



철도차량의 유지보수체계 변환 [CBM 중심으로]



국립 한국교통대학교

김 재 문

01 철도차량 유지보수

- 비용 및 에너지 절감과 생산성 향상이 **철도자산관리의 주요 이슈**로 떠오르며, IoT 기술 기반의 다양한 융합 기술이 반영된 자가상태진단 및 예측 정비 기술이 **미래 철도차량 유지보수업의 패러다임**으로 부상

유지보수 기술의 변화



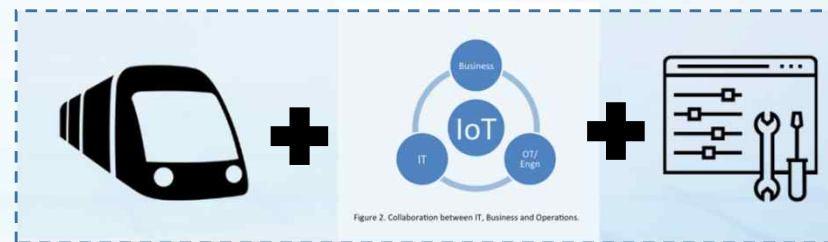
데이터 지식 기반 경쟁

- 데이터 및 지식이 새로운 경쟁 원천으로 부각
 - IoT, AI, Big Data의 Digital 기술 적용
 - 데이터를 이용한 분석기술 발전 (Software)

부가적 가치 창출 요구

- 신기술 적용에 따른 부가적 가치 생성
 - 유지보수 비용 감소, 효율 증대
 - Down Time 감소
 - 고객에 대한 신뢰성 증대

- 제조와 서비스의 융합(Sevritization)을 통한 가치창출
- IoT, Big Data 기술기반 고부가가치 서비스 창출
- 새로운 Value Chain 창출 : 고객 (비용절감) → 기업(매출/수익 증대, 안정적 사업 기반)

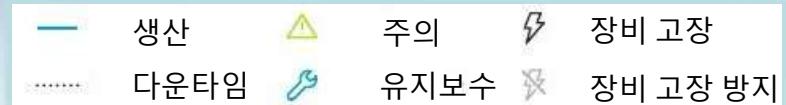


※ 사례 : GE

제조 + IoT + **Servitization**

01 철도차량 유지보수

* Deloitte(Analytics institute), Predictive Maintenance ,2017



CM 사후 유지보수(보전)

고장 난 후에 자산관리



- ⊕ 분석 또는 센서 불필요
예비 부품을 완전히 소모
- ⊖ 높은 다운타임
고장으로 인한 자산 피해 큼

PM 예방 유지보수(보전)

지속적인 가용도를 유지하기 위하여 사전에 고정 간격으로 주기적인 유지보수



- ⊕ 운용 중 센서 불필요
예기치 않는 다운타임을 감소
- ⊖ 예비 부품의 수명주기 낭비 (잔여수명 많아도 교체)
과도한 유지보수 및 다운타임

CBM / RCM

As-Is



상태기반 유지보수

장비 정보로부터 이론적 규칙에 준한 유지보수



- ⊕ 장비의 사용 수명 주기 연장
예기치 않은 다운타임을 감소
- ⊖ 고장 예측의 정확성 부족
실패에 대한 약간의 위험성 존재



예지 유지보수

고장 전에 중단없이 최대한 사용하도록 유지보수



- ⊕ 장비의 수명 최적 사용가능
예기치 않은 다운타임 최소화
- ⊖ 초기 자본 필요 (센서 기능 고가 구성품)
전문가 진단/지원 결정 필요

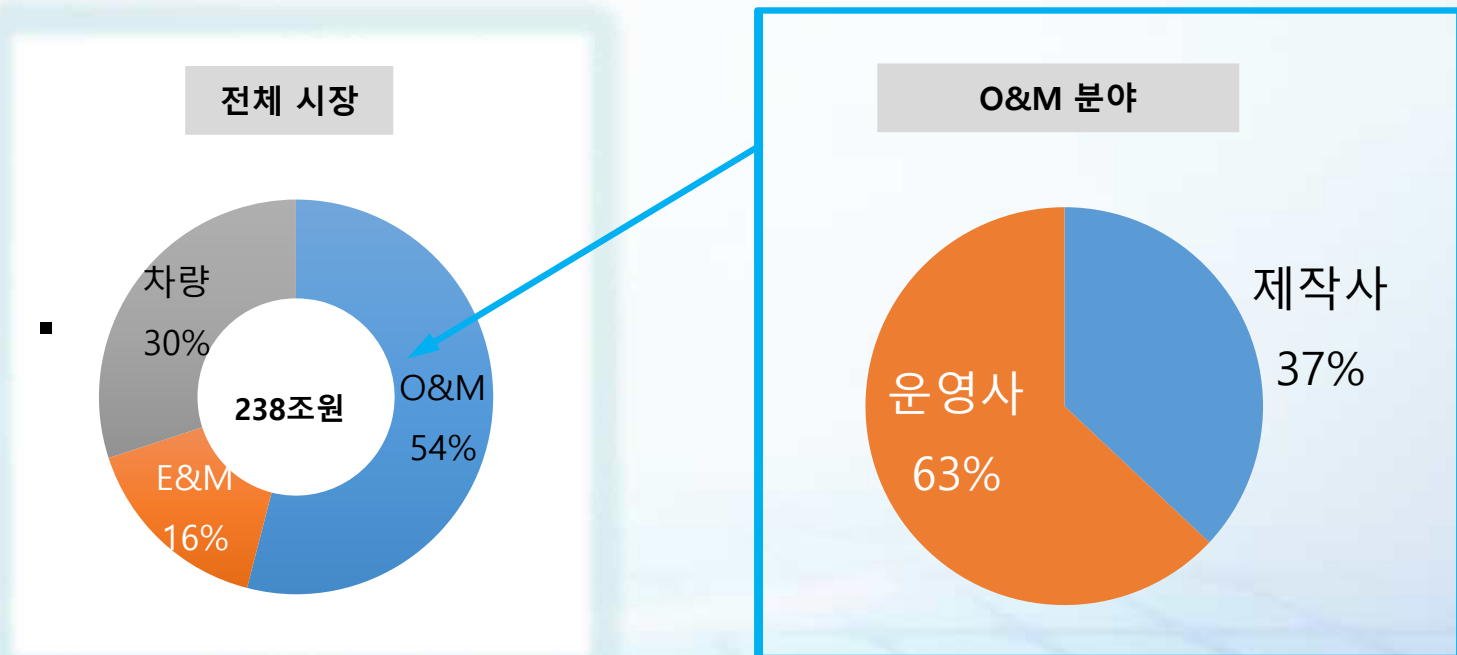


PdM

02 국내외 현황

시장 동향 환경	해외	- 신규철도 시장 보수적 투자, 기존 철도시설 운영효율 극대화 위한, 운영/유지보수 시장확대 추세 (예측정비, 운영가용성 증대 등 효율적 시스템 요구 확대) - 제조 + 서비스 Multi Service Package 증가 추세(차량+시스템+O&M)
	국내	- 중소 철도차량 제작사 경쟁심화 (저가 경쟁) - 지자체 경전철 노선 민자사업 턴키 발주 증가 - 도시철도 운영 / 유지보수 사업 확대 (민자 운영 철도)

