

2020 IT 21 Global Conference

Digital New Deal
Technology Essentials
디지털 뉴딜 기술 핵심

Session 1-5

열차 자율주행 기술 동향

최현영 선임연구원 (KRRI)



[요약문]

철도는 대용량의 여객 및 화물 운송과 정시성의 서비스를 제공하는 주요한 대중교통 수단이며, 고밀도 철도 운영 및 안전성을 확보하기 위해 열차제어시스템이 존재한다. 이러한 열차제어시스템은 열차의 안전한 이동을 위한 종합적인 제어 기능을 수행하는 것으로, 기술의 발전을 거듭할수록 지상·전기·하드웨어 중심에서 차상·통신·소프트웨어 중심으로 변화되고 있다.

본 발표에서는 무인운전까지 운행되고 있는 열차제어시스템의 발전동향과 단순히 운전자를 대신하는 autopilot 기능을 뛰어넘는 열차 자율주행에 대한 개념과 연구내용을 소개한다.

[발표자 약력]

2010년 KAIST 전기전자공학 박사
2011년~2013년 KDDI R&D Labs 연구원
2013년~ KRRI 선임연구원
관심분야 : 자율주행 제어, 차세대 통신, 시험인증, 표준화

열차 자율주행 기술 동향

2020.09.24

한국철도기술연구원 최현영 선임연구원



목 차



I 연구의 배경

II 열차자율주행시스템 개요

III 연구개발 현황

IV 기대효과



철도 교통

철도는..

- (철도법) 철의 궤도를 부설하고 그 위에 차량을 운전하여 여객과 화물을 운송하는 서비스
- 철도 차량, 선로, 역 설비, 에너지 공급설비, 통신설비, 신호설비 등이 종합적으로 구성되어 상호 호환성을 가지고 운영되는 통합 시스템

2000년 대



2010년 대



2020년 대



- 열차 수송량 증대
- 차량 고속화, 노선 확장
- 차량, 궤도 등에 투자 집중

- CBTC*기반 무인운전 운영
- 경전철·트램 등 교통수단 다변화
- 소프트웨어 기반의 서비스 투자

- 통합 모빌리티 허브
- AI, Big Data 등 기술 융합
- 이용객 서비스 향상에 투자

* CBTC(Communication Based Train Control): 무선통신기반 열차제어시스템



철도 교통

열차제어시스템

- 열차의 안전한 이동을 위한 종합적인 제어 기능을 수행하는 시스템

도로 및 주변 환경 인지 후,
두뇌 및 몸체로 대응조치 요구

필요시 시각 및 청각을 위한 경보
및 차량 안전 조치 자동 실행

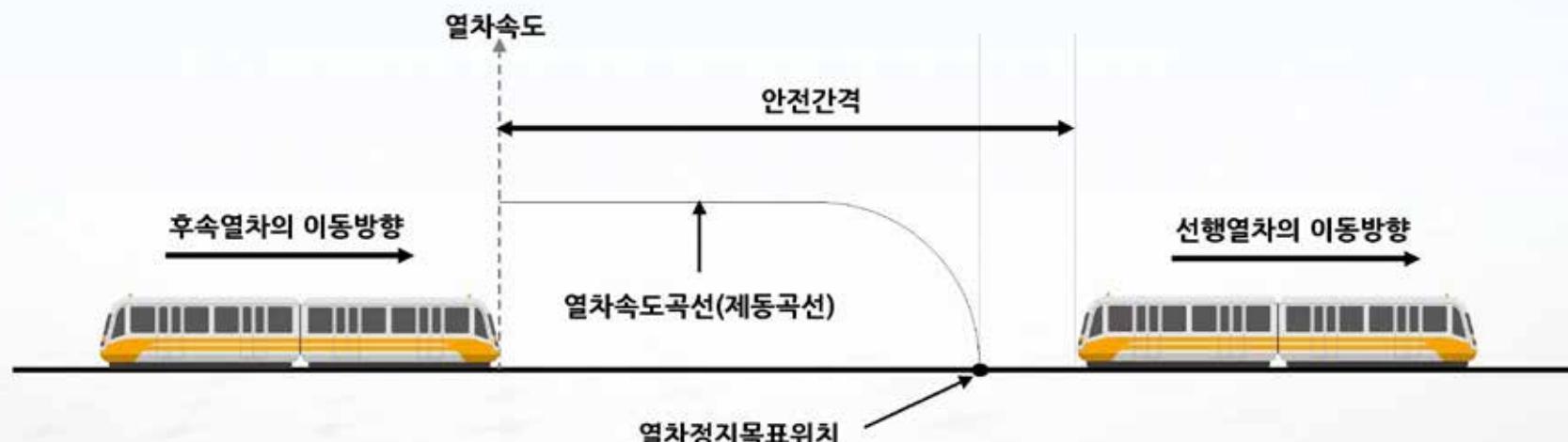
도로 --> 선로,
몸체 --> 열차,
두뇌 --> 기관사 또는 컴퓨터
(무인 운전),
입 --> 경보기,
눈,코,귀 --> 안전 설비,
선로 및 차량 내부의
센서 및 안테나





열차제어시스템

- 열차 운전에 필요한 vital 정보를 전달하고 취급
 - Vital 정보를 활용하여 선행열차와 후속열차 간 안전간격(시간, 거리) 확보
 - Vital 정보의 종류 및 형태가 지속적으로 변화(열차 속도 증가, 기술의 발전 등)
 - 정보 전송 방식도 지속적으로 변화





철도 교통

열차제어시스템 발전 동향

열차제어시스템 **As-Is**

지상·전기·H/W 중심

열차제어시스템 **To-Be**

차상·통신·S/W 중심

고정폐색

| 0세대

신호기
육안운전

| 1세대

속도코드
기반
열차제어

| 2세대

차상 ATP
기반
열차제어

폐색(Block)

