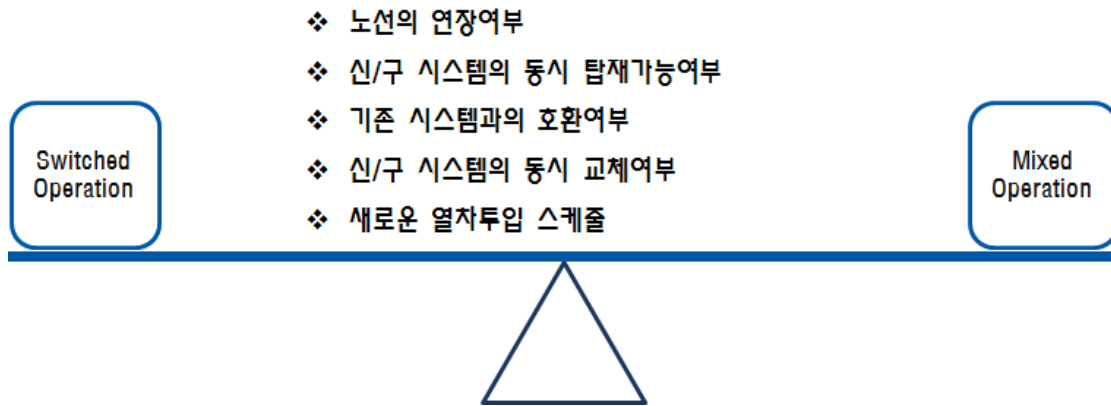
- Phase3: 모든 차량에 대해 시스템 개량이 완료된 이후에는 신규시스템으로 운영을 시작하게 되는데 이때 비로소 신규제어시스템 성능을 발휘하게 된다. 동시에 기존의 지상설비와 불필요한 설비를 철거하게 된다.



[그림 1.1.6] Mixed Operation Process

(3) 개량 전략 분석

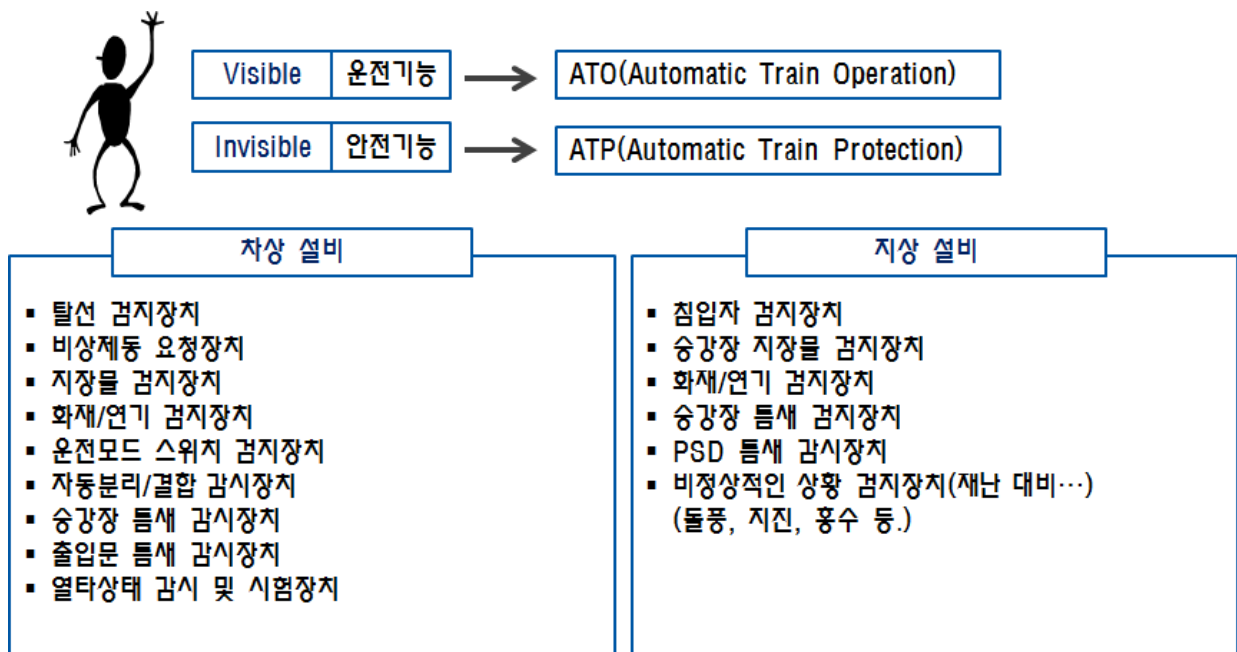
- 앞서 설명한 두 가지 개량 전략, switched operation과 mixed operation은 서로 다른 장단점을 가지고 있으며 어느 하나의 개량 전략이 우위에 있다고 보기는 어렵다.
- Switched operation의 경우 mixed operation에서와 같이 기존시스템과의 인터페이스가 이루어져야 하는 기술적 제약이 존재하지 않으며 스위치 조작에 의해 기존과 신규시스템을 번갈아 가면서 운영할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만 기존시스템과 신규시스템이 동시에 설치되어야 하므로 설치공간에 대한 제약이 발생할 수 있으며 테스트 기간 종료 후 신규시스템을 영업운영에 개시할 때 전체 차상과 지상시스템에 대한 운영을 한 번에 시행하게 되는 부담이 존재하게 된다.
- Mixed operation의 경우 Switched operation과는 달리 점차적으로 신규시스템으로 개량이 이루어지기 때문에 영업운영 투입에 대한 부담은 덜어질 수 있으며 기존 시스템의 철거 이후에 신규시스템을 설치하게 되므로 공간에 대한 제약도 발생하지 않는다. 반면에 기존 시스템과 신규시스템이 서로 인터페이스 되어야 하는 기술적 제약이 발생하게 되므로 시스템 기능이 더 복잡하다는 단점이 존재한다.
- 두 가지 개량 전략은 [그림 1.1.7]과 같이 노선이 처한 환경에 따라 적합한 방식을 선택적으로 적용이 가능하다.



[그림 1.1.7] 개량 전략의 선택기준

다. 안전요구사항

개량의 방향이 기존의 STO 모드에서 DTO/UTO 모드로 전환하고자 할 때 가장 큰 차이점은 차량에 기관사의 존재 유무이다. [그림 1.1.8]은 IEC-62267 AUGT(Automated Urban Guided Transport) safety requirements에서 권고하는 자동화된 열차운영시스템에 적용 가능한 안전장치를 보여준다. 기존 STO 모드에서의 기관사 기능은 크게 visible한 운전기능과 invisible한 안전기능으로 나눌 수가 있다. 일반적으로 운전기능은 열차제어시스템의 ATO(Automatic Train Operation)가 담당하며 안전기능은 ATP(Automatic Train Protection)가 담당하게 된다.



IEC-62267 AUGT(Automated Urban Guided Transport) Safety requirements

[그림 1.1.8] IEC-62267 AUGT safety requirements

제 2절 기획연구의 목적 및 필요성

1. 기획연구의 목적

본 기획연구를 통하여

- 국내 도시철도시스템 노선현황과 개량계획을 조사하고 노선 개량과 관련된 국내외 기술 개발현황과 분야별 운영, 유지관리, 인터페이스, 개량현황을 조사 및 분석한다.
- 분석결과를 토대로 도시철도시스템 최적의 개량을 위한 시스템 설계를 수행한다. 차량/신호/전력/관제 등 분야별 기술적 요구사항을 분석하고 이를 달성하기 위한 차량/전력/신호/관제 등 분야별 핵심요소기술을 도출하며 연구개발 방안 및 범위와 개발된 기술의 실용화 방향을 제시한다.
- 개량의 방향은 기존의 fixed block 방식의 STO 운영모드에서 moving block 방식의 UTO/DTO 운영모드로의 전환이며 이에 따른 분야별 개량범위는 다음을 중심으로 제시한다.
 - 개량의 효율화 측면에서 필요한 연구개발 요소
 - 궁극적으로 UTO 적용을 목표로 필요한 연구개발 요소
- 궁극적으로 다음과 같은 개량 최적화 모델을 제시한다.
 - 전력, 신호, 차량, 통신, 관제 등 분야별 노후설비 개량기준 제시
 - 국내운영기관들이 공동으로 활용 가능한 개량기준 제시
 - 안전성과 신뢰성 확보 및 평가방안 제시
 - 기 개발하였거나 개발 중인 연구성과물 활용방안 마련
 - 단계별 추진전략 및 로드맵 제시
 - 객관적인 경제성 분석을 통한 기대효과 및 파급효과 제시
 - 개량최적화를 위한 분야별 핵심기술 도출
 - Test Bed 구축계획 수립

2. 기획연구의 필요성

노후화로 인한 고장 및 장애 발생률이 증가하게 되고 개량시 안전사고 발생률이 높아짐에 따른 안전성 측면과 노후화에 따른 유지보수 비용의 증가에 따른 경제성 측면, 도시인구의 증가에 따른 사회적 측면으로 본 기획연구의 필요성 볼 수 있다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp.29 ~ 32]에 제시하였다.

3. 정부지원의 필요성

개량의 전략과 개량 핵심기술의 확보를 통해 국내 기술로 개량이 이루어질 수 있도록 정부 지원이 필요하다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp.32 ~ 33]에 제시하였다.

제 2장 기획연구내용 및 추진전략

제 1절 기획연구 내용

1. 총괄내용

연구목표	주요 연구내용
<ul style="list-style-type: none"> ▪기술개발 동향 및 수요조사 실시 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술개발 동향 및 환경분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 정책·시장·기술 동향분석 - 국내외 기술개발현황 및 국내 기술 인프라·기술 인력 현황(기업, 연구소, 대학 등) 분석 ○ 기술수요 및 기술예측 조사 실시 ○ 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발 추진방향 정립(SWOT 분석 등)
<ul style="list-style-type: none"> ▪기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술개발 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 비전 및 기술발전 시나리오 제시 - 비전 달성을 위한 세부목표 및 중점분야 설정 - 중점 추진분야별 연구개발 후보과제 설정 ○ 연구개발 후보과제 우선순위 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 기술적 진보성, 경제적 탁월성을 보장할 수 있는 후보과제군 도출 - 후보과제별 기술개발 목표 및 최종성과물 설정, 후보과제간 연계 및 중복 검토 등 종합검토 ○ 과제추진 체계(연구단, 일반과제 등) 설정 ○ 연구개발 후보과제별 과제카드 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 연구개발목표, 기술개발 및 산업/시장 동향, 기존기술 활용방안, 기술개발 필요성, 주요연구내용, 정부지원 타당성, 기술확보전략, 과제규모, 최종성과물 및 활용방안 등 - 후보과제별 연구유형(기초·원천, 응용, 실용화, 사업화 등), 성과물유형(시제품, S/W, 기준·지침, 정책제안, 표준제안 등), 시장경쟁력 확보방안, 실용화방안, 목표 TRL 단계, 제도개선사항 등 제시
<ul style="list-style-type: none"> ▪연구개발과제 기획 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구 목표 및 범위 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 목표 및 연구범위 설정 - 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구내용 설정 - 세부과제 연차별·단계별 성과목표(정량적, 정성적)와 성과지표(필수 지표 포함) 설정 및 성과맵 제시 ○ 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안 수립 - 컨소시엄 형태 등 최적의 연구추진체계 수립 ○ 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 성과분석 및 검증방안 제시 - 제도·정책 활용, 현장적용, 시제품 제작 및 시범사업 등 구체적인

연구목표	주요 연구내용
	<p>실용화 방안 제시</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구 성과물(S/W 등) 유지관리 방안, SIL 레벨 기준 및 유형적 결과물 소유에 대한 검토결과 제시 <p>○ 인력투입 계획 및 소요예산 산정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립 - 과제별 소요예산 산정 <p>○ 사전타당성 검토</p> <ul style="list-style-type: none"> - (정책적 타당성 검토) 국가 전략적 중요성, 상위계획과의 부합성, 연구개발 추진상의 위험요인과 대응방안 등에 대한 검토 - (기술적 타당성 검토) 기존 연구개발과의 중복성, 기술개발 계획의 우수성, 기술 수준 및 개발 성공 가능성 등에 대한 검토 - (경제적 타당성 검토) 경제성 분석, 경제·사회적 파급효과, 과학 기술적 파급효과 등에 대한 검토 <p>○ 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성 - 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤의 설정, 평가방법 및 기준 설정

2. 기관별 연구내용

연구기관	중점 연구목표
주관연구기관 (한국철도기술 연구원)	<p>○ 기획과제 총괄관리</p> <ul style="list-style-type: none"> - 과제 목표 및 일정관리 - 인터페이스 관리 <p>○ 국내외 분야별 개량 사례조사 및 분석</p> <ul style="list-style-type: none"> - 차량/신호/통신/전력 분야 등 사례조사 및 분석 - 차량/신호/통신/전력 분야 등 개량기준 제시 <p>○ 개량최적화 전략 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> - 개량을 위한 기준 및 비전제시 - 비전 달성을 위한 세부목표 및 중점분야 설정 - 중점 추진분야별 연구개발 후보과제 설정 <p>○ 개량최적화를 위한 연구개발 후보과제 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> - 차량/신호/통신/전력 분야 등 핵심기술 및 후보과제 도출 - 기술개발 목표 및 최종성과물 설정, 과제간 연계 및 중복 검토 <p>○ 연구개발 후보과제 우선순위 도출</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기술적 진보성, 경제적 탁월성을 보장할 수 있는 후보과제군 도출 - 후보과제별 기술개발 목표 및 최종성과물 설정, 후보과제간 연계 및 중복 검토 등 종합검토

연구기관	중점 연구목표
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구개발 후보과제별 과제카드 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 산업/시장 동향, 기존기술 활용방안, 기술개발 필요성, 주요연구내용, 정부지원 타당성, 기술확보전략, 과제규모, 최종성과물 및 활용방안 등 - 후보 연구개발과제별 연구유형, 성과물유형, 시장경쟁력 확보방안, 실용화방안, 목표 TRL 단계, 제도개선사항 등 제시 ○ 연구 목표 및 범위 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 목표 및 연구범위 설정 - 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구내용 설정 - 세부과제 연차별·단계별 성과목표(정량적, 정성적)와 성과지표 설정 및 성과맵 제시 ○ 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안 수립 - 컨소시엄 형태 등 최적의 연구추진체계 수립 ○ 과제추진 체계(연구단, 일반과제 등) 설정 ○ 인력투입 계획 및 소요예산 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립 - 과제별 소요예산 산정 ○ 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 연구목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성 - 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤의 설정, 평가방법 및 기준 설정
<p style="text-align: center;">공동연구기관 (서울특별시 도시철도공사)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현황 조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 도시철도시스템 개량현황 조사 및 분석 ○ 개량 요구사항 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 개량 운영시나리오 도출 - 운영기관 기술협의체 구성 및 운영 - 분야별 개량 요구사항 도출 ○ Test Bed구축계획 수립 <ul style="list-style-type: none"> - Test Bed 선정기준 및 평가방법 제시 - 기관별 역할정립 및 추진전략 제시
<p style="text-align: center;">공동연구기관 (대아티아이)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 관제시스템분야 개량 사례조사 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 관제시스템 분야 등 사례조사 및 분석 - 관제시스템분야 등 개량기준 제시 ○ 관제시스템분야 개량최적화를 위한 연구개발 후보과제 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 관제시스템 분야 핵심기술 및 후보과제 도출 - 기술개발 목표 및 최종성과물 설정, 과제간 연계 및 중복 검토 ○ 관제시스템분야 연구개발 후보과제 우선순위 도출

연구기관	중점 연구목표
	<ul style="list-style-type: none"> - 기술적 진보성, 경제적 타월성을 보장할 수 있는 후보과제군 도출 - 후보과제별 기술개발 목표 및 최종성과물 설정, 후보과제간 연계 및 중복 검토 등 종합검토 ○ 관제시스템분야 연구개발 후보과제별 과제카드 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 산업/시장 동향, 기존기술 활용방안, 기술개발 필요성, 주요연구내용, 정부지원 타당성, 기술확보전략, 과제규모, 최종성과물 및 활용방안 등 - 후보 연구개발과제별 연구유형, 성과물유형, 시장경쟁력 확보방안, 실용화방안, 목표 TRL 단계, 제도개선사항 등 제시
연구기관 공동목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술수요 및 기술예측 조사 ○ 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발 추진방향 정립(SWOT 분석 등) ○ 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 성과분석 및 검증방안 제시 - 제도·정책 활용, 현장적용, 시제품 제작 및 시범사업 등 구체적인 실용화 방안 제시 - 연구 성과물(S/W 등) 유지관리 방안, SIL 레벨 기준 및 유형적 결과물 소유에 대한 검토결과 제시 ○ 사전타당성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 국가 전략적 중요성, 상위계획과의 부합성, 연구개발 추진상의 위험요인과 대응방안 등에 대한 검토 - 기존 연구개발과의 중복성, 기술개발 계획의 우수성, 기술 수준 및 개발 성공 가능성 등에 대한 검토 - 경제성 분석, 경제·사회적 파급효과, 과학 기술적 파급효과 등에 대한 검토

제 2절 기획연구 추진전략

기술동향 분석은 인터넷 자료를 통해 해외 개량사례를 조사·분석하며 논문과 특허의 경우 주관연구기관(한국철도기술연구원) 기술정보분석실 지원 하에 수행되었다. 타당성 조사 보고서는 기술적, 정책적, 경제적 타당성을 분석하였으며 테스트베드 구축전략의 경우 우선 개발기술의 성능과 안전성을 검증하기 위해 필요한 시험환경을 구축하는 것으로 후보지 선정기준과 절차에 대해 운영기관기술협의체를 통해 의견수렴을 진행하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp.39~41]에 제시하였다.

제 3장 국내외 기술개발 동향 및 현황분석

제 1절 국내외 정책동향

1. 국내 정책동향

국정과제의 철도 노후·취약시설 개량이라는 측면, 제3차 과학기술 기본계획의 철도 등 국가 기반 인프라 구조물의 효율적 관리·운영을 위해 경제성 있는 최첨단 인프라로 개선, 건설교통 R&D 중장기계획안의 철도 운영 효율화 및 에너지 비용 절감을 통한 경제가치 실현이라는 측면, 제3차 국가교통기술개발계획의 중점 추진분야인 빠르고 지능적인 철도, 안전하고 편리한 철도, 정확하고 경제적인 철도를 고려해보았을 때 도시철도 열차운영시스템 개량최적화 기술개발은 국내 정책 동향과 부합하고 있음을 알 수가 있다. 따라서 노후화된 도시철도 열차운영시스템의 최적 개량을 통해 안전하고 경제적인 운영성을 확보하도록 관련 연구개발이 필요하다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp.42~44]에 제시하였다.

2. 국외 정책동향

영국의 철도기술 로드맵의 경우 용량확대, 탄소배출 저감, 고객만족, 비용감소를 목표로 열차 제어 및 통신 분야, 에너지 분야, 인프라 분야, 차량 분야, 정보 분야, 고객 분야에 대한 기술로드맵을 도출하였다. 일본 철도기술 로드맵은 미래 일본철도가 궁극적으로 풀어야 할 공통 기술과제를 안전·신뢰, 지구환경, 저비용, 매력 4가지 분야로 정하였다. 또한 일본 철도산업의 미래 예측을 위한 고려요인으로 출산감소, 고령화, 지구 온난화, 철도이용합의, 자연재해로 분류하여 시나리오를 수립하였다. 프랑스 철도기술 로드맵은 철도산업의 미래 핵심기술 과제로 에너지 절약, 철도의 안전성과 보안성 향상, 철도의 성능 및 편의성 향상을 도출하였다. 미국의 철도시스템의 안전성 향상에도 불구하고 많은 종류의 사고가 발생하고 있어, 철도사고와 사상자를 획기적으로 줄이는 것을 목표로 기술을 도출하였다.

국외의 기술동향을 분석하면 다음과 같은 공통요소 도출이 가능하다.

- 안전한 교통을 위한 기술은 사회.문화적, 환경적, 경제적 측면에서 공통적으로 요구됨
- 수송용량 증대와 시스템 지능화, 자동화 기술은 사회.문화적 측면과 경제적 측면에서 공통적으로 요구됨
- 재난대비를 위한 기술수요는 사회.문화적 측면과 환경적 측면에서 공통적으로 요구
- 에너지 절감기술은 환경적 측면과 경제적 측면에서 공통적으로 요구됨

따라서 열차운영의 안전성과 효율성 향상을 위한 도시철도시스템 개량은 개량을 통한 승객 안전성 향상, 운영 효율성 향상 등을 고려해 보았을 때 국외 정책동향과 부합하고 있음을 확인할 수 있다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp.44~57]에 제시하였다.

제 2절 국내외 현황분석

1. 국내 현황

가. 운영현황

국내 도시철도 노선현황을 비롯한 운영현황에 대해서 기술하였으며, ‘10년도부터 노후화에 따른 유지보수 현황 조사결과를 제시하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 58~61]에 제시하였다.

나. 개량현황

국내의 신호, 관제, 통신, 차량, 전력분야의 개량현황에 대해서 기술하였다. 신호분야의 경우 서울메트로 2호선 개량사업과, 고속선 차상시스템(ATP) 구축사업을 조사하였으며, 관제분야의 경우 서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사 등에서 수행된 개량현황을 제시하였다. 통신분야의 경우 대구도시철도공사 1호선의 전송설비 개량사업과, 부산교통공사 LTE-R 열차무선설비 개량사업을 제시하였다. 차량분야의 경우 GOA4 수준의 차량의 제작 및 개조사례에 대해 신분당선 D000호대 전동차와 KRTCS 시험전동차의 사례를 제시하였다. 전력분야의 경우 서울메트로 변전소 및 전차선 개량현황에 대해서 제시하였다. 각 분야별 구체적인 개량현황은 [상세보고서 pp. 62-87]에 제시하였다.

2. 국외 현황

가. 개량현황

국외의 개량사례는 대표적인 개량 프로젝트인 파리 1호선의 무인화 프로젝트를 비롯해서 다양한 기존선 개량 프로젝트가 성공적으로 진행되었음을 조사로 확인하였다. 노선개량 방향을 보면 개량 이전에는 fixed block 방식의 STO 운영모드에서 개량 이후에는 moving block 방식의 STO/DTO/UTO 모드로 개량화가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 개량시 STO/DTO/UTO 운영모드의 선택은 해당 노선의 운영기관의 선택사항이며 기술적 제약사항은 아님을 알 수 있다. 국외 노선별 개량현황은 [상세보고서 pp.88~100]에 제시하였다.

나. 개량절차

파리 1호선 개량에 적용된 Siemens Trainguard MT의 migration solution은 mixed operation이 적용되었다. 개량 절차는 선로 데이터 수집 및 DB구축, 발리스 설치 및 LEU 연결, 편성 개량 및 혼용운영, 모든열차 개량 및 기존 지상설비 철거, 신규제어설비 및 선로변 장치연결, 무선통신 설비 설치 및 시험, 신규 ATS설치 및 연동장치 연동, 신규제어설비로 제어권이전 순으로 진행된다. 구체적인 개량절차는 [상세보고서 101~105]에 제시하였다.

제 3절 국내외 기술개발 동향

1. 연구개발 동향

가. 국내 연구개발 동향

국내의 연구개발동향의 경우 도시철도 표준화 연구개발사업, 자기부상열차 실용화 차량모델 개발사업, 자기부상열차 설치사업, 지능형 열차제어시스템(MBS) 시범구축 사업, 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가사업, 철도통합무선망 현황 및 전망에 대해 조사하였다. 분석 결과 국내의 경우 무선통신기반 열차제어시스템의 설계제작 기술을 보유하고 있으나 개량과 관련된 핵심기술에 대해서는 추가적인 연구개발이 필요하다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 106~120]에 제시하였다.

나. 국외 연구개발 동향

국외의 연구개발 동향은 미국의 CBTC 프로젝트, 유럽의 ERTMS/ETCS 프로젝트, 중국의 CTCS 그리고 Alstom, Siemens, Thales, Ansaldo의 관제시스템과 국외 철도무선통신망 연구 동향, 국외의 CBTC 개량기술에 대해서 조사하였다. 국외 개량사례의 성공의 밑바탕에는 선진 철도시스템 제작사의 migration solution이 있었기에 가능하였다. Ansaldo, Siemens, Thales, Alstom, Bombardier 등과 같은 국외 철도 메이저 회사에서는 최적의 개량 솔루션을 개발하였다. Alstom의 경우 URBALIS 400이라는 CBTC solution에서 mixed traffic을 지원하고 있으며, Thales CBTC의 경우 점차적인 overlay solution을 제공하기 위해서 상호호환성 및 mixed-mode 요구사항을 반영하여 개발하였다. 또한 DTO/UTO를 위해서 scalable한 디자인으로 다양한 안전설비와 인터페이스 가능하도록 개발하였다. 마찬가지로 Ansaldo STS의 CBTC, Siemens의 Trainguard MT, GE의 Tempo CBTC solution도 mixed operation을 위한 resignalling solution을 제공하고 있으며 다양한 환경에 적용하기 위한 높은 수준의 flexibility와 scalability를 제공하고 있다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 121~143]에 제시하였다.

2. 특허 동향

국내외 출원년도 및 국가별 특허출원 동향, 주요 출원인 분석, 국가별 특허현황, 우선권 국가별 특허분포 지수분석, 주요 핵심특허 현황에 대해서 조사분석 하였다. 구체적인 내용은 [상세 보고서 [상세보고서 pp. 144~150]에 제시하였다.

특허분석 결론은 다음과 같다.

- 열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템 개량 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 162건의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국

이 35%(57건)로 최다이며, 유럽, 한국, 미국, 일본의 순으로 출원되고 있음. 우리나라는 2010년 이후 출원 특허가 전체 특허의 60%이상을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 크게 증가하고 있다고 보여짐

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(Top Assignee)을 살펴보면, 독일 Siemens, 일본 Nippon Signal, 북경 교통대 등이 있음. Siemens, Nippon Signal, Alstom 등의 다출원 기관은 3개 국가 이상에 특허를 출원함으로써 글로벌 기술경쟁에 참여하고 있는 것으로 보여지지만, 북경교통대, KRRI, 현대로템 등은 자국에 한정하여 특허를 출원한 것으로 나타남
- 주요 출원인의 연도별 특허출원을 보면 Siemens, Nippon Signal이 2011년 이후에도 지속적으로 많은 특허출원이 이루어 지는 것을 확인할 수 있고, Alstom, HUAWEI TECH는 2010년 이후 특허출원이 주춤하는 것으로 나타남
- 지수 분석을 통해 국가별 경쟁력을 비교해보면, 원천/핵심 특허 보유와 관련이 높은 인용도지수(CPP) 및 영향력지수(PII)에서는 미국이 가장 높은 경쟁력을 나타내고 있음. 양적수준(특허건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서는 유럽이 가장 우수한 것으로 나타남. 우리나라는 영향력지수, 기술력 지수 모두 낮게 나타나 기술개발이 시급한 것으로 판단됨

3. 논문 동향

연도별 논문 발표 추이 및 중요 등재저널 현황, 주요 논문현황에 대해서 조사 분석하였다.

논문 분석결론은 다음과 같다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 151~153]에 제시하였다.

- 열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템 개량 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 79건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 전체적인 논문건수가 매우 작아 일반화된 동향분석을 수행하기는 어려움
- 저널별로는 미국 IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS, 프랑스 COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL 등 미국, 유럽의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있음
- 열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템 개량 분야 논문도 특허와 마찬가지로 중국 기관(44%)이 가장 많이 발표하고 있었으며, 유럽(30%)의 기관에서도 많이 발표되고 있으며, 한국기관은 논문발표 실적이 매우 낮은 상황임

제 4절 국내외 시장동향

세계 철도시장 현황과 신규 개발 및 업그레이드 시장, 개량 및 유지보수 시장, 서유럽철도 CBTC 시장, 신호시스템 주요제작사 및 신호시스템 시장핵심품목, 시장 발전단계에 대해서 제시하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 154~166]에 제시하였다.

시장동향 분석결과는 다음과 같다.

- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 신규 개발 및 업그레이드 (New development and upgrade market) 시장은 2011년 약 64.1억 유로(약 9.2조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.5% 증가할 것으로 예측됨. 업체별 점유율을 보면 China Railway Signal & Com, Siemens, Thales, Ansaldo STS, Alstom, Invensys, Bombardier 등 철도 신호통신 업체 및 철도 완성차 업체 등의 점유율이 높게 나타나고 있음
- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 개량 및 유지보수 (Renewal and Maintenance) 시장의 경우 2011년 약 68.2억 유로(약 9.8조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측됨
- 철도 신호제어에 대한 5대 글로벌 기업 중에서, Siemens, Ansaldo, Thales 등 3개 기업이 Top 10 제작기업에 들어가 있음. Alstom과 Bombardier는 각각 10위와 15위 수준을 나타냄. 이외에도 중국 CRSC, 러시아 Elteza, 체코 AZD Paraha 등의 국영기업, 일본 Kyosan, Daido Signal이 높은 경쟁력을 나타냄. Siemens가 17억 유로/年 이상의 신호제어 매출규모를 보이는 등 가장 높은 경쟁력을 갖는 것으로 판단됨. 한국 LS산전은 1.2억 유로/年의 매출을 보임

제 4장 연구개발 기술의 정의

제 1절 기술동향 분석결과

개량 사례를 볼 때, 국외의 경우 도시철도 열차운영시스템의 개량에 대한 전략과 경험 및 관련기술 보유를 통해 시스템의 안전성과 운영효율성을 높이는 방향으로 열차제어시스템, 관제시스템 등의 개량을 활발히 진행하고 있음을 확인 할 수 있었다. 반면 국내의 경우 도시철도의 노후화가 진행됨에 따라 여러 안전성 및 유지보수성 등의 저하로 인한 문제가 대두되고는 있으나 개량에 대한 경험과 운영의 중단 없는 개량을 위한 기술의 부족 등의 이유로 인해 이렇다 할 개량사례는 찾아 볼 수 없었다.

국외의 개량사례를 분석해 보면 사용된 개량 전략은 mixed operation과 switched operation 모두 적용을 하였으며 해당 노선마다 개량이 이루어지는 환경에 따라 이들 2가지 개량 전략 중 적절한 것을 선택하고 있음을 알 수 있었다. 예를 들어 신규 차량을 도입하거나 차상에 2가지 신호시스템을 동시에 탑재할 수 있는 공간이 부족한 경우는 switched operation방식의 개량 전략을 도입하기 곤란하다.

국외의 개량사례에서 STO/DTO/UTO와 같은 운영모드의 선택은 기술적 제약사항이 아니라 해당 운영기관에서의 선택사항임을 확인 할 수 있었다. UTO의 경우 기존에 운전자가 담당했던 안전기능을 전적으로 시스템에서 수행해야 하므로 전체 시스템 컨셉의 변경과 함께 경우에 따라 막대한 시설투자가 가능해야 한다.

실제 운영노선에서 수행한 1일 야간시험시간은 1시간에서 3시간미만으로 신규노선에 비해서 시험시간이 절대적으로 부족하다. 따라서 부족한 현장 시험시간을 보완하기 위해 정교한 시뮬레이터 구축하여 사전검증을 수행하였다. Paris 1호선 개량사례와 NYCT Canarsie 라인이 그 대표적인 사례라 할 수 있다. 또한 별도의 테스트 노선을 구축하여 열악한 현장시험의 단점을 보완하였다.