철도 시장
규모('17년 기준)



02 해외 현황

경쟁기업 현황

글로벌 선진 업체들은 축적된 노하우 및 실적 BIG DATA를 기반으로 디지털 기술 (CBM등) 4차 산업 기술과 접목하여 통합관리 효율성 향상, 예측정비 등 기존 제조와 서비스 사업을 융합하여 상품화

	 SIEMENS	 Alstom	 Hitachi
Key Message	<u>시스템 및 서비스 분야 비중 높음 Digital 화 기술 선도</u>	<u>시스템 및 서비스 분야 비중 높음 Digital 화 기술확보</u>	<u>제조 및 서비스 통합을 통한 대 폭적 매출 증대, Digital 화 기술확보</u>
 사업일반	• 매출 : 약 8.95조원 • 차량외 분야 : 약 5.28조원 (59%) • 서비스 분야 전세계 Project 추진	• 매출 : 약 10.3조원 • 차량외 분야 : 약 5.8조원 (57%) • 서비스 분야 전세계 100개 Site 보유	• 매출 : 약 6.16조원 • 차량외 분야 : 약 2.89조원 (47%) • 2개본부 44지사 13공장 보유
 기술	• CBM 개발완료 : Mindsphere - 전사업 분야 CBM, PdM 확대 - 플랫폼 표준화/통합센터 운영 - 오랜기간 축적된 Big Data 보유	• CBM 개발완료 : Nomad, Health Hub - 전사업 분야 CBM 확대 - 플랫폼 표준화/통합센터 운영 - 오랜기간 축적된 Big Data 보유	• CBM 모델 개발 완료 : LUMADA - 통합 프로그램 확대 적용중 • 신호 Ansaldo 통합으로 서비스 분야 강세

시장 진입 장벽

해외

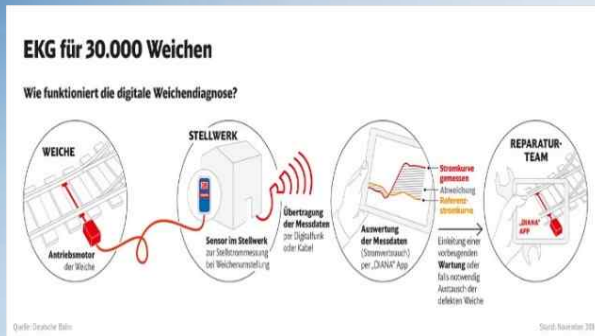
선진 유럽시장은 Digital Railway (운영/자산/유지보수 통합솔루션) 개발을 위한 협의회 기 구축(Network Rail을 포함한 기존 시스템 공급사)을 통하여 기술기준 선도 및 후발 업체의 참여 배제

국내

국내 철도 관련 법규 및 기술 기준 미비
철도 차량 및 시설 유지보수관련 프로세스 미비
철도 기존 운영기관의 신기술 적용에 따른 예산 소요 부담

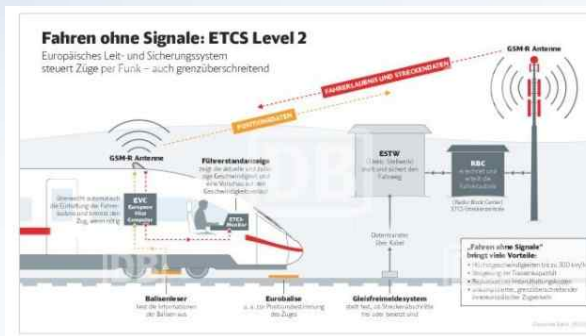
□ (독일) DB사 CBM 기술 개발

DIANA 진단 및 분석 플랫폼



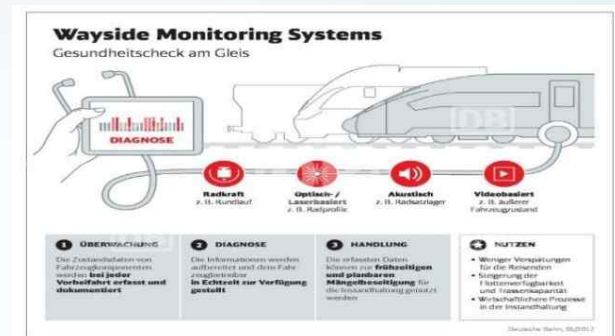
- 스위치 신뢰성을 확인
→ DIANA(전기전도 감지 센서) 설치
- 스위치 작동 시 전력 소비를 측정
→ 편차 발생시 시스템에서 오류 보고
- DIANA 앱을 통해 PC 와 스마트폰에서 확인하여 스위치 이상/정비로 인한 열차의 지연을 사전에 예방
- 2020년 까지 독일 철도 네트워크 50%이상 스위치 장치에 보급 예정

유럽 열차 제어 시스템 (ETCS)



- ETCS는 철도 노선의 신호로 제어되지 않고 라디오로 제어되는 유럽 전역의 통일 명령 및 통제 시스템
- 유럽 연합이 국경 간 철도 교통을 표준화하기 위해 도입
- 2022년까지 1,450 킬로미터에 적용 될 예정
- 최종 목표는 약 2,750 킬로미터 선로에 적용

주행 시 차량 상태 확인(예지정비)