선로의 일정구간에 하나의
열차만 점유되게 하는 것

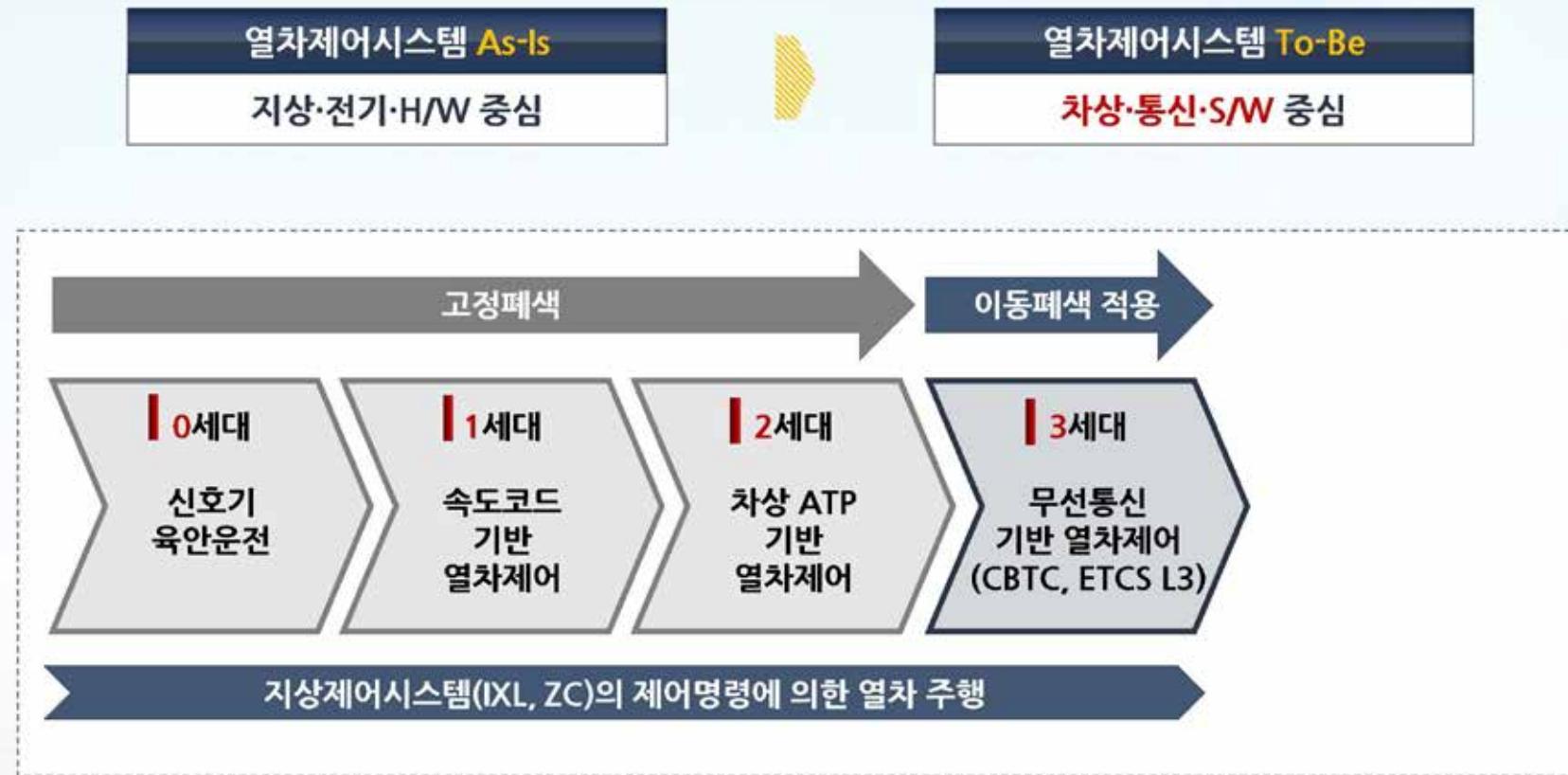


* ATP(Automatic Train Protection) : 자동열차방호



철도 교통

열차제어시스템 발전 동향



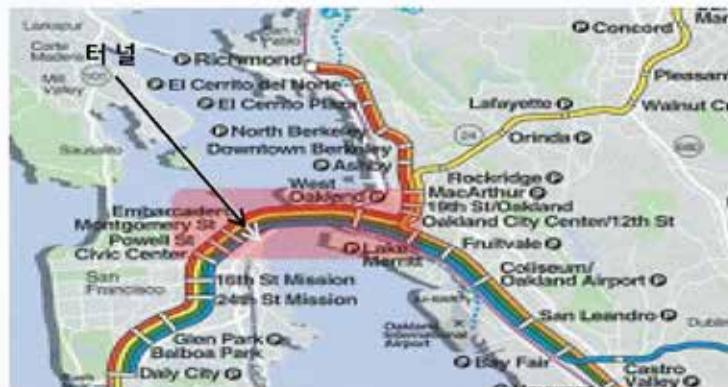
- * ATP(Automatic Train Protection) : 자동열차방호
- * CBTC(Communication Based Train Control) : 통신기반 열차제어시스템
- * ETCS(European Train Control System) : 유럽 열차제어시스템
- * IXL(Interlocking) : 연동장치
- * ZC(Zone Controller) : 지상제어장치(지상 ATP)



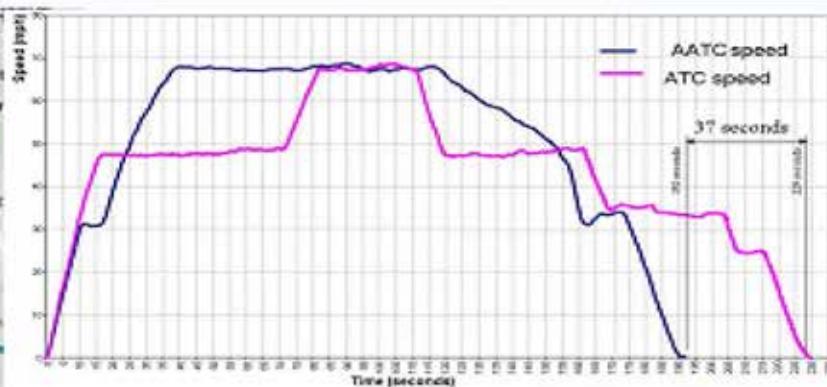
철도 교통

열차제어시스템 발전 동향

- CBTC 도입으로 열차 운행시격 단축
- (사례) San Francisco의 연안철도회사(BART)
 - 터널을 추가 건설하지 않고 열차의 고밀도 운전이 가능한 CBTC 적용하여 터널 수송용량 증대
 - 초기 계획은 터널 1개를 추가하는 것이었으나 CBTC를 설치하여 터널 1개 설치와 동일한 효과 도출
 - 열차 운전시격 37초 단축(230초 → 190초) : 선로용량 증대