국외의 이러한 성공적인 개량사례의 바탕은 선진 철도시스템 제작사의 migration solution이 있었기에 가능하였다. 특히 Ansaldo, Siemens, Thales, Alstom, Bombardier 등과 같은 국외 철도 메이저 회사에서는 최적의 개량 솔루션을 개발하였다. Alstom의 경우 URBALIS 400이라는 CBTC solution에서 mixed traffic을 지원하고 있으며, Thales CBTC의 경우 점차적인 overlay solution을 제공하기 위해서 상호호환성 및 혼용운영(mixed operation) 요구사항을 반영하여 개발함. 또한 DTO/UTO를 위해서 scalable한 디자인으로 다양한 안전설비와 인터페이스 가능하도록 개발하였다. 마찬가지로 Ansaldo STS의 CBTC, Siemens의 Trainguard MT, GE의 Tempo CBTC solution도 혼용운영을 위한 migration solution과 다양한 환경에 적용하기 위한 높은 수준의 flexibility와 scalability를 제공하고 있다.

국내의 경우 개량의 중심이 되는 열차제어시스템은 외산이다. 이들 시스템의 일부는 현재 내구연한이 경과되었거나 향후 5-10년 이내에 전면 개량이 필요한 실정이다. 하지만 국내의 경우 일부 시스템을 대상으로 노후화에 따른 교체사례는 존재하지만, 열차제어시스템을 비롯한 시스템 전반에 대한 개량은 이루어지지 않고 있다. 그 이유는 시스템의 개량기술은 신규설치보다 훨씬 더 높은 수준의 기술적 요구사항이 존재하기 때문이다.

시스템 개량에 있어서 가장 중요한 열차제어시스템의 경우 도시철도 표준화 연구개발사업(2001-2006), 지능형 열차제어시스템 시범구축 사업(2002-2007), 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010-2014)과 같은 일련의 국가연구개발과제를 통해 무선통신기반 열차제어시스템의 기반 기술의 확보와 표준체계를 구축하였다. 따라서 열차제어시스템의 기반기술의 확보는 여러 국가연구개발과제를 기반으로 국내 기업과 연구기관의 공동 연구를 통해 확보하였으며, 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템에 대한 표준체계를 구축함으로써 실용화 가능한 수준이다.

하지만 국외 개량사례를 토대로 도시철도시스템 전반에 대한 영업운행의 중단 없는 개량을 위해서는 전체 시스템 개량 전략 및 운영시나리오 수립과 개량시스템의 정의 및 시스템 설계 등 높은 수준의 설계기술과 안전성 확보기술에 대한 연구가 필요하다.

제 2절 개량시스템 구축 프로세스

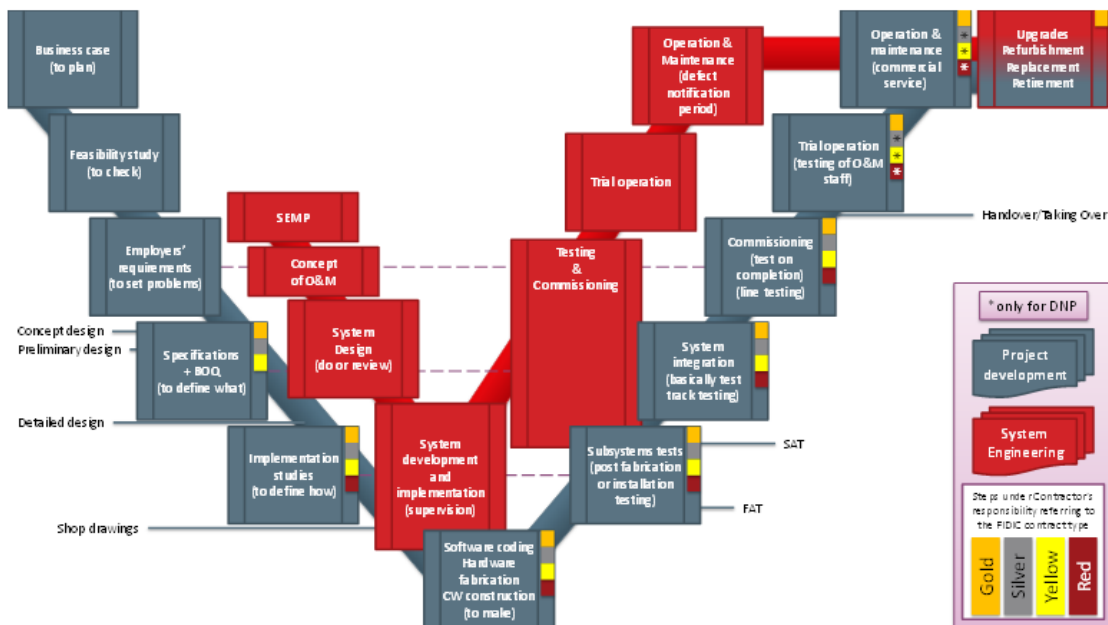
신규 노선을 건설하는 방법 이외에 기존 노선을 개량하는 방법에 대한 운영자의 요구사항에 대응하는 해결책은 다음의 표와 같이 정리할 수 있다.

[표 4.2.1] 기존노선에 대한 운영요구를 다루는 사업형태

주요 접근법.	운영자의 요구					
	수용력 증대	안전 수준	O&M 개선	차량 개보수	SIG 개보수	IT 기능 최신화
신호시스템 개량	F	F	F		F	P
차량 개 보수/교체	P	P	P	F		P
지능형 교통 시스템	P		P			F
Passengers's flows	F					
운전모드 변경	F		F			
승강장/차량 연장(증설)	F					

※ F=요구를 완벽히 다룸, P=요구를 선택적 혹은 부분적으로 다룸

V-cycle은 구 시스템을 대체할 신규 시스템에도 적용된다. 시행될 신규 시스템은 해당 V-cycle을 따르는 반면, 교체될 구 시스템은 그 자체의 V-cycle의 “업그레이드/개 보수 혹은 교체/철거” 프로세스로 나뉜다.



[그림 4.2.1] 시스템 개발 V-cycle

개량시스템 구축 프로세스를 V-cycle 시스템 엔지니어링 프로세스 외에도, V-cycle 시스템 엔지니어링 병행활동, 시스템 엔지니어링 V-cycle 지원 활동으로 나누어 기술하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 170~195]에 제시하였다.

제 3절 시스템 Migration 전략

일반적으로 기존 시스템에서 신규 시스템으로의 Migration은 발주자, 운영자 및 관련 공공기관 등 기타 이해관계인에게는 개량 사업 중에서도 가장 힘든 주제 중 하나이다. 그 이유는 간단하다. Migration 프로세스 상의 문제점 혹은 지연은 - 승객들은 일반적으로 개량 사업이 노선의 성능을 일시적으로라도 저감시키지 않을 것이라 기대함으로 - 승객에 대한 영향을 끼치게 될 수도 있다. 따라서 사업 초기 단계에서부터 Migration 프로세스를 규정하고 도출된 요구사항을 포함하는 것이 매우 중요하다.

본 절에서는 도시철도 노선의 UTO 전환에 적용될 수 있는 주요 Migration 프로세스의 개요를 제시한다. 고려 사항은 다음과 같다.

- Migration 프로세스 선정 Input data.
- 3대 주요 접근법 제시.
- 각 노선 시스템에 대한 Migration 쟁점.
- 주요 Migration 리스크.

당연히, 특정 국가 혹은 때때로 특정 도시에서도 도시철도 노선 사업의 다양성으로 인해(연장 여부, 구 시스템의 연한 등), 각 개선 사업은 의 상세 Migration 프로세스로 결과를 내며, 때로는 주요 3대 Migration 접근 방식을 혼합하기도 한다.

1. Migration의 정의 및 프로세스

가. 정의

본 문서에서 Migration은 설비 업그레이드 및 최신 설비 설치에 의한, 대부분 CBTC 및 차량이 주요 역할을 하는, “도시철도 노선의 전환”을 의미한다. 해당 과업의 복잡성으로 인해 단 하나의 솔루션으로 취급될 수 없다. 사실, Migration 프로세스는 다양한 방식으로 구현될 수 있는데, 이는 모든 요구사항을 충족하는 솔루션을 결정하기 위해서는 다수의 매개변수를 반드시 고려해야만 하기 때문이다. 다만, Migration 프로세스가 다음에 기술된 것과 같은 다른 3가지의 고수준 접근방식에 근거할 수 있다고 추정할 수 있다.

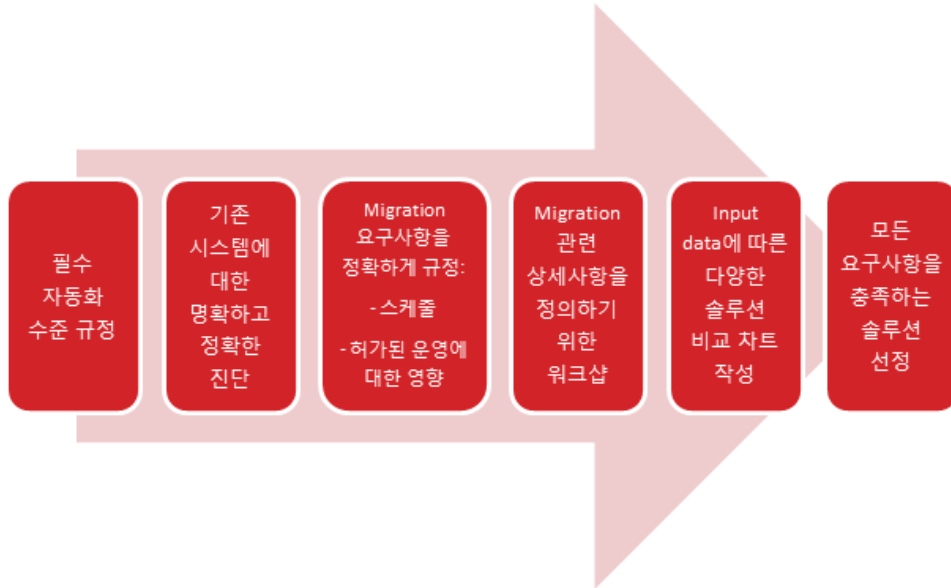
- 지리적 교체(Geographical commutation)
- 혼합 운전모드 운영(Mixed driving modes operation)
- 일괄 대체(Flash commutation)

상기 각 접근 방식은 고유의 다양한 장점 및 단점이 있다.

나. Migration Solution 선정방법

Migration 솔루션을 선정하기 위해서는, 대상 목표와 관련 최선의 방법을 찾기 위해 실무진

은 다음의 프로세스를 따른다.



[그림 4.3.1] Migration 결정 프로세스

2. Migration 접근법

상기에 언급된 것과 같이, 크게 mixed operation과 switch operation 2가지 주요 접근법이 있으며 switch operation은 세부적으로 구간별 개량과 일괄 개량으로 나뉜다. 각 접근법은 다음과 같다. 각 접근법에 대한 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 198~201]에 제시하였다.

가. 각 Migration 접근법은 기존/구 시스템에 의해 결정되며 스케줄 및 운영 요구사항에 대체로 중요한 영향을 미친다.

[표 4.3.1] 각 개량전략의 민감한 사항

구간별 개량	혼합 운전모드 운영	일괄 개량
시스템 적용이 동시에 수행되지 않는다. 이는 스케줄이 관련되므로 불리하다.	시스템 적용이 동시에 수행되지 않는다. 이는 스케줄이 관련되므로 불리하다.	
수동 및 자동 구간간의 변환은 운영 및 교통 시스템 성능에 영향을 줄 수도 있다.	지상 시스템 간의 전용 통신 프로토콜이 사용되며 복잡하다.	운영 시스템의 성능은 유지된다. 필요한 시험을 수행하기 위해 운영 기간만 영향을 받는다.
교체 후, 운전실 내의 기관사는 UTO 지역에서 더 이상 유용하지 않을 것이다.		
운영 인원의 훈련은 중요한 측면이 있는데, 이는 이들이 신규 시스템 상에서 훈련을 받는 동안에도 반드시 노선에서 계속해서 작업을 해야하기 때문이다.		
Migration 프로세스 동안 운영 중단 여부는 3대 Migration 접근법에 영향을 주며 작업 계획과 밀접하게 관련되어 있다.		

3. 시스템 별 개량 상세사항

다음의 표는 교통 시스템을 구성하는 주요 시스템에 대한 Migration 영향 및 쟁점에 대한 상세사항을 기술한다. 시스템의 Migration은 근본적으로 기존/구 시스템 및 노선 수용력 및 UTO 시스템의 특수성을 관리하는 자체 수용력에 좌우된다.

[표 4.3.2] 시스템별 개량 쟁점 예시

차량	Migration은 기존 차량의 상당한 변경을 초래하는데 이는 장기간 동안 기존 노선에 활용되었던 차량의 비-가용성을 야기할 수 있다. 또한 선정된 Migration 형태에 따라, 양 시스템 (신/구 시스템)의 일시적 설치가 필요할 수 있으며, 이는 양 시스템 간의 인터페이스(안전 인터페이스 포함) 관리를 초래할 수도 있다.
신호	Migration은 장기간 동안 운영 및 유지보수와의 현장 인터페이스에 대한 많은 접근이 필요할 수 있는 신규 시스템의 설치를 초래할 수 있다. 차량과 마찬가지로, 선정된 Migration 형태에 따라, 양 시스템 (신/구 시스템)의 일시적 설치가 필요할 수 있으며, 이는 양 시스템 간의 인터페이스(안전 인터페이스 포함) 관리를 초래할 수도 있다.
궤도	예를 들어, 기존 노선에서, 기관사가 절단된 궤도와 같은 장애를 종종 감지하게 된다. UTO 노선의 경우, 이와 같은 장애는 감지하기 더욱 어렵다. 이 때문에, Migration 시, 그리고 현 궤도의 상태가 나쁜 경우, 이를 완전히 교체/교환할 것을 권고한다.
PSD	PSD는 일반적으로 Migration 프로세스의 마지막에 설치된다. 이는 신/구 열차 간의 “도어 배치” 혹은 “도어 너비”와 같은 문제를 방지할 수 있도록 해준다.
역사	일반적인 노선 개량의 목표는 수용력을 증가하는 것이다. 이에 따라, 이용 승객의 수 또한 증가할 것이다. 따라서, Migration 프로세스에서 승객 수요 예측에 따라 안전 표준을 충족하면서 보행자 통행에 필요한 최소 공간을 고려할 필요가 있다. 이는 신규 역사 출/입구가 필요할 수도 있음을 의미한다.
변전소	노선 수용력 증가는 운전시력의 단축을 의미한다. 이에 따라, 전력 소모는 증가되어야 하며, 변전소 및 변압기의 용량 확대가 필요할 수 있다. 신규 차량은 더 적은 전력을 소모하거나 더 나은 회생 에너지 시스템을 가지고 있으므로 이러한 문제가 방지 혹은 억제될 수 있다. 하지만 신규 변전소가 필요한 경우, 이를 설치하는 동안 구 변전소를 유지할 공간을 찾는 것과 신규 변전소 설치 허가를 받는 것이 주요 쟁점이 된다.
OCC	신규 UTO 시스템의 기능을 지원할 수 없는 기존 OCC의 경우, 반드시 완전히 교체되어야 한다. 주요 쟁점은 이를 설치하는 동안 구 OCC를 유지할 공간을 찾는 것과 신규 OCC 설치 허가를 받는 것이다. OCC 교체는 사업에 대한 Migration 프로세스 결정에 좌우된다.
차량기지 및 주차지	차량기지는 수동 및 자동 운전모드 간의 경계지역에 대한 검토가 수행되어야 한다. UTO 시스템이 제공하는 탄력성에 대한 이점을 최대화하기 위해, 주차지에는 UTO 장비를 갖출 것을 권고한다.
통신	통신 시스템은 열차/지상 인터페이스를 위한 디지털 통신 시스템의 배치와 관련된 사항이 가장 큰 쟁점이다. CCTV 시스템 관련 열차 내/외에서 승객의 안전을 보장하기 위해 비디오의 범위를 증가해야 한다.

4. 주요 개량 리스크

다음 표는 Migration 프로세스에서 발생할 수 있는 주요 리스크를 나타낸다. 해당 리스크는 선정된 Migration 프로세스에 따라 발생하는 것이 아닌 Migration의 전반적인 측면에서 발생할 수 있는 것이다. 물론, 일반적인 시스템 엔지니어링 접근법에 의해 강조되는 것처럼, 특정 리스크 분석이 각 사업 별로 수행 된다.

[표 4.3.3] 주요 개량 리스크

주요 리스크
상대적으로 Migration 에 대한 기관사의 불신
Migration 동안, CBTC 장착 열차의 부족으로 인해 저감되는 교통 시스템 성능
개량 작업 및 성능 시험을 수행하기 위한 노선의 비 가용성
관련 차량 및 신호시스템의 문서화 불가능
신호시스템의 과 차량 개 보수 스케줄 간의 충돌. 신규 신호 장비를 갖춘 구간 지연
차량 반입 지연
자동 열차 및 기관사 운용 수동 열차의 혼합 운영 관리

5. 개량 전략에 대한 결론

첫 번째 단계는 기존/구 신호 & 통신 시스템을 포함, 전 노선에 대한 감사를 수행하는 것이다. Migration 프로세스에서의 최상 경로는 각종 Migration 전략을 규정하고 비교하기 위해 적격의 관련자(운영자, 엔지니어링 그룹, 유지보수자 등 이해 관계자)들이 참석하는 워크샵(들)을 구성하는 것이다. 이는 워크샵이 기술적으로 힘든 상황에 빠지지 않도록 전문가들에 의해 주도되어야 한다.

본 워크샵의 목표는 다음 요소들이 정의되는 Migration 계획과 연계될 Migration 전략을 규정하는 것이다.

- 구조, Migration 해야 할 시스템 규정
- Migration 해야 할 시스템 스케줄링
- Migration을 위한 단계화 및 계획
- 각 단계 전 리스크 분석
- 안전 제약사항

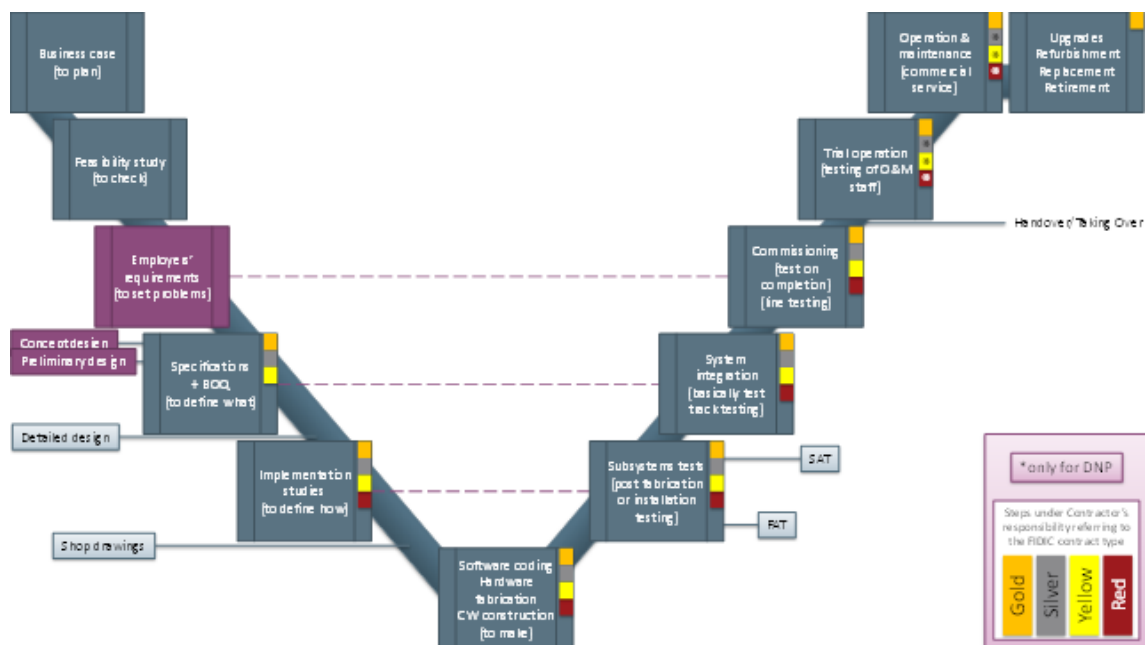
Migration 계획은 Migration 수행을 담당할 단체 (시스템 엔지니어, 수급인, 운영자 등)에 전달되어야 할 모든 요구사항을 포함한다.

제 4절 UTO 시스템 설계방법

UTO 시스템 설계방법에 대해서 구조와 데이터 모델 및 제품 분류체계, 설계 요구사항, 수용 요구사항으로 나누어 기술하였다.

1. 구조

UTO 시스템 요구사항은 설계요구사항 및 수용 요구사항을 포함하여 사업 전 수명주기를 포함한다. 다음 도표는 프로세스에 포함되는 보라색 사각형내의 활동을 나타낸다. 해당 활동은 다음 문단에서 상세 기술한다.



[그림 4.4.1] 사업 수명 주기내 UTO 시스템 요구사항 개발의 위치

구조는 GOA 수준에 따른 프로세스의 정의와 범위에 대해서 기술하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 204~205]에 제시하였다.

2. 데이터 모델 및 제품 분류체계

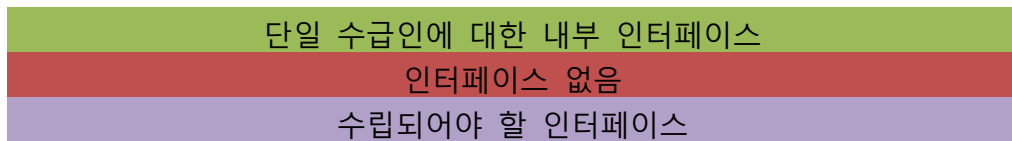
데이터 모델 및 제품 분류체계는 요구사항 양식으로 작성되어야 할 문서의 종류에 대해서 기술하였다. 데이터 모델 및 요구사항 할당(추가로 조달 전략)을 지원하기 위해, 교통 시스템의 제품 분류 체계(PBS)가 사업 초기에 정의된다. 그리고 설계 결과에 따라 개정될 수 있다. PBS는 주요 시스템 뿐 아니라 운영 및 유지보수 담당 단체를 식별한다. 개량/연장 노선에서는, 모든 이해관계자에게 기존 교통 시스템의 PBS를 공개하는 것이 중요하다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 205~207]에 제시하였다.

3. 설계 요구사항

설계 요구사항은 운영 요구사항, 유지보수 요구사항, 교통시스템 요구사항/개념설계, 안전 요구사항, RAM 요구사항, 시스템 요구사항/예비설계, 인터페이스 요구사항에 대해서 기술하였다. 인터페이스는 다음과 같은 인터페이스 분장표를 활용하여 식별된다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 207~212]에 제시하였다.

[표 4.4.2] 인터페이스 분장표

	Re q u i r e m e n t	W o r k s h o p	M a i n t e n a n c e	S i g n a l i n g	P e r m a n e n t	C o n t r o l	I n t e g r a t e d	A u t o m a t i c	P e r m a n e n t	C a t e n a r y	T r a c t i o n	E l e v a t o r s	E s c a l a t o r s	W e n t i l a t i o n	C i v i l
Rolling Stock															
Workshop equipment															
Maintenance system															
Signaling															
PSD															
Telecommunication															
Integrated Control Center															
Automatic Fare Collection															
Permanent Way															
Catenary															
Traction power supply															
Elevators															
Escalators															
Ventilation															
Civil Works															



4. 수용 요구사항

마지막으로 수용 요구사항은 준공 시스템이 발주처의 요구사항에 따라 시행되는지를 보여주는 Test&Certification, 교통 시스템의 상업 운영을 준비하기 위한시험 및 운영, 하자보수에 대해서 기술하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 213~218]에 제시하였다.

제 5절 개량시스템 안전성 확보방안

1. RAMS 관리

사회적 영향뿐 아니라, 도시철도 서비스의 사고, 중단 및 혼란은 심각한 경제적 및 기업 이미징 문제를 야기할 수 있다.

- 신뢰성 ← 성공 가능성(고장 없음)
- 가용성 ← 시스템이 완전히 운영되는 시간에 대한 백분율
- 유지보수성 ← 운영 상태로 복구해야 할 용이성과 신속성
- 안전성 ← 허용할 수 없는 손해를 끼치는 리스크의 부재

RAMS 관리는 해당 리스크를 관리하는 것을 목표로, 신뢰성, 가용성, 유지보수성 및 안전성(RAMS)은 도시철도 시스템이 기능적 성능을 달성하고 중대한 해를 주는 리스크를 생성하지 않도록 하기 위한 시스템의 능력을 다룬다. 이러한 적합성은 고장 예방 및 고장의 영향 감소를 포함한다. 개량시스템 안전성 확보를 위한 RAMS 관련 국제 규정과 인터페이스에 대해 기술하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 219~222]에 제시하였다.

2. 안전

노선의 상업 운영의 지속성을 보장하는 한편, 도시철도 개량 사업의 안전(S) 수준을 규정하고 보장하기 위한 프로세스, 활동 및 조직에 대한 기술을 포함한다. 정의 상, 인간과 제품의 안전은 교통 시스템, 특히 도시철도 시스템의 성공에서는 중요한 필요조건이다. 이는 승객, 시스템을 운영할 때 운영 및 유지보수 인원의 안전 및 제 3자(예. 응급 서비스)의 안전 뿐 아니라 시스템 장비의 안전 및 환경(외부 인프라, 설치물 등)의 안전도 포함한다. 시스템의 안전은 수용 가능한 수준까지 인간을 포함한 사고의 위험 혹은 시스템 혹은 환경의 중요한 저하를 제어할 수 있는 능력을 나타낸다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 222~246]에 제시하였다.

3. RAM

RAM 보증 활동의 목적은 서비스 운영에 영향을 줄 수 있는 기술 시스템으로 인한 고장을 피하고, 제한하거나 감소시키기 위한 것이며, 이는 신뢰성, 가용성, 유지보수성 관리를 통해 시스템 생명 주기 비용, 특히 유지보수 비용을 최적화하기 위한 것이다. RAM 특성은 시스템의 기능을 성공적으로 수행할 수 있도록 시스템 가용성에 대한 측정을 제공한다.

RAM 보증활동을 기술하며 RAM 보증 프로세스 및 RAM 기준, RAM 시스템 생명주기, RAM 조직, RAM 프로세스 및 활동에 대해서 기술하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 246~263]에 제시하였다.

제 6절 개량요구사항 도출

1. 운영기관 기술협의체 구성 및 운영결과

기획연구 수행과 관련하여 운영기관 시스템 노후화 현황과 대책, 개량화 요구사항 도출을 위한 운영기관 기술협의체를 구성하였으며 총 3차례에 걸쳐서 기획과제 진행사항에 대한 의견수렴을 수행하였다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 264~273]에 제시하였다.

2. 분야별 개량 요구사항 도출

가. 신호분야

- 도시인구의 증가로 인해 도시교통의 수송량(capacity) 증대는 미래 도시철도의 달성목표 중 하나이다. 앞으로 개량시스템의 신호시스템은 여러 신호시스템 기술 중에서 가장 높은 수송능력을 가지는 무선통신기반 열차제어시스템으로 볼 수 있다.
- 현재의 궤도회로 기반의 열차제어시스템에서 무선통신기반 열차제어시스템으로 개량이 이루어져야 하며 개량 시 다음과 같은 제약사항을 고려하여야 한다.
 - 영업운영의 중단 없는 시스템 개량(야간 시험, 주간 쉐도우 모드 운영)
 - 기존 궤도회로 기반의 열차제어시스템과의 혼용운영
 - 無 중단 시스템 절체
- 시스템 자동화 레벨이 현재의 GOA2인 STO방식에서 GOA3인 DTO와 GOA4인 UTO방식으로 전환이 예상된다. GOA4의 경우 여러 안전기능이 시스템에서 담당하여야 하므로 차상과 지상에 존재하는 여러 안전장치와 인터페이스 가능하도록 모듈화 플랫폼을 가져야 한다.
- 따라서 신호분야 개량요구사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.
 - 1) 쉐도우 모드 운영기술
 - 2) 혼용운영 기술
 - 3) 無 중단 시스템 절체기술
 - 4) 시스템 모듈화 기술

나. 관제분야

- 노후화된 도시철도 열차운영의 효율성 향상을 위한 도시철도 관제시스템 분야(신호, 전력, 통신, 기계설비 등)의 개량 최적화를 위한 운영의 중단 없는 관제시스템 절체 기술, DTO/UTO 환경을 지원하는 유연한 통합 관제시스템의 설계 및 개발, UTO 기반 관제시스템 Risk Analysis 및 검증 수행, UTO 기반 관제시스템 효율 향상을 위한 핵심 기능 개발이 필요하다.

- 세계 각국에서는 열차운행관리의 효율화, 안전성 확보, 승객서비스 향상과 타 교통수단과의 경쟁력 제고 등을 위하여 노후화된 시스템을 개량하면서 기존 노선과 개별시스템을 통합에 대한 연구를 진행하고 있다. 따라서 운영기관의 다양한 요구에 따라 여러 가지 수준의 관제시스템 통합이 가능한 연구개발이 필요하다.
- 기존 노후화된 도시철도 관제시스템의 개량에 있어 기존 신호 시스템과의 혼용 운영을 해야 하는 과도기적 상황에서 다양한 시스템과 다양한 운용 방식에 대하여 유연하게 대처하기 위한 혼용 운영을 지원하는 방안에 대한 연구가 필요하다.
- 관제분야 개량요구사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.
 - 1) STO/DTO/UTO 모드 지원 통합관제 플랫폼 개발
 - 2) 혼용운영 기술
 - 3) 無 중단 시스템 절체기술
 - 4) 시스템 모듈화 기술
 - 5) UTO 모드를 지원하는 스마트 관제 개발

다. 통신분야

- 지상 백본망의 경우 대구도시철도공사의 사례의 경우와 같이 통신망 개량이 이루어지고 있으며 국내외 사례에서도 개량의 효율화 측면에서 기술개발 사례를 찾아볼 수 없었다.
- 철도 무선망의 경우 2015년 2월에 확정된 공공통합망에 대한 통신방식은 LTE 방식으로 한정되어 있으며, LTE 통신방식은 패킷기반으로 서비스되기 때문에 기존에 철도에서 활용해오던 방식인 전용채널을 할당하여 용도에 따라 전용으로 사용하게 할 수 없고, 실시간으로 의사결정으로 내려 트래픽을 분배하여야 한다.
- 한정된 주파수를 각 지역의 도시철도 운영기관, 한국철도공사, 한국철도시설공단, 연구기관, 민간기업 등이 공유하여 사용해야 하고 활용되는 서비스도 현재의 이동통신사업자의 운영기준인 데이터, 음성, 영상 등으로 단순히 구분하여 운영하기보다는 철도 활용방안의 특성을 감안하여 우선순위를 반영한 트래픽 분배시스템을 개발할 필요가 있다.
- 015년 2월에 확정된 공공통합망에 대한 통신방식은 LTE 방식으로 한정되어 있다. LTE 통신방식은 패킷기반으로 서비스되기 때문에 기존에 철도에서 활용해오던 방식인 전용채널을 할당하여 용도에 따라 전용으로 사용하게 할 수 없고, 실시간으로 의사결정으로 내려 트래픽을 분배하여야 한다.
- 통신 분야 개량요구사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.
 - 1) 철도 통신망 활동방안 및 각 활용방안별 QoS(Quality of Service) 도출
 - 2) 도시철도용 무선통신망 입력트래픽/이동성 모형 도출
 - 3) 철도 무선통신망 무선자원 스케줄링 정책 및 분배시스템 개발

라. 차량분야

- GOA4의 경우 여러 안전기능이 시스템에서 담당하여야 한다. 탈선 검지장치는 GOA3와 GOA4에 해당하는 열차에서는 필수적으로 설치된다. 즉 열차의 운전자가 없으므로 탈선 시 시스템에서 열차의 비상제동을 자동적으로 체결하여야 한다.
- PSD 끼임 검지장치의 경우 현재는 PSD 출입문에 다수의 레이저 센서를 이용하여 물체를 검지하도록 구성되어 있다. 하지만 하나의 PSD 출입문마다 설치되는 레이저 센서의 개수가 많아 고장에 따른 유지보수의 어려움을 가지고 있으며 레이저 센서의 발광부 표면에 먼지가 생기면 오작동을 일으키므로 항상 관리가 필요하다.
- 정위치 정차의 경우 특히 자동운전을 시행하는 운영기관에서 가장 고민이 되는 사항중 하나이다. DTO/UTO의 경우 정위치 정차에 실패한 경우 정위치 정차 확인용 지상자를 인식하지 못해 미주/과주 여부조차 판단하기 힘든 상황이 발생되기도 한다. 또한 날씨와 계절에 따라 정위치 정차율이 점차 변화하기 때문에 적절히 파라미터 조절이 필요하다. 따라서 정위치 정차율을 정확하게 분석하고 모니터링하며 더 나아가 정위치 정차 튜닝에 필요한 파라미터 생성을 해주는 장치가 필요하다.
- 차량 분야 개량요구사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.
 - 1) 탈선검지장치 개발
 - 2) PSD 끼임 검지장치 개발
 - 3) 정위치 정차 분석 및 모니터링 장치 개발

마. 전력분야

- 통신분야의 지상 백본망과 마찬가지로 전력분야의 전차선과 변전소의 경우 서울메트로의 사례에서 볼 때 시스템 개량이 이루어지고 있다. 또한 국내외 사례에서도 개량의 효율화 측면에서 기술개발 사례를 찾아 볼 수 없었다.
- 일본의 경우 이동용 간이 변전시스템을 변전소 개량에 적용한 사례가 있다. 하지만 국내와 같이 10량 1편성으로 운행되는 대단위 전력시스템을 대체하기 위해서는 간이 변전소 사이즈가 커지게 된다. 일본의 경우 변전소가 지상에 존재하고 간이 변전소를 설치할 공간이 충분히 존재하여 그 효용이 있으나, 국내의 경우 지하에 변전소가 존재하고 해당 간이변전소를 설치할 공간이 없으므로 국내실정과는 맞지 않다.
- 모듈형 간이 변전소의 경우 변전소 모듈을 분리하여 개량시 모듈별로 활용할 수 있어 개량시 유용한 기술이다. 하지만 기 개발이 완료되어 서울메트로 변전소 개량에 활용되고 있음을 확인하였다.
- 따라서 국내외 사례 및 운영기관 전문가 자문을 종합해 볼 때 개량의 효율화 측면에서 전력분야의 개량에 필요한 기술개발 요구사항은 도출할 수 없었다.