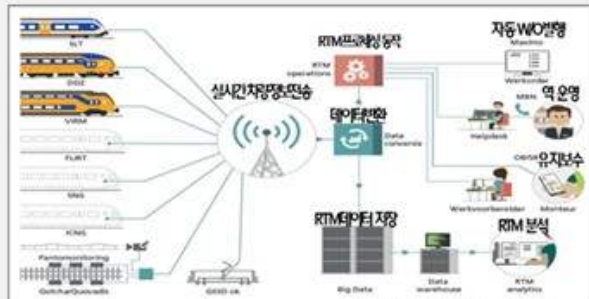
- 선로 주변의 모니터링 장비를 통해 운행 중 차량의 이상을 확인
- 열차 통과 시 소리와 “정상 상태의 소리”를 비교하여 유지보수 여부 판단
- 차량의 지연을 줄이고 최적화 된 예지 정비 가능
- 일부 독일 지역에 적용 운영 중 (헤센 및 노르 트레인 – 베스트 팔렌)

02 해외 현황

▣ (네덜란드) NS Techniek(국영철도회사) CBM 구축

NST CBM 모델 구축 (Ricardo Rail 구축)

1



※ RTM : Real Time Monitoring

활동 내용

Ricardo Rail의 CBM체계(Smart Fleet)을 기반으로, 실시간 차량 정보 전송 및 데이터 프로세싱/저장이 가능하도록 체계 구축 완료

Proto type (54편성) 실시간 모니터링/유지보수

2

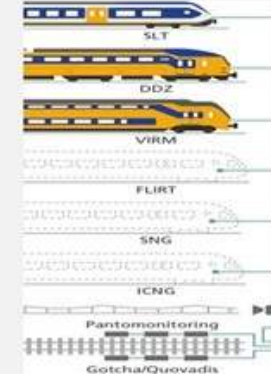


효과확인 : 차량장비 입고율 감소추세 (차량가용성 ↑)



전체 차량 대상 단계적 CBM 구축 (~'20년)

3



활동 예정

Proto type ICE (54개 편성) 실시간 모니터링/유지보수 결과를 기반으로, 향후 운영 4개 차량에 단계적 CBM 구축 진행

02 해외 현황

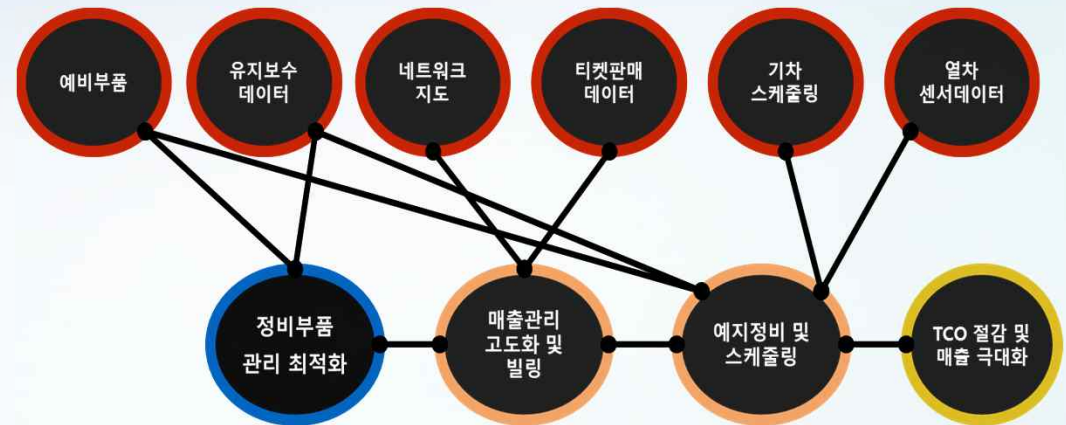
■ (이탈리아) NS Techniek(국영철도회사) CBM 구축

IoT, 빅데이터 이용 예지/예방 정비



- IoT 기반 센서를 통한 데이터 수집과 빅데이터 분석을 통한 차량 예지/예방정비
- IoT 기술을 이용한 열차 운행 정보 실시간 모니터링
- 데이터 분석을 통한 고장 예측 및 정비시스템과 연동을 통한 사전 예비 정비
- 정비 비용 절감 및 사고 예방 효과 발생

실시간 센싱데이터 수집, 유지보수,정비부품 관리 최적화



- 실시간 모니터링 및 기간/시스템 데이터와의 통합 분석
- 센서 데이터 패턴에 대한 통계 분석을 통해 부품별 잠재 고장 확률 예측
- 경험 및 설계 정보 기반으로 규칙을 만들어 단기 고장에 대한 진단 분석에 기반한 정비 스케줄링
- 최적 정비 수행으로 평균 정비 시간 단축 및 정비 주기 증가

이탈리 철도회사 (Trenitalia)의 예지정비기반 시스템 구축사례



- 이탈리아 국영 철도 업체
- 임직원 : 32,000명
- 연 매출 약 7조(원)
- 연 6천만 명 수송 (중장거리 노선)

- 보유 차량 자산
 - 전기열차 2,000량
 - 기관차 2,000량
 - 객차 30,000량

❖ 예지정비 시스템 DMMS 구축 (2014, DMMS : Dynamic Maintenance Mgmt System)

예지정비
대상설비



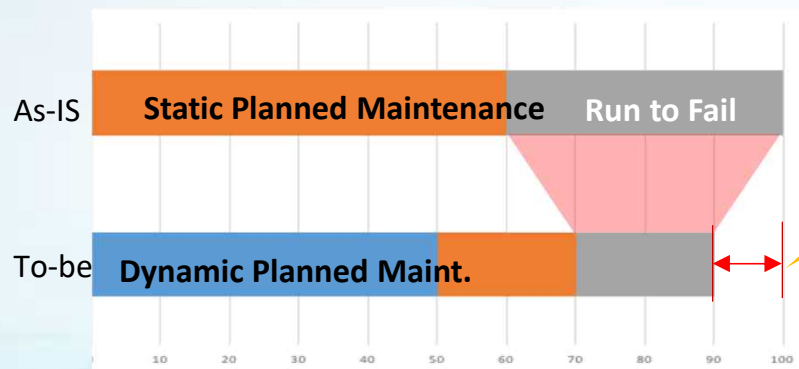
1)배터리 : 전압, 전류, 온도, 충전에너지량 등의 데이터를 이용하여 정상/비정상 등의 상태로 구분하는 알고리즘을 적용