샌프란시스코 도시철도 노선도



운행시격 단축



철도 교통

열차제어시스템 발전 동향

○ 자동운전 단계(GoA: Grade of Automation)

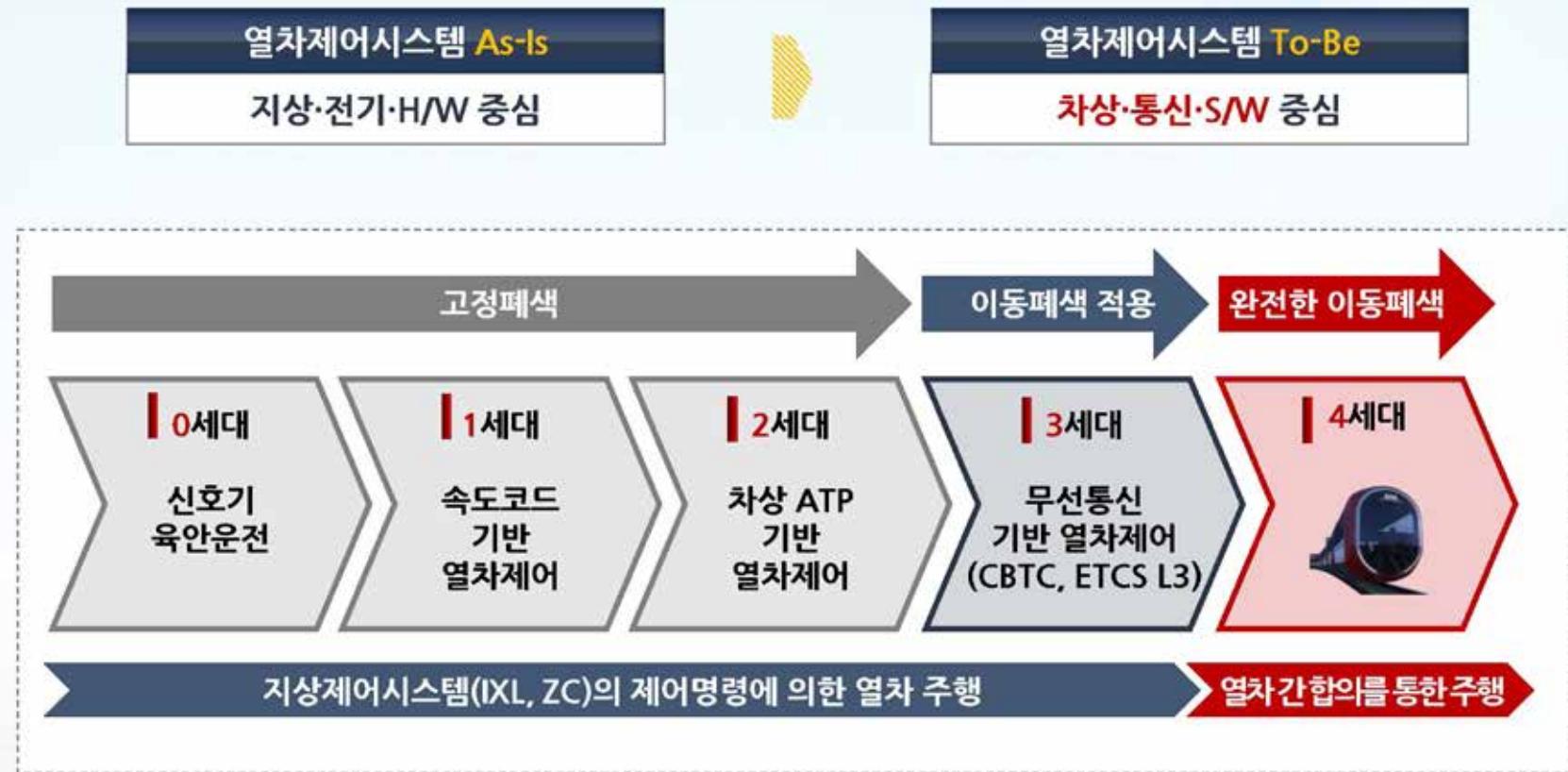
- GoA1: 기관사에 의한 수동운전
- GoA2: 기관사는 있으나 정위치 정차 등은 자동화된 반자동운전(STO)
- GoA3: 운영요원이 탑승하여 비상시 개입하는 자동운전(DTO)
- GoA4: 운영요원도 전혀없는 완전 자동운전(UTO)





철도 교통

열차제어시스템 발전 동향



- * ATP(Automatic Train Protection) : 자동열차방호
- * CBTC(Communication Based Train Control) : 통신기반 열차제어시스템
- * ETCS(European Train Control System) : 유럽 열차제어시스템
- * IXL(Interlocking) : 연동장치
- * ZC(Zone Controller) : 지상제어장치(지상 ATP)

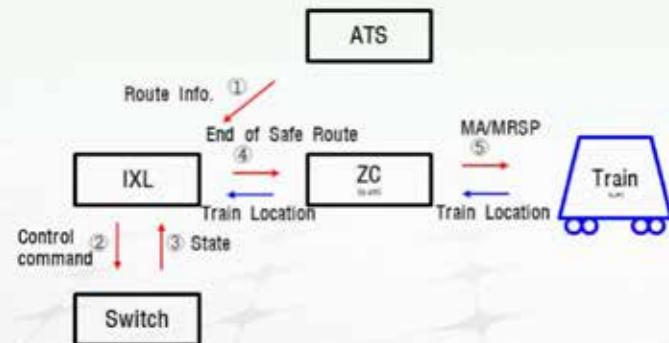


열차자율주행제어시스템 개념

- 열차자율주행시스템: Autonomous Train Control System(ATCS)
- 기존 CBTC와 차별성

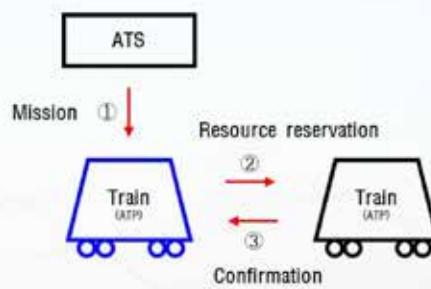
CBTC

- 복잡한 제어 경로 → 선행열차를 정지상태로 간주
 - 열차와 지상제어 서버 간 cyclic path
 - 두 개의 독립적인 지상제어서버간 정보교환
 - (IXL) : 진로의 설정 & 선로전환기 동작
 - (ZC) : 열차 이동권한 및 제한속도
- IXL과 ZC간 동기화 필요
- IXL의 성능한계 → 궤도회로 기반 연동논리
- 유연성 저하