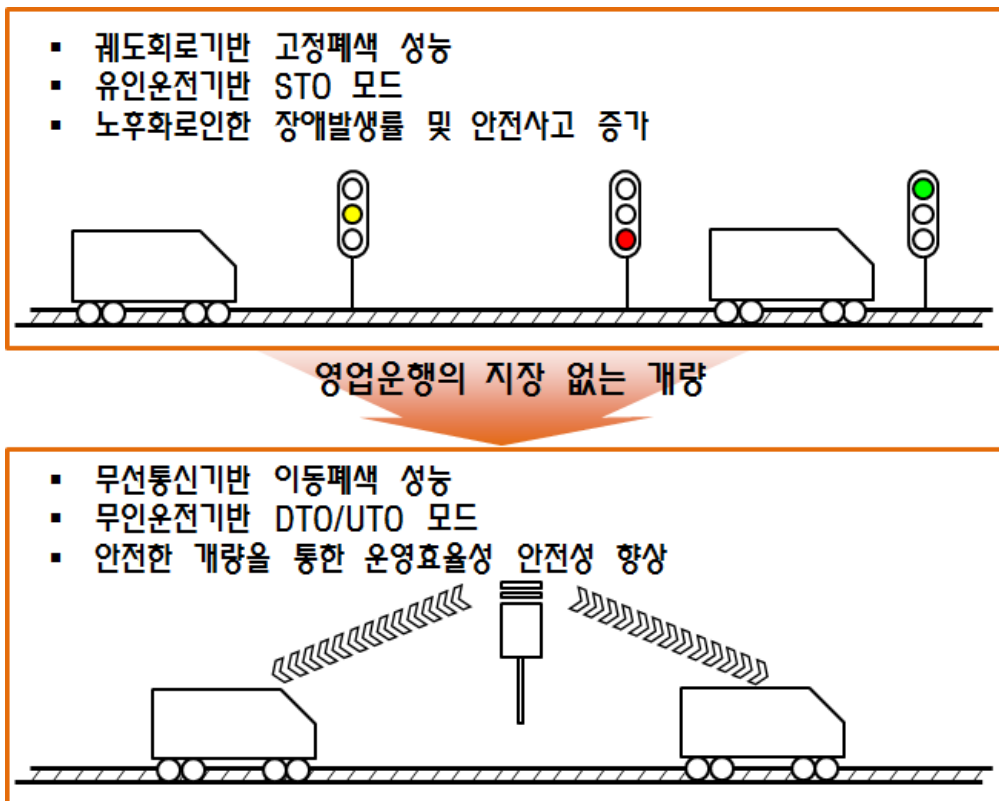
바. 기타

- 전체 시스템 레벨에서의 위험원 분석은 generic system을 위해 수행된다. 위험원 분석은 위험한 상황에 대한 정의와 정의된 위험한 상황을 확인하기 위한 가능한 증거, 가능한 안전수단의 할당으로 세분화 할 수 있다. 또한 개량시스템 최적 개량설계를 위해서는 기존의 시스템과 신규 개량시스템 사이의 인터페이스와 함께 예상되는 문제점을 사전에 파악할 수 있어야 한다.
- 국외의 개량사례에서 보고된 실제 영업노선에서의 테스트는 영업운영에 지장을 주지 않아야 하기 때문에 야간에 이루어지며 하루 1시간에서 3시간미만으로 보고되고 있다. 절대적으로 테스트 시간이 부족하기 때문에 사전에 충분한 lab 테스트가 이루어져야 한다. 따라서 개량시스템과 개량노선 환경을 반영한 시뮬레이터를 구현하여 사전 검증을 수행한 후 야간에 실제 영업노선을 대상으로 테스트 하는 방법이 필요하다.
- 따라서 다음과 같은 개량요구사항을 도출할 수 있다.
 - 1) 개량 최적화를 위한 시스템 설계 및 안전성 확보기술
 - 2) 기능 및 성능검증을 위한 시뮬레이터 개발

제 7절 개량시스템의 정의

개량 시스템은 승객 수송량의 극대화 및 실시간 열차의 상태를 모니터링 할 수 있도록 무선 통신기반 열차제어시스템을 목표로 한다. 무선통신 기반 열차제어시스템은 선로변 지상설비를 최소화함으로써 운영유지보수 비용의 절감효과 또한 예상되며 STO/DTO/UTO 등 다양한 운영모드를 지원할 수 있어야 한다. 또한 철도 통합무선망인 LTE-R을 이용하여 열차제어를 비롯한 다양한 서비스 제공이 가능하여야 한다.

개량의 효율화 측면에서 switch operation(geographical commutation, flash commutation)과 mixed operation 2 가지 개량 전략을 모두 지원 할 수 있어야 하며, DTO/UTO 적용으로 다양한 안전설비와 유연하고 확장성 있도록 인터페이스 되어야한다.



※ STO: Semi-automated Train Operation,
 DTO: Driverless Train Operation,
 UTO: Unattended Train Operation

[그림 4.7.1] 개량시스템의 정의

개량시스템을 실현하기 위해 필요한 연구개발기술을 다음과 같이 도출하였다.

○ 개량 최적화를 위한 시스템 설계 및 안전성 확보기술

개량시스템에 대한 개량 전략에 따른 시스템 설계단계부터 제작 및 검증 단계에 이르기 까지 안전성 활동 및 평가 기술

- 실제 영업노선 테스트 기간을 줄이기 위한 시스템 설계 및 성능검증용 시뮬레이터
 영업노선의 테스트 기간(1night: 새벽 2-3시간)을 줄이기 위한 방법으로 정교한 시뮬레이터를 제작하여 개량시스템의 설계, 기능 및 성능을 사전에 검증

- 영업운영 중단 없는 안전한 개량을 위한 개량핵심기술 개발
 - 쉐도우(Shadow) 모드 운영기술 개발
 : 개량 초기시 신규시스템의 동작을 영업시간에 확인하기 위한 운영기술로써 영업운영시간에 기존시스템 운영에 영향을 주지 않으면서 신규 설치된 장치에 대한 테스트를 수행하는 기술
 - 관제/신호 혼용운영(mixed operation) 기술
 : 개량기간동안 기존시스템과 신규시스템이 상호 인터페이스 되면서 동시에 운영될 수 있는 기술로써 신규 이동폐색기반 시스템이 기존의 고정폐색기반 시스템으로 동작하는 열차와의 혼용운영이 가능한 기술 및 시스템 개발
 - 관제/신호 無중단 시스템 절체기술
 : 기존 시스템에서 신규시스템으로의 중단 없는 안전한 절체가 이루어지도록 하는 절체기술 및 시스템 개발
 - 모듈화 플랫폼 개발
 : 개량 초기시 신규시스템의 동작을 영업시간에 확인하기 위한 운영기술로써 영업운영시간에 기존시스템 운영에 영향을 주지 않으면서 신규 설치된 장치에 대한 테스트를 수행하는 기술
 - DTO/UTO 운영에 필요한 관제기술 및 차량/열차제어시스템 기술
 : STO/DTO/UTO와 같은 다양한 운영 모드를 지원하기 위한 모듈화 플랫폼 개발

- 활용방안 별 QoS를 고려한 패킷기반 무선트래픽 분배 기술
 통합무선망 도입시 동일한 주파수 대역을 복수의 운영기관이 공유하고 운영기관 내에서도 다양한 어플리케이션이 존재함에 따른 효율적인 무선자원 분배기술

- 테스트 베드 구축 및 성능평가
 기존시스템과의 혼용운영 시험 및 영업운영 중단 없는 시스템 절체 기능 등의 개량핵심기술에 대한 시험 및 개량시스템 성능 확인

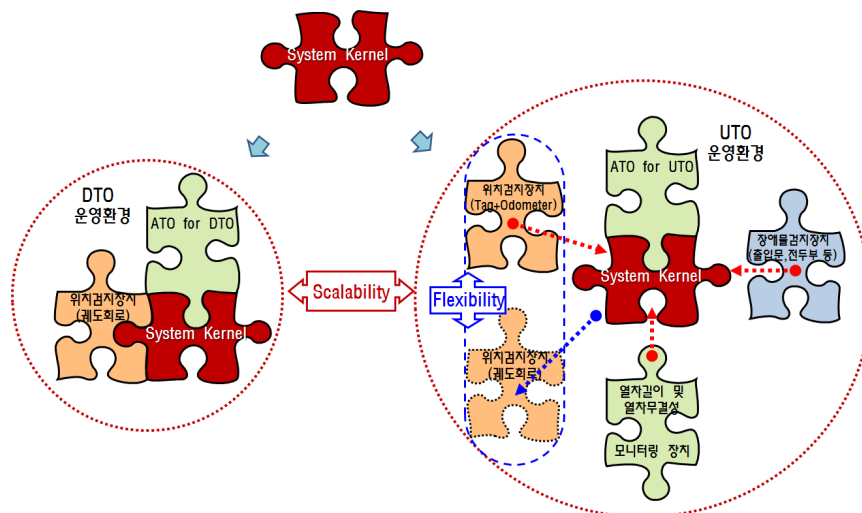
제 8절 연구개발기술의 정의

본 기획과제의 최종 목표는 노후화된 도시철도 열차운영시스템을 개량하기 위해 필요한 연구개발 요소를 도출하는데 있다. 따라서 본 기획과제에서 도출하고자하는 연구개발요소는 다음의 두 가지 기준을 우선으로 적용하였다. 첫째로 개량의 효율화 측면에서 필요한 연구개발 요소와 둘째로 궁극적으로 UTO 적용을 목표로 필요한 연구개발 요소이다.

1. 신호분야

가. 열차제어 개량핵심기술 개발

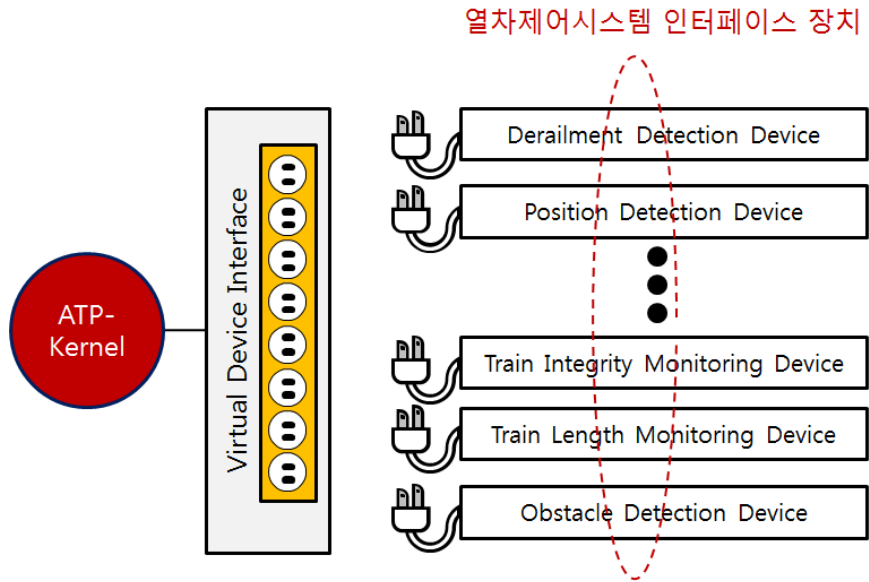
영업운영의 중단 없는 열차제어시스템 개량을 위해서는 switch operation과 mixed operation과 같은 2가지 개량 전략을 모두 지원할 수 있어야 한다. 이 중에서 mixed operation은 개량이 이루어지는 기간 동안 신·구 열차제어시스템이 서로 인터페이스 되어야 한다. 개량사례에서 볼 수 있듯이 지상의 설비는 신·구 열차제어시스템이 모두 설치된 상황에서 차량 개량이 점차적으로 이루어지게 된다. 이때 전체 차량의 열차제어시스템이 신규로 개량이 이루어지기 전까지는 신·구 열차제어시스템이 모두 동작해야 한다. 이때 신규 열차제어시스템의 경우 기존 열차제어시스템으로 동작하는 열차를 인식할 수 있어야 한다. 즉, 신규 무선통신기반 열차제어시스템이 기존의 궤도회로 기반으로 움직이는 열차의 위치를 인식하여 안전한 열차의 간격이 이루어지도록 인터페이스 될 수 있도록 혼용운영 기술이 필요하다. 아울러 switch operation 개량 전략을 지원하기 위해서는 신·구 열차제어시스템 간 無중단 시스템 절체기술이 필요하다.



[그림 4.8.1] 개량효율화를 위한 시스템 flexibility 및 scalability concept

또한 다양한 자동화 레벨을 지원할 수 있도록 유연성 있는 시스템 설계가 필요하다. 특히 UTO 운영모드에서는 기관사의 업무를 시스템에서 수행해야한다. 특히 안전과 관련된 기관사

의 업무를 시스템에서 수용하기 위해서는 다양한 안전설비와 인터페이스가 예상되며 열차제어 시스템의 변경 없이 인터페이스 되어야 한다. 이를 위해서는 열차제어시스템 환경변화에 따라 변하지 않는 요소를 열차제어시스템 Kernel로 설계하고 변하는 요소는 외부로 분리하여 필요시 가상 디바이스 인터페이스(VDI: Virtual Device Interface)를 통해 결합할 수 있도록 모듈화 기술이 필요하다.



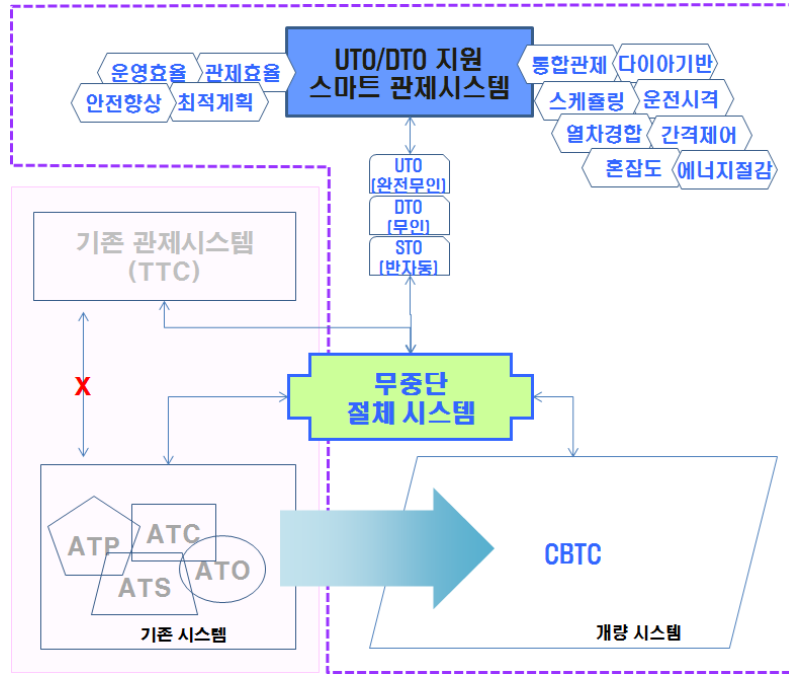
[그림 4.8.2] 열차제어시스템 모듈화 concept

2. 관제분야

가. 관제 개량핵심기술 개발

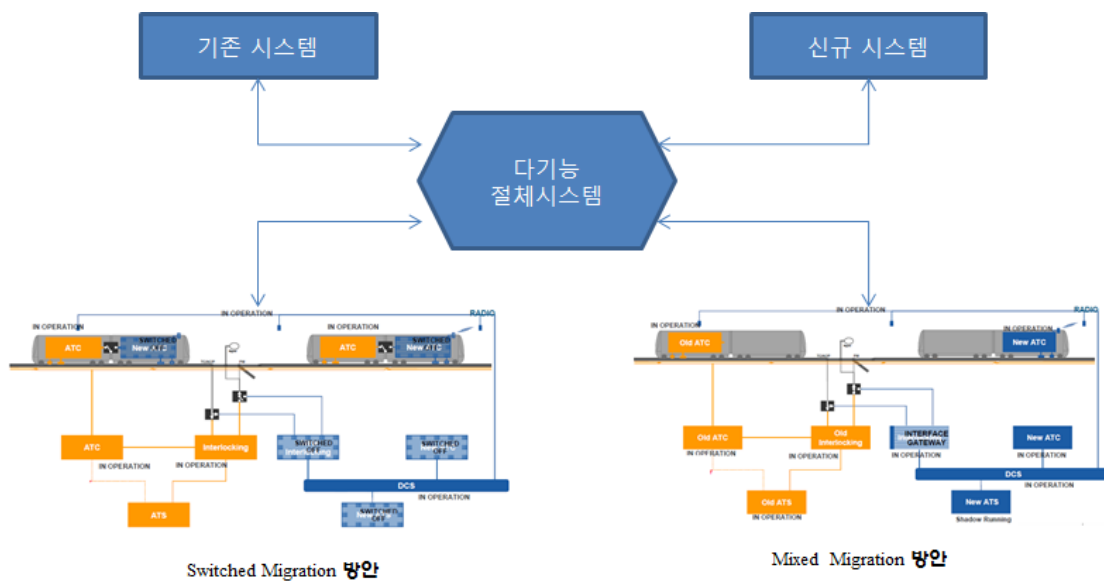
노후화된 도시철도 열차운행의 효율성 향상을 위한 도시철도 관제시스템 분야(신호, 전력, 통신, 기계설비 등)의 개량 최적화를 위한 운영의 중단 없는 관제시스템 절체 기술, DTO/UTO 환경을 지원하는 유연한 통합 관제시스템의 설계 및 개발, UTO 기반 관제시스템 Risk Analysis 및 검증 수행, UTO 기반 관제시스템 효율 향상을 위한 핵심 기능 개발이 필요하다.

기존의 열차운행 관제시스템은 각 분야별 시스템의 상호연동적인 기능통합에 의하여 운영관리 됨에도 기능분야별로 독립적으로 구축되어있다. 최근에는 ATC/ATO 시스템 및 CBTC에서의 무인원격제어시스템 도입에 따라 각 분야 간 기능통합 및 현장 감시 기능이 더욱 강화되어야 함에도 열차운행상황 및 설비상태 감시시스템 구축이 미비한 상태이다. 이미 세계 각국에서는 열차운행관리의 효율화.안전성 확보.승객서비스 향상과 타 교통수단과의 경쟁력 제고 등을 위하여 노후화된 시스템을 개량하면서 기존 노선과 개별시스템을 통합에 대한 연구를 진행하고 있다. 따라서 운영기관의 다양한 요구에 따라 여러 가지 수준의 관제시스템 통합이 가능한 연구개발이 필요하다.

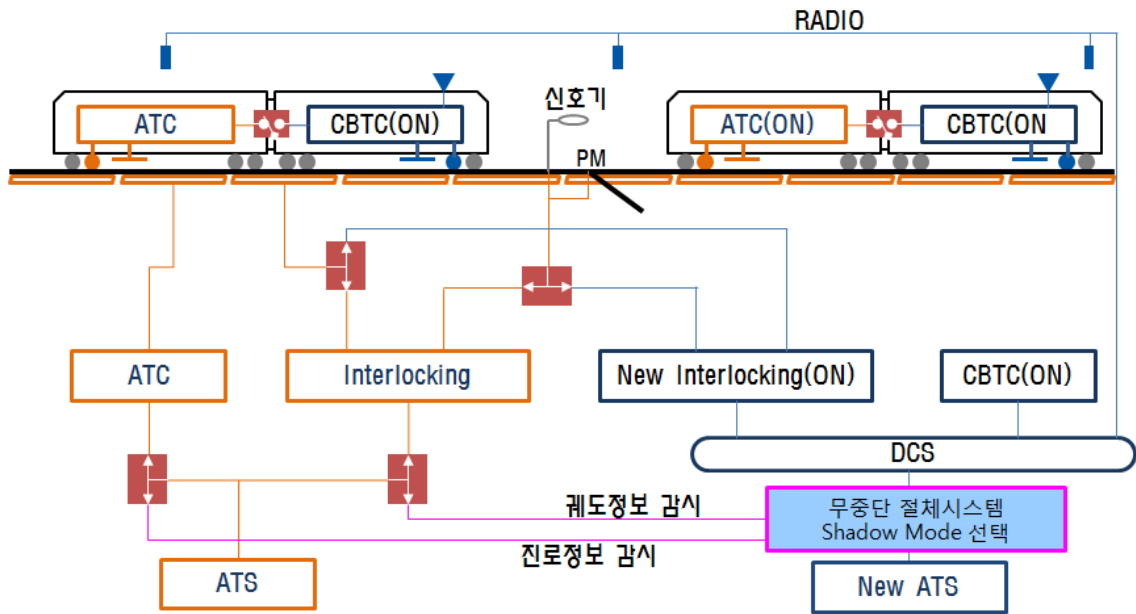


[그림 4.8.3] 관제시스템 개량 핵심기술 개발 개요

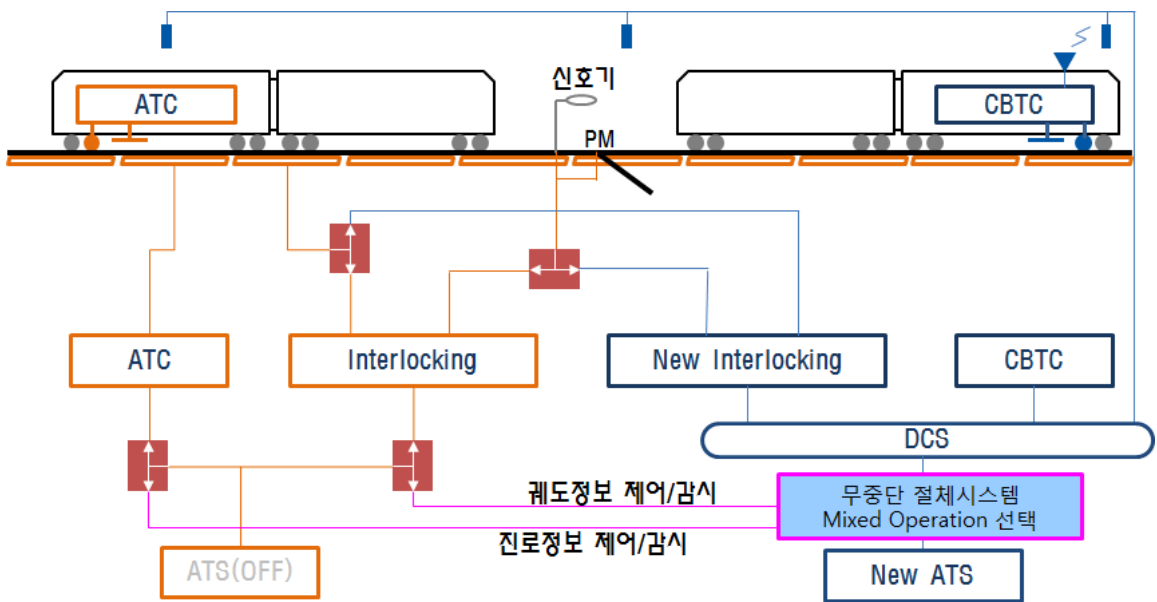
기존 노후화된 도시철도 관제시스템의 개량에 있어 기존 신호 시스템과의 혼용 운영을 해야 하는 과도기적 상황에서 다양한 시스템과 다양한 운용 방식에 대하여 유연하게 대처하기 위한 혼영 운영을 지원하는 방안에 대한 연구가 필요하다. 각 운영기관의 검토나 운영 방안에 따라 노후화된 시스템의 개량에 있어 switched 방식을 적용하거나 mixed 방식을 적용하는 것에 따라 유연하게 지원하기 위한 절체 시스템에 대한 적용 및 설계 방안을 연구가 필요하다.



[그림 4.8.4] 혼영 운용 절체방안 개념



[그림 4.8.5] 주간 Shadow 모드 운영 방안



[그림 4.8.6] Mixed 모드 운영 방안

3. 통신분야

가. 철도무선망 무선트래픽 분배시스템 개발

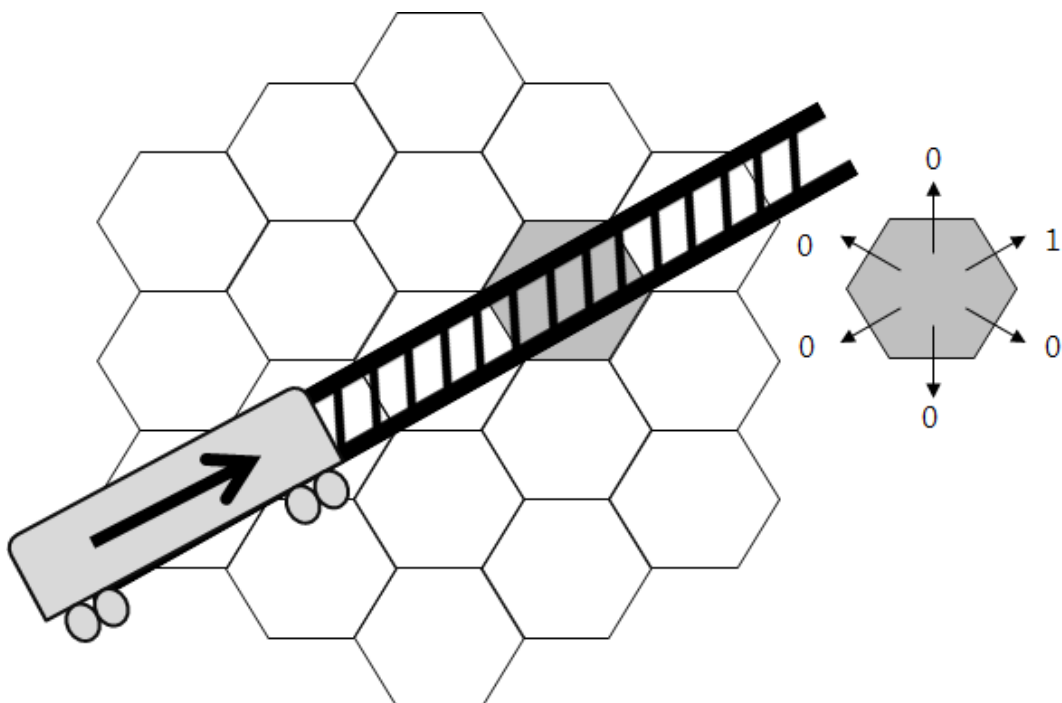
철도 통합무선망은 한정된 주파수를 각 지역의 도시철도 운영기관, 한국철도공사, 한국철도 시설공단, 연구기관, 민간기업 등이 공유하여 사용해야 한다. 또한 활용되는 서비스도 현재의 이동통신사업자의 운영기준인 데이터, 음성, 영상 등으로 단순히 구분하여 운영하기보다는 철도 활용방안의 특성을 감안하여 우선순위를 반영한 트래픽 분배시스템을 개발할 필요가 있다.

기존 도시철도에서 무선을 활용한 분야는 VHF, TRS 통신방식을 활용하여 열차 운행관리를 위해 통화 등 일부에 한정되어 비교적 적은 대역폭으로 서비스가 가능했다. 2015년 2월에 확정

된 공공통합망에 대한 통신방식은 LTE 방식으로 한정되어 있다. LTE 통신방식은 패킷기반으로 서비스되기 때문에 기존에 철도에서 활용해오던 방식인 전용채널을 할당하여 용도에 따라 전용으로 사용하게 할 수 없고, 실시간으로 의사결정으로 내려 트래픽을 분배하여야 한다.

철도 무선통신의 경우 향후 활용방안이 열차제어시스템, 차량 실시간 감시, 철도 시설물 모니터링, 철도지령망, 열차운행관리, 유지보수 등으로 다양할 뿐만 아니라, 각 세부시스템 내에서도 우선순위가 다양한 여러 세부기능이 존재하므로, 이들이 요구하는 트래픽을 실시간으로 서비스하기 위해서는 기존 이동통신사업자와는 차별화된 트래픽 분배시스템이 요구된다. 공공용으로 배정된 주파수는 이와 같은 철도의 특성을 원만히 반영할 수 있을 만큼의 충분한 대역폭이 아니다. 또한 미래 철도는 현재 예상할 수 있는 철도 통합무선망 기능 이외에 새로운 기술발전으로 인한 추가 주파수 수요가 발생할 것으로 예상되어 이러한 특성을 반영한 시스템의 최적 운영이 무엇보다 중요하다. 하지만 철도용 주파수 확보가 사실화된 현재까지도 철도 통합무선망 구축을 위한 요소기술 연구나 장치 등 다양한 기술연구는 수행 중이나, 통합무선망 운영을 위한 필수요소인 무선트래픽 분배에 대한 연구는 진행되고 있지 않다. 이에 철도분야는 서비스 수요에 대한 빠른 대응을 위하여, 철도 통신망에 대한 무선트래픽 분배시스템 개발이 필요하다.

본 연구는 도시철도에서 무선기능을 활용할 것으로 예상되는 기능인 열차제어시스템, 차량 실시간 감시, 철도 시설물 모니터링, 철도지령망, 열차운행관리, 유지보수 등을 위한 무선트래픽 분배를 실시간으로 수행할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다. 무선트래픽 관리는 기본적으로 서비스하는 트래픽 양과 서비스 시점에 관한 시스템이다. 본 연구에서는 각 활용방안의 QoS를 정의하고, 요구하는 QoS를 최대한 만족시키기 위한 트래픽 분배시스템을 개발한다.