2)브레이크 : 마찰에 의해 발산되는 에너지량에 의해 브레이크 수명이 결정된다는 것을 밝혀냄 → 예상수명예측



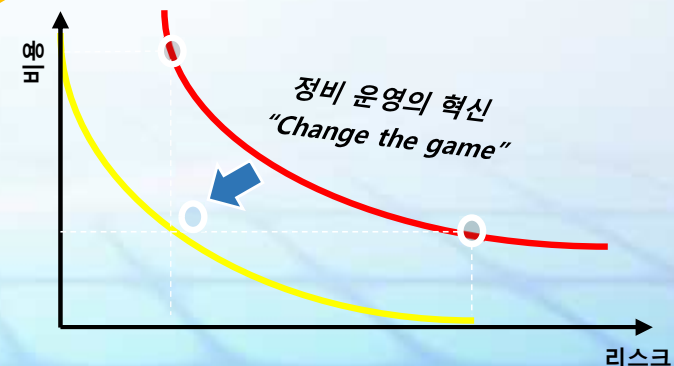
3)팬터그래프 : 팬터그래프의 상승에 요구되는 필요시간을 추정하고, 정상과 비정상 패턴을 감지하는 알고리즘을 적용



- Dynamic Planned Maintenance
- Static Planned Maintenance
- Corrective Maintenance / Run to Fail

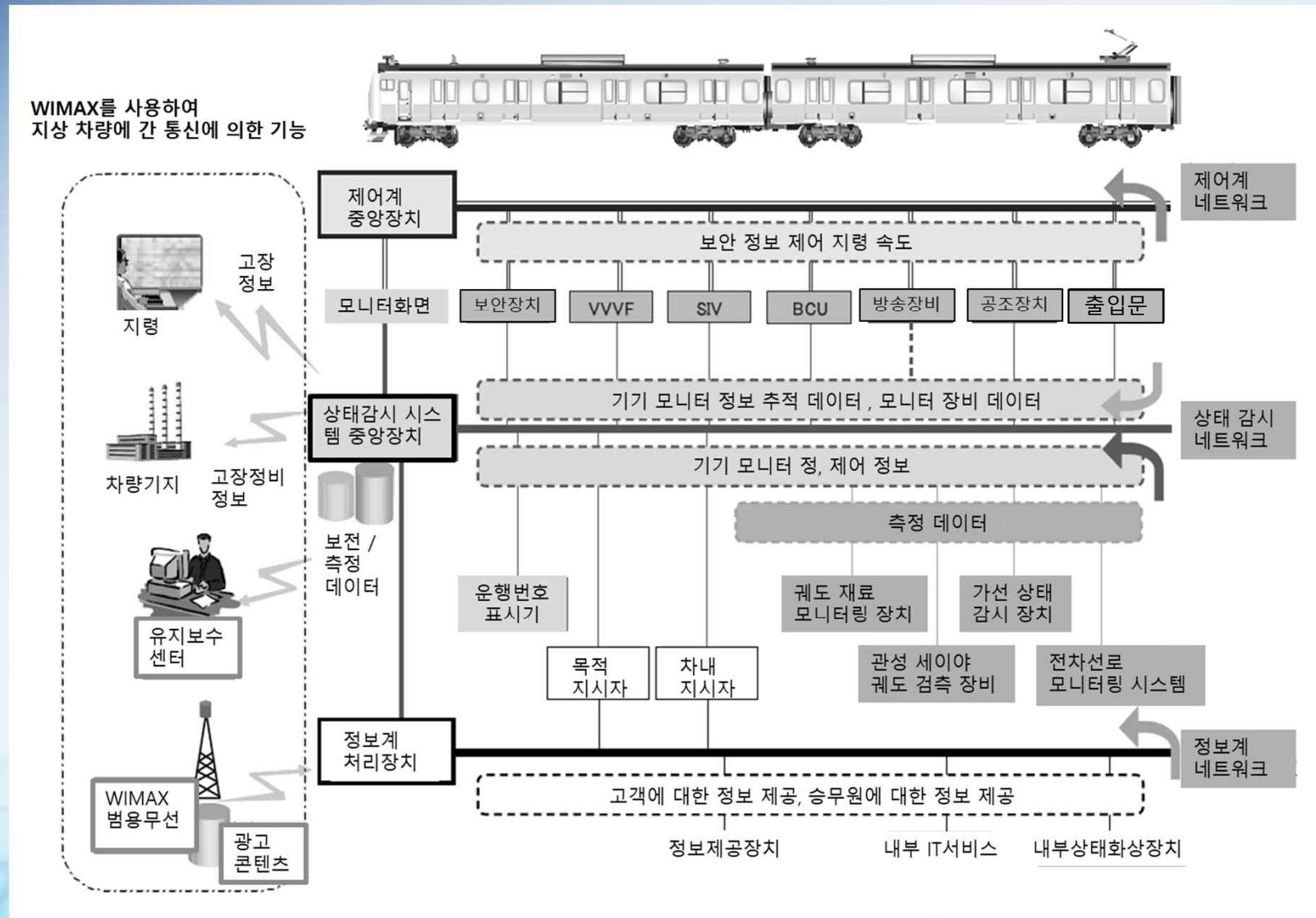
10%가량의
유지보수활동 및
비용을 절약

매년 1,700억(원) 정비비용 절감
(총 정비 비용의 8~10% 감소 효과)



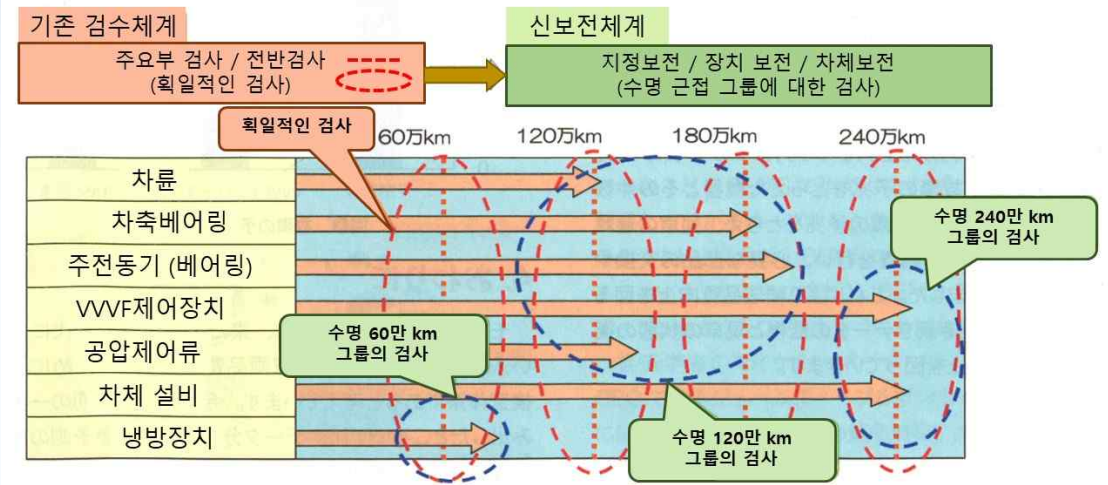
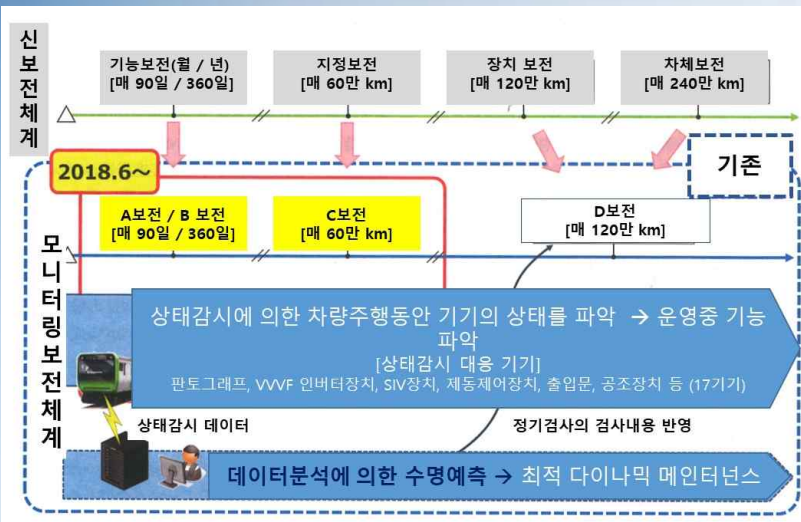
02 해외 현황