열차자율주행

- 지상의 IXL과 ZC가 필요 없음
- 간격제어와 진로제어의 통합
 - ZC : 선로구간 분배
 - IXL : 선로전환기(선로전환기 영역) 분배
- 제어 경로 단순화
 - 열차의 주행정보 이용(위치, 속도, 제동거리)
 - 열차 간 direct path



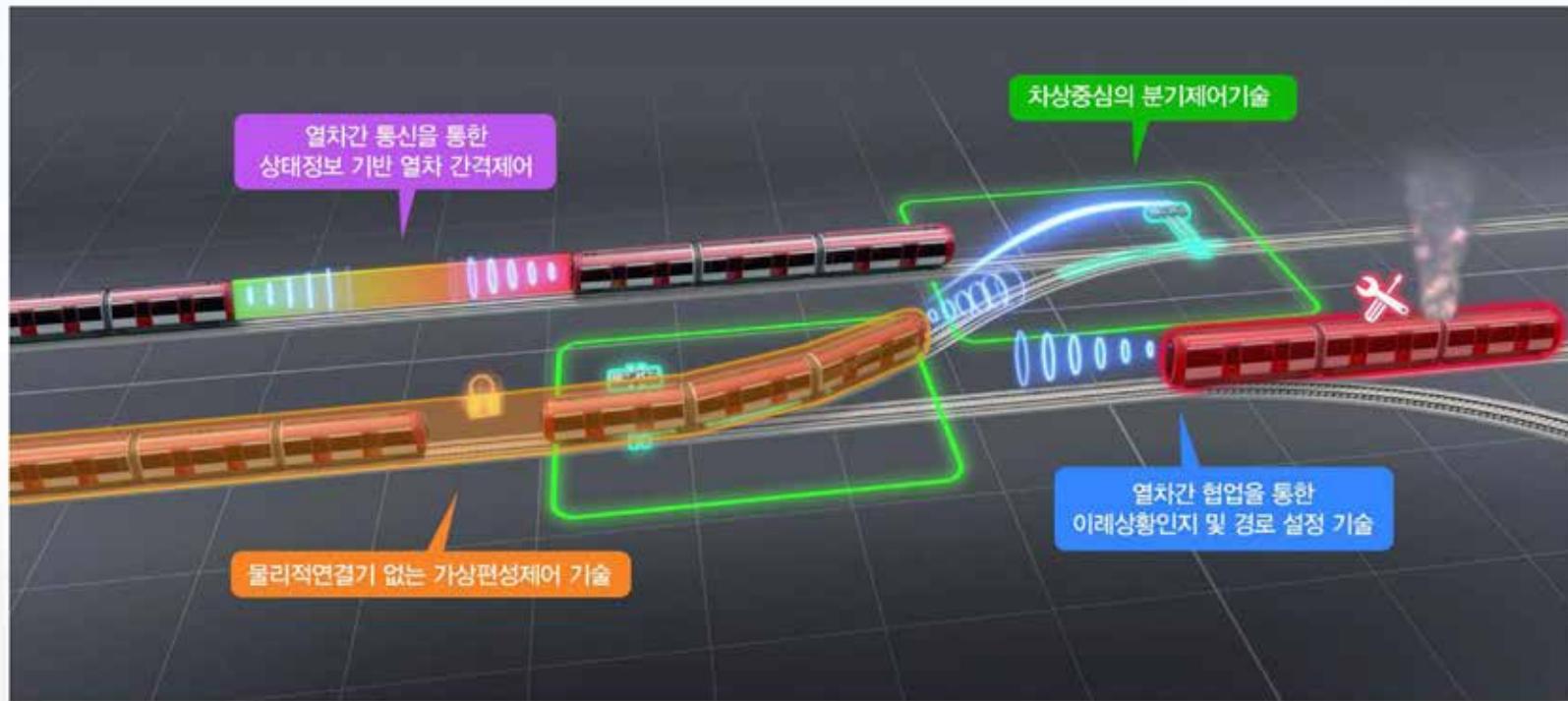


열차자율주행제어시스템 정의

ATCS 시스템 정의

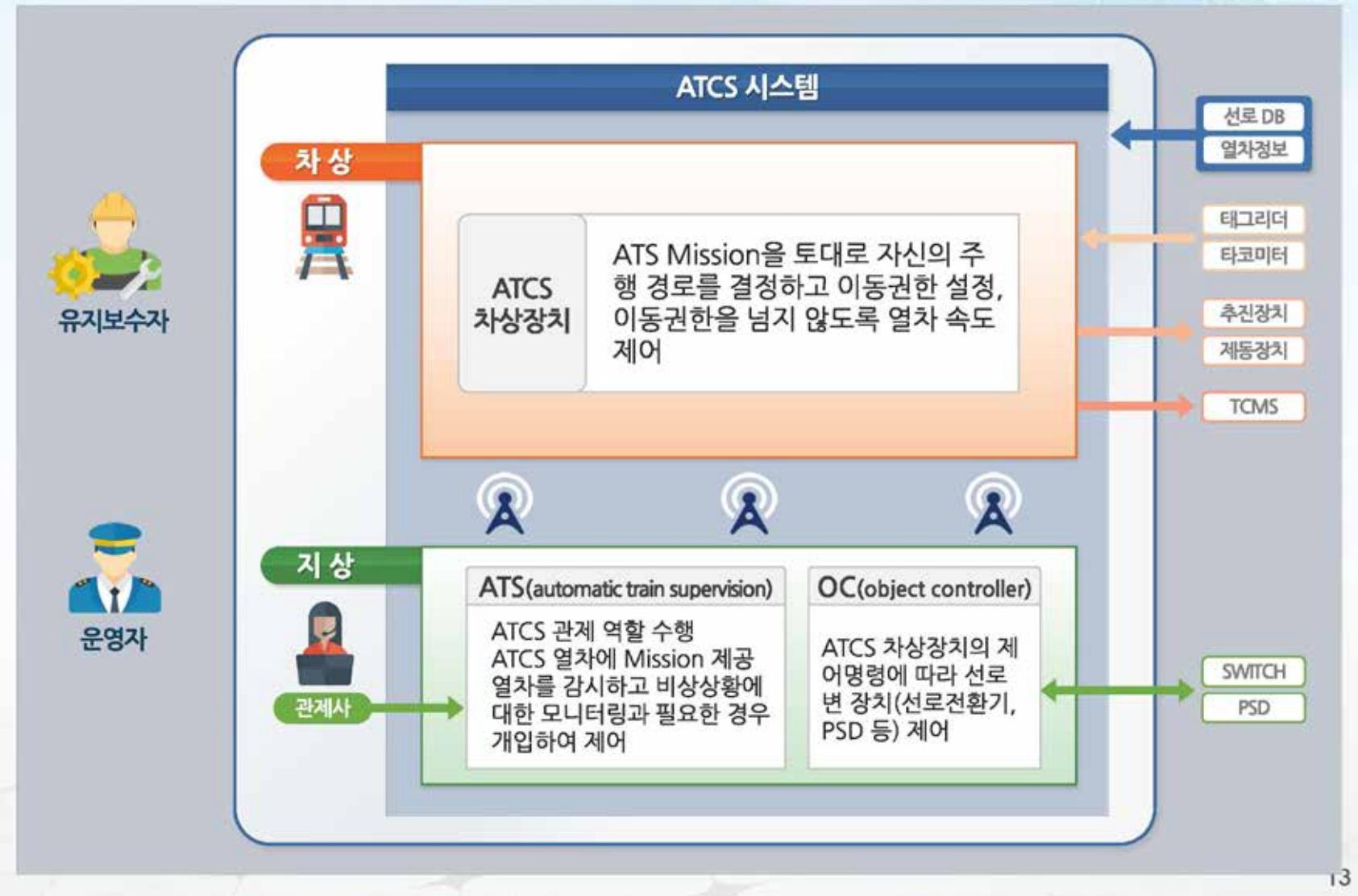
지상 제어시스템의 제어명령에 의존하지 않고 열차간 상호 협업(통신)을 기반으로

- 1) 열차 스스로 자신의 이동권한을 결정하고 안전하게 주행
- 2) 주행 중 열차 분리 및 결합을 통해 편성 조성
- 3) 이례상황(사고 및 고장 상황) 발생시 열차 스스로 상황을 인지하고 판단하여 대응