[그림 4.8.7] 철도 이동성 모형 예시

4. 차량분야

가. DTO/UTO 운영을 위한 안전장치 개발

DTO/UTO 운영은 기본적으로 운전실에 기관사가 존재하지 않는 것을 의미한다. DTO의 경우 운영자가 열차 안에 탑승은 하지만 운전실에 반드시 있어야 하는 것은 아니다. UTO의 경우 어떠한 운영자도 열차 안에 탑승하지 않는 시스템을 의미한다. 따라서 기관사가 담당하는 안전업무를 시스템에서 수용하여야 한다. 기관사의 안전업무는 크게 승객의 안전한 승하차, 열차상태, 그리고 열차 내 위급상황에 대한 감시와 대처로 볼 수 있다.

탈선 검지장치는 GOA3와 GOA4에 해당하는 열차에서는 필수적으로 설치된다. 즉 열차의 운전자가 없으므로 탈선시 시스템에서 열차의 비상제동을 자동적으로 체결하여야 한다. 따라서 탈선상황을 자동으로 검지하고 이를 열차제어시스템 또는 차량의 비상제동체결 계전기등과 연동하여 비상제동이 체결될 수 있도록 탈선검지장치를 개발한다.

PSD 끼임 검지장치의 경우 현재는 PSD 출입문에 다수의 레이저 센서를 이용하여 물체를 검지하도록 구성되어 있다. 하지만 하나의 PSD 출입문마다 설치되는 레이저 센서의 개수가 많아 고장에 따른 유지보수의 어려움을 가지고 있으며 레이저 센서의 발광부 표면에 먼지가 생기면 오작동을 일으키므로 항시 관리가 필요하다. 따라서 이러한 부분을 보완할 수 있도록 스캔방식 광각기반의 센서를 이용한 PSD 끼임 검지장치를 개발한다.

정위치 정차의 경우 특히 자동운전을 시행하는 운영기관에서 가장 고민이 되는 사항중 하나이다. DTO/UTO의 경우 정위치 정차에 실패한 경우 정위치 정차 확인용 지상자를 인식하지 못해 미주/과주 여부조차 판단하기 힘든 상황이 발생되기도 한다. 또한 날씨와 계절에 따라 정위치 정차율이 점차 변화하기 때문에 적절히 파라미터 조절이 필요하다. 따라서 정위치 정차율을 정확하게 분석하고 모니터링하며 더 나아가 정위치 정차 튜닝에 필요한 파라미터 생성을 해주는 장치를 개발한다.

5. 기타

가. 개량 최적화를 위한 시스템 설계 및 안전성 확보기술

개량 최적화를 위한 선정노선의 운영환경을 고려한 시스템 개량 전략을 수립하고 개량시스템 운영시나리오를 수립한다. 이를 기반으로 개량시스템을 정의하는데 이 때 DTO와 UTO에 해당하는 열차 운영의 기본 기능이 고려되어야 한다. 시스템 정의는 기본적인 위험원 분석에 대한 기초로써 어플리케이션 컨디션을 기술하고 specific application 대한 호환성을 갖도록 한다.

전체 시스템 레벨에서의 위험원 분석은 generic system을 위해 수행된다. 위험원 분석은 위험한 상황에 대한 정의와 정의된 위험한 상황을 확인하기 위한 가능한 증거, 가능한 안전수단의 할당으로 세분화 할 수 있다. 또한 개량시스템 최적 개량설계를 위해서는 기존의 시스템과

신규 개량시스템 사이의 인터페이스와 함께 예상되는 문제점을 사전에 파악할 수 있어야 한다.

일반적으로 DTO와 UTO에 대한 위험상황은 다음과 같다.

- 열차 운전석에 기관사가 존재하지 않는다(DTO).
- 열차에 운영자가 탑승하지 않는다(UTO).

안전 요구사항은 전체 시스템 레벨에서의 위험원 분석 결과로 운전석에 기관사가 존재하지 않거나 운영자가 탑승하지 않는 DTO 및 UTO 위험상황에 대한 보상으로 가능한 안전수단을 적용하는 것을 의미한다.

나. 기능 및 성능검증을 위한 시뮬레이터 개발

국외의 개량사례에서 보고된 실제 영업노선에서의 테스트는 영업운영에 지장을 주지 않아야 하기 때문에 야간에 이루어지며 하루 1시간에서 3시간미만으로 보고되고 있다. 절대적으로 테스트 시간이 부족하기 때문에 사전에 충분한 lab 테스트가 이루어져야 한다. 따라서 개량시스템과 개량노선 환경을 반영한 시뮬레이터를 구현하여 사전 검증을 수행한 후 야간에 실제 영업노선을 대상으로 테스트 하는 방법이 필요하다.

이를 위해서는 대상노선의 열차데이터 및 선로데이터와 기존 운영시스템에 대한 정보 그리고 새로운 운영시스템 및 열차데이터에 대한 정보를 입력받아 모의 현장을 구현이 가능하여야 한다. 또한 여러 가지 테스트 항목을 모의시험 할 수 있도록 신·구 운영시스템에 대한 기능을 구현하여야 한다. 구현된 시뮬레이터는 현장테스트와 병행하여 운영함으로써 현장테스트 사전 검증용도로 활용한다.

다. 테스트 베드 구축 및 시험평가 기술 개발

테스트 베드의 선정과 함께 선정된 테스트 베드에 차·지상 개량시스템을 구축한다. 노선에 적합한 개량 전략에 따라서 구축계획을 수립하여 차상과 지상에 각각 개량시스템을 구축한다. 시험평가의 경우 기존의 궤도회로 방식의 STO 운영모드의 도시철도 열차운영시스템을 시작으로 신규 무선통신기반 열차제어시스템의 DTO/UTO 운영모드로의 열차운영시스템으로의 개량이 영업운영 중단 없이 이루어질 수 있도록 관련기능과 성능에 대한 시험평가가 이루어져야 한다.

개량 전략이 mixed operation의 경우 개량시스템은 야간에 신규 지상설비의 설치 및 시험, 주간에 신규지상설비에 대한 shadow mode 테스트, 야간에 신규 차상설비의 설치 및 시험, 주간에 신규 및 이전설비와의 혼용운영 테스트, 무선통신기반 열차제어시스템 성능테스트로 구분된다. 개량 전략이 switched operation인 경우 개량시스템은 야간에 신규 지상설비 및 신규 차상설비 설치 및 시험, 야간에 신규설비에 대한 통합테스트, 시스템이 안정된 성능을 보이는 경우 주간에 신규설비로 운영하는 순으로 진행된다.

제 5장 연구개발 타당성 분석

제 1절 정책적 타당성

국내 도시철도시스템의 노후 현황을 감안할 때 개량에 필요한 기술개발은 어느 특정 노선, 운영기관에 국한된 문제가 아니라 전체 국내 도시철도운영기관이 당면한 과제이다. 따라서 정부차원에서 시스템 최적의 개량에 필요한 핵심요소기술에 대한 연구개발을 수행하고 그 연구 성과를 각 운영기관의 특성에 맞도록 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

국정과제의 철도 노후·취약시설 개량이라는 측면, 제3차 과학기술 기본계획의 철도 등 국가 기반 인프라 구조물의 효율적 관리·운영을 위해 경제성 있는 최첨단 인프라로 개선, 건설교통 R&D 중장기계획안의 철도 운영 효율화 및 에너지 비용 절감을 통한 경제가치 실현이라는 측면, 제3차 국가교통기술개발계획의 중점 추진분야인 빠르고 지능적인 철도, 안전하고 편리한 철도, 정확하고 경제적인 철도를 고려해보았을 때 도시철도 열차운영시스템 개량최적화 기술개발은 국내 정책 동향과 부합하고 있음을 알 수가 있다. 따라서 노후화된 도시철도 열차운영시스템의 최적 개량을 통해 안전하고 경제적인 운영성을 확보하도록 관련 연구개발이 필요하다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 301~302]에 제시하였다.

제 2절 기술적 타당성

기존 노선을 개량하기 위해서는 신규노선 구축과는 달리 영업 운영의 중단 없이 이루어져야 하며 동시에 안전성이 확보되어야 한다. 하지만 현재 우리나라의 경우 시스템 개량에 필요한 핵심기술과 시스템 엔지니어링 기법과 노하우가 미흡하여 외국사와 경쟁에서 경쟁력이 매우 낮은 상태이다. 따라서 산업계의 생존을 위해서도 반드시 핵심기술에 대한 개발과 기술기준 정립이 절실한 실정이다. 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 303~304]에 제시하였다.

제 3절 경제적 타당성

기존 시스템의 내용연수인 20년이 경과한 시점에 개량된 시스템이 도입되는 것으로 가정하여 최초 개량된 연도부터 기산하여 20년이 경과한 시점부터 편익이 발생하는 것으로 가정할 때 매우 비관적, 비관적, 중립적 세 가지 개량 시나리오별 구축비용에 따른 경제성 분석을 수행하였다. 결과적으로 세 가지 시나리오 모두에서 높은 경제성을 보이고 있다. 이와 같이 높은 경제성을 보이는 이유는 본 사업이 사회 인프라의 성격이어서 직접편익만을 분석 대상으로 하더라도 충분한 경제성을 확보할 수 있고 기존 시스템의 낙후로 새로운 편익을 창출할 수 있는 여지가 없어서, 그 만큼 신규 시스템에 의한 편익(증분수익)이 상대적으로 높게 나타나고 있다. 구체적인 경제성 분석 내용은 [상세보고서 305~345]에 제시하였다.

제 6장 연구개발과제 구성 및 추진전략

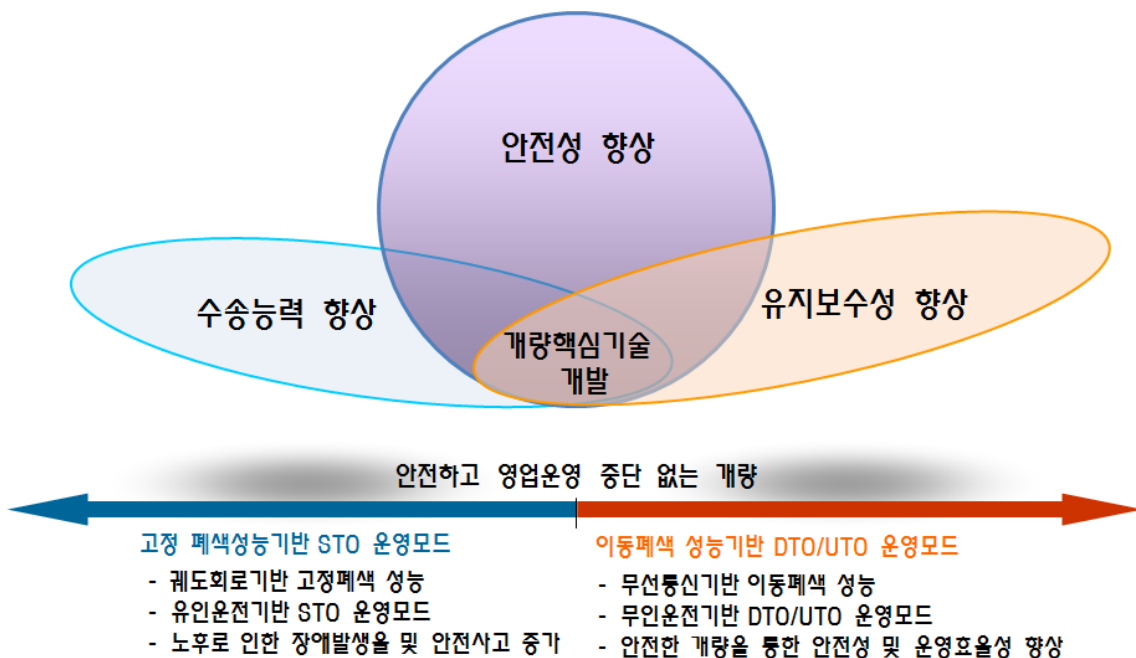
제 1절 비전 및 목표

1. 비전 및 연구목표

본 연구과제는 노후화된 도시철도시스템을 영업운영 중단 없이 신규시스템으로 안전하게 개량하기 위해 필요한 개량 기준과 전략을 도출하고 개량시스템 설계 및 검증기술 확보와 개량에 필요한 분야별 개량핵심기술을 개발하는 것을 목표로 한다.

개량 전략은 크게 switched operation과 mixed operation으로 구분되며 switched operation은 세부적으로 구간별 개량(geographical commutation)과 일괄 개량(flash commutation)으로 나눌 수 있다. 본 연구개발을 통해 두 가지 개량 전략을 선택적으로 적용할 수 있도록 필요한 기술을 개발한다.

본 연구개발을 통해 노후노선을 적기 개량함으로써 1차적으로 노후화로 인해 발생하는 장애 고장률 및 안전사고 발생률 증가, 유지보수비용의 증가 등의 문제를 해결할 수 있다. 또한 현재의 기술수준보다 개선된 시스템으로 개량을 통해 궁극적으로 보다 빠르고 자동화된 시스템 그리고 안전하면서 높은 수송량을 제공할 수 있는 시스템이 가능하다. 즉, 기존의 열차운영시스템이 fixed block 방식의 STO(Semi-automated Train Operation) 운영이라 한다면 개량을 통해 moving block 방식의 DTO(Driverless Train Operation) 및 UTO(Unattended Train Operation) 운영으로 전환을 목표로 한다.



[그림 6.1.1] 연구개발 비전 및 목표

2. 현황 및 미래상

<p>현황 (As-Is)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 안전성 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 노후화로 인해 고장 및 장애발생률이 증가하게 되어 안전사고의 위험성이 높아지고 있음. - 시스템 개량기술의 부족으로 개량시 안전사고 발생 ○ 경제적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 노후화가 진행되면 장비의 내구연한의 도래로 인해 장애와 고장 발생률이 급격하게 증가하게 되며 게다가 부품 수급의 문제 등으로 인해 막대한 유지보수 비용이 발생함. ○ 사회적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 도시인구의 증가와 함께 국내 도시철도이용객 현황을 보면 해마다 증가하고 있으며 증가하는 수송량을 대처하기 위해 더 높은 수송량을 가질 수 있도록 열차운영시스템의 개량이 필요함. ○ 기술적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 개량시 안전성, 신뢰성, 효율성을 확보할 수 있도록 최적의 개량전략과 개량시스템 설계 및 개량핵심기술 개발을 위한 연구가 필요
-----------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



<p>주요 연구 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량 전략 수립 - 개량시스템 설계 및 안전성 확보방안 연구 ○ 영업운영 중단 없는 개량핵심기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 쉐도우 모드(shadow mode) 운영기술 개발 - 혼용운영(mixed operation) 기술개발 - 無 중단 시스템 절체기술 개발 - 모듈화 플랫폼 개발 ○ UTO/DTO 적용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 무선트래픽 스케줄링 시스템 개발 - UTO/DTO 안전장치 개발 ○ 개량시스템 기능 및 성능평가 <ul style="list-style-type: none"> - 차·지상 시험인프라 구축 및 평가
-------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



미래상
(To-Be)

○ 사회적 효과

- 도시철도 노후노선 개량시 안전하고 영업운영 중단 없는 개량가능
- 도시철도 노후노선의 적기 개량을 통해 노후화로 인한 유지보수 비용증가 및 장애발생에 따른 안전사고 위험 해소

○ 경제적 효과

- 수입대체 효과

- 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 노후화로 인한 안전성 및 신뢰성이 저하되고 있어 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피한 실정임.

- 기술개발 확보 시 국내 노후화된 노선을 대상으로 개량을 진행한 경우 약 1조 386억원의 수입대체 효과를 기대

$$\text{수입대체 효과} = 407.8\text{km} \times 25.47\text{억원/km} = 10,386.67 \text{ 억원}$$

※철도시설공단 건설기준단가, 2012

- 시장진출 효과

- 전 세계 철도신호통신 분야의 개량 및 유지보수 시장은 2011년을 기준으로 약 9.8조원이며 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측됨. 따라서 2015년 현재 본 연구개발을 통해 약 11조원 이상의 시장을 대상으로 경쟁이 가능할 것으로 기대

※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI

○ 기술적 효과

- 시스템 개량에 필요한 설계 및 운영기술 확보: 시스템 개량전략 수립, 시스템 운영시나리오, 시스템 정의, 위험원 분석, 안전요구사항 수립, 안전한 개량 시스템 설계 및 검증과 같은 일련의 설계 및 개량노하우 확보가능
- 중단 없는 개량에 필요한 개량핵심기술 확보: 혼용운영 및 다양한 STO/DTO/UTO 등 자동화 레벨을 지원할 수 있는 관제 및 열차제어시스템의 개량핵심기술 확보가능

제 2절 핵심기술요소 선정 및 TRL 목표

1. 핵심기술요소(CTE) 도출

분야별 핵심기술요소를 도출하기 위해서 먼저 국내의 개량현황과 문제점을 분석하였다. 국내의 경우 개량의 중심이 되는 열차제어시스템이 외산이며 개량기술과 경험의 부족으로 개량에 어려움을 겪고 있으며 이로 인하여 노후화에 따른 장애발생률 및 안전사고 위험성이 증가되고 유지보수성이 저하되고 있다. 연구개발 후보기술의 도출을 위해 국외의 개량사례를 조사 분석하였으며 또한 1차, 2차 국내 도시철도 운영기관 기술협의체를 통해 개량시스템의 요구사항에 대한 의견을 수렴하였으며 이를 토대로 각 분야별 핵심기술요소 후보를 도출하였다. 핵심기술요소 선정의 기준은 시스템 개량에 혹은 궁극적으로 DTO/UTO 운영에 필요한 기술인가 여부를 반드시 만족하는지 여부와 개량을 통해 운영자가 기대하는 수송력 증대, 안전수준, 운영과 관리측면, 차량과 신호시스템의 개보수, IT기능의 현대화 등에 하나 이상 충족여부를 가지고 핵심기술요소 체크리스트를 구성하였으며 3차 운영기관 기술협의체를 통해 각 분야별 핵심기술요소를 최종 선정하였다.

가. 신호분야

(1) 핵심기술요소(CTE) 후보

[표 6.2.1] 신호분야 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	에너지 절감형 자동운전기술 개발
후보2	시스템 쉐도우 모드(shadow mode) 운영기술 개발
후보3	시스템 혼용운영(mixed operation) 기술 개발
후보4	시스템 無 중단 절체기술 개발
후보5	시스템 간격제어 향상기술 개발
후보6	열차 및 선로 데이터 표준체계 구축기술 개발
후보7	시스템 모듈화 플랫폼 개발

(2) 핵심기술요소(CTE) 선정

[표 6.2.2] 신호분야 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
1. 해당 기술이 연구개발 중복성이 없으며 시스템 개량에 혹은 궁극적으로 DTO/UTO 운영에 필요한 기술인가?	×	○	○	○	×	×	○	반드시 충족
2. 해당 기술이 수송력 증대에 필요한	×	×	×	×	○	×	×	하나

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
기술인가?								이상충족
3. 해당기술이 안전 수준을 높이는 데 필요한 기술인가?	×	○	○	○	○	×	○	
4. 해당기술이 운영 과 관리측면에서 개선이 기대되는가?	○	○	○	○	○	○	○	
5. 해당기술이 차량의 개보수 측면에 기여하는가?	○	○	○	○	○	×	○	
8. 해당기술이 신호 시스템의 개보수 측면에 기여하는가?	○	○	○	○	○	○	○	
7. 해당기술이 IT 기능의 현대화하는데 기여하는가?	○	○	○	○	○	×	○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	○	○	○	×	×	○	

나. 관제분야

(1) 핵심기술요소(CTE) 후보

[표 6.2.3] 관제분야 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	혼영 모드 운영을 위한 무중단 절체 시스템 개발
후보2	관제 통합 방안 및 운영 시나리오 연구
후보3	통합관제 표준 플랫폼 설계 및 제작
후보4	열차운행, SCADA, 통신관제 통합관제 솔루션 설계 및 제작
후보5	열차 및 차량 스케줄링 기능 통합 관제 기술 개발
후보6	완/급행열차 자동운행 관제 기술 개발
후보7	게이트 정보기반 실시간 혼잡 관제 기술 개발
후보8	에너지 절감형 스마트 관제 기술 개발
후보9	무인운전에서의 안전검지에 의한 열차운행 감시 기술 개발
후보10	수요 감응 기술을 적용한 관제 효율 향상의 기술 개발

(2) 핵심기술요소(CTE) 선정

[표 6.2.4] 관제분야 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	후보9	후보10	비고
1. 해당 기술이 연구 개발 중복성이 없으며, 시스템 개량에, 혹은 공극적으로 DTO/UTO 운영에 필요한 기술인가?	○	○	○	×	○	○	○	○	×	×	반 드 시 충족
2. 해당 기술이 수송력 증대에 필요한 기술인가?	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	하 나

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	후보9	후보10	비고
3. 해당기술이 안전 수준을 높이는 데 필요한 기술인가?	○	○	○	○	×	×	×	×	○	×	이 상 충 족
4. 해당기술이 운영 과 관리측면에서 개선이 기대되는가?	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
5. 해당기술이 차량의 개보수 측면에 기여하는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
8. 해당기술이 신호 시스템의 개보수 측면에 기여하는가?	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
7. 해당기술이 IT 기능의 현대화하는데 기여하는가?	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	○	○	○	×	○	○	○	○	×	×	

다. 통신분야

(1) 핵심기술요소(CTE) 후보

[표 6.2.5] 통신분야 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	무선통신망 속도향상 연구개발
후보2	지상 백본망 설계 최적화 연구개발
후보3	무선트래픽 스케줄링 정책개발
후보4	통신망 無중단 절체시스템 기술개발
후보5	통신망 혼용운영 모드 기술개발
후보6	무선통신망 철도단말 이동성 모형연구
후보7	무선자원 분배시스템 알고리즘 개발
후보8	무선통신망 활용방안 및 서비스기반 Qos 연구
후보9	무선통신망 보안기술 개발

(2) 핵심기술요소(CTE) 선정

[표 6.2.6] 통신분야 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	후보9	비고
1. 해당 기술이 연구 개발 중복성이 없으며 시스템 개량에 또는 궁극적으로 DTO/UTO 운영에 필요한 기술인가?	×	×	○	×	×	○	○	○	×	바 다 시 충 족
2. 해당 기술이 수송력 증대에 필요한 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	하 나 이 상 충 족
3. 해당기술이 안전 수준을 높이는 데 필요한 기술인가?	×	×	○	○	○	○	○	○	○	
4. 해당기술이 운영	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	후보9	비고
과 관리측면에서 개선이 기대되는가?										
5. 해당기술이 차량의 개보수 측면에 기여하는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
8. 해당기술이 신호 시스템의 개보수 측면에 기여하는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
7. 해당기술이 IT 기능의 현대화하는데 기여하는가?	○	○	○	×	×	○	○	○	○	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	×	○	×	×	○	○	○	×	

라. 전력분야

(1) 핵심기술요소(CTE) 후보

[표 6.2.7] 전력분야 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	이동용 간이 변전시스템 개발
후보2	디지털 변전시스템 개발
후보3	AC/DC 통합급전 시뮬레이터 개발
후보4	모듈형 간이 변전시스템 개발
후보5	다양한 계통 조건 및 열차부하를 고려한 보호시스템 개발
후보6	ICT 기반 전력설비 상태 모니터링 기술개발
후보7	급전시스템 과도해석 및 서어지 대책기술 개발

(2) 핵심기술요소(CTE) 선정

[표 6.2.8] 전력분야 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
1. 해당 기술이 연구 개발 중복성이 없으며 시스템 개량에 혹은 공극적으로 DTO/UTO 운영에 필요한 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	반드시 충족
2. 해당 기술이 수송력 증대에 필요한 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	
3. 해당기술이 안전 수준을 높이는데 필요한 기술인가?	×	×	○	×	○	○	○	하나이상 충족
4. 해당기술이 운영과 관리측면에서 개선이 기대되는가?	×	○	○	×	○	○	○	
5. 해당기술이 차량의 개보수 측면에 기여하는가?	×	×	×	×	×	×	×	
8. 해당기술이 신호 시스템의 개보수 측면에 기여하는가?	×	×	×	×	×	×	×	

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	비고
7. 해당기술이 IT 기능의 현대화하는데 기여하는가?	×	○	×	×	×	○	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	×	×	×	×	×	×	

마. 차량분야

(1) 핵심기술요소(CTE) 후보

[표 6.2.9] 차량분야 핵심기술요소 후보

No.	CTE명
후보1	탈선검지장치 개발
후보2	출입문 edge 검지장치 개발
후보3	PSD 끼임 검지장치 개발
후보4	운전대 커버 열림 검지장치 개발
후보5	화재/연기 검지장치 개발
후보6	선로 침입자 검지장치 개발
후보7	정위치 정차 분석 및 모니터링장치 개발
후보8	자동분리결합 상황 모니터링장치 개발
후보9	지진 검지장치 개발

(2) 핵심기술요소(CTE) 선정

[표 6.2.10] 차량분야 핵심기술요소 선정

체크리스트	후보1	후보2	후보3	후보4	후보5	후보6	후보7	후보8	후보9	비고
1. 해당 기술이 연구 개발 중복성이 없으며 시스템 개량에 혹은 궁극적으로 DTO/UTO 운영에 필요한 기술인가?	○	×	○	×	×	×	○	×	×	반드시 충족
2. 해당 기술이 수송력 증대에 필요한 기술인가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
3. 해당기술이 안전 수준을 높이는 데 필요한 기술인가?	○	○	○	○	○	○	×	○	○	하나 이상 충족
4. 해당기술이 운영 과 관리측면에서 개선이 기대되는가?	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
5. 해당기술이 차량의 개보수 측면에 기여하는가?	○	○	×	○	○	×	○	○	×	
8. 해당기술이 신호 시스템의 개보수 측면에 기여하는가?	×	×	×	×	×	×	○	○	×	
7. 해당기술이 IT 기능의 현대화하는데 기여하는가?	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
핵심기술요소(CTE) 선정여부	×	×	○	×	×	○	○	○	×	

2. 기술성숙도(TRL) 목표

가. 신호분야

[표 6.2.11] 신호분야 핵심기술요소 TRL 목표

CTE No.	CTE 명	TRL	
		현재	최종
1	시스템 쉐도우 모드(shadow mode) 운영기술 개발	2	9
2	시스템 혼용운영(mixed operation) 기술 개발	2	9
3	시스템 無 중단 절체기술 개발	2	9
4	시스템 모듈화 플랫폼 개발	2	9

나. 관제분야

[표 6.2.12] 관제분야 핵심기술요소 TRL 목표

CTE No.	CTE 명	TRL	
		현재	최종
1	혼영 모드 운영을 위한 무중단 절체 시스템 개발	3	9
2	관제 통합 방안 및 운영 시나리오 연구	2	9
3	통합관제 표준 플랫폼 설계 및 제작	1	9
4	열차 및 차량 스케줄링 기능 통합 관제 기술 개발	2	9
5	완/급행열차 자동운행 관제 기술 개발	1	9
6	게이트 정보기반 실시간 혼잡 관제 기술 개발	1	9
7	에너지 절감형 스마트 관제 기술 개발	2	9

다. 통신분야

[표 6.2.13] 통신분야 핵심기술요소 TRL 목표

CTE No.	CTE 명	TRL	
		현재	최종
1	무선트래픽 스케줄링 정책개발	2	9
2	무선통신망 철도단말 이동성 모형연구	2	9
3	무선자원 분배시스템 알고리즘 개발	2	9
4	무선통신망 활용방안 및 서비스기반 Qos 연구	2	9

라. 차량분야

[표 6.2.14] 차량분야 핵심기술요소 TRL 목표

CTE No.	CTE 명	TRL	
		현재	최종
1	탈선검지장치 개발	2	9
2	PSD 끼임 검지장치 개발	2	9
3	정위치 정차 분석 및 모니터링장치 개발	2	9

제 3절 연구개발과제 구성

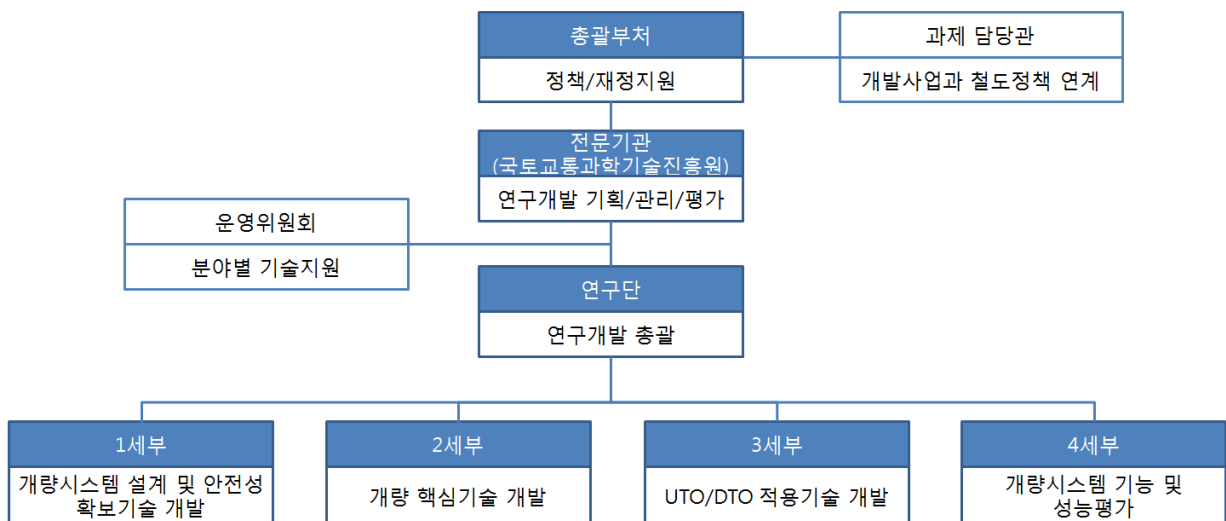
1. 연구개발 과제구성

1세부 과제는 테스트 베드 공모 및 선정평가를 수행하며 개량시스템 전체에 대해 시스템 개량 전략을 수립한다. 이 때 시스템 자동화 수준정의, 기존시스템의 분석 및 개량 요구사항 수립, 운영제약사항 분석이 이루어진다. 시스템 요구사항 분석을 통해 개량시스템에 대한 운영시나리오를 수립한다. 시범노선 형태에 적합한 개량시스템 설계와 안전성 확보를 위한 안전성 활동계획 수립 및 활동을 수행한다. 또한 부족한 현장시험을 보완하기 위해 개량시스템 사전검증용 시뮬레이터를 개발하여 현장시험 사전검증용으로 현장시험과 병행하여 활용한다. 테스트 베드 공모 및 선정에 대한 업무는 본 과제의 전문기관과의 협의 결과에 따라 연구단, 전문기관 또는 타 세부과제에서 수행할 수 있다.

2세부 과제는 열차제어와 관제 분야의 개량핵심기술을 개발한다. 시스템 쉐도우 모드 (shadow mode) 운영기술 개발, 혼용운영(mixed operation) 기술개발, 시스템 無 중단 절체기술, 다양한 운영모드 STO/DTO/UTO를 지원하기 위한 모듈화 플랫폼 개발, 시스템 안전성 활동 및 평가를 수행한다.

3세부 과제는 UTO/DTO 적용기술을 개발한다. 한정된 무선자원의 효율적 활용과 응용 서비스간 충돌 방지를 위한 기지국과 단말사이 무선트래픽 실시간 스케줄링 시스템을 개발한다. 또한 UTO/DTO 운영의 경우 기관사의 안전과 관련된 기능을 시스템에서 수행함에 따라 GOA4 차량에 필요한 안전장치를 개발한다. 탈선 검지장치, 정위치 정차율 모니터링 장치, PSD 끼임 검지장치를 개발한다.