■ (일본) 차량상태 실시간 모니터링 및 예지 기술적용 : 동일본철도 CBM 구축사례



■ (일본) 동일본철도 INTEROS

(Integrated Train communication networks for Evolvable Railway Operation System)



- 기존 검수체계에서 신보전체계(잔류수명 근접 그룹화) 적용을 통해 교체주기 연장과 예지 고장 가능
- 상태감시데이터를 <운용중의 기능확인>과 <데이터 분석에 따른 수명예측>에 활용
- 상태감시에 의해 차량운용/입출고시에 기기(팬터그래프, VVVF인버터장치, SIV장치, 제동제어장치, 출입문, 냉공조장치 등 17기기)의 상태를 파악
- <데이터 분석에 따른 수명예측>을 통하여 적절한 유지보수 주기를 그룹화함

철도차량 주요장치 자가상태진단 및 유지보수 지원시스템 개발

철도차량(일반 또는 도시)의 경정비 검수의 효율화·자동화를 위하여
IoT, 빅데이터 등 IT 기술을 적용하여 **상태검지 데이터를 수집**하고,
주요부품의 상태를 진단. 향후 **상태를 예측**하고,
최적 유지보수를 위한 유지보수 지원시스템 개발

❖ 유지보수 효율화·자동화를 위한

철도차량 차상 상태 진단 및 예측 기술개발

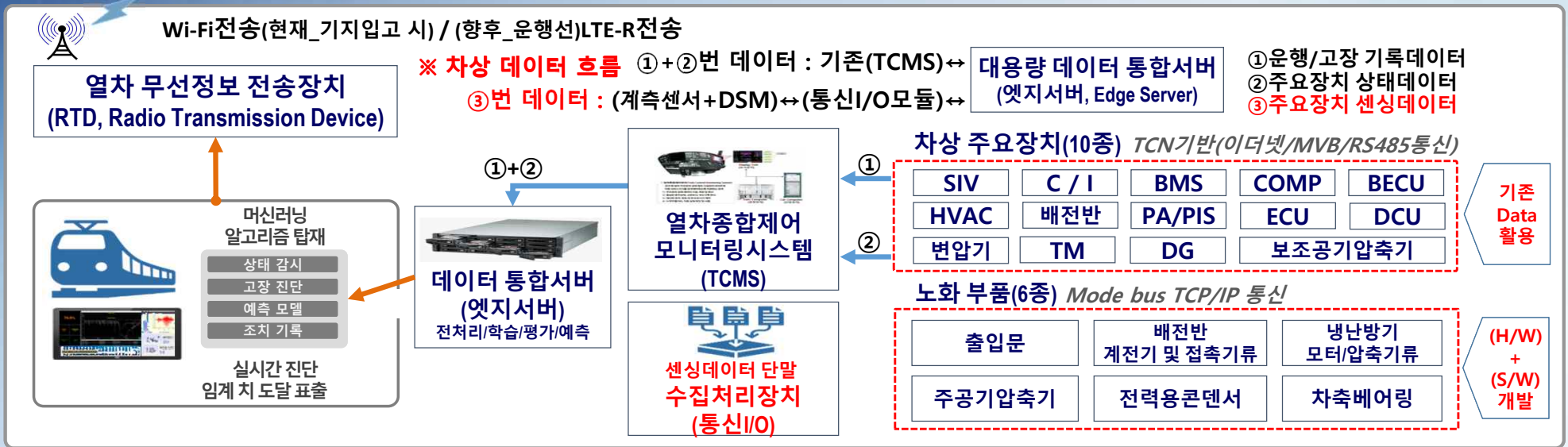
- 도시철도차량 2종(4호선, 8호선),
일반철도차량 1종(ITX-새마을]
- 차상주요장치(BOU, DCU, HVAC, Air compressor, SIV, CI 등)
주요 노화부품(전력용콘덴서, 축상베어링, 전장품류 등)

❖ 예지정비를 위한 능동유지보수

지원시스템 개발

- 사용연수에 따른 3개 노선 차량기지
- 운용 중 기능확인 및 빅데이터 분석 수명예측
(각 2편성, 연간 5만km 이상 데이터 구축)

차상 주요장치 상태진단 시스템(H/W 구성)