ATCS 시스템 구성





ATCS 시스템 구성





ATCS 핵심 기능

열차 간 간격 제어

- 열차 간 안전간격 유지를 위해 이동권한(moving authority) 설정
- 이동권한은 열차의 이동할 수 있는 최대 거리, 그 위치에서의 속도로 정의됨

CBTC



ATCS



간격제어(역간) 최소 운전시격 90초



간격제어(역간) 최소 운전시격 현저히 감소



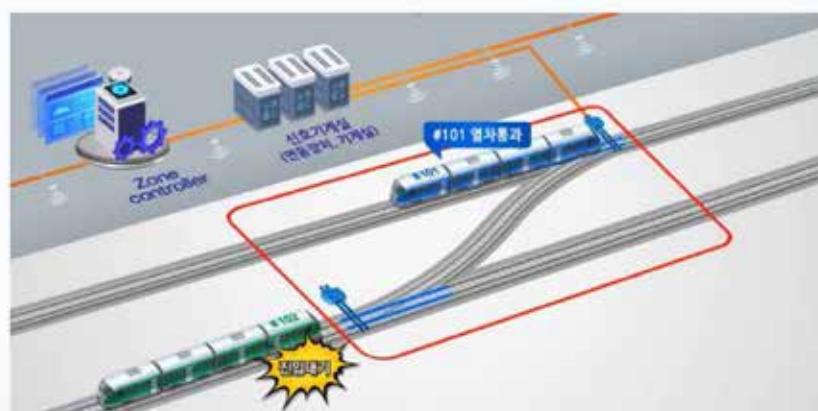


ATCS 핵심 기능

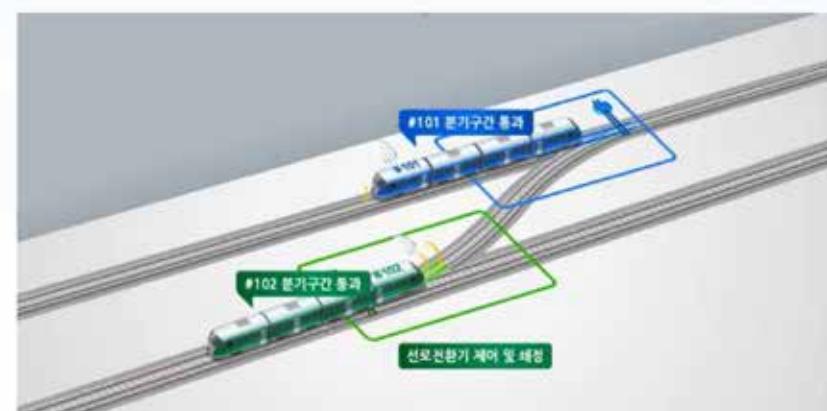
■ 진로(분기) 제어

- 지상제어서버(전자연동장치) 없이 차상에서 직접 선로전환기 제어
- 선로전환기 영역은 열차의 접촉한계 지점으로 최소화
- 쌍동분기기의 독립적 제어