4세부 과제는 개량시스템 기능과 성능평가를 수행한다. 차상과 지상의 시험인프라 구축, 기능 및 성능 검증 데이터 분석에 필요한 계측시스템의 구축, 시스템 유지보수 및 시험평가를 수행한다.



[그림 6.3.1] 연구개발 추진체계

[표 6.3.1] 연구개발 과제의 구성

구분		연구내용
연구단 총괄		도시철도 열차운영시스템 최적 개량기술개발
1세부 과제		개량시스템 설계 및 안전성 확보기술 개발
	1-1	테스트 베드 노선공모 및 선정
	1-2	시스템 개량 전략 및 운영시나리오 연구
	1-3	개량시스템 설계 및 안전성 확보방안 연구
	1-4	시스템 검증을 위한 시뮬레이터 개발
2세부 과제		개량 핵심기술 개발
	2-1	열차제어 개량핵심기술 개발 - 웨도우 모드 운영기술 개발 - 혼용운영 기술개발 - 無중단 절체기술 개발 - 모듈화 플랫폼 개발
	2-2	관제 개량핵심기술 개발 - 웨도우 모드 운영기술 개발 - 혼용운영 기술개발 - 無중단 절체기술 개발 - 모듈화 플랫폼 개발
3세부 과제		UTO/DTO 적용기술 개발
	3-1	무선트래픽 스케줄링 시스템 개발
	3-2	UTO/DTO 안전장치 개발
4세부 과제		개량 시스템 기능 및 성능평가
	4-1	차·지상 시험 인프라 구축
	4-2	계측시스템 구축
	4-3	시스템 유지보수 및 시험평가

2. 기술개발 전략수립(SWOT 분석)

기술 동향, 기술 수준, 연구 인프라 및 연구개발 역량, 지적재산권 확보 가능성 등을 종합적으로 분석하여 Strength(강점), Weakness(약점), Opportunity(기회), Threat(위험) 요인을 분석하였다.

[표 6.3.2] 연구개발 과제의 구성

강점(Strength)	약점(Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 해외선진국과 동등수준의 도시철도 열차운영 시스템 개량에 대한 설계기술 및 개량노하우 확보 ○ 안전한 개량 전략 및 안전성 확보를 위한 기술 확보 ○ 개량에 필요한 열차제어 및 관제분야 개량핵심기술 확보 ○ 차상 및 지상 시스템 개량기술과 개량시스템에 대한 체계적인 성능평가 기술 확보 ○ DTO/UTO 적용에 필요한 안전장치 및 정위치 정차 모니터링 시스템 기술 확보 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해외 선진국 대비 시스템 개량 관련 연구개발 미흡 ○ 열차운영시스템 개량과 관련된 경험과 시스템 개량과 관련된 제작사 등 관련 인프라 부족 ○ 국내 노후노선에 운영되고 있는 열차운영시스템은 모두 외산기술에 의존하여 개량시 인터페이스가 어려움 ○ 열차운영시스템의 핵심인 열차제어시스템에 대한 국내 실용화 및 운영경험 전무 ○ 국내 부품산업 및 요소기술 기반 취약
기회요인(Opportunity)	위험요인(Threat)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 도시철도 운영노선의 약 57%가 향후 5년에서 10년 사이에 시스템 개량이 불가피하여 본 과제의 실용화 기대 ○ 개량을 목표로 하는 열차운영시스템의 핵심인 무선통신기반 관제시스템 및 열차제어시스템의 개발경험과 시스템 설계 제작에 대한 기반 기술 보유 ○ 전 세계적으로 노선개량에 대한 시장이 점차 늘 것으로 예상됨에 따라 관련기술의 해외진출 가능성 제고 ○ 철도통합무선망 주파수 확보에 따라 무선통신을 활용한 다양한 연구개발 가능 ○ 신분당선 및 경량전철의 DTO/UTO에 대한 운영경험 보유 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해외 선진국의 투자 및 시장점유를 감안한 국내시장공략 가능성 ○ 국내기술에 대한 막연한 불안감 ○ 해외 선진국 제품의 시장 선점에 따른 국내외 시작에 대한 진입장벽 높음 ○ 중국 등 후발 국가의 기술도약, 투자 및 시장점유 확대 (선진국과 개도국 사이 샌드위치 신세) ○ 해외 선진기업들의 특허장벽 강화 및 기술 개발 이전에 대한 높은 견제

제 4절 연구개발 후보과제별 과제카드

1. 1세부 과제 : 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술 개발

[표 6.3.3] 1세부 연구개발 과제카드

1) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개량 최적화를 위한 시스템 설계 및 안전성 확보기술개발 ○ 기능 및 성능검증을 위한 시뮬레이터 개발
2) 세부과제 개요	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개량 최적화를 위한 선정노선의 운영환경을 고려한 시스템 개량 전략을 수립하고 개량시스템 운영시나리오를 수립한다. 이를 기반으로 개량시스템을 정의하는데 이 때 DTO와 UTO에 해당하는 열차 운영의 기본 기능이 고려되어야 한다. 시스템 정의는 기본적인 위험원 분석에 대한 기초로서 어플리케이션 컨디션을 기술하고 specific application 대한 호환성을 갖도록 한다. ○ 전체 시스템 레벨에서의 위험원 분석은 generic system을 위해 수행된다. 위험원 분석은 위험한 상황에 대한 정의와 정의된 위험한 상황을 확인하기 위한 가능한 증거, 가능한 안전수단의 할당으로 세분화 할 수 있다. 또한 개량시스템 최적 개량설계를 위해서는 기존의 시스템과 신규 개량시스템 사이의 인터페이스와 함께 예상되는 문제점을 사전에 파악할 수 있어야 한다. ○ 일반적으로 DTO와 UTO에 대한 위험상황은 다음과 같다. <ul style="list-style-type: none"> - 열차 운전석에 기관사가 존재하지 않는다(DTO). - 열차에 운영자가 탑승하지 않는다(UTO). ○ 안전 요구사항은 전체 시스템 레벨에서의 위험원 분석 결과로 운전석에 기관사가 존재하지 않거나 운영자가 탑승하지 않는 DTO 및 UTO 위험상황에 대한 보상으로 가능한 안전수단을 적용하는 것을 의미한다. ○ 국외의 개량사례에서 보고된 실제 영업노선에서의 테스트는 영업운영에 지장을 주지 않아야 하기 때문에 야간에 이루어지며 하루 1시간에서 3시간미만으로 보고되고 있다. 절대적으로 테스트 시간이 부족하기 때문에 사전에 충분한 lab 테스트가 이루어져야 한다. 따라서 개량시스템과 개량노선 환경을 반영한 시뮬레이터를 구현하여 사전 검증을 수행한 후 야간에 실제 영업노선을 대상으로 테스트 하는 방법이 필요하다. ○ 이를 위해서는 대상노선의 열차데이터 및 선로데이터와 기존 운영시스템에 대한 정보 그리고 새로운 운영시스템 및 열차데이터에 대한 정보를 입력받아 모의 현장을 구현이 가능하여야 한다. 또한 여러 가지 테스트 항목을 모의시험 할 수 있도록 신규 운영시스템에 대한 기능을 구현하여야 한다. 구현된 시뮬레이터는 현장테스트와 병행하여 운영함으로써 현장테스트 사전 검증용으로 활용한다.
3) 주요 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ① 시스템 테스트베드 선정 ○ 테스트 베드 선정계획수립 ○ 테스트 베드 선정평가 및 선정

- ② 연구개발의 통합 및 총괄운영관리체계 구축
 - 과제총괄조정 및 일정관리
 - 연차별 연구내용 조정 및 보완
 - 성과목표 및 성과지표 관리
- ③ 시스템 개량전략 수립
 - 노선현황 분석
 - 시스템 개량범위 선정
 - 시스템 개량상세 정의
 - 주요 개량 리스크 도출
 - 시스템 개량전략 선정
 - 기존시스템과 신규 개량시스템과의 인터페이스 분석
 - 시스템 개량절차 수립
 - 개량에 따른 영향분석
 - 새로운 운영 및 유지보수 요구사항 분석
- ④ 시스템 개량요구사항 분석
 - 시스템 성능목표사양 정의
 - 시스템 기능요구사항 정의
 - 시스템 자동화 수준 정의
- ⑤ 개량시스템 설계 및 검토
 - 시스템 정의/범위 및 기능분석
 - 시스템 요구사항에 따른 배치
 - 개량시스템 분야별 설계
 - 시스템 인터페이스 정의 및 설계
 - 시스템 설계 무결성 관리
 - 요구사항 관리
 - 설계 검토 및 인터페이스 관리
 - 기술검토 및 지원
- ⑥ 개량시스템 안전성 확보방안 연구
 - 안전성 활동·평가 계획 작성
 - 안전성평가 목표, 대상, 범위
 - 안전성평가 조직, 업무 및 운영
 - 안전성 활동·평가 관리계획서 작성
 - 시스템 수준에서의 안전성 활동 및 평가
 - 시스템 위험원 식별 및 분석
 - 시스템 위험원 평가
 - 시스템 위험원 예방 및 관리

	<ul style="list-style-type: none"> - 해당 위험원 개량요구사항 식별 - 잔존 위험원 수용 ○ 하부시스템 수준에서의 안전성 활동 및 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 하부시스템 위험원 식별 및 분석 - 하부시스템 위험원 평가 - 하부시스템 위험원 예방 및 관리 - 해당 위험원 개량요구사항 식별 - 잔존 위험원 수용 ⑦ 개량시스템 구축 및 통합 <ul style="list-style-type: none"> ○ 개량시스템 구축 및 통합관리 - 하부시스템별 공정 검토 및 인터페이스 관리 - 시스템 통합관리 ⑧ 개량시스템 시험 및 평가 <ul style="list-style-type: none"> ○ 개량시스템 목표사양 평가 및 확인 ○ 개량시스템 시험 및 운영 계획서 분석 ○ 개량시스템 시험 및 운영 절차서 검토 ○ 개량시스템 시범운영에 필요한 제반사항지원 ⑨ 시스템 검증용 시뮬레이터 개발 <ul style="list-style-type: none"> ○ 시뮬레이터 개발요구사항 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 시뮬레이터 성능목표사양 정의 - 시뮬레이터 기능요구사항 정의 ○ 시뮬레이터 운영시나리오 도출 ○ 시뮬레이터 설계 및 제작 ○ 시뮬레이터 구축 및 시험
<p>4) 기술개발 및 산업/시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① 기술개발 동향 <ul style="list-style-type: none"> ○ 국외의 경우 대표적인 개량 프로젝트인 파리 1호선의 무인화 프로젝트를 비롯해서 다양한 기존선 개량 프로젝트가 성공적으로 진행되었음을 알 수 있다. 특히 파리 1호선의 경우 개량의 성공요인으로 165가지에 달하는 정확한 리스크 분석과 예측을 수행하였다는 점이고 시스템에 대한 해박한 지식과 풍부한 공학적 경험을 가지고 있다는 점이다. ○ 영업노선에서 시험하는 시간을 단축하기 위해 정교하고 광범위한 시뮬레이터 틀을 이용하였으며, 또한 2008년부터 2011년까지 Valenciennes에 전용 시험선을 활용하여 신규 시스템을 탑재한 차량의 테스트를 수행하였다.



Test track-Valenciennes



시뮬레이터

- 노선개량 방향을 보면 개량 이전에는 fixed block 방식의 STO 운영모드에서 개량 이후에는 moving block 방식의 STO/DTO/UTO 모드로 개량화가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 개량시 STO/DTO/UTO운영모드의 선택은 해당 노선의 운영기관의 선택사항이며 기술적 제약사항은 아님을 알 수 있다.
- 국외 개량사례의 성공의 밑바탕에는 선진 철도시스템 제작사의 migration solution이 있었기에 가능하였다. Ansaldo, Siemens, Thales, Alstom, Bombardier 등과 같은 국외 철도 메이저 회사에서는 최적의 개량 솔루션을 개발하였다.
- Alstom의 경우 URBALIS 400이라는 CBTC solution에서 mixed traffic을 지원하고 있으며, Thales CBTC의 경우 점차적인 overlay solution을 제공하기 위해서 상호 호환성 및 mixed-mode 요구사항을 반영하여 개발하였다. 또한 DTO/UTO를 위해서 scalable한 디자인으로 다양한 안전설비와 인터페이스 가능하도록 개발하였다. 마찬가지로 Ansaldo STS의 CBTC, Siemens의 Trainguard MT, GE의 Tempo CBTC solution도 mixed operation을 위한 resignalling solution을 제공하고 있으며 다양한 환경에 적용하기 위한 높은 수준의 flexibility와 scalability를 제공하고 있다.

② 산업/시장 동향

- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 신규 개발 및 업그레이드 (New development and upgrade market) 시장은 2011년 약 64.1억 유로(약 9.2조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.5% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI).
- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 개량 및 유지보수 (Renewal and Maintenance) 시장의 경우 2011년 약 68.2억 유로(약 9.8조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI).
- 철도 신호제어에 대한 5대 글로벌 기업 중에서, Siemens, Ansaldo, Thales 등 3개 기업이 Top 10에 들어가 있다. Alstom과 Bombardier는 각각 10위와 15위 수준을 나타낸다. 이외에도 중국 CRSC, 러시아 Elteza, 체코 AZD Paraha 등의 국영기

	<p>업, 일본 Kyosan, Daido Signal이 높은 경쟁력을 나타낸다. Siemens가 17억 유로/年 이상의 신호제어 매출규모를 보이는 등 가장 높은 경쟁력을 갖는 것으로 판단된다. 한국 LS산전은 1.2억 유로/年の 매출을 보인다(※ 출처 : SCI Verkehr GmbH (2014), Worldwide Manufactures of Rail Infrastructure 2014).</p> <p>○ 열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템 개량 분야 특히 출원/공개 추이를 통해 시장 발전단계 위치를 추정해 보면 현재 성장기에 있는 기술 분야로 판단할 수 있다.</p>
<p>5) 기존기술 활용방안</p>	<p>○ 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010~2014) 과제에서 개발한 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System)의 열차제어시스템 안전성 활동 및 평가기술과 열차제어시스템 표준체계를 활용하여 개량시스템 설계에 활용할 계획이다.</p> <p>○ 또한 同 과제에서 개발한 철도 무선통신망을 이용하여 개량시스템의 통신망 설계에 활용할 계획이다.</p>
<p>6) 기술개발 필요성</p>	<p>○ 열차운영시스템의 노후화로 인해 고장 및 장애발생률이 증가하게 되어 안전사고의 위험성이 높아지고 있으며 최근 노후시스템 개량 중 발생한 사고사례를 비추어 볼 때 시스템 개량시 안전사고 발생위험을 저감할 수 있는 최적의 개량기술이 요구된다.</p> <p>○ 노후화가 진행되면서 노후장비의 고장과 부품 수급의 문제 등으로 인해 막대한 유지보수 비용이 발생하게 되므로 적기에 시스템 개량을 통한 운영기관의 경영개선이 필요하다.</p> <p>○ 국내 도시철도이용객 현황을 보면 해마다 증가하고 있으며 증가하는 수송량을 대처하기 위해 더 높은 수송량을 가질 수 있도록 열차운영시스템의 개량이 필요한 실정이다.</p> <p>○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 노후화로 인한 안전성 및 신뢰성이 저하되고 있어 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피한 실정이다.</p> <p>○ 현재 국내의 경우 열차운영시스템의 중심인 열차제어시스템은 국외 메이저 제작사에 의해 종속되어 있으며 노후화된 시스템 개량에 필요한 설계, 전략 및 검증에 대한 기술과 노하우가 부족하다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 외국시스템이 도입·운영됨에 따라 상호 호환성과 유지보수의 비효율성으로 운영에 막대한 지장을 초래 <p>○ 개량기술은 아래와 같은 제약조건으로 인해 신설기술에 비해 훨씬 더 높은 수준의 기술적 난이도가 요구되며 이로 인해 개량 중 안전사고 발생위험이 매우 높다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량시 영업운영에 지장을 주어서는 안 되며 동시에 안전성을 확보 - 설치 및 테스트 시간이 영업운영 종료 이후인 야간에 - 기존의 운영절차에 최소한의 영향

	<ul style="list-style-type: none"> - 쉼도우 모드, 혼용운영 및 無 중단 시스템절체 지원 ○ 따라서 위에서 언급한 제약사항을 고려하면서도 개량시 안전성, 신뢰성, 효율성을 확보할 수 있도록 최적의 개량기술 개발과 기술기준 정립을 위한 연구가 필요하다.
<p>7) 정부지원 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시철도 열차운영설비 노후화는 각종 장애와 사고의 원인을 제공하고, 열차운행의 안전성과 신뢰성을 저하시키며, 이용시민의 안전을 위협할 수 있어 체계적인 대체개량을 위한 연구와 관련 기술(H/W, S/W) 개발이 필수적이다. 따라서 국내기술력에 의한 개량 최적화 연구를 통하여 외국으로의 국부유출을 방지하고, 도시철도 산업 발전에 기여할 수 있으므로 국가 차원의 지원이 필요하다. ○ 국토교통부 2015년 부문별 예산현황에서 철도 및 도시철도 예산은 '14년 68,032억 원에서 '15년 안 73,026억 원, 4,994억 원이 증가되었고 지속적으로 확대할 예정이다. 20년 이상 나이를 먹어가는 도시철도 장비들의 수는 점차 늘어나고 있는 현 시점이 본 연구의 가치가 매우 높다고 할 수 있으며, 필수적으로 요구되는 연구 부문이다(※ 국토교통부 부문별 예산안, 2015). ○ 국내 도시철도 안전관련 무선통신 방식은 노선별로 상이하여 비효율적으로 운영되고 있어 도시철도전용 무선통신망 도입에 따른 사고예방 및 신속대응으로 대형 도시철도사고, 테러 등에 대한 도시철도의 보안·안전성 강화, 정시성 향상 및 고품질 여객서비스를 위하여 국가차원의 지원이 필요하다. ○ 도시철도시스템의 개량에 필요한 기술개발은 어느 특정 노선, 운영기관에 국한된 문제가 아니라 전체 국내 도시철도운영기관이 당면한 과제이며 개개 운영노선에서 수행하기에는 막대한 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라 각각 운영노선마다 수행함으로써 중복투자가 발생될 우려가 발생됨. 따라서 정부차원에서 시스템 최적의 개량에 필요한 핵심요소기술에 대한 연구개발을 수행하고 그 연구 성과를 각 운영기관의 특성에 맞도록 적용하는 것이 바람직하다.
<p>8) 기술 확보 및 추진전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시범노선에 적용된 열차제어시스템에 대한 분석과 함께 신규 개량시스템과의 예상 인터페이스를 도출함으로써 개량에 따른 영향을 분석한다. ○ 국외의 성공적인 개량사례를 토대로 시범노선에 최적의 개량 전략을 수립하고 기존시스템의 운영환경에 지장 없도록 개량시스템을 설계한다. ○ 개량으로 인한 안전사고가 발생하지 않도록 개량 전략의 수립 및 개량시스템을 정의하는 과정에서부터 개량시스템을 설계하고 구축하는 과정까지 철저한 안전성 활동체계를 수립한다. ○ 국외의 개량사업을 통해 개량경험을 보유하고 있는 기관과의 공동연구 또는 자문을 통해 개량에 대한 노하우를 확보하여 향후 개량사업에 활용할 수 있도록 추진한다. ○ 시뮬레이터는 기지노선 1km 구간을 대상으로 상시 개발시스템을 시험가능 하도록 설계 및 제작한다. ○ 시뮬레이터는 부족한 영업노선 테스트를 보완하기 위해 개량시스템 설계, 기능 및 성능, 그리고 기존시스템과의 인터페이스에 대한 사전검증 용도로 활용되기

때문에 무엇보다도 시뮬레이터 자체에 대한 무결성이 요구된다.

- 시뮬레이터의 무결성에 대한 자체검증을 위해서는 IEC 62278, 62279, 62280 및 EN 50506등과 같은 일련의 RAMS 활동 및 평가 적용규격을 따라 설계부터 제작, 검증단계까지의 규격에 정의된 엔지니어링 활동을 수행하고 최종 검증단계를 거침으로써 시뮬레이터 자체에 대한 검증을 수행한다.
- 즉, 기능사양, 개발요구사항 및 기능요구사항과 같은 일련의 설계를 통해 시뮬레이터가 가지는 기능을 할당하고 그 기능의 성격에 따라 시뮬레이터에 대한 SIL 레벨을 부여하고 SIL 레벨에 적합한 안전성 활동 및 평가를 수행하게 된다.

SIL 레벨에 따른 life cycle issues와 문서

DOCUMENTATION	SWSIL 0	SWSIL 1	SWSIL 2	SWSIL 3	SWSIL 4
1. Software Planning Documents	R	HR	HR	HR	HR
2. S/W Requirements Documents	R	HR	HR	HR	HR
3. S/W Design Documents	-	HR	HR	HR	HR
4. S/W Module Documents	-	HR	HR	HR	HR
5. Source Code and Documentation	R	HR	HR	HR	HR
6. S/W Test Reports	-	HR	HR	HR	HR
7. S/W and H/W Integration Test Report	-	HR	HR	HR	HR
8. S/W Validation Report	R	HR	HR	HR	HR
9. S/W Assessment Report	-	HR	HR	HR	HR
10. S/W Maintenance Records	R	HR	HR	HR	HR
Requirement Compliance with ISO 9000-3 implies the production of adequate documentation for all Software Safety Integrity Levels. For Software Safety Integrity Level 0, the designer shall choose suitable types of document.					

※ 출처: IEC 62279 - Railway applications-Communications, signalling and processing systems-Software for railway control and protection systems.
 R : Recommended
 HR : Highly Recommended

9) 과제규모

- 연구개발비 : 총 85억원
- 총 연구기간 : 5년

10) 기술개발
최종성과물
및 활용방안

- 최종성과물
 - 검증용 시뮬레이터
 - 시뮬레이터 구동 소프트웨어
 - 시스템 개량전략 방안
 - 시스템 개량절차서
 - 시스템 개량에 따른 영향분석
 - 시스템 설계 검토서
 - 시스템 정의 및 기능분석
 - 개량시스템 성능목표사양
 - 개량시스템 기능요구사항
 - 개량시스템 개발요구사항
 - 개량시스템 정의 및 기능분석서

	<ul style="list-style-type: none"> - 차상 및 지상시스템 설계도 - 시스템 인터페이스 설계서 - 안전성 활동·평가 관리계획서 - 시스템 수준의 안전성 활동 및 평가서 - 하부시스템 수준의 안전성 활동 및 평가서 - 개량시스템 구축 및 통합관리 계획서 - 개량시스템 시험 및 평가 계획서 <p>○ 활용방안</p> <ul style="list-style-type: none"> - 노후화된 운영노선을 개량하기 위해서 반드시 필요한 영업운영 중단 없는 열차운 영시스템의 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술을 개발함으로써 노후화된 국내 운영노선의 개량사업에 우선적으로 활용이 가능할 것으로 예상된다. - 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길 이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며, 본 과제가 계획대로 추진이 완료된다면 개발성과의 적용이 가능할 것으로 예상된다.
<p>11) 연구성과의 확산 및 기대효과</p>	<p>○ 사회적 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 도시철도 노후노선 개량시 안전하고 영업운영 중단 없는 개량가능 - 도시철도 노후노선의 적기 개량을 통해 노후화로 인한 유지보수 비용증가 및 장애발생에 따른 안전사고 위험 해소 <p>○ 경제적 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수입대체 효과: 기술개발 확보 시 국내 노후화된 노선을 대상으로 개량을 진행한 경우 약 1조 386억원의 수입대체 효과를 기대 <ul style="list-style-type: none"> 수입대체 효과 = 407.8km × 25.47억원/km = 10,386.67억원 ※철도시설공단 건설기준단가, 2012 - 시장진출 효과: 전 세계 철도신호통신 분야의 개량 및 유지보수 시장은 2011년을 기준으로 약 9.8조원이며 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측됨. 따라서 2015년 현재 본 연구개발을 통해 약 11조원 이상의 시장을 대상으로 경쟁이 가능할 것으로 기대 ※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI <p>○ 기술적 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량에 필요한 설계 및 운영기술 확보: 시스템 개량전략 수립, 시스템 운영시나리오, 시스템 정의, 위험원 분석, 안전요구사항 수립, 안전한 개량 시스템 설계 및 검증과 같은 일련의 설계 및 개량노하우 확보가능 - 중단 없는 개량에 필요한 개량핵심기술 확보: 혼용운영 및 다양한 STO/DTO/UTO 등 자동화 레벨을 지원할 수 있는 관제 및 열차제어시스템의 개량핵심기술 확보 가능 <p>○ 파급효과</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - 직접적 파급효과: 직접적 파급효과는 철도이용자 측면서 철도운영자 측면에서 고려가능하며 철도이용자 측면에서는 시간감소와 사고감소에 따른 파급효과를 예측할 수 있으며 철도운영자 측면에서는 수송량 증가에 따른 이득과 사고 고장률 감소에 따른 운영비용 절감 효과를 기대할 수 있음. - 간접적 파급효과: 간접적 파급효과는 철도 이용자 증가로 인해 타 교통수단의 운용비용이 절감될 수 있으며 도로 유지관리비 절감, 주차공간 기회비용 절감 과 같은 파급효과를 기대할 수 있음.
12) 연구유형	○ 실용화
13) 성과물 유형	○ 기준·지침 ○ 시제품
14) 시장경쟁력 확보 방안 및 실용화 방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개량시스템 설계와 운영시나리오 및 개발요구사항 도출 과정에서 도시철도 운영기관의 사용자 요구사항에 대한 의견수렴을 위해 협의체 구성을 하여 단계별 의견수렴 수행하여 시장 경쟁력을 확보한다. ○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피함에 따라 국내 노후 노선을 대상으로 개발기술의 실용화를 진행할 계획이다. 또한 국내 노선의 개량경험을 바탕으로 국외 시장진출을 모색할 계획이다.
15) 목표 TRL 단계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 수준 : TRL 2 ○ 최종 목표 : TRL 9
16) 제도개선 사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시범노선 구축 성격에 합당하도록 테스트 베드에 구축된 시제품에 대한 소유권을 테스트 베드 선정노선에 기부체납 할 수 있도록 관련 제도 마련이 필요 ○ 노후시스템에 대한 개량기준에 대한 제도마련이 필요

2. 2세부 과제 : 개량 핵심기술 개발

[표 6.3.4] 2세부 연구개발 과제카드

1) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 중단 없는 안전한 개량과 UTO 운영을 위한 열차제어 및 관제 개량핵심기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 웨도우 모드 운영기술 개발 - 시스템 無 중단 절체기술 개발 - 혼용운영 기술개발 - 시스템 모듈화 플랫폼 개발
2) 세부과제 개요	<ul style="list-style-type: none"> ○ 영업운영의 중단 없는 열차제어시스템 개량을 위해서는 switch operation과 mixed operation과 같은 2가지 개량 전략을 모두 지원할 수 있어야 한다. 이 중에서 mixed operation은 개량이 이루어지는 기간 동안 신·구 열차제어시스템이 서로 인터페이스 되어야 한다. 개량사례에서 볼 수 있듯이 지상의 설비는 신·구 열차제어시스템이 모두 설치된 상황에서 차량 개량이 점차적으로 이루어지게 된다. ○ 이때 전체 차량의 열차제어시스템이 신규로 개량이 이루어지기 전까지는 신·구

열차제어시스템이 모두 동작해야 한다. 이때 신규 열차제어시스템의 경우 기존 열차제어시스템으로 동작하는 열차를 인식할 수 있어야 한다. 즉, 신규 무선통신 기반 열차제어시스템이 기존의 궤도회로 기반으로 움직이는 열차의 위치를 인식하여 안전한 열차의 간격이 이루어지도록 인터페이스 될 수 있도록 혼용운영 기술이 필요하다. 아울러 switch operation 개량 전략을 지원하기 위해서는 신규 열차제어시스템 간 無중단 시스템 절체기술이 필요하다.



궤도회로 기반의 열차를 인식하지 못한 열차추돌 상황

- 또한 다양한 자동화 레벨을 지원할 수 있도록 유연성 있는 시스템 설계가 필요하다. 특히 UTO 운영모드에서는 기관사의 업무를 시스템에서 수행해야한다. 특히 안전과 관련된 기관사의 업무를 시스템에서 수용하기 위해서는 다양한 안전설비와 인터페이스가 예상되며 열차제어시스템의 변경 없이 인터페이스 되어야 한다.
- 이를 위해서는 열차제어시스템 환경변화에 따라 변하지 않는 요소를 열차제어시스템 Kernel로 설계하고 변하는 요소는 외부로 분리하여 필요시 가상 디바이스 인터페이스(VDI: Virtual Device Interface)를 통해 결합할 수 있도록 모듈화 기술이 필요하다.

3) 주요 연구내용

- ① 열차제어 및 관제 개량핵심기술 요구사항 분석
 - 쉐도우 모드 요구사항 정의
 - 시스템 無 중단 절체 요구사항 정의
 - 혼용운영 요구사항 정의
 - 시스템 모듈화 플랫폼 요구사항 정의
- ② 열차제어 및 관제 개량핵심기술 개발
 - 쉐도우 모드 운영기술 개발
 - 無 중단 시스템 절체기술 개발
 - 혼용운영 기술개발
- ③ 열차제어 및 관제 DTO/UTO 기술개발
 - DTO/UTO 모드 지원 모듈화 플랫폼 개발
 - DTO/UTO 기능구현
 - UTO 모드를 지원하는 스마트 관제 핵심기술 개발
 - 열차 및 차량 스케줄링 기능 통합 관제시스템 기술개발
 - 완.급행열차 자동운행 관제시스템 기술개발

- 게이트 정보기반 실시간 혼잡 관제 기술개발
- 에너지 절감형 관제 기술 개발
- 관제 통합 방안 및 운영 시나리오 연구
- 통합 관제를 위한 통신 프로토콜 표준화 연구
- ④ 열차제어 및 관제 설계 및 제작
- 시스템 설계(ATS, EI, ATP/ATO)
 - 기능요구사항 정의
 - 시스템 요구사항 정의
 - 기능 사양정의
 - 개발요구사항서 작성
 - 시스템 H/W 및 S/W 설계
- 시스템 제작(ATS, EI, ATP/ATO)
 - STO/DTO/UTO 시스템 기능 구현
 - 시스템 H/W 및 S/W 제작
- ⑤ 열차제어 및 관제 안전성 확보방안 연구
- 시스템 수준에서의 안전성 활동 및 평가
 - 시스템 안전관리계획서 작성
 - 시스템 위험원 식별 및 분석
 - 시스템 위험원 평가
 - 시스템 위험원 예방 및 관리
 - 해당 위험원 개량요구사항 식별
 - 잔존 위험원 수용
- 하부시스템 수준에서의 안전성 활동 및 평가
 - 하부시스템 안전관리계획서 작성
 - 하부시스템 위험원 식별 및 분석
 - 하부시스템 위험원 평가
 - 하부시스템 위험원 예방 및 관리
 - 해당 위험원 개량요구사항 식별
 - 잔존 위험원 수용
- ⑥ 열차제어 및 관제 현장설치 및 시험
- 시스템 현장설치(기지 1km, 본선 10km, 시험열차 5편성)
 - 차상 ATP/ATO
 - 관제 ATS
 - 지상 ATP, EI, 지상자
- 현장시험 및 시스템 보완
 - 시스템 혼용운영 시험 및 보완

- 시스템 無 중단 절체시험 및 보완
- 시스템 기능/성능시험 및 보완

- ⑦ 표준체계 반영
- 표준체계 수정 및 보완

4) 기술개발 및
산업/시장
동향

① 기술개발 동향

- 국외의 경우 대표적인 개량 프로젝트인 파리 1호선의 무인화 프로젝트를 비롯해서 다양한 기존선 개량 프로젝트가 성공적으로 진행되었음을 알 수 있다.
- 노선개량 방향을 보면 개량 이전에는 fixed block 방식의 STO 운영모드에서 개량 이후에는 moving block 방식의 STO/DTO/UTO 모드로 개량화가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 개량시 STO/DTO/UTO 운영모드의 선택은 해당 노선의 운영기관의 선택사항이며 기술적 제약사항은 아님을 알 수 있다.
- 국외 개량사례의 성공의 밑바탕에는 선진 철도시스템 제작사의 migration solution이 있었기에 가능하였다. Ansaldo, Siemens, Thales, Alstom, Bombardier 등과 같은 국외 철도 메이저 회사에서는 최적의 개량 솔루션을 개발하였다.