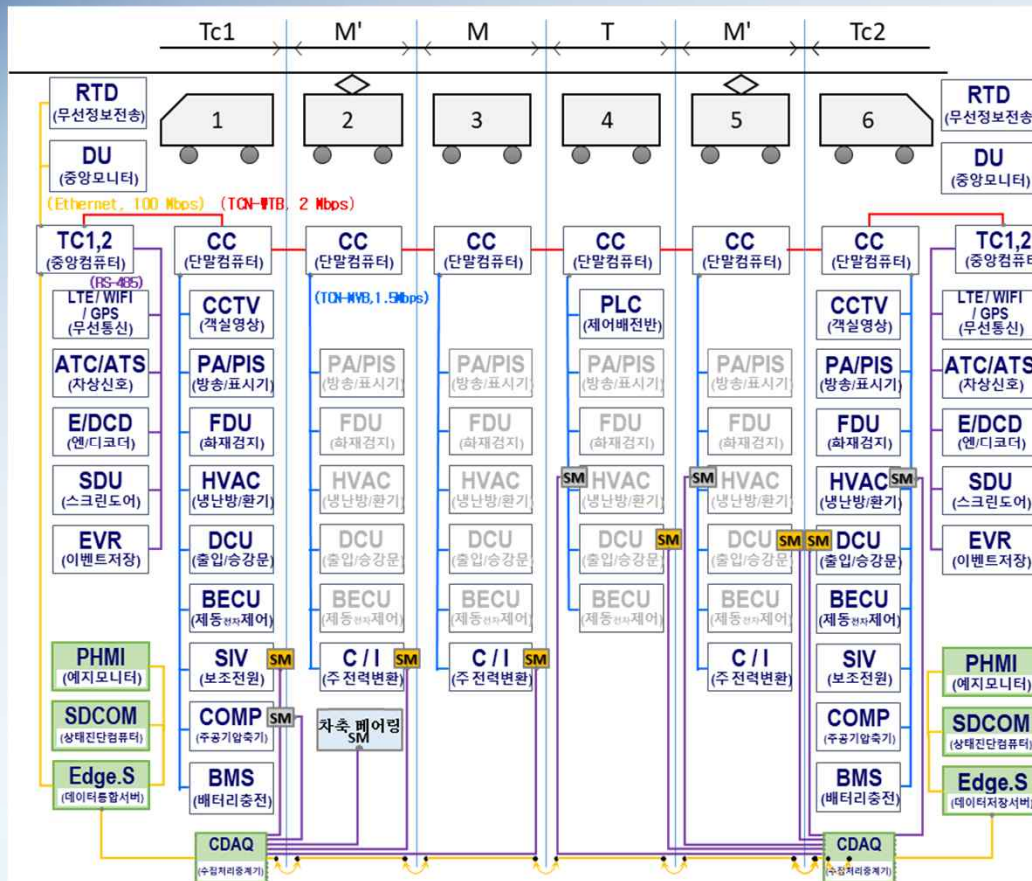


차상 데이터 수집

1

4

7



1 TCMS(운행/고장기록)

- ✓ TCMS → Edge S 데이터 전송 (Protocol 해결)
- ✓ 통신 Protocol 해결

2 주요부품 시계열 데이터

- ✓ Analog Data (Protocol 해결)
- ✓ 센서 추가(필요 시)

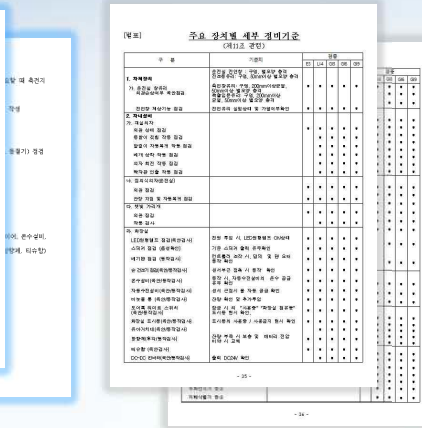
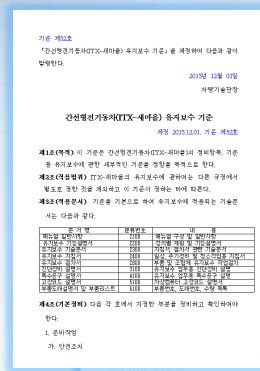
3 센싱 데이터(열화 모델)

- ✓ 전력용 콘덴서, 배전반
- ✓ HVAC, 출입문, 공기압축기, 차축베어링

❖ 차상에서 수집된 데이터를 이용하여 진단 1, 진단 2, 진단 3 도출

지상 검수 데이터 수집

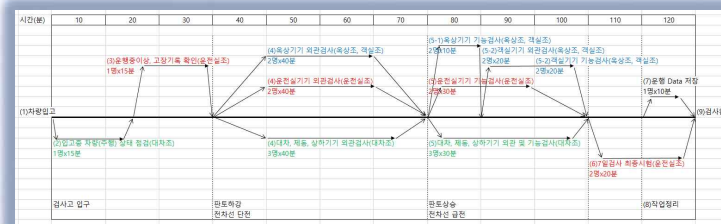
1



4 기준값, 임계치

- ✓ 업체 제공
- ✓ 검수 시 기준
- ✓ 기술사양에서 수집(중요도, 빈도수)
- ✓ 정비 매뉴얼
- ✓ 정비 측정값
- ✓ 순주행거리 대비 이력

4



7

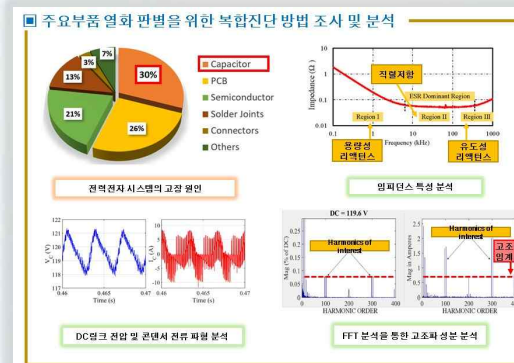
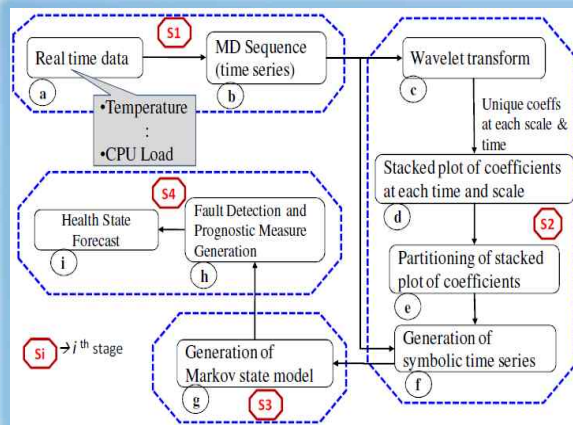


- ❖ 검수데이터의 디지털화
- ❖ 부품 단위 관리 방안 필요
- ❖ 지상 검수 데이터로부터 진단 4 도출

이론적/수학적 모델식 개발

4

단계	적용기술 예
Data processing	Kalman Filtering / Wavelet Analysis / Fourier Analysis
Diagnostics	Fuzzy Logic / Artificial Neural Network / Genetic Algorithms / Statical Pattern Recognition / Hidden Markov Mode / Support Vector Machine / Decision Tree Induction
Prognostics	Artificial Neural Network / Reliability Theory / Statical Analysis(ex. Regression) / Time Series Data Analysis
Mission Profile Identification & Classification	Principal Component Analysis / Classification Theory (ex. K-means Algorithm) / Determinant Analysis