CBTC



ATCS





ATCS 핵심 기능

역 구내 간격/진로제어를 위한 완전한 이동폐색 구현

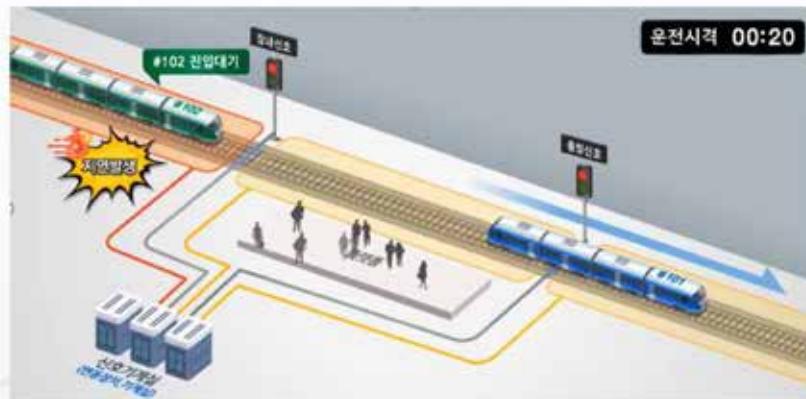
- 기존 고정폐색 기반의 역 운전시격

기존 운전시격 = (선행열차 역 진출시간) + (후속열차 역 진입시간) + (정차시간)
+ (운영 마진)

- 역 구내 완전한 이동폐색 구현으로 역 운전시격 단축

ATCS 운전시격 = (후속열차 역 진입시간) + (정차시간) + (운영 마진)

CBTC



ATCS

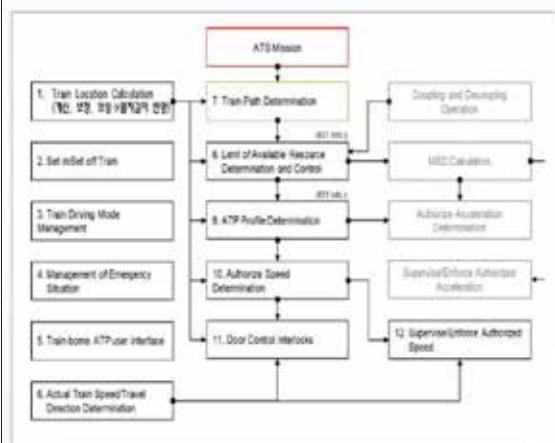


ATCS 개발 현황

열차자율주행제어 플랫폼 설계 및 구현

1) 시스템 설계 및 구현

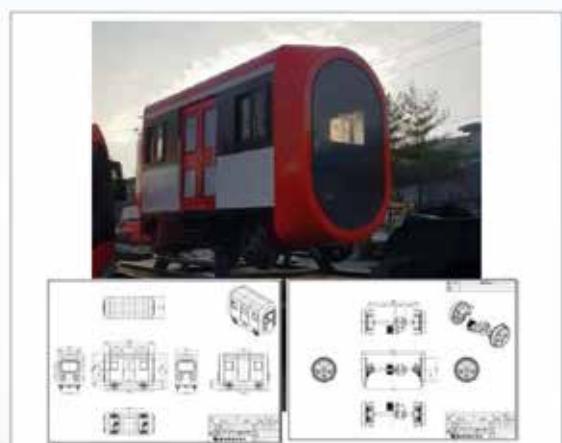
- 시스템 구성, 기능, 운전모드, 천이조건 정의
 - 서브시스템 기능 요구사항 및 입출력 인터페이스 정의
 - ATCS 시스템 기능별 설계/프로토콜 설계
 - ATCS 차상장치 시제품, 통합시뮬레이터 제작
 - 현장 기능검증을 위한 열차 축소모델 제작