Migration Solutions

AnsaldoSTS
Mixed mode operation
Ansaldo STS leverages in-depth technical expertise to provide customized solutions that meet diverse operating requirements.
Ansaldo STS's CBTC solution fits any type of rolling stock and is scalable to meet the needs of any operator, whether they are an overlay system or a brand new line.
When used as an overlay solution, Ansaldo STS' CBTC system allows simultaneous CBTC and non-CBTC equipped vehicles to share the same tracks. In this way, the upgrade of non-equipped vehicles can be staged to fit the operator's desires while maintaining the highest level of safety and without causing disruptions.
Before investing in CBTC, make sure the system is dependable and built on solid and proven experience. Be sure to choose Ansaldo STS.

GE GE imagination at work
Tempo CBTC Solution
A rail signaling solution designed to optimize project execution, life-cycle cost and environmental friendliness
GE Transportation's Communication-Based Train Control (CBTC) represents a smart solution that helps urban transit operators solve their operational and service improvement challenges.
This integrated and modular automated signaling and control system uses moving-block principles to allow trains to be self-aware of their exact transit territory position by continuously communicating with wayside control subsystems. This constant communication system uses Wi-Fi or LTE technologies and enhances safety with its continuous ATP function.

SIEMENS
Upgradability
When the demand for higher transport capacity arises, existing Trainguard MT installations can easily be upgraded from fixed-block to moving-block operations. The level of automation can be upgraded from interlocking operation to semi-automated train operation (STO) or to driverless train operation (DTO), step-by-step, in accordance with the required functionality and performance. Upgrades can be implemented without interrupting operations and it is not necessary to uninstall any of the old equipment. By using these key concepts, Trainguard MT allows step-wise commissioning.
Mixed traffic / mixed mode
Trainguard MT can handle trains with different train control equipment at the same time in the same network. This allows for mixed fleets to be used on the same line. Trainguard MT is therefore the optimum choice for mixed-traffic environments. The range that each train can travel is expanded, whether normal, express trains, suburban trains, mainline trains or freight trains. At the same time, vehicles equipped for semi-automated or driverless operation can seamlessly change over to supervision and control operation on suburban line sections. This also increases system availability during the upgrade or migration phases of an existing train fleet or signaling system.

ALSTOM
URBALIS 400 represents the ideal CBTC solution for urban transit operators aiming to maximize performance and capacity, while requiring standard interlocking systems for operational needs.
• High transport capacity and high availability for interlocking based systems
• Management of mixed traffic and interfacing signaling systems

THALES
Overlay designs facilitate cost-effective system cut-over and deployment, allow mixed-mode operation, and provide an easy evolutionary path to higher level functionality.

국외 선진 철도시스템 제작사의 migration solution

- Alstom의 경우 URBALIS 400이라는 CBTC solution에서 mixed traffic을 지원하고 있으며, Thales CBTC의 경우 점차적인 overlay solution을 제공하기 위해서 상호 호환성 및 mixed-mode 요구사항을 반영하여 개발하였다. 또한 DTO/UTO를 위해서 scalable한 디자인으로 다양한 안전설비와 인터페이스 가능하도록 개발하였다. 마찬가지로 Ansaldo STS의 CBTC, Siemens의 Trainguard MT, GE의 Tempo CBTC solution도 mixed operation을 위한 resignalling solution을 제공하고 있으며 다양한 환경에 적용하기 위한 높은 수준의 flexibility와 scalability를 제공하고 있다.

② 산업/시장 동향

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 신규 개발 및 업그레이드 (New development and upgrade market) 시장은 2011년 약 64.1억 유로 (약 9.2조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.5% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI). ○ 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 개량 및 유지보수 (Renewal and Maintenance) 시장의 경우 2011년 약 68.2억 유로(약 9.8조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI). ○ 철도 신호제어에 대한 5대 글로벌 기업 중에서, Siemens, Ansaldo, Thales 등 3개 기업이 Top 10에 들어가 있다. Alstom과 Bombardier는 각각 10위와 15위 수준을 나타낸다. 이외에도 중국 CRSC, 러시아 Elteza, 체코 AZD Paraha 등의 국영기업, 일본 Kyosan, Daido Signal이 높은 경쟁력을 나타낸다. Siemens가 17억 유로/年 이상의 신호제어 매출규모를 보이는 등 가장 높은 경쟁력을 갖는 것으로 판단된다. 한국 LS산전은 1.2억 유로/年の 매출을 보인다(※ 출처 : SCI Verkehr GmbH (2014), Worldwide Manufactures of Rail Infrastructure 2014). ○ 열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템 개량 분야 특허 출원/공개 추이를 통해 시장 발전단계 위치를 추정해 보면 현재 성장기에 있는 기술 분야로 판단할 수 있다.
<p>5) 기존기술 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010~2014) 과제에서 개발한 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System)의 열차제어시스템 안전성 활동 및 평가기술과 열차제어시스템 표준체계를 활용하여 개량시스템 설계에 활용할 계획이다. ○ 또한 同 과제에서 개발한 철도 무선통신망을 이용하여 개량시스템의 통신망 설계에 활용할 계획이다.
<p>6) 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열차운영시스템의 노후화로 인해 고장 및 장애발생률이 증가하게 되어 안전사고의 위험성이 높아지고 있으며 최근 노후시스템 개량 중 발생한 사고사례를 비추어 볼 때 시스템 개량시 안전사고 발생위험을 저감할 수 있는 최적의 개량기술이 요구된다. ○ 노후화가 진행되면서 노후장비의 고장과 부품 수급의 문제 등으로 인해 막대한 유지보수 비용이 발생하게 되므로 적기에 시스템 개량을 통한 운영기관의 경영개선이 필요하다. ○ 국내 도시철도이용객 현황을 보면 해마다 증가하고 있으며 증가하는 수송량을 대처하기 위해 더 높은 수송량을 가질 수 있도록 열차운영시스템의 개량이 필요한 실정이다. ○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 노후화로 인한 안전성 및 신뢰성이 저하되고 있어 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이

	<p>불가피한 실정이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 국내의 경우 열차운영시스템의 중심인 열차제어시스템은 국외 메이저 제작사에 의해 종속되어 있으며 노후화된 시스템 개량에 필요한 설계, 전략 및 검증에 대한 기술과 노하우가 부족하다. - 다양한 외국시스템이 도입·운영됨에 따라 상호 호환성과 유지보수의 비효율성으로 운영에 막대한 지장을 초래 ○ 개량기술은 아래와 같은 제약조건으로 인해 신설기술에 비해 훨씬 더 높은 수준의 기술적 난이도가 요구되며 이로 인해 개량 중 안전사고 발생위험이 매우 높다. - 시스템 개량시 영업운영에 지장을 주어서는 안 되며 동시에 안전성을 확보 - 설치 및 테스트 시간이 영업운영 종료 이후인 야간에 - 기존의 운영절차에 최소한의 영향 - 쉬도우 모드, 혼용운영 및 無 중단 시스템절체 지원 ○ 따라서 위에서 언급한 제약사항을 고려하면서도 개량시 안전성, 신뢰성, 효율성을 확보할 수 있도록 최적의 개량기술 개발과 기술기준 정립을 위한 연구가 필요하다.
<p>7) 정부지원 타당성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시철도 열차운영설비 노후화는 각종 장애와 사고의 원인을 제공하고, 열차운행의 안전성과 신뢰성을 저하시키며, 이용시민의 안전을 위협할 수 있어 체계적인 대체개량을 위한 연구와 관련 기술(H/W, S/W) 개발이 필수적이다. 따라서 국내기술력에 의한 개량 최적화 연구를 통하여 외국으로의 국부유출을 방지하고, 도시철도 산업 발전에 기여할 수 있으므로 국가 차원의 지원이 필요하다. ○ 국토교통부 2015년 부문별 예산현황에서 철도 및 도시철도 예산은 '14년 68,032억 원에서 '15년 안 73,026억 원, 4,994억 원이 증가되었고 지속적으로 확대할 예정이다. 20년 이상 나이를 먹어가는 도시철도 장비들의 수는 점차 늘어나고 있는 현 시점이 본 연구의 가치가 매우 높다고 할 수 있으며, 필수적으로 요구되는 연구 부문이다(※ 국토교통부 부문별 예산안, 2015). ○ 국내 도시철도 안전관련 무선통신 방식은 노선별로 상이하여 비효율적으로 운영되고 있어 도시철도전용 무선통신망 도입에 따른 사고예방 및 신속대응으로 대형 도시철도사고, 테러 등에 대한 도시철도의 보안·안전성 강화, 정시성 향상 및 고품질 여객서비스를 위하여 국가차원의 지원이 필요하다. ○ 도시철도시스템의 개량에 필요한 기술개발은 어느 특정 노선, 운영기관에 국한된 문제가 아니라 전체 국내 도시철도운영기관이 당면한 과제이며 개개 운영노선에서 수행하기에는 막대한 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라 각각 운영노선마다 수행함으로써 중복투자가 발생될 우려가 발생됨. 따라서 정부차원에서 시스템 최적의 개량에 필요한 핵심요소기술에 대한 연구개발을 수행하고 그 연구 성과를 각 운영기관의 특성에 맞도록 적용하는 것이 바람직하다.
<p>8) 기술 확보 및 추진전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열차제어 개량핵심기술은「도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가」국가연구개발 사업을 통해 개발된 한국형 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System)을 기반으로

로 혼용운영(mixed operation) 기술개발 및 다양한 안전설비와 인터페이스 가능하도록 모듈화 기술개발을 수행한다.

- 혼용운영 기술은 무선통신기반 열차제어시스템에서 기존 궤도회로기반의 열차제어시스템을 탑재한 열차의 인식이 가능하여야 한다. 따라서 궤도회로 점유정보를 열차의 점유정보로 인식하여 무선통신기반 열차제어시스템이 탑재된 열차에 안전간격을 유지하도록 하는 기술을 개발하고 변경된 부분에 대한 안전성활동 및 평가를 수행한다.
- 열차제어시스템 모듈화 기술개발의 경우 무선통신기반 열차제어시스템의 기능을 토대로 환경변화 또는 인터페이스 변화로 인해 변경되는 요소를 외부로 분리하고 변경되지 않은 요소만을 토대로 Kernel로 기능을 분배한다. 변경되는 요소는 가상 디바이스 인터페이스를 통해 필요시 결합할 수 있도록 시스템을 계층구조로 모듈화 하여 재설계한다. 모듈화에 따라 변경되는 요소에 대한 안전성 활동 및 평가를 수행한다.
- 열차제어시스템 모듈화 개발을 통해 개발 및 검증된 인터페이스 표준체계는 기 구축된 한국형 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계에 반영한다.
- 다양한 절체 모드 지원, 다양한 운영 모드 지원을 위한 관제시스템의 모듈화 설계를 기반으로 유연하고 확장성을 고려하고 기존 외국산 CBTC 시스템의 벤치마킹을 기반으로 국내 수요 기관의 요구사항을 반영하여 국내 실정에 맞는 최적 관제시스템을 개발한다.
- 기 개발하였거나 개발 중인 연구 성과물의 활용은 직접적인 관제분야에 관련된 연구 성과물의 활용과 열차운행의 효율성 향상에 관계되는 간접적인 연구 성과물까지 망라하여 검토하고 분석하여, 노후화된 기존 설비의 개량 최적화에 활용이 가능한 연구 내용 및 기술을 적극적으로 반영하는 방향으로 추진한다.
- 연구 성과의 목표에 대한 신뢰성과 성능 검증을 위하여 시제품에 대한 시험계획 및 절차를 수립한 후 개별 시스템에 대한 기능시험과 현장과 유사한 LAB TEST 환경에서 하드웨어와 소프트웨어에 대한 성능 검증을 확인하는 성능시험으로 구분하여 수행한다.
- 시스템 개발 공정에 걸쳐 요구하는 안전성 확보를 위해 IEC 국제규격에서 권고하는 안전성 분석을 수행한다. 안전성 분석은 Brain Storming, FMEA, FTA 등과 같은 안전성 분석기법을 적용하여 보다 체계화된 안전성 분석을 수행한다.
- 시스템의 안전성 수용을 위하여 안전성 증명 및 검증을 실시한다. 이는 시스템과 하부시스템 또는 구성요소와 모듈 등이 시스템 안전요구사항에 적합한지를 확인하는 과정으로서 시스템 안전성 수용을 위하여 이러한 모든 과정은 위험관리 결과 보고서로 제시한다.

9) 과제규모

- 연구개발비 : 총 130억원
- 총 연구기간 : 5년

<p>10) 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종성과물 <ul style="list-style-type: none"> - 관제 ATS - 열차제어시스템 차상 ATP/ATO - 열차제어시스템 지상 ATP/ATO - 관제 ATS 소프트웨어 - 열차제어 ATP/ATO 소프트웨어 - 열차제어 개량핵심기술 요구사항 분석서 - 관제 개량핵심기술 요구사항 분석서 - 열차제어시스템 설계서 - 관제시스템 설계서 - 열차제어시스템 안전성 활동 문서 - 관제시스템 안전성 활동 문서 ○ 활용방안 <ul style="list-style-type: none"> - 노후화된 운영노선을 개량하기 위해서 반드시 필요한 영업운영 중단 없는 열차운 영시스템의 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술을 개발함으로써 노후화된 국내 운영노선의 개량사업에 우선적으로 활용이 가능할 것으로 예상된다. - 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길 이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며, 본 과제가 계획대로 추진이 완료된다면 개발성과의 적용이 가능할 것으로 예상된다.
<p>11) 연구성과 의 확산 및 기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사회적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 도시철도 노후노선 개량시 안전하고 영업운영 중단 없는 개량가능 - 도시철도 노후노선의 적기 개량을 통해 노후화로 인한 유지보수 비용증가 및 장애발생에 따른 안전사고 위험 해소 ○ 경제적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 수입대체 효과: 기술개발 확보 시 국내 노후화된 노선을 대상으로 개량을 진행한 경우 약 1조 386억원의 수입대체 효과를 기대 <ul style="list-style-type: none"> 수입대체 효과 = 407.8km × 25.47억원/km = 10,386.67억원 ※철도시설공단 건설기준단가, 2012 - 시장진출 효과: 전 세계 철도신호통신 분야의 개량 및 유지보수 시장은 2011년을 기준으로 약 9.8조원이며 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측됨. 따라서 2015년 현재 본 연구개발을 통해 약 11조원 이상의 시장을 대상으로 경쟁이 가능할 것으로 기대 ※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI ○ 기술적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량에 필요한 설계 및 운영기술 확보: 시스템 개량전략 수립, 시스템 운영시나리오, 시스템 정의, 위험원 분석, 안전요구사항 수립, 안전한 개량 시스템

	<p>설계 및 검증과 같은 일련의 설계 및 개량노하우 확보가능</p> <ul style="list-style-type: none"> - 중단 없는 개량에 필요한 개량핵심기술 확보: 혼용운영 및 다양한 STO/DTO/UTO 등 자동화 레벨을 지원할 수 있는 관제 및 열차제어시스템의 개량핵심기술 확보 가능 <p>○ 파급효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 직접적 파급효과: 직접적 파급효과는 철도이용자 측면서 철도운영자 측면에서 고려가능하며 철도이용자 측면에서는 시간감소와 사고감소에 따른 파급효과를 예측할 수 있으며 철도운영자 측면에서는 수송량 증가에 따른 이득과 사고 고장률 감소에 따른 운영비용 절감 효과를 기대할 수 있음. - 간접적 파급효과: 간접적 파급효과는 철도 이용자 증가로 인해 타 교통수단의 운용비용이 절감될 수 있으며 도로 유지관리비 절감, 주차공간 기회비용 절감 과 같은 파급효과를 기대할 수 있음.
12) 연구유형	○ 실용화
13) 성과물 유형	○ 시제품 ○ 기준·지침 및 표준사양
14) 시장경쟁력 확보방안 및 실용화 방안	<p>○ 개량시스템 설계와 운영시나리오 및 개발요구사항 도출 과정에서 도시철도 운영기관의 사용자 요구사항에 대한 의견수렴을 위해 협의체 구성을 하여 단계별 의견수렴 수행하여 시장 경쟁력을 확보한다.</p> <p>○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피함에 따라 국내 노후 노선을 대상으로 개발기술의 실용화를 진행할 계획이다. 또한 국내 노선의 개량경험을 바탕으로 국외 시장진출을 모색할 계획이다.</p>
15) 목표 TRL 단계	<p>○ 현재 수준 : TRL 2</p> <p>○ 최종 목표 : TRL 9</p>
16) 제도개선 사항	<p>○ 시범노선 구축 성격에 합당하도록 테스트 베드에 구축된 시작품에 대한 소유권을 테스트 베드 선정노선에 기부체납 할 수 있도록 관련 제도 마련이 필요</p> <p>○ 노후시스템에 대한 개량기준에 대한 제도마련이 필요</p>

3. 3세부 과제 : UTO/DTO 적용기술 개발

[표 6.3.5] 3세부 연구개발 과제카드

1) 연구개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무선트래픽 스케줄링 시스템 개발 ○ UTO/DTO 안전장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 탈선검지장치 개발 - 정위치 정차율 모니터링 장치 개발 - PSD 끼임 검지장치 개발
2) 세부과제 개요	○ 철도 통합무선망은 한정된 주파수를 각 지역의 도시철도 운영기관, 한국철도공사, 한국철도시설공단, 연구기관, 민간기업 등이 공유하여 사용해야 한다. 또한 활용

되는 서비스도 현재의 이동통신사업자의 운영기준인 데이터, 음성, 영상 등으로 단순히 구분하여 운영하기보다는 철도 활용방안의 특성을 감안하여 우선순위를 반영한 트래픽 분배시스템을 개발할 필요가 있다.

- 기존 도시철도에서 무선을 활용한 분야는 VHF, TRS 통신방식을 활용하여 열차 운행관리를 위해 통화 등 일부에 한정되어 비교적 적은 대역폭으로 서비스가 가능했다. 2015년 2월에 확정된 공공통합망에 대한 통신방식은 LTE 방식으로 한정되어 있다. LTE 통신방식은 패킷기반으로 서비스되기 때문에 기존에 철도에서 활용해오던 방식인 전용채널을 할당하여 용도에 따라 전용으로 사용하게 할 수 없고, 실시간으로 의사결정으로 내려 트래픽을 분배하여야 한다.
- 철도 무선통신의 경우 향후 활용방안이 열차제어시스템, 차량 실시간 감시, 철도 시설물 모니터링, 철도지령망, 열차운행관리, 유지보수 등으로 다양할 뿐만 아니라, 각 세부시스템 내에서도 우선순위가 다양한 여러 세부기능이 존재하므로, 이들이 요구하는 트래픽을 실시간으로 서비스하기 위해서는 기존 이동통신사업자와는 차별화된 트래픽 분배시스템이 요구된다. 공공용으로 배정된 주파수는 이와 같은 철도의 특성을 원만히 반영할 수 있을 만큼의 충분한 대역폭이 아니다. 또한 미래 철도는 현재 예상할 수 있는 철도 통합무선망 기능 이외에 새로운 기술 발전으로 인한 추가 주파수 수요가 발생할 것으로 예상되어 이러한 특성을 반영한 시스템의 최적 운영이 무엇보다 중요하다. 하지만 철도용 주파수 확보가 사실화된 현재까지도 철도 통합무선망 구축을 위한 요소기술 연구나 장치 등 다양한 기술연구는 수행 중이나, 통합무선망 운영을 위한 필수요소인 무선트래픽 분배에 대한 연구는 진행되고 있지 않다. 이에 철도분야는 서비스 수요에 대한 빠른 대응을 위하여, 철도 통신망에 대한 무선트래픽 분배시스템 개발이 필요하다.
- 본 연구는 도시철도에서 무선기능을 활용할 것으로 예상되는 기능인 열차제어시스템, 차량 실시간 감시, 철도 시설물 모니터링, 철도지령망, 열차운행관리, 유지보수 등을 위한 무선트래픽 분배를 실시간으로 수행할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다. 무선트래픽 관리는 기본적으로 서비스하는 트래픽 양과 서비스 시점에 관한 시스템이다. 본 연구에서는 각 활용방안의 QoS를 정의하고, 요구하는 QoS를 최대한 만족시키기 위한 트래픽 분배시스템을 개발한다.
- DTO/UTO 운영은 기본적으로 운전실에 기관사가 존재하지 않는 것을 의미한다. DTO의 경우 운영자가 열차 안에 탑승은 하지만 운전실에 반드시 있어야 하는 것은 아니다. UTO의 경우 어떠한 운영자도 열차 안에 탑승하지 않는 시스템을 의미한다. 따라서 기관사가 담당하는 안전업무를 시스템에서 수용하여야 한다. 기관사의 안전업무는 크게 승객의 안전한 승하차, 열차상태, 그리고 열차 내 위급상황에 대한 감시와 대처로 볼 수 있다.
- 탈선 검지장치는 GOA3와 GOA4에 해당하는 열차에서는 필수적으로 설치된다. 즉 열차의 운전자가 없으므로 탈선시 시스템에서 열차의 비상제동을 자동적으로 체

결하여야 한다. 따라서 탈선상황을 자동으로 검지하고 이를 열차제어시스템 또는 차량의 비상제동체결 계전기등과 연동하여 비상제동이 체결될 수 있도록 탈선검지장치를 개발한다.

- PSD 끼임 검지장치의 경우 현재는 PSD 출입문에 다수의 레이저 센서를 이용하여 물체를 검지하도록 구성되어 있다. 하지만 하나의 PSD 출입문마다 설치되는 레이저 센서의 개수가 많아 고장에 따른 유지보수의 어려움을 가지고 있으며 레이저 센서의 발광부 표면에 먼지가 생기면 오작동을 일으키므로 항시 관리가 필요하다. 따라서 이러한 부분을 보완할 수 있도록 스캔방식 광각기반의 센서를 이용한 PSD 끼임 검지장치를 개발한다.
- 정위치 정차의 경우 특히 자동운전을 시행하는 운영기관에서 가장 고민이 되는 사항중 하나이다. DTO/UTO의 경우 정위치 정차에 실패한 경우 정위치 정차 확인용 지상자를 인식하지 못해 미주/과주 여부조차 판단하기 힘든 상황이 발생되기도 한다. 또한 날씨와 계절에 따라 정위치 정차율이 점차 변화하기 때문에 적절히 파라미터 조절이 필요하다. 따라서 정위치 정차율을 정확하게 분석하고 모니터링하며 더 나아가 정위치 정차 튜닝에 필요한 파라미터 생성을 해주는 장치를 개발한다.

무선 트래픽 스케줄링 시스템 개발

- ① 철도 통신망 활용방안 및 각 활용방안별 QoS(Quality of Service) 도출
 - 도시철도용 LTE-R 활용방안 연구
 - 도시철도용 LTE-R 활용방안 QoS 연구
- ② 도시철도용 무선통신망 입력트래픽/이동성 모형 적용방안 연구
 - 도시철도용 무선통신망 활용방안 기반 & 서비스 기반 입력트래픽 연구
 - 무선통신망에서 철도용 단말의 이동성 모형 연구
- ③ 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 개발
 - 활용방안별/서비스별 스케줄링 정책 개발
 - 무선자원 분배시스템 알고리즘 개발
 - 시뮬레이션을 통한 성능 검증
- ④ 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 개발사양서 작성
 - 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 사용자 요구기능 정의
 - 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 기능사양서 작성
 - 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 시스템사양서 작성
- ⑤ 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 구축 및 시범운영
 - 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 시범시스템 개발
 - 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 테스트

UTO/DTO 안전장치 개발

3) 주요 연구내용

- ① 탈선검지장치 개발
 - 시스템 요구사항 수립
 - 시스템 개발요구사항 도출
 - 시스템 설계/제작 및 시험
- ② PSD끼임 검지장치 개발
 - 시스템 요구사항 수립
 - 시스템 개발요구사항 도출
 - 시스템 설계/제작 및 시험
- ③ 정위치 정차 분석 및 모니터링장치 개발
 - 시스템 요구사항 수립
 - 시스템 개발요구사항 도출
 - 시스템 설계/제작 및 시험

4) 기술개발 및 산업/시장 동향

① 기술개발 동향

- 현재까지 개발된 무선통신 기반 열차제어 방식은 WLAN(OFDM), GSM-R(TDMA), WiMAX(OFDMA)와 같이 크게 3가지 방식으로 나타낼 수 있다. 특히 WiMax의 경우 WLAN이나 GSM-R과는 달리 상용화 되지 않은 Test Bed 수준으로, 적용이 진행 중이다.

무선전송방식	WLAN (OFDM)	GSM-R (TDMA)	WiMAX (OFDMA)
주파수 대역	2.4GHz	876~ 880, 921~925 MHz	2.3 GHz, 2.5GHz, 3.5GHz
대역폭	20MHz	(4MHz x 2)	100MHz
상용화	Las Vegas Monorail, 용인 ART-Metro 등 다수	Euro - Rail	대만 고속철, 유럽 등에서 인터넷 접속용으로 사용
표준화	IEEE 802.11x 기술을 Customize하여 사용	ERTMS, ETCS	IEEE 802.16x
장점	Unlicensed 주파수 저출력 저비용	세계 최초 광역 철도 제어 넓은 시장성	광역권 높은 전송 속도 4G 표준화 기술 (미래지향적) IP 기반, Data Centric 기술 (Redundancy 없음)
단점	Indoor Design 기술, 광역 철도로 부적합 Interference 문제 High Mobility 문제	낮은 전송 속도 (9.6kbps) TDM 기반, Voice Centric 기술 LTE로 발전 (실용화에 상당기간 필요)	TCS용으로 사용된 적 없음 (미국 PTC 시스템에서 Testbed로 사용)
기타	대부분 외국 기술 종속 (봄바르디어, 알카텔, 탈레스)	2017년까지 IP-based GSM-R 네트워킹 구축	700MHz Profile 표준화, 순수 국내 기술(IPR 확보)

주요 철도 제어용 무선통신 방식

- 전 세계적으로 상용화된 무선통신 기반 도시철도열차제어 시스템은 대부분 2.4 GHz 대역 ISM 밴드의 IEEE 802.11.x 사용하고 있으며, 세부적으로는 FHSS 또는 DSSS 방식 중의 하나를 사용하고 있다. 무선랜 기반 열차제어시스템은 1990년대 말에 시작되면서 대부분 FHSS 방식을 채택하고 있으나, 최근에는 DSSS 방식을 주로 사용하고 있는 추세이다. 무선랜(WLAN) 방식은 철도신호를 위한 전용주파수를 할당받아 사용하지 않고 비면허 주파수 대역을 이용함에 따라 새로운 주파수에 따른 주파수 확보 노력과 추가 하드웨어 개발의 부담이 없다는 특성이 있어, 도시형 철도시스템에서 주로 사용되고 있다. 현재 무선 랜에 가장 많이 사용

되는 표준화로는 2.4 GHz를 사용하는 IEEE 802.11.b/g 또는 5.8 GHz를 사용하는 IEEE 802.11.a이다. 초기에 사용되었던 IEEE 802.11 은 DSSS 나 FHSS 방식을 모두 지원하고 있으나 최대 전송속도가 1Mbps인 반면에, IEEE 802.11.a/b/g 등은 전송속도가 11Mbps 에서 54Mbps 까지 가능하다.

- 1993년에 세계적인 철도협력기구인 국제철도연맹 UIC(Union Internationale des Chemins de fer)가 창설되어 신규 철도통신시스템을 결정하게 되었다. 결정 내용은 TETRA를 사용하지 않고, 기존의 GSM을 수정한 GSM-R 기술을 사용하는 것이었다. 그 결과 유럽 내 24개 국가의 32개 철도업체가 GSM-R 망을 설치하는 것으로 동의하고, GSM-R은 1999년에 ETSI에서 규격화되고, EIRENE에서는 2000년에 규격화되었다. GSM-R은 GSM 표준에 기반하며, 기존 GSM 주파수대역 하부의 주파수를 사용한다. GSM-R은 TDMA 시스템이며 회선교환방식에 의하여 14.4 kbps까지 음성 및 데이터 접속을 지원한다. 기본적인 GSM 기능 외에, 높은 보안 요구사항에 의한 추가적인 기능이 GSM-R에 부가되었다. GSM-R은 업링크, 다운링크 주파수 대역이 각각 876-915MHz와 921-960MHz로 규정되어 있다.
- NOKIA는 GSM-R 장비를 유럽을 비롯한 다수 국가에 구축하고 있는 업체로서, 차세대 철도 통신시스템의 로드맵으로 UIC ERTMS Congress 2014 자료를 근거로 하여 GSM-R이 현재에도 새롭게 구축되고 있으므로 2022년 이후까지 유지보수가 가능할 것으로 기대하고 있다. 또한 NOKIA는 GSM-R을 대체할 차세대 철도 통신시스템은 현재 방식 선정중이며, 2016년경에 운영요구사항 도출, 2017년에 기술요구사항 도출, 2018년에 상세시스템 설계, 2020년에 시범운영, 2022년에 차세대 통신방식으로의 예상하고 있다.
- 유럽을 중심으로한 철도시장은 GSM-R 이후의 통신방식을 활용한 다양한 활용방안 연구가 진행 중이며, 차세대 철도 통신방식은 LTE를 포함한 4세대 통신 또는 5세대 통신으로 예상하며 GSM에서 활용가능한 음성과 데이터 뿐만아니라 영상을 이용하는 다양한 방안을 제안하고 있다.
- 국내의 경우 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010~2014) 과제에서 LTE 기반 철도 무선통신망을 개발하여 부산교통공사에 첫 상용화를 준비중에 있다.