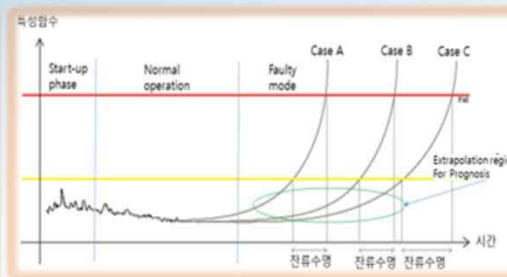
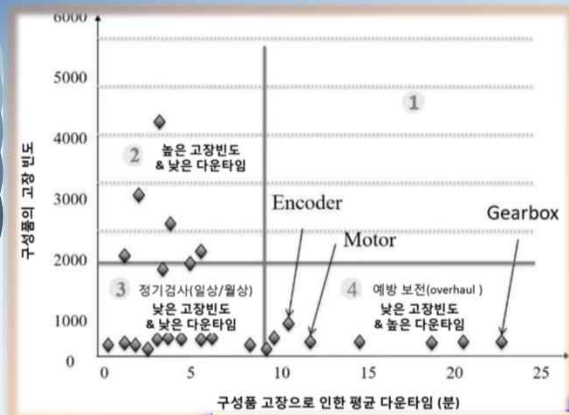
5 이론적/수학적 모델식

- ✓ 상태기반 고장 진단
- ✓ 고장 신호 분석
- ✓ 고장 분석 알고리즘 개발
- ✓ 머신러닝/딥러닝 모형 구축

7

- ❖ 차상 TCMS 시계열 데이터(진단1, 진단2)과 임계값(진단4)로부터 수학적 모델 개발
- ❖ 열화모델 센싱 데이터(진단3)과 임계값(진단4)로부터 수학적 모델 개발
- ❖ 차상/지상 데이터로부터 **진단 5** 도출

5



6



6 토탈 솔루션

- ✓ 분석 플랫폼
- ✓ 위험도(빈도수,치명도) 식별등급
- ✓ 검수/정비 관점의 다차원 분석
- ✓ 예지 및 유지보수 전략
- ✓ 예지정비 모델 분석/관리
- ✓ 부품 노후화에 따른 잔류수명 예측
- ✓ 유지보수 주기 예측
- ✓ 가시화

6 유지보수 의사 결정

- ✓ 최적 정비 주기 의사 결정

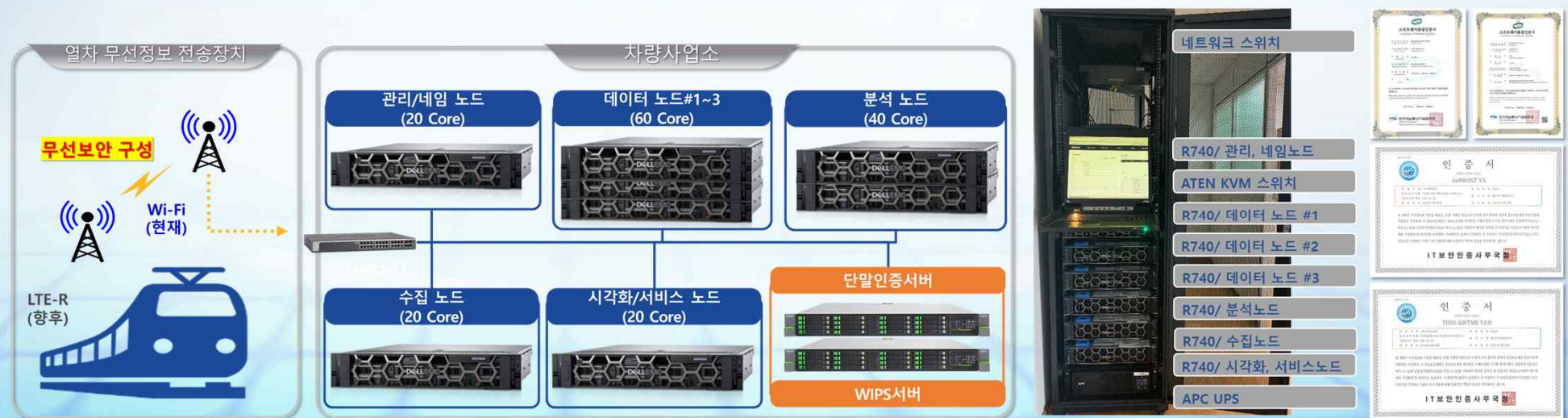
7



- ❖ 분석 플랫폼, 가시화
- ❖ 위험도 식별, 다차원 분석 기능, 잔류수명 예측, 유지보수 주기 예측 등
- ❖ 진단1~5의 결과로부터 **진단 6** 도출

03 국내 관련 R&D 사업 – 철도차량 스마트 유지보수 기술개발사업

차량기지 능동 유지보수 지원시스템



증강현실(AR) 기술이란?

- AR(증강현실)이란 현실에 가상의 이미지를 덧대어 보여주는 기술
- 디스플레이의 공간적인 제약 없이 유용한 정보를 보여줌
- 기존 산업현장의 비효율적이고 위험하며 많은 비용이 소모되던 업무들을 효과적으로 개선

➤ 증강현실(AR)이란

증강(Augmentation)과 현실(Reality)의 합성어로,
현실세계에 3차원 가상물체를 겹쳐 보여주는 기술



업무효율 저하

업무의 변동성과 복잡성 증가
업무 현장의 숙련 기술자 부족

산업안전 위협

위험한 업무에 대한 가이드 부족
비상 상황에 대한 대응력 미흡



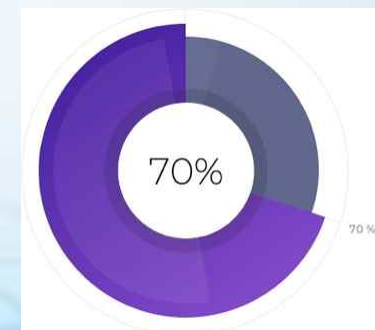
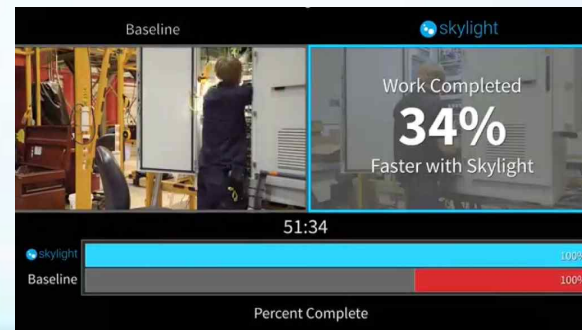
작업시간 34% 단축