ATCS 차상 ATP 기능



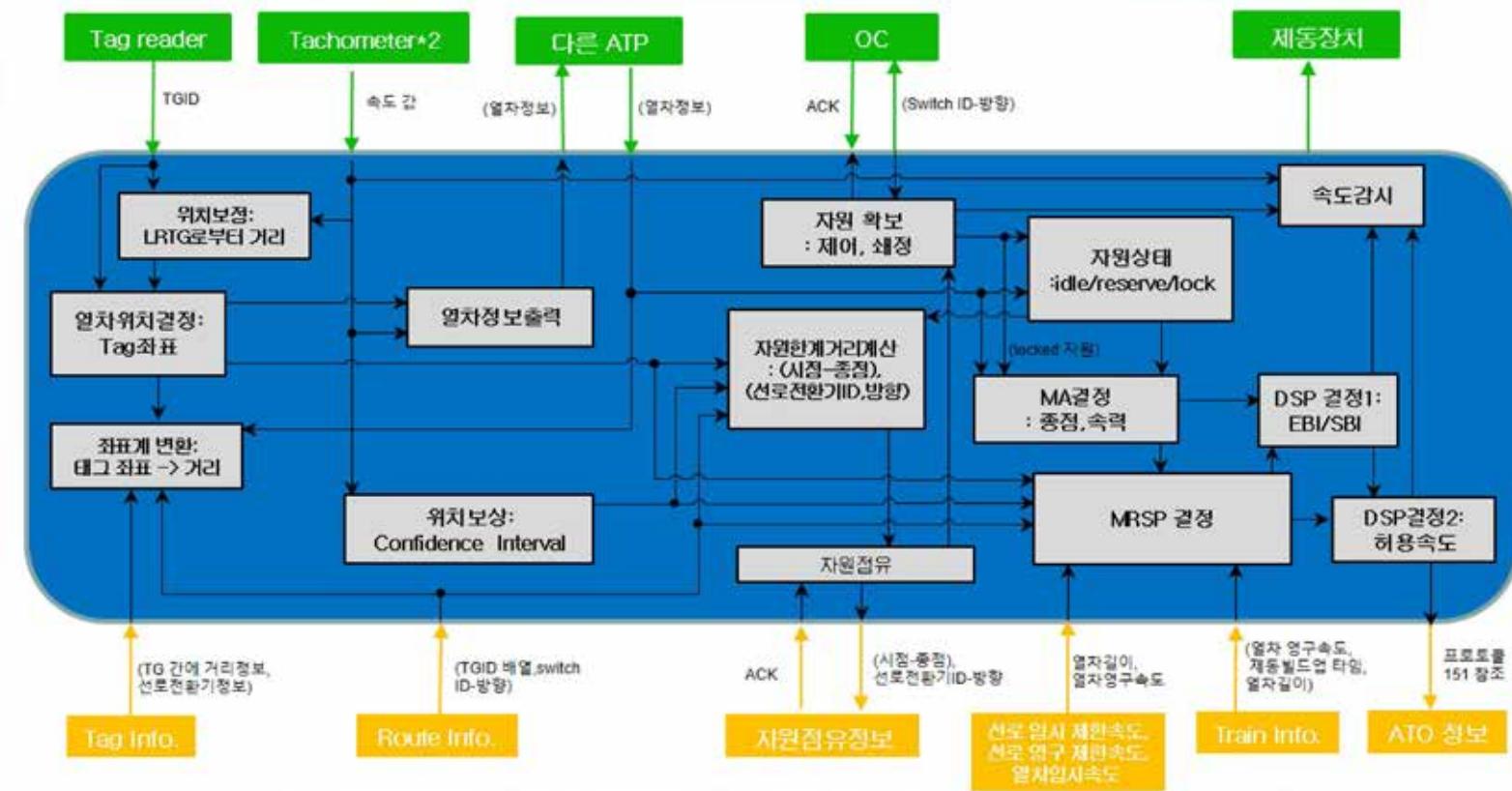
ATCS 시제품 제작



열차 축소모델 제작

ATCS 개발 현황

2) 차상 ATP 로직 구현



MRSP : Most Restrictive Speed Profile
DSP : Dynamic Speed Profile
EBI : Emergency Brake Intervention
SBI : Service Brake Intervention
MA : Movement Authority



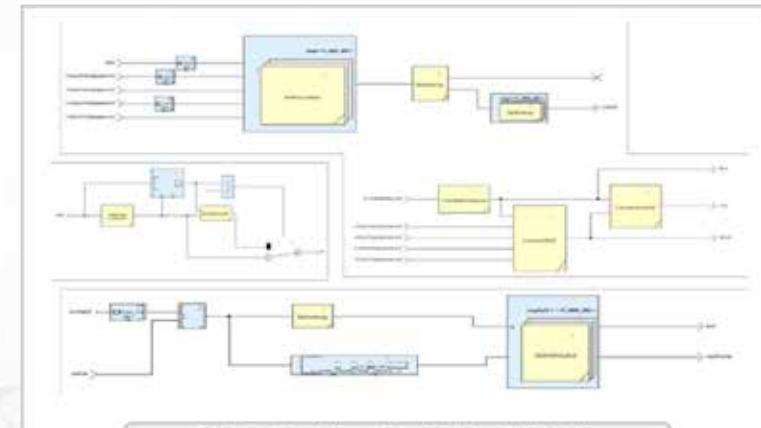
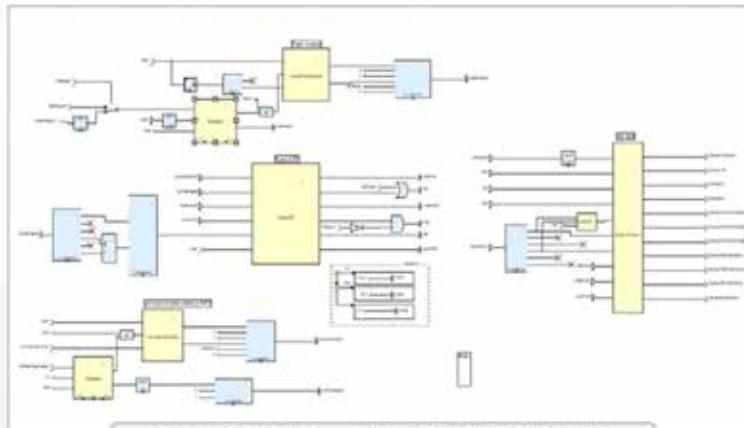
2) 차상 ATP 로직 구현

○ 열차 상태정보기반 간격제어·차상 분산형 분기제어 기능설계

- 차상중심의 자동열차방호(ATP)기능의 소프트웨어 요구사항 도출
- 열차상태정보기반의 이동권한 및 허용속도생성 기능 설계
- SCADE를 활용한 모델기반설계 * SCADE 모델로 구현된 기능은 SIL3/4 수준의 소스코드 변환됨

○ 열차자율주행 제어 핵심 알고리즘 구현 및 검증

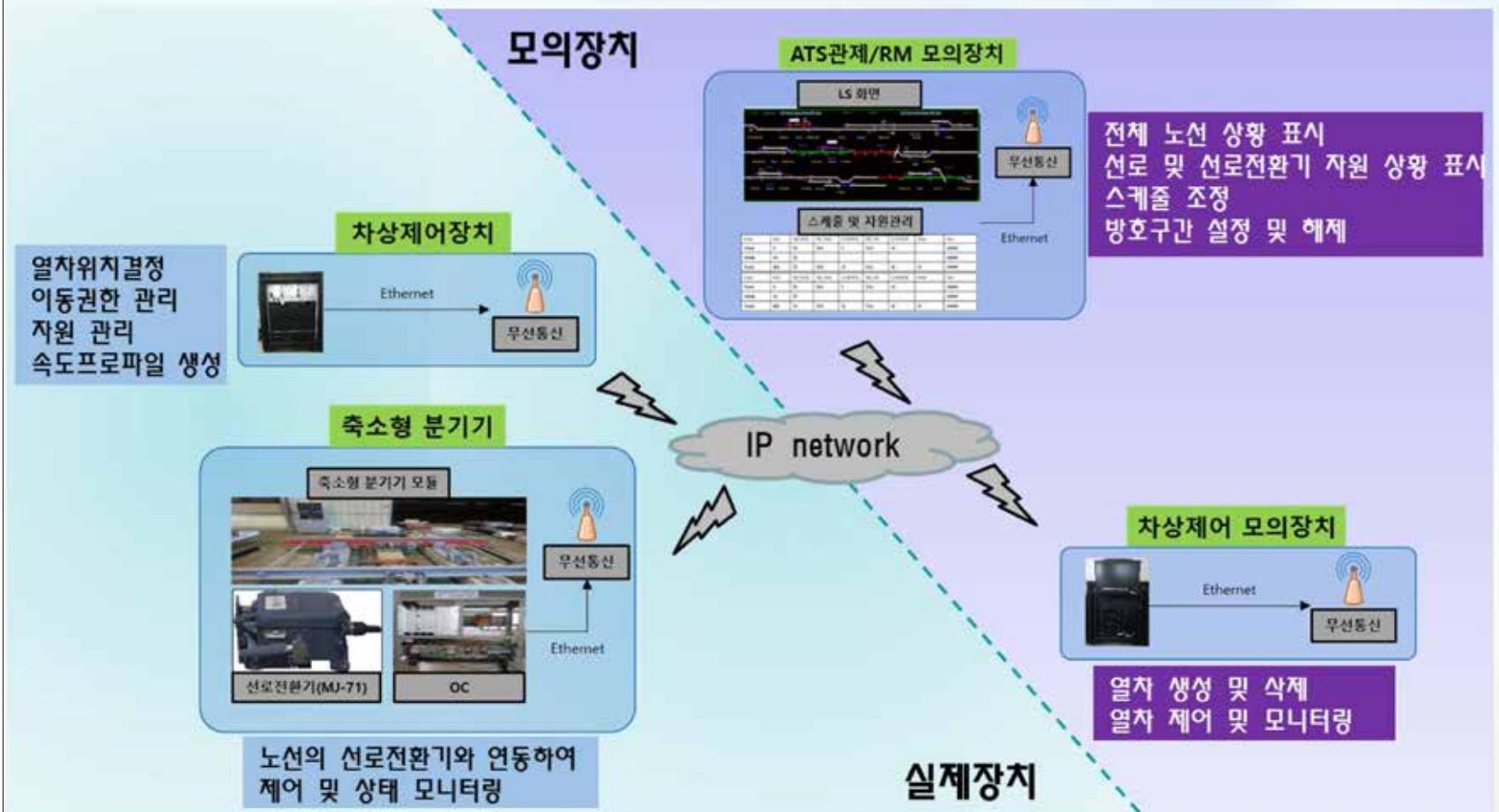
- 실제 선로환경 반영, 계산복잡도 감소, 열차위치 불확실성 반영
- 시나리오별 테스트를 통한 모델 검증
- ATCS시뮬레이션플랫폼과의 통합을 위한 인터페이스 설계