② 산업/시장 동향

- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 신규 개발 및 업그레이드 (New development and upgrade market) 시장은 2011년 약 64.1억 유로 (약 9.2조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.5% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI).
- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 개량 및 유지보수 (Renewal and Maintenance) 시장의 경우 2011년 약 68.2억 유로(약 9.8조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide

	<p>Market for railway technology, 2012, 독일 SCI).</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 철도 신호제어에 대한 5대 글로벌 기업 중에서, Siemens, Ansaldo, Thales 등 3개 기업이 Top 10에 들어가 있다. Alstom과 Bombardier는 각각 10위와 15위 수준을 나타낸다. 이외에도 중국 CRSC, 러시아 Elteza, 체코 AZD Paraha 등의 국영기업, 일본 Kyosan, Daido Signal이 높은 경쟁력을 나타낸다. Siemens가 17억 유로/年 이상의 신호제어 매출규모를 보이는 등 가장 높은 경쟁력을 갖는 것으로 판단된다. 한국 LS산전은 1.2억 유로/年の 매출을 보인다(※ 출처 : SCI Verkehr GmbH (2014), Worldwide Manufactures of Rail Infrastructure 2014). ○ 열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템 개량 분야 특히 출원/공개 추이를 통해 시장 발전단계 위치를 추정해 보면 현재 성장기에 있는 기술 분야로 판단할 수 있다.
<p>5) 기존기술 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가 (2010~2014) 과제에서 개발한 철도 무선통신망에 개발된 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템을 반영하여 활용할 계획이다.
<p>6) 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열차운영시스템의 노후화로 인해 고장 및 장애발생률이 증가하게 되어 안전사고의 위험성이 높아지고 있으며 최근 노후시스템 개량 중 발생한 사고사례를 비추어 볼 때 시스템 개량시 안전사고 발생위험을 저감할 수 있는 최적의 개량기술이 요구된다. ○ 노후화가 진행되면서 노후장비의 고장과 부품 수급의 문제 등으로 인해 막대한 유지보수 비용이 발생하게 되므로 적기에 시스템 개량을 통한 운영기관의 경영개선이 필요하다. ○ 국내 도시철도이용객 현황을 보면 해마다 증가하고 있으며 증가하는 수송량을 대처하기 위해 더 높은 수송량을 가질 수 있도록 열차운영시스템의 개량이 필요한 실정이다. ○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 노후화로 인한 안전성 및 신뢰성이 저하되고 있어 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피한 실정이다. ○ 현재 국내의 경우 열차운영시스템의 중심인 열차제어시스템은 국외 메이저 제작사에 의해 종속되어 있으며 노후화된 시스템 개량에 필요한 설계, 전략 및 검증에 대한 기술과 노하우가 부족하다. <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 외국시스템이 도입·운영됨에 따라 상호 호환성과 유지보수의 비효율성으로 운영에 막대한 지장을 초래 ○ 개량기술은 아래와 같은 제약조건으로 인해 신설기술에 비해 훨씬 더 높은 수준의 기술적 난이도가 요구되며 이로 인해 개량 중 안전사고 발생위험이 매우 높다. <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량시 영업운영에 지장을 주어서는 안 되며 동시에 안전성을 확보

	<ul style="list-style-type: none"> - 설치 및 테스트 시간이 영업운영 종료 이후인 야간에 - 기존의 운영절차에 최소한의 영향 - 웨도우 모드, 혼용운영 및 無 중단 시스템절체 지원 <p>○ 따라서 위에서 언급한 제약사항을 고려하면서도 개량시 안전성, 신뢰성, 효율성을 확보할 수 있도록 최적의 개량기술 개발과 기술기준 정립을 위한 연구가 필요하다.</p>
<p>7) 정부지원 타당성</p>	<p>○ 도시철도 열차운영설비 노후화는 각종 장애와 사고의 원인을 제공하고, 열차운행의 안전성과 신뢰성을 저하시키며, 이용시민의 안전을 위협할 수 있어 체계적인 대체개량을 위한 연구와 관련 기술(H/W, S/W) 개발이 필수적이다. 따라서 국내기술력에 의한 개량 최적화 연구를 통하여 외국으로의 국부유출을 방지하고, 도시철도 산업 발전에 기여할 수 있으므로 국가 차원의 지원이 필요하다.</p> <p>○ 국토교통부 2015년 부문별 예산현황에서 철도 및 도시철도 예산은 '14년 68,032억 원에서 '15년 안 73,026억 원, 4,994억 원이 증가되었고 지속적으로 확대할 예정이다. 20년 이상 나이를 먹어가는 도시철도 장비들의 수는 점차 늘어나고 있는 현 시점이 본 연구의 가치가 매우 높다고 할 수 있으며, 필수적으로 요구되는 연구 부문이다(※ 국토교통부 부문별 예산안, 2015).</p> <p>○ 국내 도시철도 안전관련 무선통신 방식은 노선별로 상이하여 비효율적으로 운영되고 있어 도시철도전용 무선통신망 도입에 따른 사고예방 및 신속대응으로 대형 도시철도사고, 테러 등에 대한 도시철도의 보안·안전성 강화, 정시성 향상 및 고품질 여객서비스를 위하여 국가차원의 지원이 필요하다.</p> <p>○ 도시철도시스템의 개량에 필요한 기술개발은 어느 특정 노선, 운영기관에 국한된 문제가 아니라 전체 국내 도시철도운영기관이 당면한 과제이며 개개 운영노선에서 수행하기에는 막대한 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라 각각 운영노선마다 수행함으로써 중복투자가 발생될 우려가 발생됨. 따라서 정부차원에서 시스템 최적의 개량에 필요한 핵심요소기술에 대한 연구개발을 수행하고 그 연구 성과를 각 운영기관의 특성에 맞도록 적용하는 것이 바람직하다.</p>
<p>8) 기술 확보 및 추진전략</p>	<p>○ 철도 통합무선망 및 무선망 관리, 주파수 운영 관련 국내외 현황을 면밀히 조사 분석한다.</p> <p>○ 정부정책 및 계획, 연구기관 및 학계, 기업 등의 철도 통합무선망에 대한 기 수행 연구, 향후 수행하고자 하는 연구 등에 대하여 광범위하게 조사 분석한다.</p> <p>○ 기존 공공주파수 운영기관들의 사례연구 및 철도·통신 관련 규정연구 등을 통해 다양한 요구사항을 도출하고 검증한다.</p> <p>○ 자문단을 포함하여 세미나, 기술토론회 등을 통하여 각계 의견을 수집, 분석, 수렴하여 보완한다.</p> <p>○ 국내 철도운영 현장에서 필요로 하는 철도 통합무선망 활용방안과 방안별 요구사항에 대한 통신망 성능분석을 위한 QoS 도출하여 성능지표를 개발하고 지표 상관관계 분석을 통한 검증 및 관련 규정·지침과의 정합성 분석한다.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 통합무선망의 통신방식 규격 및 통신 트래픽 분석을 통하여 무선트래픽 분배 알고리즘을 개발하고 철도 이동성 모형의 무선트래픽 스케줄링 시뮬레이션 수행 및 보완을 통한 무선트래픽 분배시스템 개발한다. ○ 국내외 UTO 및 DTO 사례를 대상으로 안전설비의 현황을 조사하고 각 설비에 대한 기능 및 성능목표를 수립한다. ○ 각각의 안전설비에 해당하는 기능에 따라 열차제어시스템 VDI와의 인터페이스 사양을 결정한다.
<p>9) 과제규모</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구개발비 : 총 55억원 ○ 총 연구기간 : 5년
<p>10) 기술개발 최종성과물 및 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종성과물 <ul style="list-style-type: none"> - 무선자원 분배시스템 - 탈선 검지장치 - PSD 끼임 검지 - 정위치 정차 분석 및 모니터링시스템 - 무선트래픽 분배 소프트웨어 - 정위치 정차 분석 및 모니터링 소프트웨어 - PSD 끼임 검지알고리즘 - 탈선 검지알고리즘 - 철도 통신망 활용방안별 QoS 분석 - 무선통신망 활용방안 및 서비스기반 입력트래픽 분석 - 무선통신망 철도단말 이동성 모형 분석 - 활용방안 및 서비스별 스케줄링 정책 - 시뮬레이션 설계서 - 무선통신망 시험평가 절차 및 분석서 - 무선통신망 무선자원 분배시스템 개발사양 - 탈선검지장치 개발요구사양 - PSD 끼임 검지장치 개발요구사양 - 정위치정차 분석 및 모니터링시스템 개발요구사양 - 탈선검지장치 시험평가 분석서 - PSD 끼임 검지장치 시험평가 분석서 - 정위치 정차 분석 및 모니터링시스템 시험평가 분석서 ○ 활용방안 <ul style="list-style-type: none"> - 복수의 사용기관마다 복수의 활용방안 및 서비스에서 발생하는 무선트래픽 수요에 최적의 QoS를 보장하도록 빠른 대응이 가능하다. - 노후화된 운영노선을 개량하기 위해서 반드시 필요한 영업운영 중단 없는 열차운 영시스템의 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술을 개발함으로써 노후화된 국내

	<p>운영노선의 개량사업에 우선적으로 활용이 가능할 것으로 예상된다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며, 본 과제가 계획대로 추진이 완료된다면 개발성과의 적용이 가능할 것으로 예상된다.
<p>11) 연구성과의 확산 및 기대효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사회적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 도시철도 노후노선 개량시 안전하고 영업운영 중단 없는 개량가능 - 도시철도 노후노선의 적기 개량을 통해 노후화로 인한 유지보수 비용증가 및 장애발생에 따른 안전사고 위험 해소 ○ 경제적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 수입대체 효과: 기술개발 확보 시 국내 노후화된 노선을 대상으로 개량을 진행한 경우 약 1조 386억원의 수입대체 효과를 기대 <ul style="list-style-type: none"> 수입대체 효과 = 407.8km × 25.47억원/km = 10,386.67억원 ※철도시설공단 건설기준단가, 2012 - 시장진출 효과: 전 세계 철도신호통신 분야의 개량 및 유지보수 시장은 2011년을 기준으로 약 9.8조원이며 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측됨. 따라서 2015년 현재 본 연구개발을 통해 약 11조원 이상의 시장을 대상으로 경쟁이 가능할 것으로 기대 ※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI ○ 기술적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량에 필요한 설계 및 운영기술 확보: 시스템 개량전략 수립, 시스템 운영시나리오, 시스템 정의, 위험원 분석, 안전요구사항 수립, 안전한 개량 시스템 설계 및 검증과 같은 일련의 설계 및 개량노하우 확보가능 - 중단 없는 개량에 필요한 개량핵심기술 확보: 혼용운영 및 다양한 STO/DTO/UTO 등 자동화 레벨을 지원할 수 있는 관제 및 열차제어시스템의 개량핵심기술 확보 가능 ○ 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> - 직접적 파급효과: 직접적 파급효과는 철도이용자 측면서 철도운영자 측면에서 고려가능하며 철도이용자 측면에서는 시간감소와 사고감소에 따른 파급효과를 예측할 수 있으며 철도운영자 측면에서는 수송량 증가에 따른 이득과 사고 고장률 감소에 따른 운영비용 절감 효과를 기대할 수 있음. - 간접적 파급효과: 간접적 파급효과는 철도 이용자 증가로 인해 타 교통수단의 운용비용이 절감될 수 있으며 도로 유지관리비 절감, 주차공간 기회비용 절감 과 같은 파급효과를 기대할 수 있음.

12) 연구유형	○ 실용화
13) 성과물 유형	○ 시제품
14) 시장경쟁력 확보방안 및 실용화 방안	○ 개량시스템 설계와 운영시나리오 및 개발요구사항 도출 과정에서 도시철도 운영 기관의 사용자 요구사항에 대한 의견수렴을 위해 협의체 구성을 하여 단계별 의견수렴 수행하여 시장 경쟁력을 확보한다. ○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피함에 따라 국내 노후 노선을 대상으로 개발 기술의 실용화를 진행할 계획이다. 또한 국내 노선의 개량경험을 바탕으로 국외 시장진출을 모색할 계획이다.
15) 목표 TRL 단계	○ 현재 수준 : TRL 2 ○ 최종 목표 : TRL 9
16) 제도개선 사항	○ 시범노선 구축 성격에 합당하도록 테스트 베드에 구축된 시제품에 대한 소유권을 테스트 베드 선정노선에 기부체납 할 수 있도록 관련 제도 마련이 필요 ○ 노후시스템에 대한 개량기준에 대한 제도마련이 필요

4. 4세부 과제 : 개량시스템 기능 및 성능평가

[표 6.3.6] 4세부 연구개발 과제카드

1) 연구개발 목표	○ 테스트 베드 공모 및 선정평가 ○ 시험평가 인프라 구축 ○ 계측시스템 구축 ○ 시험평가 및 시범운영
2) 세부과제 개요	○ 테스트 베드의 선정과 함께 선정된 테스트 베드에 차·지상 개량시스템을 구축한다. 노선에 적합한 개량 전략에 따라서 구축계획을 수립하여 차상과 지상에 각각 개량시스템을 구축한다. 시험평가의 경우 기존의 궤도회로 방식의 STO 운영모드의 도시철도 열차운영시스템을 시작으로 신규 무선통신기반 열차제어시스템의 DTO/UTO 운영모드로의 열차운영시스템으로의 개량이 영업운영 중단 없이 이루어질 수 있도록 관련기능과 성능에 대한 시험평가가 이루어져야 한다. ○ 개량 전략이 mixed operation의 경우 개량시스템은 야간에 신규 지상설비의 설치 및 시험, 주간에 신규지상설비에 대한 shadow mode 테스트, 야간에 신규 차상설비의 설치 및 시험, 주간에 신규 및 이전설비와의 혼용운영 테스트, 무선통신기반 열차제어시스템 성능테스트로 구분된다. 개량 전략이 switched operation인 경우 개량시스템은 야간에 신규 지상설비 및 신규 차상설비 설치 및 시험, 야간에 신규설비에 대한 통합테스트, 시스템이 안정된 성능을 보이는 경우 주간에 신규설비로 운영하는 순으로 진행된다.

<p>3) 주요 연구내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① 시스템 시험평가 계획수립 <ul style="list-style-type: none"> ○ 시험평가 일정계획 수립 ○ 시험평가 항목 및 평가기준 정의 ○ 시험평가 방법 도출 <ul style="list-style-type: none"> - shadow mode - switched/mixed operation 등 ○ 시험 절차서 작성 <ul style="list-style-type: none"> - shadow mode - switched/mixed operation 등 ② 테스트베드 구축 <ul style="list-style-type: none"> ○ 차·지상 개량시스템 배치 및 결선도 작성 ○ 차·지상 개량시스템 구축 <ul style="list-style-type: none"> - 지상설비 구축 - 차량설비 개조 및 구축 ○ 차·지상 개량시스템 통합 ③ 시스템 시험평가 <ul style="list-style-type: none"> ○ 하부시스템 시험 ○ 종합 시스템 시험 <ul style="list-style-type: none"> - shadow mode 등 ○ 시스템 기능시험 및 평가 <ul style="list-style-type: none"> - switched/mixed operation 등 ○ 시스템 성능시험 및 평가 <ul style="list-style-type: none"> - switched/mixed operation 등 ④ 계측시스템 제작 <ul style="list-style-type: none"> ○ 시스템 요구사항 수립 ○ 시스템 제작사양 도출 ○ 차·지상 계측장치 설계 및 제작 ○ 차·지상 계측장치 설치 및 시험
<p>4) 기술개발 및 산업/시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① 기술개발 동향 <ul style="list-style-type: none"> ○ 국외의 경우 대표적인 개량 프로젝트인 파리 1호선의 무인화 프로젝트를 비롯해서 다양한 기존선 개량 프로젝트가 성공적으로 진행되었음을 알 수 있다. 특히 파리 1호선의 경우 개량의 성공요인으로 165가지에 달하는 정확한 리스크 분석과 예측을 수행하였다는 점이고 시스템에 대한 해박한 지식과 풍부한 공학적 경험을 가지고 있다는 점이다. ○ 영업노선에서 시험하는 시간을 단축하기 위해 정교하고 광범위한 시뮬레이터 툴을 이용하였으며, 또한 2008년부터 2011년까지 Valenciennes에 전용 시험선을 활

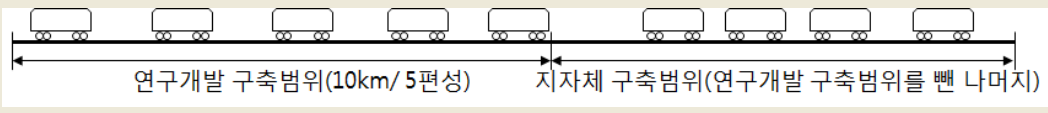
용하여 신규 시스템을 탑재한 차량의 테스트를 수행하였다.

- 노선개량 방향을 보면 개량 이전에는 fixed block 방식의 STO 운영모드에서 개량 이후에는 moving block 방식의 STO/DTO/UTO 모드로 개량화가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 개량시 STO/DTO/UTO운영모드의 선택은 해당 노선의 운영기관의 선택사항이며 기술적 제약사항은 아님을 알 수 있다.
- 국외 개량사례의 성공의 밑바탕에는 선진 철도시스템 제작사의 migration solution이 있었기에 가능하였다. Ansaldo, Siemens, Thales, Alstom, Bombardier 등과 같은 국외 철도 메이저 회사에서는 최적의 개량 솔루션을 개발하였다.
- Alstom의 경우 URBALIS 400이라는 CBTC solution에서 mixed traffic을 지원하고 있으며, Thales CBTC의 경우 점차적인 overlay solution을 제공하기 위해서 상호 호환성 및 mixed-mode 요구사항을 반영하여 개발하였다. 또한 DTO/UTO를 위해서 scalable한 디자인으로 다양한 안전설비와 인터페이스 가능하도록 개발하였다. 마찬가지로 Ansaldo STS의 CBTC, Siemens의 Trainguard MT, GE의 Tempo CBTC solution도 mixed operation을 위한 resignalling solution을 제공하고 있으며 다양한 환경에 적용하기 위한 높은 수준의 flexibility와 scalability를 제공하고 있다.

② 산업/시장 동향

- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 신규 개발 및 업그레이드 (New development and upgrade market) 시장은 2011년 약 64.1억 유로(약 9.2조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.5% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI).
- 철도 신호통신(Control command and signalling) 분야 전세계 개량 및 유지보수 (Renewal and Maintenance) 시장의 경우 2011년 약 68.2억 유로(약 9.8조원)이며, 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측된다(※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI).
- 철도 신호제어에 대한 5대 글로벌 기업 중에서, Siemens, Ansaldo, Thales 등 3개 기업이 Top 10에 들어가 있다. Alstom과 Bombardier는 각각 10위와 15위 수준을 나타낸다. 이외에도 중국 CRSC, 러시아 Elteza, 체코 AZD Paraha 등의 국영기업, 일본 Kyosan, Daido Signal이 높은 경쟁력을 나타낸다. Siemens가 17억 유로/年 이상의 신호제어 매출규모를 보이는 등 가장 높은 경쟁력을 갖는 것으로 판단된다. 한국 LS산전은 1.2억 유로/年の 매출을 보인다(※ 출처 : SCI Verkehr GmbH (2014), Worldwide Manufactures of Rail Infrastructure 2014).
- 열차운행의 안전성 및 효율성 향상을 위한 도시철도 열차운영시스템 개량 분야 특히 출원/공개 추이를 통해 시장 발전단계 위치를 추정해 보면 현재 성장기에 있는 기술 분야로 판단할 수 있다.

<p>5) 기존기술 활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국토교통부 국가연구개발사업인 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010~2014) 과제에서 개발한 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System)의 열차제어시스템 안전성 활동 및 평가기술과 열차제어시스템 표준체계를 활용하여 개량시스템 설계에 활용할 계획이다. ○ 또한 同 과제에서 개발한 철도 무선통신망을 이용하여 개량시스템의 통신망 설계에 활용할 계획이다.
<p>6) 기술개발 필요성</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열차운영시스템의 노후화로 인해 고장 및 장애발생률이 증가하게 되어 안전사고의 위험성이 높아지고 있으며 최근 노후시스템 개량 중 발생한 사고사례를 비추어 볼 때 시스템 개량시 안전사고 발생위험을 저감할 수 있는 최적의 개량기술이 요구된다. ○ 노후화가 진행되면서 노후장비의 고장과 부품 수급의 문제 등으로 인해 막대한 유지보수 비용이 발생하게 되므로 적기에 시스템 개량을 통한 운영기관의 경영개선이 필요하다. ○ 국내 도시철도이용객 현황을 보면 해마다 증가하고 있으며 증가하는 수송량을 대처하기 위해 더 높은 수송량을 가질 수 있도록 열차운영시스템의 개량이 필요한 실정이다. ○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 노후화로 인한 안전성 및 신뢰성이 저하되고 있어 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피한 실정이다. ○ 현재 국내의 경우 열차운영시스템의 중심인 열차제어시스템은 국외 메이저 제작사에 의해 종속되어 있으며 노후화된 시스템 개량에 필요한 설계, 전략 및 검증에 대한 기술과 노하우가 부족하다. <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 외국시스템이 도입·운영됨에 따라 상호 호환성과 유지보수의 비효율성으로 운영에 막대한 지장을 초래 ○ 개량기술은 아래와 같은 제약조건으로 인해 신설기술에 비해 훨씬 더 높은 수준의 기술적 난이도가 요구되며 이로 인해 개량 중 안전사고 발생위험이 매우 높다. <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량시 영업운영에 지장을 주어서는 안 되며 동시에 안전성을 확보 - 설치 및 테스트 시간이 영업운영 종료 이후인 야간에 - 기존의 운영절차에 최소한의 영향 - 쉬도우 모드, 혼용운영 및 無 중단 시스템절체 지원 ○ 따라서 위에서 언급한 제약사항을 고려하면서도 개량시 안전성, 신뢰성, 효율성을 확보할 수 있도록 최적의 개량기술 개발과 기술기준 정립을 위한 연구가 필요하다.
<p>7) 정부지원</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 도시철도 열차운영설비 노후화는 각종 장애와 사고의 원인을 제공하고, 열차운행

<p style="text-align: center;">타당성</p>	<p>의 안전성과 신뢰성을 저하시키며, 이용시민의 안전을 위협할 수 있어 체계적인 대체개량을 위한 연구와 관련 기술(H/W, S/W) 개발이 필수적이다. 따라서 국내기술력에 의한 개량 최적화 연구를 통하여 외국으로의 국부유출을 방지하고, 도시철도 산업 발전에 기여할 수 있으므로 국가 차원의 지원이 필요하다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 국토교통부 2015년 부문별 예산현황에서 철도 및 도시철도 예산은 '14년 68,032억 원에서 '15년 안 73,026억 원, 4,994억 원이 증가되었고 지속적으로 확대할 예정이다. 20년 이상 나이를 먹어가는 도시철도 장비들의 수는 점차 늘어나고 있는 현 시점이 본 연구의 가치가 매우 높다고 할 수 있으며, 필수적으로 요구되는 연구 부문이다(※ 국토교통부 부문별 예산안, 2015). ○ 국내 도시철도 안전관련 무선통신 방식은 노선별로 상이하여 비효율적으로 운영되고 있어 도시철도전용 무선통신망 도입에 따른 사고예방 및 신속대응으로 대형 도시철도사고, 테러 등에 대한 도시철도의 보안·안전성 강화, 정시성 향상 및 고품질 여객서비스를 위하여 국가차원의 지원이 필요하다. ○ 도시철도시스템의 개량에 필요한 기술개발은 어느 특정 노선, 운영기관에 국한된 문제가 아니라 전체 국내 도시철도운영기관이 당면한 과제이며 개개 운영노선에서 수행하기에는 막대한 비용과 시간이 소요될 뿐만 아니라 각각 운영노선마다 수행함으로써 중복투자가 발생될 우려가 발생됨. 따라서 정부차원에서 시스템 최적의 개량에 필요한 핵심요소기술에 대한 연구개발을 수행하고 그 연구 성과를 각 운영기관의 특성에 맞도록 적용하는 것이 바람직하다.
<p>8) 기술 확보 및 추진전략</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 본 과제는 노후화된 도시철도 운영노선을 영업운행의 중단 없이 신규시스템으로 개량을 목표로 하고 있다. 따라서 테스트베드는 노후화로 인해 개량이 필요하고 개량 계획을 가지고 있는 영업노선을 대상으로 선정되어야 한다. ○ 테스트 베드 구축은 노선 10Km, 차량은 5편성(열차제어시스템 개조)에 해당하는 비용을 연구개발비로 지원하되 개량에 대한 검증을 위해서는 전체 노선에 대한 개량이 이루어져야 가능하므로 해당 노선의 투자 금액으로 나머지 노선과 차량에 대한 개량이 함께 이루어져야 한다. <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">DTO/UTO 테스트 베드 구축방향</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ○ 따라서 테스트 베드 선정시 개량계획을 가진 노선이 우선시 되어야 하며 개량에 대한 의지와 함께 투자 금액의 여부도 선정 고려대상이 되어야 한다.
<p>9) 과제규모</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구개발비 : 총 188억원 ○ 총 연구기간 : 5년
<p>10) 기술개발 최종성과물 및</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종성과물 - 차상 무선통신장치

<p style="text-align: center;">활용방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 차상 계측시스템 - 지상 계측시스템 - TI (전자연동장치) - 지상 백본망 - 지상 무선통신망 - 계측용 소프트웨어 - 테스트 베드 노선선정 계획서 - 테스트 베드 노선선정 평가서 - 차상 인프라 설계서 - 시스템 배치도, 결선도, 설치도 - 지상 인프라 설계(시스템 배치도, 결선도, 설치도) - 시스템 종합 시험계획서 - 기능 시험절차서 - 기능 시험평가서 - 인터페이스 시험절차서 - 인터페이스 시험평가서 - 시스템 시범운영 계획서 - 시스템 시범운영 보고서 <p>○ 활용방안</p> <ul style="list-style-type: none"> - 노후화된 운영노선을 개량하기 위해서 반드시 필요한 영업운영 중단 없는 열차운 영시스템의 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술을 개발함으로써 노후화된 국내 운영노선의 개량사업에 우선적으로 활용이 가능할 것으로 예상된다. - 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길 이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며, 본 과제가 계획대로 추진이 완료된다면 개발성과의 적용이 가능할 것으로 예상된다.
	<p>11) 연구성과의 확산 및 기 대효과</p>

	<p>※철도시설공단 건설기준단가, 2012</p> <ul style="list-style-type: none"> - 시장진출 효과: 전 세계 철도신호통신 분야의 개량 및 유지보수 시장은 2011년을 기준으로 약 9.8조원이며 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측됨. 따라서 2015년 현재 본 연구개발을 통해 약 11조원 이상의 시장을 대상으로 경쟁이 가능할 것으로 기대 ※ 출처 : Worldwide Market for railway technology, 2012, 독일 SCI <ul style="list-style-type: none"> ○ 기술적 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개량에 필요한 설계 및 운영기술 확보: 시스템 개량전략 수립, 시스템 운영시나리오, 시스템 정의, 위험원 분석, 안전요구사항 수립, 안전한 개량 시스템 설계 및 검증과 같은 일련의 설계 및 개량노하우 확보가능 - 중단 없는 개량에 필요한 개량핵심기술 확보: 혼용운영 및 다양한 STO/DTO/UTO 등 자동화 레벨을 지원할 수 있는 관제 및 열차제어시스템의 개량핵심기술 확보 가능 ○ 파급효과 <ul style="list-style-type: none"> - 직접적 파급효과: 직접적 파급효과는 철도이용자 측면서 철도운영자 측면에서 고려가능하며 철도이용자 측면에서는 시간감소와 사고감소에 따른 파급효과를 예측할 수 있으며 철도운영자 측면에서는 수송량 증가에 따른 이득과 사고 고장률 감소에 따른 운영비용 절감 효과를 기대할 수 있음. - 간접적 파급효과: 간접적 파급효과는 철도 이용자 증가로 인해 타 교통수단의 운용비용이 절감될 수 있으며 도로 유지관리비 절감, 주차공간 기회비용 절감 과 같은 파급효과를 기대할 수 있음.
12) 연구유형	○ 실용화
13) 성과물	○ 기준·지침
유형	○ 시제품
14) 시장경쟁력 확보 방안 및 실용화 방안	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개량시스템 설계와 운영시나리오 및 개발요구사항 도출 과정에서 도시철도 운영기관의 사용자 요구사항에 대한 의견수렴을 위해 협의체 구성을 하여 단계별 의견수렴 수행하여 시장 경쟁력을 확보한다. ○ 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피함에 따라 국내 노후 노선을 대상으로 개발기술의 실용화를 진행할 계획이다. 또한 국내 노선의 개량경험을 바탕으로 국외 시장진출을 모색할 계획이다.
15) 목표 TRL 단계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 수준 : TRL 2 ○ 최종 목표 : TRL 9
16) 제도개선 사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시범노선 구축 성격에 합당하도록 테스트 베드에 구축된 시제품에 대한 소유권을 테스트 베드 선정노선에 기부체납 할 수 있도록 관련 제도 마련이 필요 ○ 노후시스템에 대한 개량기준에 대한 제도마련이 필요

제 5절 테스트 베드구축 계획수립

1. 테스트 베드 선정기준

테스트 베드 기능과 규모, 선정방법과 절차를 도출하였다. 테스트 베드의 기능은 연구성과에 대한 객관적 검증이 가능한 노선이며, 성과물 적용을 통해 개량 최적기술을 검증하고 향후 기존선 개량에 대한 성공적 모델로 활용할 수 있어야 한다.

테스트 베드 규모는 연구 성과물에 대한 객관적인 검증절차를 수행할 수 있는 노후노선으로써 다음을 포함한다.

- 차량 : 5편성 개조 → 혼용운영 시험
- 노선 : 10Km 구축(회차역 및 기지 포함가능)

테스트 베드 선정방법은 공개경쟁이 가장 바람직하며, 본 과제 참여하는 운영기관을 대상으로 후보 지원을 받은 후 평가 기준에 의하여 평가위원회 심의평가에 따라 시험선을 선정하는 방향으로 진행하는 것이 공정하다. 테스트 베드 선정 추진을 위한 기본 계획을 수립하며 후보 선정방식에 대하여 전문기관과 사전협의를 하며, 이후 Test Bed 구축을 위한 각 분야별 요구사항을 도출하여 심사평가표를 작성하고 이에 대한 전문가 자문을 거쳐 보완 절차를 거친다. 이후 심사 평가위원회를 구성한 후 후보 기관들이 제안서 제출 및 발표를 하며 이를 기반으로 현장조사를 수행하여 적격성을 심사 평가한 후 최종 후보지를 선정한다. 테스트 베드 선정과 관련한 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 397~400]에 제시하였다.

2. 테스트 베드 평가방법

테스트 베드 평가방법은 사업목적에 대한 적합성, 유치기관 추진계획의 적정성, 테스트 베드 활용계획의 적정성, 주요 연구 성과물 테스트 베드 적합성 여부를 종합적으로 판단하여 평가한다. 테스트 베드 평가방법에 대한 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 401~403]에 제시하였다.

3. 기관별 역할 정립 및 추진전략

운영기관별로 담당분야를 책정하며 이후 선정된 운영기관의 요구사항 도출시부터 구축 과정에 적극적으로 원격 또는 직접 참여함으로써 Test Bed 구축에 직/간접 도움을 주며, 이 후 각 운영기관별로 요구사항을 분석 연구하여 각 기관별 최적의 요구사항을 도출한다. 기관별 역할 정립과 테스트 베드 추진전략에 대한 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 403~407]에 제시하였다.

제 6절 단계별·연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 단계별·연차별 기술로드맵

아래 단계별·연차별 로드맵에서와 같이 본 과제는 5차 년도로 구성되며 각 차년도 연구기간은 12개월이다. 따라서 총 연구기간은 5년이고 1단계 3년은 시스템 개발을 수행하고 2단계 2년은 현장시험 및 평가를 수행한다. 1세부 과제는 개량시스템 전체에 대한 개량 전략 및 절차를 수립하고 요구사항 분석과 개량시스템에 대한 운영시나리오를 수립한다. 개량시스템에 대한 전체 설계와 안전성 활동 및 평가를 수행한다. 부족한 현장시험시간을 보충하기 위해 개발품에 대한 사전 검증용으로 시뮬레이터를 개발한다. 2세부 과제에서 개발하는 열차제어시스템과 관제시스템에 대한 안전성 평가는 1세부 과제 내에서 수행한다. 2세부 과제는 각각 열차제어시스템과 관제시스템의 개량핵심기술을 개발하고 개발품을 현차 또는 현장에 설치하여 시험평가를 수행한다. 또한 이에 대한 안전성활동 체계를 수립하고 안전성 활동을 수행한다. 3세부 과제는 무선트래픽 스케줄링 시스템을 개발하고 UTO/DTO 안전장치를 개발한다. 개발품을 현차 또는 현장에 설치하여 시험평가를 수행한다. 4세부 과제는 테스트 베드를 공모하고 선정평가를 수행한다. 또한 선정된 노선을 대상으로 차상과 지상 시험 인프라를 구축한다. 지상의 경우 기지 1km구간과 본선 10km구간이 대상이며 차상의 경우 5편성을 개량대상으로 한다. 시험평가에 필요한 계측시스템을 구축하며 시스템 유지보수와 현장시험 및 평가를 수행한다.