복잡한 업무에 시각적인 가이드
AR을 통한 직무 훈련으로 숙련도 향상



작업자 부상 70% 감소

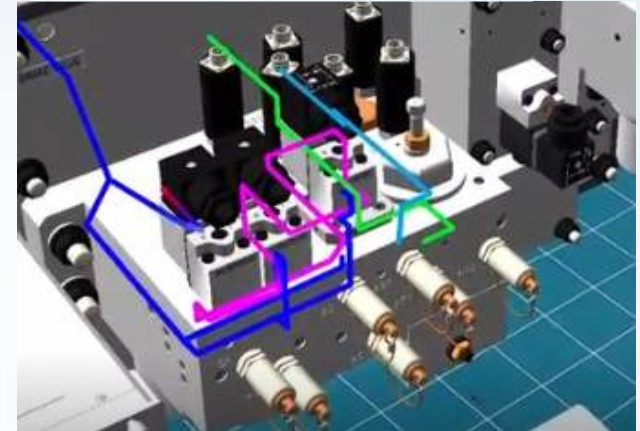
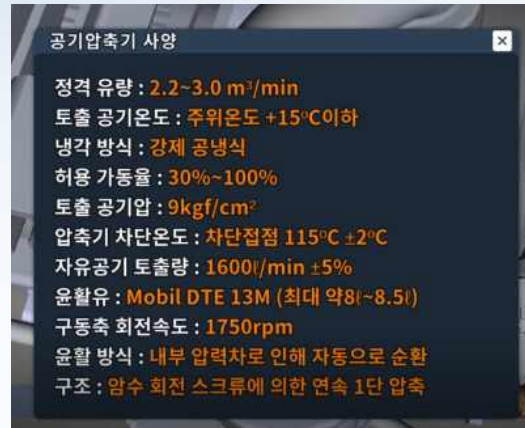
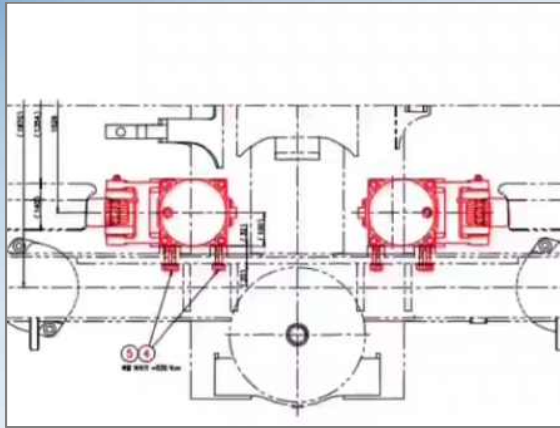
위험 업무 AR 가이드로 사고율 감소
재난/안전 가상 훈련



AR 기반 교육 콘텐츠 개발

선행 학습 효과

● 부품별 제원 및 사양 표시



● 예비품 관리/교체 과정 시각화



AR 기반 교육 콘텐츠 개발

작업 노하우 학습 효과

● 위험/난해요소 경고



● 작업자 점검 부위/과정 시각화



철도차량 유지보수 교육콘텐츠 S/W 비교

사용 형식	AR 교육콘텐츠	타사 제품	SAP Viewer/Author
프로그램 구성	• 직접 단일 프로그램 개발 ✓ 로딩 소요가 빠름 ✓ 오프라인 사용	• Viewer에 파일 탑재 확인 가능 ✓ 로딩 시간이 김 ✓ 항상 온라인 연결을 요구함	• Viewer에 파일 탑재 형식 구성 ✓ PC 버전 중심 소프트웨어, 모바일 적용이 어려움
애니메이션	• AR 환경 내 3D 장치 기반 애니메이션 재생 ✓ 위치 이동, 회전, 재질 변경 애니메이션 ✓ 2D/3D 흐름선 효과 및 투시 효과 등 시각 효과	• AR 환경 내 3D 장치 기반 애니메이션 재생 ✓ 위치 이동, 회전, 재질 변경 애니메이션 구현	• 3D 모델 애니메이션 ✓ 위치 이동, 회전, 재질 변경 애니메이션 구현
상호작용	• 터치 제스처 입력을 통한 상호작용 구현 ✓ 터치 입력을 통한 위치/회전/크기 변경 ✓ 병렬 구성으로 선택하여 콘텐츠 확인 ✓ 교육 과정에 필요한 상호작용 기능 직접 제작 ✓ 장치 모델 직접 터치 입력	• 지정된 순서로만 애니메이션 재생 ✓ 터치 입력을 통한 위치 변경 ✓ 직렬 구성으로 지정된 순서의 콘텐츠 확인	• 3D 모델 터치 및 상호작용 가능 ✓ 3D 모델 뷰어 형식 ✓ 직렬 구성으로 지정된 순서로만 콘텐츠 구현 ✓ 제한적 터치입력(버그 자주 발생)
커스텀 기능 개발	• 프로그램 구조 및 콘텐츠 내용 직접 제작 ✓ 애니메이션 및 텍스트, AR 이미지 출력 ✓ 추가 팝업 창 및 도면, 체크리스트 표시 화면 ✓ UI 애니메이션, AR 애니메이션 동시 출력 • 인적오류 최소화 목적 기능 개발 ✓ 노하우 및 주의사항 팝업 및 환류 기능 제작	• 제작 프로그램 내에만 기능 구현 ✓ 애니메이션 및 텍스트 출력 ✓ AR 사진 및 동영상 출력	• 제작 프로그램 내에만 기능 구현 ✓ 애니메이션 및 텍스트 출력
현장 사용성	• 현장 사용성 테스트 검증 ✓ SUS 평가 결과 34% 향상된 학습 효과 검증 ✓ 운영기관과 협력 → 교육내용 자문 및 검증	• 제작용 maker S/W 판매 목적 개발 ✓ 교육내용의 질적 완성도 및 제작물의 유지보수성이 낮음	• 제작용 maker S/W 판매 목적 개발 ✓ 교육내용의 질적 완성도 보장 및 제작물의 유지보수성이 낮음