ATCS 개발 현황

3) 통합 시뮬레이션 환경 구축





ATCS 개발 현황

3) 통합 시뮬레이션 환경 구축

○ 시뮬레이터 환경

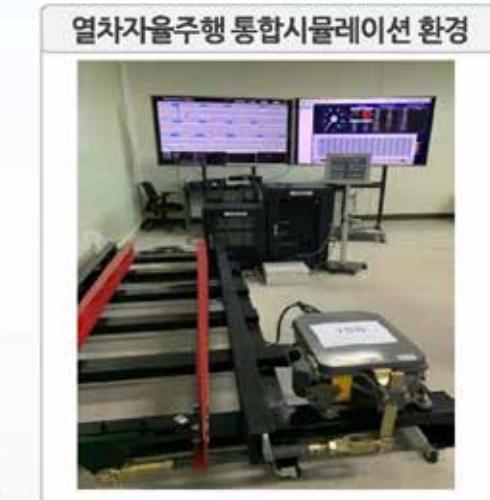
- 차상장치, OC, ATS 관제 시뮬레이터 연결을 위한 IP 기반 네트워크 구성
- OC와 연동하여 차상장치에서 축소형 분기기 제어
- 도시철도 환경을 고려한 노선 조건 적용

○ 열차자율주행제어시스템 통합 시뮬레이션 결과

- 열차자율주행 차상장치 기능 구현 및 검증
- 열차자율주행 기능 검증을 위한 테스트베드 구축
 - ATCS를 탑재한 열차를 실제 노선 환경을 모의하여 시뮬레이션
 - 열차자율주행 주요 기능 및 지표에 대해 공인기관 시험성적서 획득
- 시뮬레이션 결과 분석

항목	기존 CBTC	열차자율주행	향상을
운전시격	97.8 초	63.0 초	35%
열차간 안전간격	332 m	120 m	63%
분기기 통과성능	22.0 초	12.3 초	44%
회차시간	150 초	105 초	30%

시뮬레이션 적용사양	
시뮬레이션 환경	설정
노선 길이	31 km
정차역 수	17
최대 열차 편성수	20
열차 최고속도	80 km/h
열차 길이	120 m
열차 가속도	3.0 km/h/s
열차 비상/상용제동 감속도	4.5/4.0 km/h/s





ATCS 개발 현황

4) 현장 기능검증을 위한 시험 환경 구축

○ 축소 열차모델(시험차량) 2량 제작 및 테스트

- 모터 회생 제동 및 유압브레이크 블랜딩 제어를 통한 주행 이질감 최소화
- ATCS 차상장치-축소시험차량 인터페이스 사양 정의 및 시험

○ 연구원 특동/오송시험선 시험 환경 구축

- 선로전환기 제어 모듈 제작 및 설치, 기존 연동장치 절체
- 열차위치 보정을 위한 트랜스폰더 설치 및 DB 구축
- ATS 및 시험노선 DB 구축, 차량 충전설비 구축
- 5G 무선통신망 구축



축소열차모델 제작 및 검증

축소열차모델 사양

차륜	4륜(ø600mm)
전장	4,270 mm
궤간	1,435 mm
전폭	1,920 mm
차량 중량	약 5.2 ton

○ 열차 속도 및 가감속

- 운행 속도 : 30 km/h 이상
- 가속도 : 3.0 km/h/s 이상
- 감속도 : 3.5 km/h/s 이상
- 비상 감속도 : 4.5 km/h/s 이상



오송종합시험선 시험환경 구축



ATCS 개발 현황

4) 현장 기능검증을 위한 시험 환경 구축





기대효과

수송력 (Capacity)

[AS-IS] 열차와 여러 지상설비 간 복잡한 제어경로 → 운전시격 단축 한계
[TO-BE] 열차 간 직접통신기반 제어 → 운전시격 향상

설비투자비 (Cost)

[AS-IS] 관할영역마다 지상 제어설비 필요 → 설비투자비 및 유지보수비 증가
[TO-BE] 지상 제어설비 Zero化 → 설비투자비 절감

운영 유연성 (Flexibility)

[AS-IS] 정차 중 운영자 책임下 편성조성, 노선 확장시 지상제어설비 증설
[TO-BE] 주행 중 편성조성, 지선 열차투입 용이, 노선 확장시 열차투입 용이

안전성/편의성 (Safety/Service)

[AS-IS] 이례적인 상황시 원격의 관제 운영자 수동개입 → 시간소요, 인적오류 위험
[TO-BE] 지능형 열차 간 협업 → 신속한 대응, 안전성 향상