[표 6.6.1] 단계별·연차별 로드맵

구분	연구내용	추진일정					예산 (억원)
		1단계(시스템 개발)			2단계(현장시험 및 평가)		
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
1 세 부	□ 테스트 베드 노선 선정	■					2
	□ 연구개발의 통합 및 총괄운영관리체계 구축	■	■	■	■	■	5
	□ 시스템 개량전략 수립	■	■				3
	□ 시스템 개량요구사항 분석	■	■				3
	□ 개량시스템 설계 및 검토	■	■	■			7
	□ 개량시스템 안전성 확보방안 연구	■					20
	○ 열차제어시스템 안전성 활동평가 계획 작성						
	○ 시스템 수준에서의 안전성 활동 및 평가	■	■	■			
○ 하부시스템 수준에서의 안전성 활동 및 평가		■	■	■			
○ 시스템 안전성 검증 및 평가			■	■	■		

구분	연구내용	추진일정					예산 (억원)
		1단계(시스템 개발)			2단계(현장시험 및 평가)		
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
	□ 개량시스템 구축 및 통합			■			5
	□ 개량시스템 시험 및 평가				■	■	10
	□ 시스템 검증용 시뮬레이터 개발 ○ 시뮬레이터 개발요구사항 수립 ○ 시뮬레이터 운영시나리오 도출 ○ 시뮬레이터 설계 및 제작 ○ 시뮬레이터 구축 및 시험	■	■	■	■	■	30
2 세 부	□ 열차제어 및 관제 개량핵심기술 요구사항 분석	■					5
	□ 열차제어 및 관제 개량핵심기술 개발	■	■				20
	□ 열차제어 및 관제 DTO/UTO 기술개발	■	■	■			10
	□ 열차제어 및 관제 설계/제작	■	■	■			50
	□ 열차제어 및 관제 안전성 확보방 안 연구 ○ 시스템 수준에서의 안전성 활동 ○ 하부시스템 수준에서의 안전성 활동 ○ 시스템 안전성 활동 및 검증	■	■	■	■	■	28
	□ 열차제어 및 관제 현장설치/시험			■	■	■	15
	□ 표준체계 반영				■	■	2
3 세 부	□ 철도 통신망 활용방안 및 각 활 용방안별 QoS(Quality of Service) 도출	■					3
	□ 도시철도용 무선통신망 입력트래픽/ 이동성 모형 적용방안 연구	■	■				5
	□ 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 개발	■	■	■			10
	□ 철도 무선통신망 무선자원 분배시스템 개발사양 도출	■	■	■			7
	□ 철도 무선통신망 무선자원 분 배시스템 구축 및 시범운영				■	■	10
	□ DTO/UTO 안전장치 개발요구사항 도출	■	■				2
	□ DTO/UTO 안전장치 제작		■	■	■		10
	□ DTO/UTO 안전장치 현장설치			■	■		3
	□ DTO/UTO 안전장치 현장시험			■	■	■	5
4 세 부	□ 시스템 시험평가 계획수립	■	■				2
	□ 테스트 베드 설계	■	■				7
	□ 계측시스템 구축	■	■	■	■		9

구분	연구내용	추진일정					예산 (억원)
		1단계(시스템 개발)			2단계(현장시험 및 평가)		
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
	□ 계측시스템 운영						3
	□ 테스트 베드 구축 (차상: 5편성, 지상: 기지 1km, 본선 10km 구간)						142
	□ 시스템 시험평가						10
	□ 시스템 시범운영						7
	□ 테스트 인프라 유지보수						15
	○ 유지보수 계획수립						
	○ 차·지상 인프라 유지보수						
합계							465

각 세부과제별 연구일정 및 연구내용에 대한 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 411~418]에 제시하였다.

2. 세부과제별 주요 연구 성과물

가. 최종 성과물

본 연구는 노후 도시철도 열차운영시스템의 영업운영 중단 없는 차량/신호/관제/통신 등 개량핵심기술을 개발하고 시스템의 안전성 평가, 기능시험 평가 및 성능시험을 수행하는 것이다. 따라서 최종 성과물은 개량핵심기술과 이를 테스트 하기위한 테스트 베드 인프라, 시뮬레이터 및 계측시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 예상할 수 있다.

(1) 하드웨어 및 시설물

(가) 기능 및 성능시험평가용 지상인프라 1식

- 열차제어 및 관제 개량핵심기술 지상인프라 1식
 - 혼용운영, 無 중단 절체, 모듈화 플랫폼 등
- 관제 ATS 1식
- 시험차량 5편성
- EI(전자연동장치) 2식(기지 1식, 본선 1식)
- 지상자(태그, 정위치 정차 확인용 지상자)(기지 1km, 본선 10km)
- 지상 ATP 1식
- 지상 백본망 1식(기지 1km, 본선 10km)
- 무선통신망 1식(기지 1km, 본선 10km)
- 지상 계측시스템 1식

- 무선트래픽 분배시스템 1식
- 시뮬레이터 1식
- PSD 끼임 검지장치 1식(1개역 상행선 또는 하행선 PSD 출입문)

(나) 기능 및 성능시험평가용 차상인프라 1식

- 열차제어 개량핵심기술 차상인프라(5편성, 1편성당 2식)
 - 혼용운영, 무중단 절체, 모듈화 플랫폼 등
- 차상 ATP/ATO 10식(5편성, 1편성당 2식)
- 차상 무선통신장치 2식(5편성, 1편성당 2식)
- 차상 계측시스템 1식(5편성, 1편성당 1식)
- 탈선 검지장치 2식(1편성, 1편성당 2식)
- 정위치 정차 분석 및 모니터링시스템 2식(1편성, 1편성당 2식)

(2) 소프트웨어

- 계측용 소프트웨어 1식
- 시뮬레이터 구동 소프트웨어 1식
- 무선트래픽 분배 소프트웨어 1식
- 열차제어 및 관제 개량핵심기술 알고리즘 1식
 - 혼용운영, 無 중단 절체, 모듈화 플랫폼 등
- 정위치 정차 분석 및 모니터링 소프트웨어 1식
- PSD 끼임 검지알고리즘 1식
- 탈선 검지알고리즘 1식
- 열차제어 및 관제 DTO/UTO 기능 소프트웨어 1식

(3) 연차보고서 및 최종보고서

나. 세부과제별 성과물

각 세부과제별 성과물에 대한 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 420~426]에 제시하였다.

3. 세부과제별 성과지표 및 성과 맵

각 세부과제별 연차별 성과지표 및 성과목표에 대한 성과 맵을 도출하였으며 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 427~430]에 제시하였다.

제 7절 성과의 활용방안 및 실용화 전략

1. 성과의 활용방안

- 국내 도시철도 노선 중에서 개통이후 약 20년이 경과하고 있는 노후 운영노선 길이는 전체 715.67km 중 약 57%에 해당하는 407.8km이며 이들 노선은 향후 5년에서 10년 내에 시스템 개량이 불가피함에 따라 국내 노후 노선을 대상으로 개발기술의 실용화를 진행한다.
- 전 세계 철도신호통신 분야의 개량 및 유지보수 시장은 2011년을 기준으로 약 9.8조원이며 2016년까지 年 평균 3.1% 증가할 것으로 예측됨. 따라서 2015년 현재 본 연구개발을 통해 약 11조원 이상의 시장을 대상으로 경쟁이 가능하다. 따라서 국내 노선을 대상으로 성공적인 개량경험을 바탕으로 국외 시장진출을 모색한다.

2. 실용화 전략 및 추진방안

- 서울특별시도시철도공사 8호선의 경우 2022년까지 8호선 연장(암사~별내 구간, 12.5km)과 함께 기존노선을 개량하여 DTO/UTO 운영을 계획 중이다. 즉, 기존의 궤도회로기반의 STO 운영에서 무선통신기반 열차제어시스템으로 개량하여 DTO/UTO 운영으로 개량을 준비하고 있다.



[그림 6.7.1] 지하철 8호선 별내선 연장사업

※ 사진출처: 매일일보(2014.12.03.)

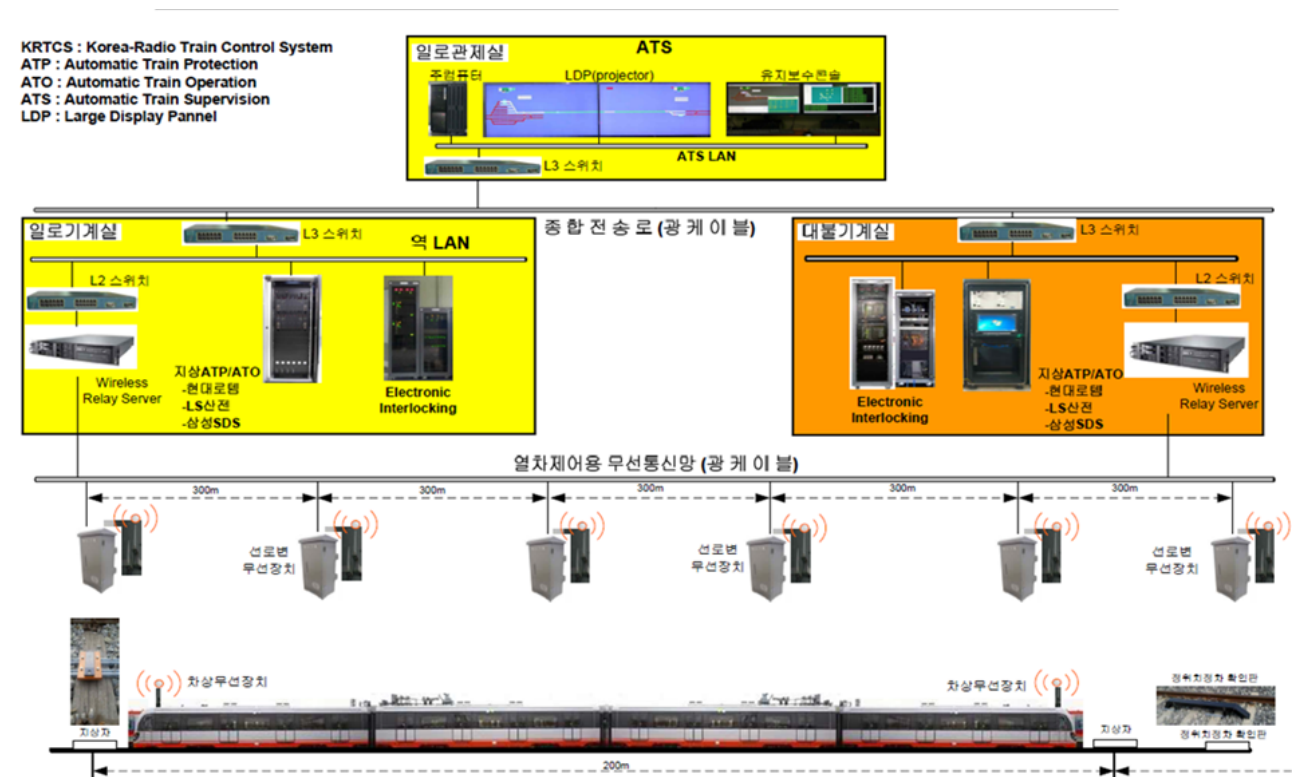
- 따라서 본 과제 종료와 함께 서울특별시도시철도공사 8호선을 시작으로 이어지는 국내 도시철도 개량화 사업에 개발 기술의 적용이 이루어질 수 있도록 기술 개발의 실용화를

진행한다.

- 이를 위해 개량시스템의 설계 단계에서부터 국내 도시철도운영기관의 참여를 유도하여 개량요구사항을 충분히 반영하여 개량 시스템의 완성도를 높일 수 있도록 연구개발을 추진한다.
- 본 과제의 연구개발 실용화를 위해서는 본 과제에서 실제 운영노선을 대상으로 성능평가가 이루어져야하며 또 구축한 설비는 해당 노선에서 그대로 수용할 수 있는 수준으로 설계 및 기능 구현이 필요하다.

3. 기존 기술 · 인프라 활용 및 연계방안

- 개량기술의 핵심인 열차제어와 관제분야는 국토교통부 국가연구개발사업인 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계 구축 및 성능평가(2010~2014) 과제에서 개발한 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS: Korean Radio-based Train Control System)의 열차제어시스템 안전성 활동 및 평가기술과 열차제어시스템 표준체계를 활용하여 개량시스템 설계에 활용할 계획이다.
- 또한 同 과제에서 개발한 철도 무선통신망(LTE-R)을 이용하여 개량시스템의 통신망 설계에 활용할 계획이다.



[그림 6.7.2] KRTCS 시스템 구성도(대불시험선)

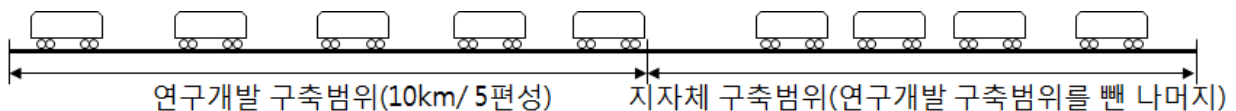
제 7장 수행체계 및 소요예산 산정

제 1절 연구수행체계

1. 연구추진체계

본 연구는 노후화된 도시철도시스템을 영업운영 중단 없이 신규시스템으로 안전하게 개량하기 위해 필요한 개량 기준과 전략을 도출하고 개량시스템 설계 및 검증기술 확보와 개량에 필요한 분야별 개량핵심기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 더 나아가 개량핵심기술을 통해 실용화를 최우선으로 추진하여야 하므로 관련 연구개발에 참여한 실적과 본 연구를 기획한 관계부처의 정책을 충분히 이해하고 있는 자를 총괄연구책임자로 선정하여 추진체계를 구축하는 것이 바람직하다.

연구추진체계는 과제의 규모를 고려해 볼 때 연구단 형태로 과제를 추진하는 것이 적절하며 연구단은 연구개발의 총괄과 함께 1세부 과제 “개량시스템 설계 및 안전성 확보기술 개발”을 수행한다. 개량시스템의 안전성 확보를 위해 전체 개량시스템에 대한 안전성 확보를 위한 활동과 더불어 2세부 과제에서 개량 핵심기술로 개발하는 열차제어 및 관제시스템의 안전성활동 및 평가를 수행한다. 열차제어시스템과 관제시스템의 안전성 평가는 본 연구에 앞서 기 개발된 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS)에 추가적으로 변경된 부분에 한하여 수행하며, 이들이 요구하는 안전요구사항이 시스템 설계 및 제작과정에 반영하여 연구결과의 활용도를 높이도록 한다. 개량핵심기술 설계과정에서 시스템의 안전기능의 배분에 따라 열차제어시스템과 관제시스템의 안전기능에 한하여 적합한 SIL 레벨을 부여하며 해당하는 안전성 활동과 평가를 수행한다. 본 연구개발 사업의 최종 목표는 시범노선 구축이다. 본 연구개발 사업에서 구축한 범위를 그대로 해당 노선의 운영기관에 기부체납하고 구축 범위 이외는 해당 지자체에서 개발품을 발주하여 노선의 개량을 완료한다. 따라서 테스트 베드 노선 전반에 대한 개량시스템 설계를 담당하며 타 세부과제의 설계 도면이 해당 설계 기준에 의거하여 작성되었는지 여부를 검토한다.

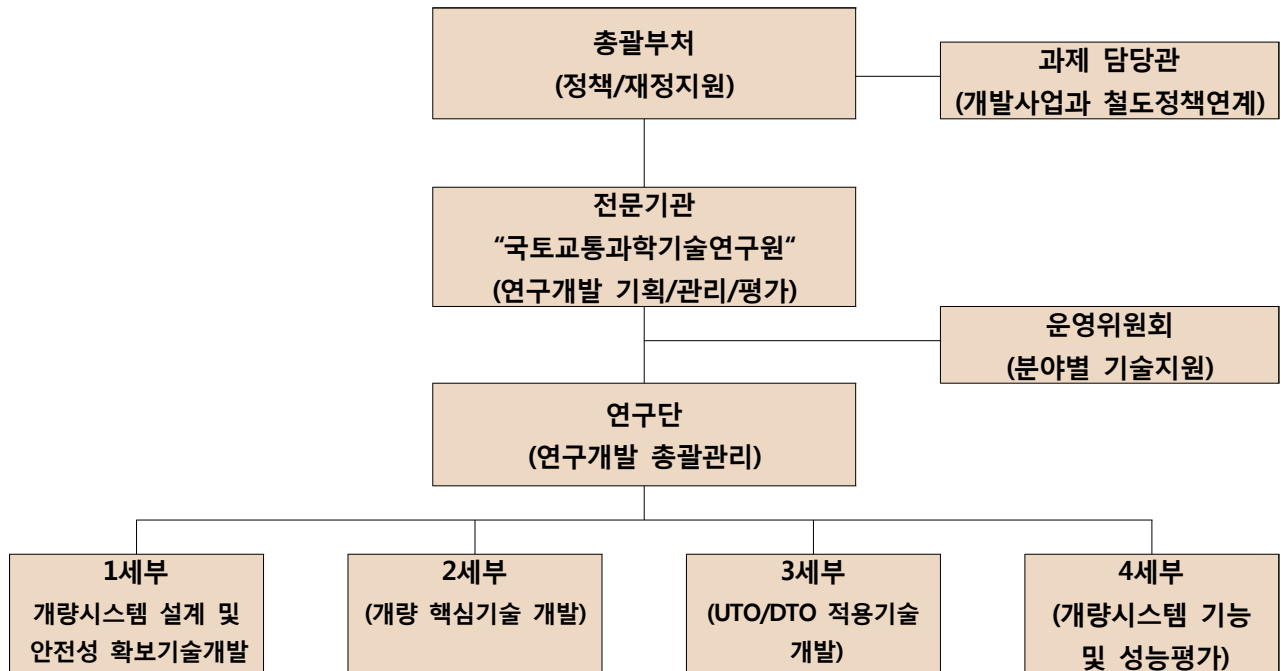


[그림 7.1.1] DTO/UTO 테스트 베드 구축방향

테스트 베드 노선 선정기준에는 해당 노선의 노후화 정도, 기존설비의 활용가능 여부, 개발기술의 검증이 용이한 측면 등이 있으며 이들 조건과 함께 지자체의 투자계획 여부를 판단하

여야 한다. 모든 설계기준이 테스트 노선의 조건과 환경에 영향을 받으므로 노선선정을 조속히 수행하여야 한다. 노선 선정은 본 과제 전문기관인 국토교통과학기술연구원과 협의 결과에 따라 연구단 혹은 전문기관, 또는 타 세부과제에서 수행할 수 있다.

1세부 과제에서 개발하는 시뮬레이터는 기지의 일부구간(1km)와 연동하여 활용하며 시험차량 1편성은 상시 기지에서 활용한다.



[그림 7.1.2] 연구개발 추진체계

2세부 과제는 열차제어 및 관제 개량핵심기술 개발을 담당한다. 국가연구개발사업을 통해 개발된 도시철도용 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS)에 추가적으로 개량 핵심기술인 無 중단 절체기술, 혼용운영 기술, 모듈화 플랫폼 개발을 수행한다. 개발된 시스템의 기능과 성능을 평가하여 최종적으로 기 구축된 표준체계를 보완한다.

3세부 과제는 철도 통신망이 재난 망과의 연계가 필요함에 따라 복수기관에서 발생하는 다양한 서비스의 무선자원 요구사항을 충족시키기 위한 무선트래픽 분배시스템을 개발한다. 개발된 무선트래픽 분배시스템은 4세부에서 구축하는 철도무선통신망 LTE-R에 반영하여 성능을 시험한다. 또한 GOA4 차량조건을 만족하기 위해 탈선검지시스템과 정위치 정차 분석 및 모니터링시스템을 개발하고 역사 PSD 문틈 끼임을 효율적으로 검지할 수 있는 장치를 개발한다.

4세부 과제는 개량시스템의 기능과 성능을 평가하기 위해 테스트 베드(기지 1km 구간, 본선 10km구간, 차량 5편성)를 구축한다. 선정된 테스트 베드노선의 운영기관은 4세부 과제에 협동 또는 공동연구기관으로 참여하는 것이 바람직하다.

제 2절 연구일정에 따른 인력투입계획

1. 세부과제 주요 연차별·공정별 인력투입계획

가. 1세부 과제 : 개량시스템 설계 및 안전성 확보기술 개발

[표 7.2.1] 1세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표

주요 Activity	시행기간(5 년)					비 고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
1.1. 테스트 베드 노선 공모 및 선정	■	■	■			
1.2 연구개발 통합 및 총괄 운영관리 체계 구축	■	■	■	■	■	
1.3 시스템 개량전략 수립	■	■	■			
1.4 시스템 개량요구사항 분석	■	■	■			
1.5 개량시스템 설계 및 검토	■	■	■	■		
1.6 개량시스템 안전성 확보방안 연구	■	■	■	■	■	
1.7 개량시스템 구축 및 통합			■	■		
1.8 개량시스템 시험 및 평가				■	■	
1.9 시스템 검증용 시뮬레이터 개발	■	■	■	■	■	

나. 2세부 과제 : 개량 핵심기술 개발

[표 7.2.3] 2세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표

주요 Activity	시행기간(5 년)					비 고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
2.1. 열차제어 및 관제 개량핵심 요구 사항 분석	■	■	■			
2.2 열차제어 및 관제 개량핵심기술 개발 - 쉘도우 모드 운영기술 개발 - 無 중단 시스템 절체기술 개발 - 혼용운영 기술 개발 - 모듈화 플랫폼 개발	■	■	■			
2.3 열차제어 및 관제 DTO/UTO 기술개발	■	■	■	■		
2.4 열차제어 및 관제 설계 및 제작	■	■	■	■		
2.5 열차제어 및 관제 안전성 확보방안 연구	■	■	■	■		
2.6 열차제어 및 관제 현장설치 및 시험				■	■	
2.7 표준체계 반영				■	■	

다. 3세부 과제 : DTO/UTO 적용기술 개발

[표 7.2.5] 3세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표

주요 Activity	시행기간(5 년)					비 고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
3.1. 철도 통신망 활용방안 및 각 활용방안별 QoS 도출	■	■	■			
3.2 도시철도용 무선통신망 입력트래픽/이동성 모형 적용방안 연구	■	■	■			
3.3 철도 무선통신망 무선자원 분배 시스템 개발	■	■	■	■		
3.4 철도 무선통신망 무선자원 분배 시스템 개발사양 도출	■	■	■	■		
3.5 철도 무선통신망 무선자원 분배 시스템 구축 및 시범운영	■	■	■	■		
3.6 DTO/UTO 안전장치 개발요구사항 도출				■	■	
3.7 DTO/UTO 안전장치 제작				■	■	
3.8 DTO/UTO 안전장치 현장설치	■	■	■	■	■	
3.9 DTO/UTO 안전장치 현장시험	■	■	■	■	■	

라. 4세부 과제 : 테스트 베드 구축 및 시험평가 기술개발

[표 7.2.7] 4세부 과제 주요 Activity에 대한 공정표

주요 Activity	시행기간(5 년)					비 고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
4.1 시스템 시험평가 계획수립	■	■	■			
4.2 테스트 베드 설계	■	■	■			
4.3 계측 시스템 구축	■	■	■	■		
4.4 계측 시스템 운영				■	■	
4.5 테스트 베드 구축		■	■	■		
4.6 시스템 시험평가			■	■	■	
4.7 시스템 시범운영					■	
4.8 테스트 인프라 유지보수			■	■	■	

각 세부과제별 인력투입계획의 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 435~440]에 제시하였다.

제 3절 소요예산

1. 소요예산 산정

[표 7.3.1] 연구비 총괄표

[단위: 천원]

세부과제 명	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)
1. 개량시스템설계 및 안전성확보기술개발	1,420,000	2,880,000	1,990,000	1,190,000	1,020,000	8,500,000	18.3
2. 개량 핵심기술 개발	2,690,000	6,380,000	1,580,000	1,170,000	1,180,000	13,000,000	28.0
3. DTO/UTO 적용기술 개발	430,000	2,620,000	1,150,000	730,000	570,000	5,500,000	11.8
4. 테스트 베드 구축 및 시험평가 기술개발	350,000	11,170,000	5,260,000	1,390,000	1,330,000	19,500,000	41.9
합계	4,890,000	23,050,000	9,980,000	4,480,000	4,100,000	46,500,000	100%

가. 1세부 과제 소요예산

(1) 1세부 과제 연구비 총괄표

[표 7.3.2] 1세부 과제 연구비 총괄표

[단위: 천원]

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	
인	내/외부 인건비	851,400	885,456	953,568	578,952	544,896	3,814,272	44.9	
직	연구기자재 및 시설비	235,000	1,500,000	600,000	300,000	200,000	2,835,000	33.4	
		시작품 제작비							
	재료비	7,000	9,000	8,000	8,000	7,000	39,000	0.5	
	연구활동비	여비	27,229	28,926	28,655	38,549	32,693	156,052	1.8
		수용비 및 수수료	17,028	26,564	37,690	28,947	22,806	133,035	1.6
		기술정보활동비	25,542	35,418	38,143	40,527	38,143	177,773	2.1
	연구수당	127,710	132,818	143,035	86,843	81,734	572,140	6.7	
간접비		129,091	261,818	180,909	108,182	92,728	772,728	9.1	
합 계		1,420,000	2,880,000	1,990,000	1,190,000	1,020,000	8,500,000	100.0	

나. 2세부 과제 소요예산

(1) 2세부 과제 연구비 총괄표

[표 7.3.7] 2세부 과제 연구비 총괄표

[단위: 천원]

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)
인건비	내/외부 인건비	1,008,058	1,498,464	987,624	749,232	749,232	4,992,610	44.9
	직접비	연구기자재 및 시설비	1,200,000	3,980,000	210,000	100,000	100,000	5,590,000
시작품 제작비								
재료비		6,000	8,000	8,000	6,000	5,000	33,000	0.5
여비		30,242	32,418	29,629	43,573	44,954	180,816	1.8
수용비 및 수수료		23,705	29,970	26,367	29,969	31,187	141,198	1.6
기술정보활동비		26,242	26,379	26,600	22,477	29,969	131,667	2.1
연구수당		151,208	224,769	148,144	112,385	112,385	748,891	6.7
간접비		244,545	580,000	143,636	106,364	107,273	1,181,818	9.1
합 계		2,690,000	6,380,000	1,580,000	1,170,000	1,180,000	13,000,000	100

다. 3세부 과제 소요예산

(1) 3세부 과제 연구비 총괄표

[표 7.3.12] 3세부 과제 연구비 총괄표

[단위: 천원]

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)
인건비	내/외부 인건비	286,070	810,533	830,966	374,616	374,616	2,676,801	48.7
	직접비	연구기자재 및 시설비		480,000	7,000			487,000
시작품 제작비			900,000		150,000		1,050,000	19.1
재료비		6,000	8,000	8,500	7,000	7,000	36,500	0.5
여비		13,445	16,211	24,929	29,970	29,969	114,524	1.8
수용비 및 수수료		20,025	21,179	24,229	22,477	22,477	110,387	1.6
기술정보활동비		22,458	24,315	25,185	23,382	27,927	123,267	2.1
연구수당		42,911	121,580	124,645	56,192	56,193	401,521	6.7
간접비		39,091	238,182	104,546	66,363	51,818	500,000	9.1
합 계		430,000	2,620,000	1,150,000	730,000	570,000	5,500,000	100

라. 4세부 과제 소요예산

(1) 4세부 과제 연구비 총괄표

[표 7.3.18] 4세부 과제 연구비 총괄표

[단위: 천원]

비 목		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계	구성비 (%)	
인건비	내/외부 인건비	224,770	599,386	749,232	442,728	435,917	2,452,033	12.6	
직접비	연구장비재료비	연구기자재 및 시설비		9,035,000	3,825,000	650,000	600,000	14,110,000	72.4
		시작품 제작비		350,000				350,000	1.8
		재료비	6,000	8,500	8,500	7,000	7,000	37,000	0.2
	연구활동비	여비	17,281	23,801	31,803	35,418	34,873	143,176	0.7
		수용비 및 수수료	17,982	17,982	24,929	26,530	29,969	117,392	0.6
		기술정보활동비	18,434	29,969	29,969	35,551	35,944	149,867	0.8
		연구수당	33,715	89,908	112,385	66,409	65,388	367,805	1.9
간접비		31,818	1,015,454	478,182	126,364	120,909	1,772,727	9.1	
합 계		350,000	11,170,000	5,260,000	1,390,000	1,330,000	19,500,000	100	

각 세부과제별 인건비 집계표, 직접비 집계표, 주요 연구시설 및 장비비에 대한 구체적인 내용은 [상세보고서 pp. 441~452]에 제시하였다.

제 8장 과제 제안요구서

제 1절 연구개발 RFP

본 연구는 노후화된 도시철도시스템을 영업운영 중단 없이 신규시스템으로 안전하게 개량하기 위해 필요한 개량 기준과 전략을 도출하고 개량시스템 설계 및 검증기술 확보와 개량에 필요한 분야별 개량핵심기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 본 과제는 총 4개의 세부과제로 구성되며 5차년도의 일정으로 수행한다. 3차 년도까지 기술개발과 함께 테스트 베드 구축을 목표로 하며 4차 년도는 시험평가, 5차 년도는 시범운영을 목표로 수행한다.

1세부 과제는 개량시스템의 안전성 확보를 위해 전체 개량시스템에 대한 안전성 확보를 위한 활동과 더불어 2세부 과제에서 개량 핵심기술로 개발하는 열차제어 및 관제시스템의 안전성활동 및 평가를 수행한다. 2세부 과제는 열차제어 및 관제 개량핵심기술 개발을 담당한다. 국가연구개발사업을 통해 개발된 도시철도용 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS)에 추가적으로 개량 핵심기술인 無 중단 절체기술, 혼용운영 기술, 모듈화 플랫폼 개발을 수행한다. 개발된 시스템의 기능과 성능을 평가하여 최종적으로 기 구축된 표준체계를 보완한다. 3세부 과제는 철도 통신망이 재난 망과의 연계가 필요함에 따라 복수기관에서 발생하는 다양한 서비스의 무선자원 요구사항을 충족시키기 위한 무선트래픽 분배시스템을 개발한다. 개발된 무선트래픽 분배시스템은 4세부에서 구축하는 철도무선통신망 LTE-R에 반영하여 성능을 시험한다. 또한 GOA4 차량조건을 만족하기 위해 탈선검지시스템과 정위치 정차 분석 및 모니터링 시스템을 개발하고 역사 PSD 문틈 끼임을 효율적으로 검지할 수 있는 장치를 개발한다. 4세부 과제는 개량시스템의 기능과 성능을 평가하기 위해 테스트 베드(기지 1km 구간, 본선 10km구간, 차량 5편성)를 구축한다. 본 과제 연구개발 RFP는 [상세보고서 pp. 453~478]에 제시하였다.

제 2절 연차별 평가방법 및 기준

각 세부과제별 연차별 평가방법 및 기준 도출을 위해 성과항목과 성과지표를 정의하였으며 각 성과지표별 목표수준과 측정방법, 검증방법을 제시하였으며 계량화하기위한 가중치를 부여하였다. 세부과제별 연차별 평가방법 및 기준에 대해서는 [상세보고서 pp. 479~498]에 제시하였다.

참고문헌

참고문헌은 [상세보고서 pp. 499~503]에 제시하였다.

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구기획과제의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구기획과제의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.